Tecnologia Avançada de Transporte Aéreo no Brasil

XVIII SITRAER – Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Transporte Aéreo



Editores:

Li Weigang, Victor Rafael R. Celestino e Leonardo L. B. V. Cruciol

Brasília – DF
2019

Tecnologia Avançada de Transporte Aéreo no Brasil

XVIII SIMPÓSIO DE TRANSPORTE AÉREO (SITRAER)

Trabalhos Apresentados

Editores:

Li Weigang, Victor Rafael R. Celestino e Leonardo L. B. V. Cruciol

2019
UnB

FICHA CATALOGRÁFICA

Simpósio de Transporte Aéreo (8 : Brasília - DF: 2019)
Trabalhos apresentados ao XVIII SITRAER / ed. por Li Weigang, Victor Rafael R. Celestino e Leonardo L. B. V. Cruciol. – Brasilia-DF: UnB, 2019.
522 p.

ISBN: 978-65-00-03772-2

1.Transporte aéreo (Congressos) I.Weigang, Li; Celestino, Victor; Cruciol, Leonardo; II.Universidade de Brasilia.

CDU 656.7 (063)

Organização do XVIII SITRAER

Conselho da SBTA

President – João Batista Camargo Jr.
Vice-president – Alexandre de Barros Barreto
Directors:
Li Weigang, Carlos Müller, Jules Ghislain Slama
Supervisory Board
Paulo Sérgio Cugnasca
Alternates:
Ítalo Romani de Oliveira
Derick Moreira Baum

Universidade de Brasília

Márcia Abrahão Moura - Reitora
Enrique Huelva Unternbäumen - Vice-Reitor
Maria Emilia Machado Telles Walter – Decanato de Pesquisa e Inovação
Gladston Luiz da Silva, - Diretor do Instituto de Ciências Exatas

Comissão Organizadora

Coordenador Geral: Li Weigang – Universidade de Brasília
Coordenadores:
Alexandre de Barros (Co-chair), University of Calgary, Canada
Carlos Müller, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brazil
Camila Bassetto, Departamento de Controle do Espaço Aéreo, Brazil
Felix Mora Camino (Co-chair), Ecole Nationale de l'Aviation Civil, France
Geraldo Pereira Rocha Filho (Co-chair), Universidade de Brasília, Brazil
Giovanna Miceli Ronzani, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brazil
Ítalo Romani de Oliveira (Co-chair), Boeing Research & Technology-Brazil, Brazil
João Batista Camargo Júnior (Co-chair), Universidade de São Paulo, Brazil
Leonardo Cruciol (Co-chair), Universidade de Brasília, Brazil
Luís Paulo Faina Garcia, Universidade de Brasília, Brazil
Victor Rafael Rezende Celestino (Co-chair), Universidade de Brasília, Brazil
Yaeko Yamashita, Universidade de Brasília, Brazil

Coordenação de Publicação

Leonardo Cruciol – Universidade de Brasília

Coordenação de Organização Local

Carolina Alves Okimoto, Universidade de Brasília
Danilo Lelin Li, Universidade de Brasília
Diego Santos Kieckbusch, Universidade de Brasília
Erika da Silva Cruz, Finatec
Guilhermina de Jessus Messias, Finatec
Haline Tavares de Souza, Finatec
Nilton Goldner, Aeroplan
Vitória Ferreira, Universidade de Brasília

PREFÁCIO

O XVIII SITRAER - Simpósio Brasileiro de Transporte Aéreo, foi realizado pela Sociedade Brasileira de Pesquisa em Transporte Aéreo – SBTA e a Universidade de Brasília - UnB, entre os dias 22 a 24 de outubro de 2019 na FINATEC em Brasília-DF. Trata-se de um evento oficial da SBTA e constitui-se no único evento nacional dedicado ao debate de diversas pesquisas e trabalhos relacionados com as áreas de infraestrutura aeronáutica e aeroportuária, planejamento aeroviário, empresas aéreas e economia do transporte aéreo.

A SBTA, uma sociedade científica independente, possui a finalidade de estimular e alavancar a produção acadêmica e técnica aplicada ao setor de transporte aéreo brasileiro. Formalmente constituída em 2002, tem sede no município de São José dos Campos, como sociedade civil, sem fins lucrativos e é afiliada da *Air Transport Research Society – ATRS*, com sede em Vancouver, no Canadá.

Este evento contou com diversos pesquisadores, profissionais da área e estudantes em um importante fórum de debates e exposições. As apresentações foram classificadas em três categorias:

- Palestrante Especial (Keynote): autoridades das instituições brasileiras na área de transporte aéreo, como ANAC, DECEA, INFRAERO, dentre outras, e também especialistas na área, como Dr. Johannes Reichmuth (Alemanha), Dr. Renbiao Wu (China), Dr. Daniel Delahaye (França), Dr. Peng Wei (EUA), Dr. Alexandre de Barros (Canadá), Dra. Annie Liang (Austrália) e Cel. Antônio Crespo (Canadá).
- Palestrante convidado: Leandro Rodrigues e Silva e Fabiana Todesco (SAC), César Augusto Mayor Herrera (IACIT), Dr. Italo Romani de Oliveira (Boeing), Ten Cel Fabio da Silva Santos (DECEA), Alexandre Romano Massignan Berejuk (ANAC), Prof. Victor Celestino (UNB), Eng. Camila Bassetto (DECEA), Francisco Nunes (Infraero), Ruy Amparo (ABEAR), e Prof. Li Weigang (UnB).
- Foram apresentados 52 trabalhos científicos: as instituições que submeteram os trabalhos são a Universidade de Brasília, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, University of Calgary, Universidade de São Paulo, Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos, Universidade Federal do Ceará e Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Os três melhores trabalhos foram premiados pela SBTA no evento. Além desses, vários trabalhos foram selecionados para serem publicados na Revista da SBTA (Journal of the Brasilian Air Transportation Research Society), que foi qualificado pela CAPES Qualis B3.

Agradecemos as instituições que patrocinaram o XVIII SITRAER como a CAPES, FINATEC, ANAC, INFRAERO, DECEA e Atech, Boeing e IACIT. Nossos agradecimentos também são dedicados a todos os participantes e membros do comitê cientifico que contribuíram para realização deste evento.

Li Weigang
Coordenador Geral do XI SITRAER
e
João Batista Camargo Jr.
Presidente da SBTA

ÍNDICE

PALESTRANTE ESPECIAL (KEYNOTE)

1. CHALLENGES ON THE WAY TO A SUSTAINABLE AIR TRANSPORT SYSTEM …… 13
   Johannes Reichmuth

2. ADAPTIVE INTERFERENCE MITIGATION IN GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS …… 14
   Renbiao Wu

3. MATHEMATICAL TOOLS FOR TRAJECTORY MODELING AND DESIGN ……..…… 15
   Daniel Delahaye

4. UNLOCK THE PERSONAL SKY - SAFE AND ASSURED AUTONOMY FOR ON-DEMAND URBAN AIR MOBILITY …….…… 16
   Peng Wei

5. CONNECTED AIRCRAFT - THE FUTURE OF AIR NAVIGATION AND TRAFFIC CONTROL …… 17
   Alexandre Gomes de Barros

6. APPLICATION OF AI AND MACHINE LEARNING TO AUTOMATED AIRCRAFT SEQUENCING AND MERGING IN TMA …….……. 18
   Annie Liang

7. CARBON EMISSIONS TRADING SYSTEMS AND THE AIR TRANSPORTATION BUSINESS DYNAMICS: ECONOMIC MODELING AND IMPACTS ASSESSMENT ……...…… 19
   Cel. Antônio Crespo

SYSTEMS TECHONOLOGY

8. FAST PROTOTYPING OF WEB BASED COLLABORATIVE PLATFORM FOR HELICOPTER PILOTS……..… 20
   Vivian Chiodo Dias, Beatriz Da Mota Bonanno, Wilson Roberto Rosa and Jose Airton Patricio

9. HLA INTERACTION IN LVC SIMULATION ENVIRONMENT…….. 29
   Mariana Yoshikawa, Fabio Aguchiku and Valter Cadore

10. DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE BAIXO CUSTO PARA UMA AERONAVE DE PEQUENO PORTE …….....… 37
    Eduardo Freitas and Mateus Miranda

11. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO SOFTWARE FAARFIELD NOS RESULTADOS DE VIDA ÚTIL DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS ……. 47
Mateus Lira and Francisco Oliveira

12. QUANTIFYING CAPACITY LOSSES OF THE PHYSICAL SEPARATION OF DOMESTIC AND INTERNATIONAL PASSENGERS USING DISCRETE EVENT SIMULATION……..…… 57
Max Georg Schulze Schwienhorst, Giovanna Miceli Ronzani Borille and Johannes Reichmuth

AIR TRAFFIC MANAGEMENT

13. MANAGING NETWORK FLIGHT DELAYS THROUGH COLLABORATIVE DECISION MAKING…….…….....… 69
Sibusiso Moyo, Hamdan Sulayman Alfazari, Georges Mykoniatis and Felix Mora-Camino

14. A FORMAÇÃO DOS CONTROLADORES DE TRÁFEGO AÉREO NA AERONÁUTICA: UMA ANÁLISE DAS POLÍTICAS EDUCACIONAIS E SUAS PRÁTICAS……... 78
Eduardo Silva and Lilian Ramos

15. SEGUNDA DEMONSTRAÇÃO DO SWIM NO CENÁRIO NACIONAL……..... 87
Camila Bassetto, Lorrene Carolline Vieira Nunes, Ivan Matias da Silva, Inaldo Capistrano Costa, Li Weigang, Lucas Borges Monteiro and Iuri Souza Ramos Barbosa

16. CAUSAL ANALYSIS OF VERTICAL FLIGHT INEFFICIENCY DURING DESCENTS……. 95
Joao Basílio Tarelho Szenczuk, Mayara Condé Rocha Murça, Rogéria de Arantes Gomes Eller and Wallace Silva Sant' Anna Souza

17. SOLUÇÃO COMPUTACIONAL PARA PREVENIR ACIDENTES AERONÁUTICOS CAUSADOS POR ESTEIRAS DE TURBULÊNCIA USANDO MACHINE LEARNING...……..……. 103
Daniel Valério Leite, Geraldo P. Rocha Filho and Li Weigang

18. DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA CIENTÍFICO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO IONOSFÉRICO PARA GBAS NO BRASIL……. 114
Vinícius Pereira, João Monico and Paulo Camargo

19. LOGICAL ACCESSMENT OF VULNERABILITY AT DEPARTING PASSENGERS CONTROL..…… 126
Carl Rizk, Sibusiso Moyo, Hadj Batatia and Felix Mora-Camino

20. VISUALIZAÇÃO DE DADOS DE OTIMIZAÇÃO DE MEDIDAS ATFM…….……... 135
Giovanna Ono Koroishi, Fábio Joás de Carvalho Oliveira and José Airton Patricio

21. DRONES AND RPAS' OPERATIONS' MANAGEMENT THROUGH A COLLABORATIVE PLATFORM……..... 146
Beatriz da Mota Bonanno, Vivian Chiodo Dias, José Airton Patrício and Wilson Roberto Freire Rosa

22. LEARNING AIRLINE ROUTE CONSTRAINTS FROM FLIGHT TRAJECTORY DATA FOR AIRCRAFT DESIGN APPLICATIONS…… 157
Alejandro Arturo Rios Cruz, Mayara Condé Rocha Murça, José Alexandre T.G. Fregnani, Gustavo Torquette and Bento Silva de Mattos

23. ESTUDO PRELIMINAR SOBRE PROPOSIÇÃO DE MODELO DE PREVISÃO PARA O COEFICIENTE DE ATRITO MEDIDO EM PISTA DE POUSO E DECOLAGEM……. 166
José Breno Ferreira Quariguasi, Francisco Hebe Lacerda De Oliveira and Saulo Davi Soares Reis

24. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DO CONHECIMENTO PARA CONTROLE DE PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO DE AERÓDROMOS E OBJETOS PROJETADOS NO ESPAÇO AÉREO: UM ESTUDO DE CASO……..……..…… 174
Cristiano Garcia

25. GERENCIAMENTO DO FLUXO E DA CAPACIDADE DO TRÁFEGO AÉREO E SEUS BENEFÍCIOS PARA O ESPAÇO AÉREO E PARA O AEROPORTO……..……..… 180
Joaquim Lobo Júnior, Marcelo Vasconcellos and Maria Ricco

AIRPORT MANAGEMENT AND OPERATION

26. UMA REFLEXÃO SOBRE A AVALIÇÃO DA ESCOLHA AEROPORTUÁRIA EM REGIÕES DE MÚLTIPLOS AEROPORTOS USANDO MÉTODO DE REVISÃO SISTEMÁTICA……..… 190
Guilherme Zapola and Viviane Falcão

27. THE INCREASING DISTANCE OF AIRPORTS FROM CITY CENTERS: AN EXPLORATORY ANALYSIS OF AIRPORT REPLACEMENT AND MULTIPLE AIRPORT SYSTEM'S CASES……. 202
Luiz Henrique Werneck de Oliveira

28. GANHOS OBTIDOS COM O PROJETO FAUNA EM AEROPORTOS – UMA PARCERIA ENTRE A INFRAERO E A FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA POR MEIO DO CENTRO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO…… 212
Márcia Carvalho da Cunha Mendes and Luis Eduardo Paris

29. QUANTIFICAÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS ORIUNDOS DA OPERAÇÃO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE CUIABÁ - MARECHAL RONDON POR MEIO DE MODELAGEM MATEMÁTICA……..…….. 218
Arthur Fernandes, Gabriel Cotrim, Jose Carlos Aravechia Junior and Julia Prado

30. A INFLUÊNCIA DO GERENCIAMENTO INTELIGENTE NO EMBARQUE DE PASSAGEIROS EM TERMINAIS AEROPORTUÁRIOS COM A MUDANÇA NO PORTÃO DE EMBARQUE…….. 228
Diogo Vieira, Evandro Silva, Claudio Alves and Mauro Caetano

31. ANÁLISE DA LITERATURA SOBRE VALUATION DE CONCESSÕES AEROPORTUÁRIAS……...… 236
Eduardo Pereira and Pastor Taco

32. REVISÃO SISTEMÁTICA DE CONCESSÕES AEROPORTUÁRIAS E O CASO BRASILEIRO…….....… 246
Larissa Galdiano, Viviane Falcão and Francisco Gildemir da Silva

33. MENSURAÇÃO DA CULTURA DE SEGURANÇA EM AEROPORTOS.... 257
Wilson Gomes

34. A LONG TERM DEMAND FORECASTING FRAMEWORK FOR A NETWORK OF AIRPORTS…….…….... 268
Bachir Amadou, Mohammed Sbihi, Luis Gustavo Zelaya Cruz and Felix Mora-Camino

INFRAESTRUTURA

35. METODOLOGIA HQCM UTILIZADA PARA REFORMAS EM RUNWAYS DE AEROPORTOS REGIONAIS - UM ESTUDO DE CASO DA SUA UTILIZAÇÃO NA PPD 14/32 DO AEROPORTO DE PAULO AFONSO (SBUF-INFRAERO……...… 277
Marcelo Ferreira Santos and Manoel Martins Oliveira Jr

36. ANÁLISE DA VARIAÇÃO DO ACN E DO PCN DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA PARA AS OPERAÇÕES DE 2007 A 2016…….....…… 289
Keila Rabelo and Francisco Oliveira

37. RISK ASSESSMENT IN AIRPORT MAINTENANCE RUNWAY CONDITION USING MCDA-C…….……. 299
Daniel A. Cunha, Michelle Andrade, Leonardo O. Santana, Lucius A. Prado and Marcos Paulo Gonçalves da Silva

38. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO SOFTWARE FAARFIELD NO DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS…….. 309
Gledson Mesquita Junior, Renan Maia, Elisa Sousa, CecÍlia Castro and Francisco Heber Lacerda de Oliveira

39. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE REMOÇÃO DE BORRACHA NA MACROTEXTURA DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS…….……..… 319
Francisco Bruno de Andrade Farias, Túlio Rodrigues Ribeiro, José Breno Ferreira Quariguasi and Francisco Heber Lacerda de Oliveira

40. POTENCIAL IMPACT OF RUNWAYS EXPANSIONS…..……..… 327
Raul Cerqueira

41. ESTUDO DO PERFIL DO USUÁRIO QUE UTILIZA APLICATIVOS DE TRANSPORTE PARA ACESSAR IMPORTANTES AEROPORTOS BRASILEIROS……..……..……..... 336
Carolina Ansélmo and Giovanna Borille

42. CUSTOMER EXPECTATIONS REGARDING THE AIRPORT SERVICE QUALITY: A STRUCTURAL MODEL…….. 343
George Christian Linhares Bezerra and Carlos Ferreira Gomes

AIRSPACE TECHNOLOGY

43. A PERCEPÇÃO DA FADIGA HUMANA PELOS PROFISSIONAIS DA AVIAÇÃO DE ESTADO……..… 354
Israel Cleriston Martins De Oliveira and Victor Celestino

44. TRAJECTORY PREDICTOR DEVELOPMENT AND INTEGRATION..... 364
Fabio Seiti Aguchiku, Fabio Joás de Carvalho Oliveira, Kleber Ferreira Rosa and Carlos Eduardo Duarte Vasques

45. A INOVAÇÃO AEROESPACIAL NA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA NA CONSTRUÇÃO DA VISÃO 2030……...… 372
Victor Rafael Rezende Celestino, Inez Lopes Matos Carneiro De Farias and Luiz Guilherme De Oliveira

46. CONCESSÃO DE AEROPORTOS E QUALIDADE DE SERVIÇOS – CASO BRASIL……. 383
Priscilla Thábata Alves Silva

47. PREVISÃO DE DEMANDA DE PASSAGEIROS PARA O AEROPORTO REGIONAL DE UBERAVA A PARTIR DA APLICAÇÃO DE MODELO GRAVITACIONAL…….……. 392
Matheus Zamboni Zaffalon, Nathane Negri and Viviane Falcão

48. CARACTERIZAÇÃO DO MERCADO DO AEROPORTO MÁRIO DE ALMEIDA FRANCO - UBERABA, MINAS GERAIS……..…….. 402
Caroline Almeida, Ailton Junior and Viviane Falcão

49. PRISONER'S DILEMMA GAME APPROACH TO DECISION OPTIMIZATION IN COLLABORATIVE TRAJECTORY OPTIONS PROGRAM…….. 412
Leonardo Cruciol, John-Paul Clarke and Li Weigang

AIRPORTS AND AIRLINES PERFORMANCE

50. ANÁLISE ESTRATÉGICA DA FUSÃO DAS COMPANHIAS LAN E TAM: UMA ABORDAGEM DA STRATEGIC VARIANCE ANALYSIS……..... 422
Luiz Alves and Carlos Henrique Rocha
51. O DIMENSIONAMENTO DO AEROPORTO DE RIBEIRÃO PRETO E SUAS LIMITAÇÕES OPERACIONAIS……..…….. 432
Ana Carolina Martins da Silva, Gabriela Carolina Martin Cerutti, João Gilberto Mendes dos Reis and Luiz Rodrigo Bonette

52. AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DOS PASSAGEIROS EM RELAÇÃO ÀS ATIVIDADES COMERCIAIS AEROPORTUÁRIAS UTILIZANDO NET PROMOTER SCORE……..... 443
Lenice Mirian Da Silva, Giovanna Miceli Ronzani Borille and Michelle Carvalho Galvão Da Silva Pinto Bandeira

AIRLINES REGULATION AND MANAGEMENT

53. ESCOLHA DE AERONAVES PARA UMA COMPANHIA AÉREA REGIONAL: UM MODELO DE OTIMIZAÇÃO INTEIRA AJUSTADO……..……. 451
Thiago Dias De Jesus, Manuel N. Dias Barcelos Júnior, Mateus Rodrigues Miranda, Sergio Henrique Da Silva Carneiro and Victor Rafael Rezende Celestino

54. BUILDING COMPETITIVE ADVANTAGE THROUGH SUSTAINABLE AVIATION FUELS…….……..… 460
Jackeline Oliveira and Rafael Igrejas

55. USO DE SISTEMA DE INDICADORES PARA EXPANSÃO DE REDE DE AEROPORTOS - ESTUDO DE CASO DO PLANO AEROVIÁRIO NACIONAL…….……. 470
Danielle Mota, Fabiana Todesco, Leandro Silva, Marcelo Vilela and Rubem de Paula

56. STATISTICAL COMPARISON ON FAIRNESS FOR HORIZONTAL EFFICIENCY IN TMA AREA FOR BRAZILIAN AIRLINES: CASE STUDY OF SDU-CGH…….…….……..481
Wallace Souza, Cláudio Jorge Pinto Alves, Marcelo Xavier Guterres, Mayara Condé Rocha Murça

ENVIRONMENT

57. COMPARAÇÃO ENTRE A EMISSÃO DE CO2 COM O USO DO AUTOMÓVEL E DO AVIÃO PARA O TRECHO SÃO PAULO/SP – RIO DE JANEIRO/RJ……..... 488
Barbara Azevedo and Taíza Sordi

58. GERENCIAMENTO DE RUÍDO AEROPORTUÁRIO: O MONITORAMENTO INDIRETO DE RUÍDO AERONÁUTICO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DO IMPACTO…….… 499
Edson Silva and Bruna Costa
59. GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS EM AEROPORTOS DE MÉDIO PORTE: ESTUDO DE CASO NO AEROPORTO INTERNACIONAL DE CAMPO GRANDE, MATO GROSSO DO SUL……..… 509
Ana Flavia Tavares, Damiana Botelho, Jose Carlos Aravechia Junior and Leiliane Silva

CHALLENGES ON THE WAY TO A SUSTAINABLE AIR TRANSPORT SYSTEM

Johannes Reichmuth
DLR Institute of Air Transport and Airport Research, German Aerospace Center, German

ABSTRACT
The global aviation system is currently facing major challenges. With increasing prosperity in many dense populated regions of the world, rising demand for air transport services is expected. What does this growth mean for the existing infrastructure on the ground and in the airspace globally, regionally and locally? Which approaches are seen to avoid the expected capacity bottlenecks with further growth of aviation? What kind of new aircraft we can expect in the long term. How can the climate impact of aviation be reduced and how can noise and air pollutants be minimized in the vicinity of airports? The presentation tries to give an overview of some possible options for the future development.

1. BIOGRAPHY

Prof. Dr. Johannes Reichmuth is director of DLR Institute of Air Transport and Airport Research and Chair of Air Transport and Airport Research at the Institute of Transport Science of the RWTH Aachen University.

As a physicist at the Max-Planck-Institute for Fluid Dynamics he received his Dr. rer. nat. from the University of Göttingen. At DLR he worked on real-time air traffic management simulations but also on fast time simulations for capacity assessments of airport systems. His research focuses on assessment of air transport system development options and on the airport system as a representative of a multi-modal traffic node. He has been Commissioner of the Performance Review Commission of EUROCONTROL for two periods. He is member of ACARE groups on co-modality, safety and security.

ADAPTIVE INTERFERENCE MITIGATION IN GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS

Renbiao Wu
Civil Aviation University of China (CAUC), Tianjin, China

ABSTRACT
This talk mainly focuses on adaptive interference mitigation techniques for global navigation satellite systems (GNSS) in the time, domain, spatial and spatial-temporal domains. According to ICAO, GNSS (Global Navigation Satellite Systems) is a key contributor to Performance Based Navigation (PBN). However, the performance of GNSS can easily be impacted by various intentional and unintentional interferences. The various types of interference, including jamming, spoofing, multipath and pulsed interference, and the corresponding adaptive interference mitigation methods for these interferences will be discussed in this talk.

1. BIOGRAPHY

Prof. Dr. Renbiao Wu, vice president of Civil Aviation University of China (CAUC), Tianjin, Professor and Director of the Tianjin Key Lab for Advanced Signal Processing at Civil Aviation University of China. He received his B.Sc. and M.Sc. from Northwest Polytechnic University in 1988 and 1991, respectively, and Ph.D. from Xidian University in 1994, all in electrical engineering. He worked in Imperial College London, University of Florida, and Virginia Tech as Distinguished Research Scholar, Visiting Professor, and Postdoctoral Follow for five years. His research interests include adaptive array signal processing, spectral estimation with their application to GNSS and radar. He has published over 300 papers and ten books or book chapters. He was the recipient of the National Outstanding Young Investigator Award in 2003 in China

MATHEMATICAL TOOLS FOR TRAJECTORY MODELING AND DESIGN

Daniel Delahaye
Ecole Nationale de l'Aviation Civile, Toulouse, France

ABSTRACT
This talk presents different mathematical tools for trajectory modeling and design. Trajectories are objects belonging to spaces with infinite dimensions. Thus one must develop methods to reduce the dimension in order to allow computers to manipulate such objects (decomposition, Bezier curves, polynomial basis, splines, B-splines, principal component analysis,...). We then present some
algorithms for trajectory design based on optimization approaches and wave front propagation. We present also algorithms for trajectory classification based on some trajectory dissimilarity metrics. Finally, some applications are given for the following frameworks: Strategic planning (large scale trajectory planning), Pre-tactical planning (weather avoidance, congestion reduction), Tactical planning (conflict detection and resolution algorithms), Airspace Major Flows Extraction and Non Conformal Approach Detection.

1. BIOGRAPHY

Prof. Dr. Daniel Delahaye is the head of the optimization and machine learning group of the ENAC Laboratory (French Civil Aviation University). He obtained his engineer degree from the ENAC school and did a master of science in signal processing from the national polytechnic institute of Toulouse in 1991. His obtained hisPH.D in automatic control from the aeronautic and space national school in 1995 and did a post-doc at the Department of Aeronautics and Astronautics at MIT in 1996. He got his tenure in applied mathematics in 2012. He conducts researches on mathematical optimization for airspace design and traffic assignment and works on air traffic complexity for more than 12 years with NASA. He is also very active on aircraft trajectory design for strategic, pre-tactical and tactical applications. He collaborates with MIT, Georgia Tech and NASA (USA).

UNLOCK THE PERSONAL SKY - SAFE AND ASSURED AUTONOMY FOR ON-DEMAND URBAN AIR MOBILITY

Peng Wei
Aerospace Engineering Department, Iowa State University, USA

ABSTRACT
Urban Air Mobility (UAM) is an envisioned air transportation concept, where intelligent flying machines could safely and efficiently transport passengers and cargo within urban areas by rising above traffic congestion on the ground. Aircraft companies such as Boeing, Airbus, Bell, Embraer, Joby, Kitty Hawk, Pipistrel, and Volocopter are building and testing electric vertical take-off and landing (eVTOL) to ensure UAM becomes an integral part of the daily life. Meanwhile, in order to make the UAM operations scalable, new airspace management concepts for highly dynamic and dense air traffic are being studied by NASA, FAA, Uber, Airbus, Embraer (Atech), etc. How can we design and build a real-time, trustworthy, safety-critical autonomous UAM ecosystem to enable large-scale flight operations in high-density, dynamic and complex urban airspace environments? In this talk the speaker will present studies to address this critical research challenge from areas in autonomy, control, machine learning and safety. Our multidisciplinary approach is based on bridging guidance and control, reinforcement learning, and Markov decision process.

1. BIOGRAPHY

Dr. Peng Wei is an assistant professor in Iowa State University Aerospace Engineering Department, with courtesy appointments in Electrical and Computer Engineering Department and Computer Science Department. By contributing to the intersection of control, optimization, machine learning, and artificial intelligence, he develops autonomy and human-in-the-loop decision making systems for air transportation and aviation systems. His current focus is on safety, efficiency, and scalability for both offline and online decision making in uncertain and dynamic environments. Recent applications include: Air Traffic Control/Management (ATC/M), Airline Operations, UAS Traffic Management (UTM), eVTOL Urban Air Mobility (UAM) and Autonomous Drone Racing (ADR). Prof. Wei received his Ph.D. degree in Aerospace Engineering from Purdue University in 2013 and bachelor degree in Automation from Tsinghua University in 2007. He is an associate editor for AIAA Journal of Aerospace Information Systems. He also serves in advisory boards for Airbus UTM and NASA Ames Research Center.

CONNECTED AIRCRAFT - THE FUTURE OF AIR NAVIGATION AND TRAFFIC CONTROL

Alexandre Gomes de Barros
University of Calgary, Canada

ABSTRACT
Conventional air navigation and traffic control systems rely on a centralized system based on radars for traffic monitoring, ground-based navigational aids for navigation, airspace organization into airways and sectors, and air traffic controllers to prevent aircraft from colliding on the air. The last decade has seen a rapid development of new technologies that allow for the decentralization of these systems, transferring responsibility for navigation and collision avoidance to on-board flight management systems. While this transition from centralized to decentralized control promises to bring many improvements in capacity, efficiency and safety, it may also bring unforeseen consequences that will have the exact opposite effect. This presentation introduces the main technologies involved and discusses the most important issues that air traffic service providers will need to address with their advent.

1. BIOGRAPHY

Dr. Alex de Barros has a unique combination of local experience in both Canada and Brazil and global experience on airport planning, economics and regulation. He is a Professor of Transportation Engineering at the University of Calgary, Canada, with research projects on airport and airspace planning and aviation safety. He has an extensive global career having worked on airport projects such as Rio de Janeiro/Galeão, São Paulo/Guarulhos, São Paulo/Viracopos, Toronto/Pearson, Montreal/Trudeau, Atlanta, New York (JFK), Seattle/Tacoma, Hong Kong, Seoul/Incheon and others. He was the Director of Airport Infrastructure of the Brazilian National Civil Aviation Agency (ANAC) between 2007-2010, where he was responsible for the technical activities on regulation and oversight of the Brazilian airport system, including aerodrome design standards, aerodrome operations, passenger terminal operations and security.

APPLICATION OF AI AND MACHINE LEARNING TO AUTOMATED AIRCRAFT SEQUENCING AND MERGING IN TMA

Annie Liang
University of South Australia (UniSA), Australia

ABSTRACT
Air traffic congestion is one of the most challenging problems in the current air transportation system. Heavy traffic congestion not only causes economic loss but also pollution. Some new operational concepts were proposed to enhance capacity. Enhancing automation in the tactical and pre-tactical levels of Air Traffic Management (ATM), reducing the controllers' intervention through advanced decision support tools is regarded as an important approach to the digital transformation of the future ATM system. In this presentation, the experience of the application of Artificial Intelligent (AI) and Machine Learning (ML) technologies to solve the congestion in TMA will be shared with the audiences. An interdisciplinary approach is applied to solve the problem. Topics cover the innovation of RNP-based point merge route structure with trajectory clustering, the mathematical optimization formulation in trajectory planning, heuristic algorithm for conflict detection and resolution, and the reinforcement learning approach to solve the intelligent decision-making inside the sub-system. Some experiments under the test condition will be discussed in details. Finally, conclusions and future work will be listed

1. BIOGRAPHY

Dr. Annie LIANG is a lecturer in the University of South Australia (UniSA). She obtained her Ph.D. degree in Applied Mathematics at the Aeronautics-Astronautics Doctoral School (EDAA), ISAE-SUPAERO & University of Toulouse, in Feb. 2018. Then, she did a short post-doc research in Optimization and Machine Learning Group at ENAC research lab, Toulouse, France. Between 2006 to 2014, she was senior lecturer, researcher and ATC instructor at Civil Aviation University of China, Tianjin, China. She holds the Chinese Air Traffic Control (ATC) license from 2008. Her current research interests include Trajectory-Based Operation, Intelligent Air Traffic Management, An interdisciplinary approach for safe and green flight path, and Unmanned traffic management.

CARBON EMISSIONS TRADING SYSTEMS AND THE AIR TRANSPORTATION BUSINESS DYNAMICS: ECONOMIC MODELING AND IMPACTS ASSESSMENT

Cel. Antonio Marcio Ferreira Crespo
Concordia University Institute for Information Systems Engineering, Canada

ABSTRACT
Environmentally sustainable development is globally recognized as a critical condition for the continuing habitability of the planet, and such fact has been consistently addressed in several international efforts aimed at implementing universally agreed frameworks able to support industry development and protect the environment concomitantly. In such scenario several regions, countries, states and cities designed and implemented market mechanisms targeting GHG emissions reductions and/or financial compensations for above-cap emissions, which includes carbon-trading schemes. And although there exist studies stating that such schemes are amongst the most cost-effective tools for reducing CO2 emissions, the conclusions on the impacts of Emissions Trading Systems (ETS) on air transportation business dynamics are far from being universally agreed upon. As such, the present keynote discusses some of the state-ofthe-art findings regarding the ETS implementation impacts on the air transportation business dynamics.

1. BIOGRAPHY

BSc Aeronautical Sciences by the Air Force Academy and BSc at Federal University of Santa Catarina. Postgrad Diploma by the Aeronautics Institute of Technology. MSc in Computer Science by the University of Brasilia. He served as Executive Secretary of the Commission for the Preparation of the Brazilian Airspace Control System for the FIFA 2014 World Cup, as member of the Special Operations Committee of the National Commission of Airports Authorities, and as Deputy-coordinator of the Olympics 2016 Air Transportation Operations Command and Control Center. Former Air Navigation Commissioner at the International Civil Aviation Organization (ICAO) and Alternate Representative of Brazil to ICAO Council. Also acted as Head of the Operations Planning Division and Executive Secretary of the Project Committee in the Brazilian Department of Airspace Control. Currently Graduate Science Teaching and Learning Fellow and PhD Program Researcher at Concordia University Institute for Information Systems Engineering.

FAST PROTOTYPING OF WEB BASED COLLABORATIVE PLATFORM FOR HELICOPTER PILOTS

Vivian Chiodo Dias
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo/SP, Brasil
Phone: +55 11 3103-4600 ext. 1261, vdias@atech.com.br, Fax: +55 11 3103-4601

Beatriz da Mota Bonanno
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo/SP, Brasil
Phone: +55 11 3103-4600 ext. 1261, bbonanno@atech.com.br, Fax: +55 11 3103-4601

Wilson Roberto Freire Rosa
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 2º andar, São Paulo/SP, Brasil
Phone: +55 11 3103-4600 ext. 1293, wrosa@atech.com.br, Fax: +55 11 3103-4601

José Airton Patricio
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 2º andar, São Paulo/SP, Brasil
Phone: +55 11 3103-4600 ext. 1293, jpatricio@atech.com.br, Fax: +55 11 3103-4601

ABSTRACT

The current airspace structure is designed to prioritize air traffic services for flights taking place in controlled airspace, where ATC provides flight and alert information. However, flights performed outside the control areas receive no information from the ATC, especially if the flight occurs in class G airspace. São Paulo, for example, earned the title of metropolis of helicopters, surpassing New York with the number of aircrafts registered, the lack of important information, especially for helicopter pilots has been looking for alternatives to increase situational awareness and access all the information needed to make the flight not only efficient but mainly safe. In this work we propose a comprehensive process for fast prototyping of web based collaborative platform making extensive use of a secure messaging platform and single page application frameworks to achieve modularity and reuse in the construction of full fledge applications with flexible business rules.

Keywords: Fast Prototyping, VTOL, IoT, Ontology, Situational Awareness.

RESUMO

O formato da estrutura atual do espaço aéreo brasileiro foi pensado para priorizar serviços de tráfico aéreo para voos de aviões em espaço aéreo controlado, onde o controle de tráfico provê informação de voo e alertas. No entanto, voos que não são executados dentro de áreas controladas não recebem informações do ATC, especialmente voos que acontecem em espaços de classe G. São Paulo ganhou o título de metrópole dos helicópteros, ultrapassando Nova Iorque em números de aeronaves registradas. A falta de informação para pilotos de helicópteros fez com que estes procurassem fontes alternativas de informações essenciais para performarem suas tarefas em segurança, procurando consciência situacional. Neste artigo é apresentado uma ferramenta desenvolvida usando a metodologia de prototipação rápida para atender e concentrar informações necessárias para gerar consciência situacional para aqueles pilotos.

Palavras-chave: Prototipação rápida, VTOL, IoT, Ontologia, Consciência Situacional.

1. INTRODUCTION

With the increasing flow of helicopters in the proximity of Congonhas airport, the Department of Airspace Control (DECEA) implemented the Helicopter Control to reduce the risk of traffic conflict between IFR (Instrument Flight Rules) aircraft operating in the airport and the helicopters near the landing approach ramps at the airport's runway 17 (El País, 2016).

Several types of non-embedded applications have been identified for all kinds of supplementary information for navigation (ex.: eWAC Sul, Google Earth), weather (ex.: Camerite, RedMET), aeronautical information (ex.: FPL BR, AISWEB) and even for fuel calculation. For message exchange, social networking was the only resource found for sharing useful information for flight. Concentrating information for pilots is important to enhance the situational awareness and diminish time that they are out of focus searching for another application for a different information, decreasing the chances of an accident.

Building a prototype of a collaborative platform that covers most of their resources is a viable, value-added solution by optimizing, within a single platform, relevant data to increase situational awareness of the users of this system and allow the pilot to have more information to assist him during the flight, not interfering with the equipment on board the aircraft. In addition, one of the expected benefits of implementing this prototype is to minimize the information gap considered essential for helicopter operation whether in a controlled area or not. The use of this prototype during flight does not exempt the pilot in command from following the air traffic rules established by the competent authority and does not replace the mandatory see and avoid VFR flights.

Greater assertiveness in system requirements definition and gathering using navigable and/or functional prototypes is an unquestionable fact. In the work of Schön et al., 2017, an attempt is made to define the most used artifacts in Agile Requirements Engineering, 27 papers were analyzed, and two artifacts stood out, the use of User Story was identified in 56% of the papers and Prototype, in 41%. Prototype gains more prominence with the categorization made by the studies in different types of fidelity (low, mid and high fidelity) and the use terms as prototypes, mock-ups and wireframes.

For prototype implementation, tools and frameworks were selected and integrated in the solution and architectural styles such as the use of micro services and single page applications were explored, forcing data partitioning by domain, ensuring scalability, distribution and platform independence. To ensure a precise domain and fast creation of resources for manipulating data and information from servers, Atech has implemented a way of consuming an Ontology, which is a modeling of a knowledge domain with its entities semantically connected, and automating the creation of a database and workflows to enable orchestration among different micro services servers. In the specific case of componentization and configuration item management, the Building Blocks concept already applied to systems developed by Atech was used and improved following the processes described in Souza et al., 2016.

The process presented in this article will cover the construction of visual components and the organization of the services used, but will keep the research of the system's interface aside given that this paper will not focus on the construction and creation process of UX. This article also discusses Atech's gradual development of the perception about the product delivered to the final user and the expected outcomes from this development style. This article also involves a way of determining a domain in a very early stage of development by creating an ontology and automating more than half of the creation of servers and interoperability tools among them.

In this article, methodology of how the platform was developed will be explained. Next the results will be shown and followed by comments, conclusions and future work to enhance the prototype.

2. METHODOLOGY

Vertical Take-Off and Landing (VTOL) situational awareness is built on a shared common view of the aircraft in urban airspace, enabling pilots to collaborate in providing flight and weather information for greater safety and accuracy. Using GPS (Global Positioning System) of mobile devices, the helicopter's location is shared with the entire network of devices on the collaborative platform and each pilot can be aware of the location of other plots in real time. Within this scenario, application-based information sharing offers a new option to assist plots in the planning, flight, landing and takeoff phases.

The collaborative platform represents how devices, people and systems collaborate to achieve their goals. It consists of a connectivity solution between devices people and systems that promotes autonomous and collaborative actions of these agents in an essentially distributed ecosystem.

In order to accomplish this ambitious goal a pragmatic approach was planned and executed. The process definition should be complete and include all the supporting tools.

Some supporting processes were already defined and well established in the development and production environment. The main supporting process is described in Souza et. al, 2016. The foundation concept and systematic of the building block is the reuse of coded knowledge[] Other processes were defined inside the scope of this work, such as the co-creation process and prototype construction, but only the construction phase will be approached in this article.

From the tools and framework perspective, explorations were carried out in a small group of strict controlled projects that included production, proof of concept, investment and prospective projects.

Three phases were defined as shown in Dias et al. (2018) and for this solution, in the development phase will be presented the applicability of studies with ontologies in the creation of business domains and the use of a secure messaging platform for communication.

Data communication and availability is made through the secure messaging platform created by Atech LABs team, which uses the Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP), for XML text message exchange and a peer-to-peer encryption layer, ensuring security and integrity in the conversation between the parties.

In Figure 1 the final architecture of the system with the mobile environment and server infrastructure is presented. In the implementation of the IoT platform, various devices connect to the infrastructure located on a cloud machine and from there communicate with server nodes to pass on information. Within this node, a workflow, as described in Dias et al. (2018), orchestrates requests depending on the type of information exchanged. It is widespread for services such as database access, event history writing and information sharing through a common communication layer.

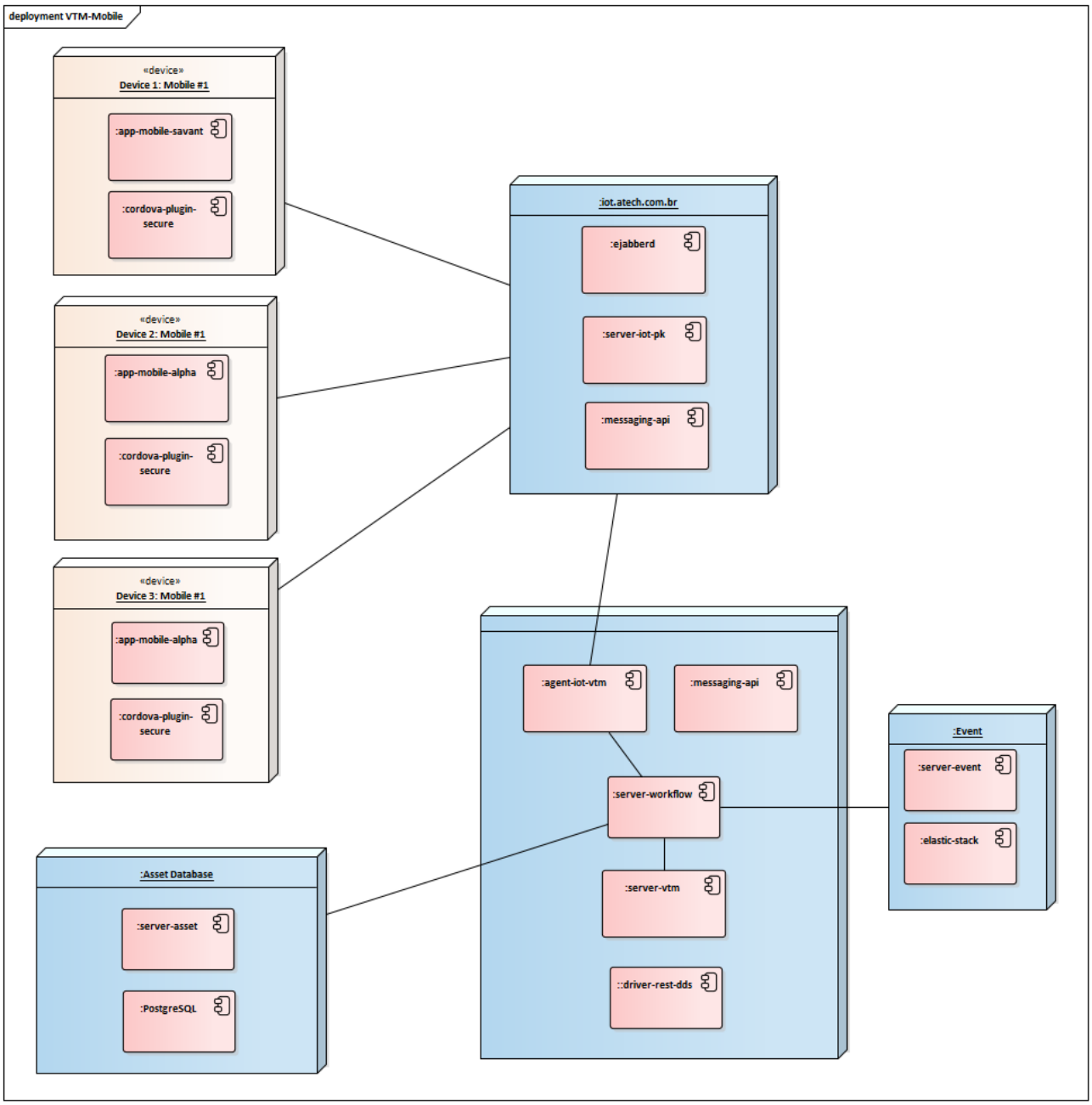


Figure 1: IoT platform architecture.

3. RESULTS

To achieve a generic process for development of prototypes of any domain, it is necessary to create a database as generic as for the addition of data of any type (Dias et al., 2018). The structure created consists of four relational tables, with one pair related to the metadata and its representations stored as Asset and the other pair related to the existing associations between them and its types. The metadata has base attributes such as id, name, description, the creation date and who created it. It is also possible to create any kind of extra data like the type or field elevation of an Airport or the length and width of a Runway.

The associations between Assets differ from the kind created by associations in conventional SQL databases. There is one table for the types of associations in the system and one that holds the associations themselves. It is possible to have relationships one-to-one or one-to-many. A model based on subject, predicate and object implements the meaning of all associations that are stored.

In this domain the database was built with the use of ontology that explicitly specifies a conceptualization (Persson et al., 2017). The

advantages of using ontologies is to assure that the subject-predicate-object concept will not be violated, since ontologies are built in such a form, it can store beyond data, it stores knowledge. The mechanism used by Atech not only ensures the storage of knowledge but also guarantees that interoperability to exchange such knowledge among servers involved in the system, creating along with the database, a series of workflow archives for basic manipulation tasks. These workflows will be used by Conductor. Having the database built, a server with micro services developed in Java allows access to the Assets by the basic methods of inserting, updating and deleting, and processing of data from user inputs by the mobile application. The use of Dropwizard as a framework for developing RESTful web services helps the application remain lean and focused, reducing both time-to-market and maintenance (Coda, 2018).

To handle all requests and reduce coupling between services, an orchestrator helps manage and coordinate tasks, centralizing, tracking and automating the workflows' execution. Conductor, an open source orchestrator created by Netflix, allows you to create complex processes or business flows from a JSON structure.

A workflow defines a series of tasks that need to be executed, its definition are versioned providing flexibility in managing upgrades and migration (Baraiya et al., 2018).

The orchestrator was used for the services of the mobile prototype application called ALPHA.

The prototype was built with hybrid development framework Cordova, an open source mobile development framework that allows the use of web technologies such as HTML, CSS and JavaScript for cross-platform development (Cordova, 2019), for the speed and ease in creating the application and already be compatible with Android and iOS operational systems. Using plugins, the app can access native components of the phone or use non-platform features. To use the implementation of the secure messaging, a plugin was created, enabling the creation and verification of pilots and the exchange and receipt of messages with de centralizer or any node in the platform.

The application send message to a centralizer called Agent, which process and/or passes the information to the orchestrator. In the system presented, the Agent is responsible for registering the pilot in the database, reviewing the location of the heliports present in the pilot's map view, provided by the airspace information server (Koroishi et al., 2017), saving the flight plans created and to distribute the location of all aircraft that are willing to share it.

Users positions are archived in a historical database and can be reviewed by the pilot or used for analysis if suspicious activity is occurring. As a collaborative platform, all users should be able to share their mobile phone's GPS location and then benefit from the viewing of other helicopters in the application.

The historical base created with the ElasticSearch database, which allows you to save data as documents and using the entire ElasticStack, it is possible to show the history in a map and make complex searches related to the area and date of an event, generating reports for the pilot himself or some supervisory entity.

For the approval of the ALPHA prototype (Aplicativo de Logística Para Helicópteros Atech), the interface is designed to be simple and fast for the pilot to use without losing any important information at the time of flight. The use of the visual framework called Ionic with Cordova enables rapid visualization of interfaces, and can change the color scheme and positioning of components and reuse common components such as registration screens, login and map visualization. Ionic allows you to create native interface for applications, leaving them within the guidelines described by each operating system, making the user feel no difference in use. In Figure 2 shows the initial map view of the pilot.



Figure 2: Initial visualization of ALPHA.

In Figure 3, the sequence for scheduling a landing or takeoff time on a heliport is shown. The pilot chooses the heliport and checks the information and the building's status and weather on the spot, and then a schedule for takeoff or landing can be made.

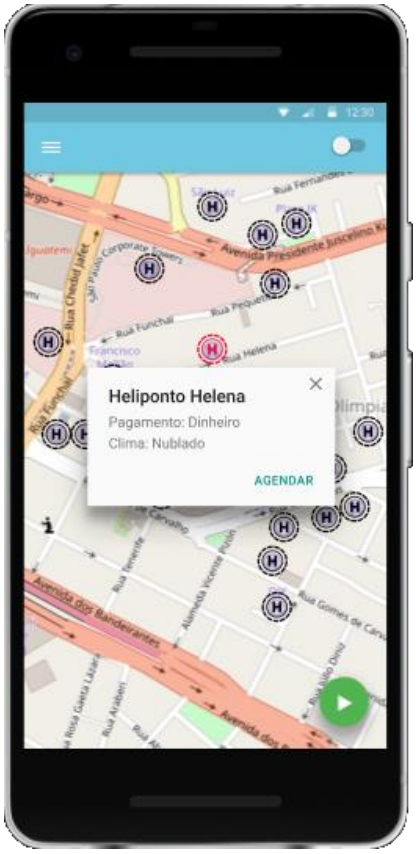


Figure 3: Scheduling a heliport in ALPHA.

Position sharing was designed in a simple way, a quick-triggering feature to avoid damaging pilots' flight time. Before the pilot has the whole view, the application asks the consent for use the app during flight. It is necessary that the pilot always pay attention to their surroundings. The consent alert is presented in Figure 4.

After accepting the term, when sharing is enabled, the pilot in question gains visibility from nearby helicopters while flying. As you approach the destination, a popup appears for the pilot showing location information as shown in Figure 5.



Figure 4: Term of responsibility.

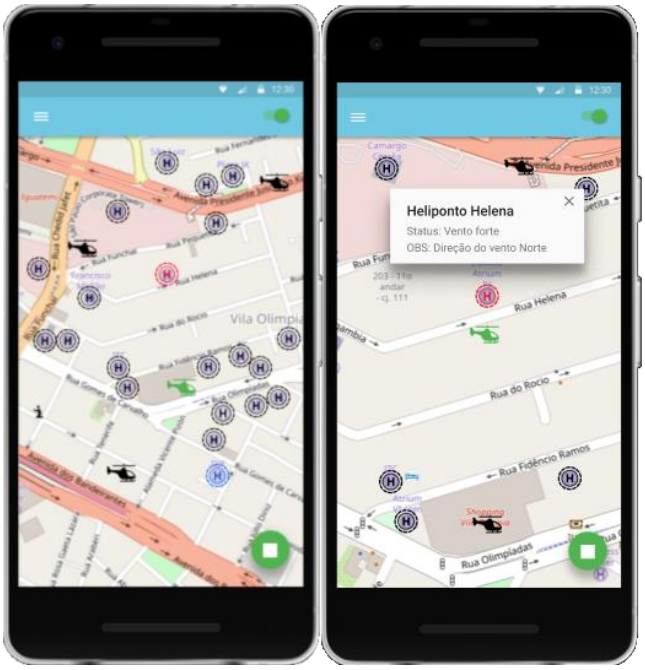


Figure 5: Flight of a helicopter with position sharing enabled.

As mentioned earlier, DECEA created in 2004, the area surrounding the runway 17 of Congonhas airport, called HeliControl, has a capacity for six simultaneous helicopter flights, according to the frequency of communication with control organization, and is an area that covers regions of the city of Sao Paulo that have a high flow of aircrafts (El País, 2016). To enter this controlled airspace, pilots need authorization. As the communication platform is carried out via VHF radio, contact if often impaired duo to frequency congestion. When this happens, both controllers and pilots need to change their schedules causing delays. The area can be visualized on the map and in Figure 6 is represented with maximum capacity reached.



Figure 6: Restriction area in runway 17 of Congonhas airport.

4. COMMENTS AND CONCLUSIONS

The platform aims to share information among users, increasing situational awareness for safer VTOL flights.

Flight restrictions and aircraft capacity in certain areas will be updated. Since its creation in 2014, the area surrounding the runway of Congonhas airport has undergone several capacity changes, ranging from 10 to 6 simultaneous helicopters, but has never undergone any overhaul. With the evolution of aircraft technology, navigation procedures and VTM system services for submitting flight plans

to control organization in an automated manner would enable a review of the Helicontrol area to increase helicopter flight capacity.

Features such as weather information (aeronautical and shared), aeronautical data, better heliport information and navigation data will be implemented. A module is planned in which heliports administrators can provide certain information about local weather conditions, point status, schedule management, usage pricing and integration with microclimate information and NOTAM (Notice to Airmen). When a certain level of maturity is reached, some performance and interface tests will be performed to improve functionality.

5. REFERENCES

APACHE SOFTWARE FOUNDATION. "Cordova Overview". Available at: <https://cordova.apache.org/docs/en/latest/guide/overview/>. Accessed on 29 Jan 2019.

BARAIYA, V. et al. "Netflix Conductor: A microservices orchestrator". Available at: <https://medium.com/netflix-techblog/netflix-conductor-a-microservices-orchestrator-2e8d4771bf40>. Accessed on 09 Aug 2018.

CODA, H. Yammer Inc. Dropwizard Docs. Available at: <http://www.dropwizard.io/1.2.2/docs/about/index.html>. Accessed on 31 Jan. 2018.

DIAS, V. C. et al. "Fast prototyping process of web based air traffic applications". XVIII Sitraer, 2018, Sao Paulo, Brazil.

EL PAÍS. "São Paulo: a metrópole dos helicópteros". Available at: <https://brasil.elpais.com/brasil/2016/07/14/politica/1468519702_827813.html>. Accessed on 29 Jan. 2019.

HESSE, W. "Ontologies in the Software Engineering Process". 13. 2nd GI-Workshop on Enterprise Application Integration (EAI-05), 2005.

HOFFERER. "Achieving Business Process Model Interoperability Using Metamodels and Ontologies". ECIS 2007 Proceedings. 174, 2007.

KOROISHI, G. O. et al. "Information services for air space elements". XVII Sitraer, 2017, Rio de Janeiro, Brazil.

PERSSON, C. et al. "Engineering and business implications of ontologies — A proposal for a minimum viable ontology". *13th IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE), p.864-869, 2017,* Xi'an, China.

SCHÖN, E. M. et al. "Agile Requirements Engineering: A systematic literature review". Computer Standards and Interfaces, p. 79-91, 2017.

SOUZA, E. C. et al. "Toward Systematic Software Reuse: From Concept to Modular Software Implementation". Transdisciplinary Engineering, 2016.

HLA INTERACTION IN LVC SIMULATION ENVIRONMENT

Mariana Wong Yoshikawa
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rocio 313, 5o andar, São Paulo, SP, (11)3103-4600, myoshikawa@atech.com.br

Fabio Seiti Aguchiku
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rocio 313, 5o andar, São Paulo, SP, (11)3103-4600, faguchiku@atech.com.br

Valter Heitor Cadore
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rocio 313, 5o andar, São Paulo, SP, (11)3103-4600, vcadore@atech.com.br

ABSTRACT

The environment consists of a platform that integrates Live, Virtual and Constructive (LVC) elements. It was developed in order to allow participants to enter and leave the simulation scenario without degrading it. The HLA (High Level Architecture) is a simulation pattern mainly in military simulators. The main focus of this paper is to present the simulation tools integration process that utilizes HLA in LVC environment and possible simulation scenario given this integration.

Keywords: Simulation, LVC, HLA, Integration, Interoperability.

RESUMO

O ambiente consiste em uma plataforma que integra os elementos Reais, Virtuais e Construtivos (LVC). Foi desenvolvido com o objetivo de permitir os participantes ingressar e desligar-se da simulação sem degradar o ambiente de simulação. A arquitetura de HLA (*High Level Architecture*) é um padrão de simulação utilizado principalmente em simuladores militares. O principal foco deste artigo é apresentar o processo de integração de uma ferramenta de simulação que utiliza a arquitetura HLA no ambiente LVC e o cenário de simulação dado esta integração.

Palavras-chave: Simulação, LVC, HLA, Integração, Interoperabilidade.

1. INTRODUCTION

Due to great and complex demand for complex simulations for military exercises, solutions like the Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) Synthetic Theater of War (STOW) are presented for training and mission rehearsal (Tiernan, 1996). This environment created by the STOW is ideal for developing decision-making, planning and execution capabilities. It was developed in a simulated distributed context using Distributed Interactive Simulation (DIS).

In order to solve scalability problems, the United States Department of Defense (DoD) developed an architecture for exercises in large scale – High Level Architecture (HLA). This architecture became a standard for military simulations. Aguchiku et al. (2018) presented a simulation environment capable of integrating with real and simulated systems. In this paper, the simulation environment is developed to become compliant with HLA.

HLA is a common technical architecture specification to be used by all simulation classes, creating a basic structure for simulation interoperability (Dahmann, Fujimoto, Weatherly, 1998). Based in the premise that no simulation can satisfy all uses and user requirements, the architecture use the concept of federations. The federation is composed by simulation groups that interact with each other.

In a LVC simulation, there are three domains: Live, Virtual and Constructive (Aguchiku et al., 2018). The live domain is represented by the operating systems used in the simulation and their operators. The virtual domain is composed by simulation tools used to execute the scenarios. Finally, the constructive domain is achieved by systems that simulate the human behavior through system simulation, and infrastructures that allow the integration between the virtual and the real domain. In this scenario is possible to add, remove, substitute simulated elements to change the fidelity of the exercise perspective.

In the scenario constructed, the virtual domain is represented by the X-Plane flight simulator (X-Plane, 2018), the simulated flight data from the Flyback (Aguchiku et al., 2018). The real domain is represented by the pilots controlling the X-Plane simulators, and by the operating systems: SAGITARIO air traffic control system and AMAN (Arrival Management). Finally, the constructive domain is represented by the LVC Server, Radar Simulation and HLA Integration. A basic simulation scenario is shown in Figure 1. The paper goal is to validate the HLA integration in order to create a complex simulation environment for training and simulating in air traffic control.

This simulation environment can be used to familiarize operators with new systems on a controlled environment; to calibrate systems; to validate new operational scenarios. With HLA, it is expected different simulations, so an increase on the number use cases with the LVC solution is expected accordingly.

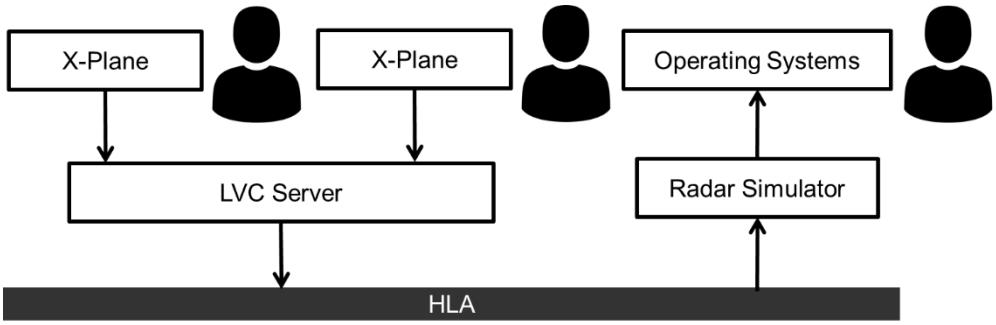


Figure 1: Basic simulation scenario example

2. METHODOLOGY

In this section, the components of the solution will be better explained.

X-Plane

The flight simulator developed by Laminar Research has a vast collection of aerodromes and airplanes models. Also, new models can be imported to the simulation. Depending on the model, it is possible to train the pilot in the same model he will use. Models provided by Laminar research have a highly detailed in 3D models of the inside and outside. In the eleventh version is possible to interact with the 3D cockpit and integrate it with Virtual Reality (VR) hardware, such as, Oculus Rift, HTC Vive and WMR). X-Plane was used on Aguchiku et al. (2018) because of its high-fidelity simulation. Depending on the configuration, X-Plane is a FAA (Federal Aviation Administration) certified training platform.

The HTC Vive VR System was used to provide a more immersive experience to the pilot. The system is composed by the VR headset, two movement sensors and two controllers. Besides the 360 degrees' field of view, the pilot can move freely inside the area marked by the two motion sensors. In order to integrate with the LVC, is recommended to set the camera to first person setting and set the instruments and panel to be interactive. The pilot can configure the SSR (Secondary Surveillance Radar).

In X-Plane configuration panel is possible to configure the flight data to be sent to the Server LVC via UDP as shown in the Figure 2.

Other simulators could be used replacing or together with the X-Plane simulator. There are simulators that are HLA compliant, for example, Titam.IM (war simulation sandbox), Steal Beasts (tank simulator) and Prepar3D (aviation, marine and land simulator). These human-in-the-loop simulators provide simulation with greater interaction.

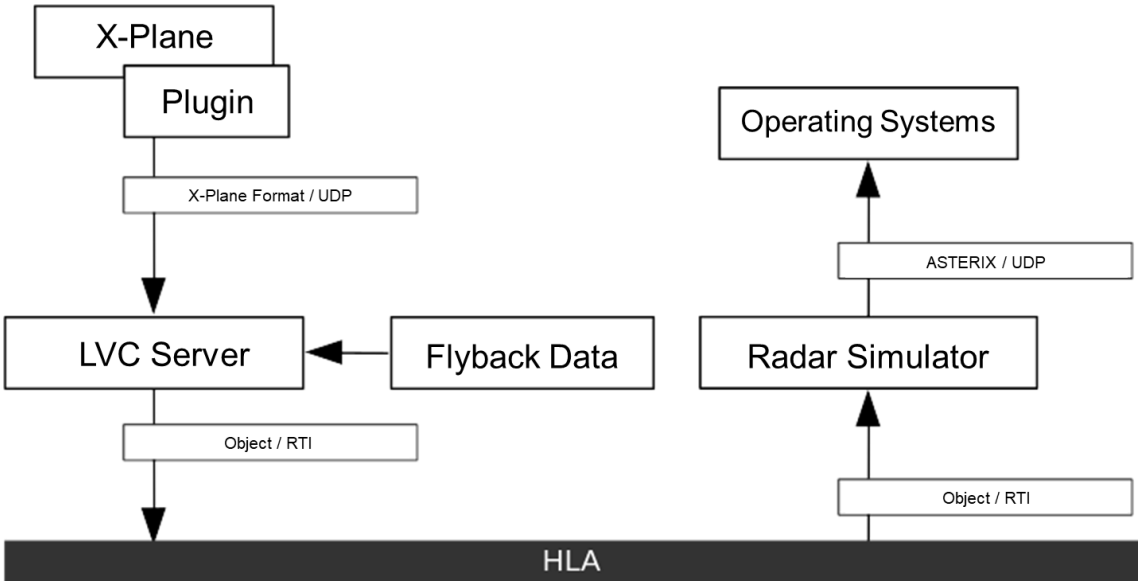


Figure 2: LVC Simulation network architecture

Server LVC

The LVC Server has two functions: process flight plan data received from X-Plane via UDP and simulate flight data collected from the Building Block used in Flyback. Both are published in the HLA integration.

Radar Simulator

The Radar Simulator receives the data transmitted by the LVC Server via HLA and sends it to the operating system via UDP as ASTERIX. The operating systems receives the data as a real signal, which means, it is possible to integrate real radar signals with simulated ones, creating a mixed environment.

HLA Integration

The integration provides a library to the LVC Server and the Radar Simulator to publish and receive data via RTI (Run-Time Infrastructure) using Portico (Portico, 2019) implementation. The HLA is formally composed by three components: the interface specification, Object Model Template (OMT) and HLA rules.

The interface specification describes six services provided during execution from RTI to federation and form federation to RTI: federation management, declaration management (managing data to be provided and needed by the federation during execution), object management, object ownership and attributes management, time management and data distribution management.

The OMT is composed by element descriptions or essential objects. Due to the goal of interoperability in the HLA, there are no restrictions to the content of the model. However, it is necessary to document the objects on both the federation and the federate. There are two types of objects, the Federation Object Model (FOM) and the Simulation Object Model (SOM). The FOM describes objects, attributes and interactions that the federate can offer.

The HLA rules specify important principles to the federation and the federate. Federations must contain the FOM in OMT format. During the execution, all objects must be represented by the federates and only one must have ownership at a time. The exchange of information between federates occur through the RTI and the interface

The HLA federation (Figure 3) is composed by three elements: the federation, the RTI and the RTI interface. The federate can be a computational simulation, human operated simulation or a support utilitarian (data collector or simulator display). The RTI provides interaction services between the federations, interaction management and support functions. Also, the RTI interface provides an interaction standard between federate and RTI, inquiry and respond to RTI interaction support services.

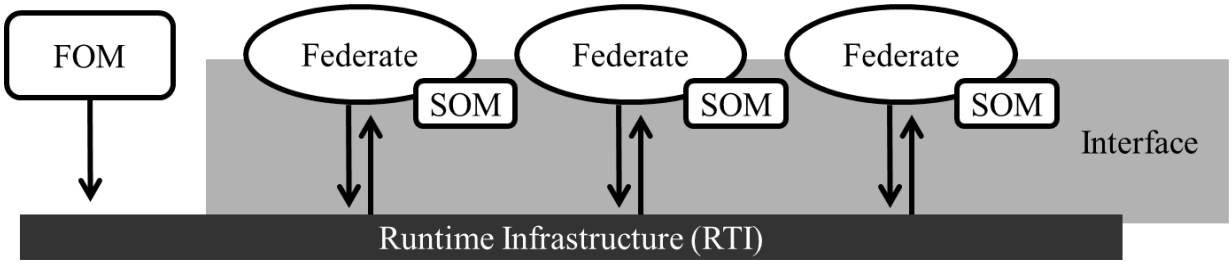


Figure 3: Federation and Federate

The HLA Integration manages federations and federates. The federate can create a federation where the simulation will be executed and joint it. If the federation name already exists, it just joins the created one. The federation awaits all the other federations to join, and when all are connected, the federate that created the federation register the sync point "ReadyToRun", communicating that the simulation will start. RTI announces the sync point to all federates when is the sync point and all federates. RTI confirms that all federates are in sync.

The federates can enable the time constraint and regulation. The regulation allows the federate to generate time-stamped-ordered (TSO) events and permits it to coordinate the time advancement. The time restriction allows a federate to receive TSO events. Those that didn't enable time restriction, receive the TSO events but without the timestamp information (HLA-Group, 2018).

The federate must register an object described in FOM and obtain its identifier before publishing it. The FOM used has the object Aircraft with the attributes: timestamp, latitude, longitude, altitude, axis X aircraft speed, speed axis Y aircraft, roll, pitch, and yaw and transponder information.

The HLA is more efficient than DIS in the in dispatch of data. DIS sends all data through the Protocol Data Units (PDUs) that transmit redundant data, while HLA only sends data that was updated (Ryan, 2003).

The solution from Portico broadcast the data through Jgroups library. It is possible to operate the HLA in LAN or WAN by setting the RTI.rid configuration file.

Operating Systems

The operating systems are used to visualize the data generated, providing a situational awareness of the simulation and the LVC simulation can be used to familiarize and train operators with these systems. For this solution two systems were used, SAGITARIO and V3D. AMAN consume the same data as SAGITARIO though the diffusion mode. Other systems could be integrated if they could receive ASTERIX messages via UDP or integrated through a federation in the RTI. The system SAGITARIO has the diffusion module that receives the message. The V3D receives the track through DDS (Data distribution Service), therefore it was necessary a driver to parse the message. The Simulation Radar integration is shown in the figure 4.

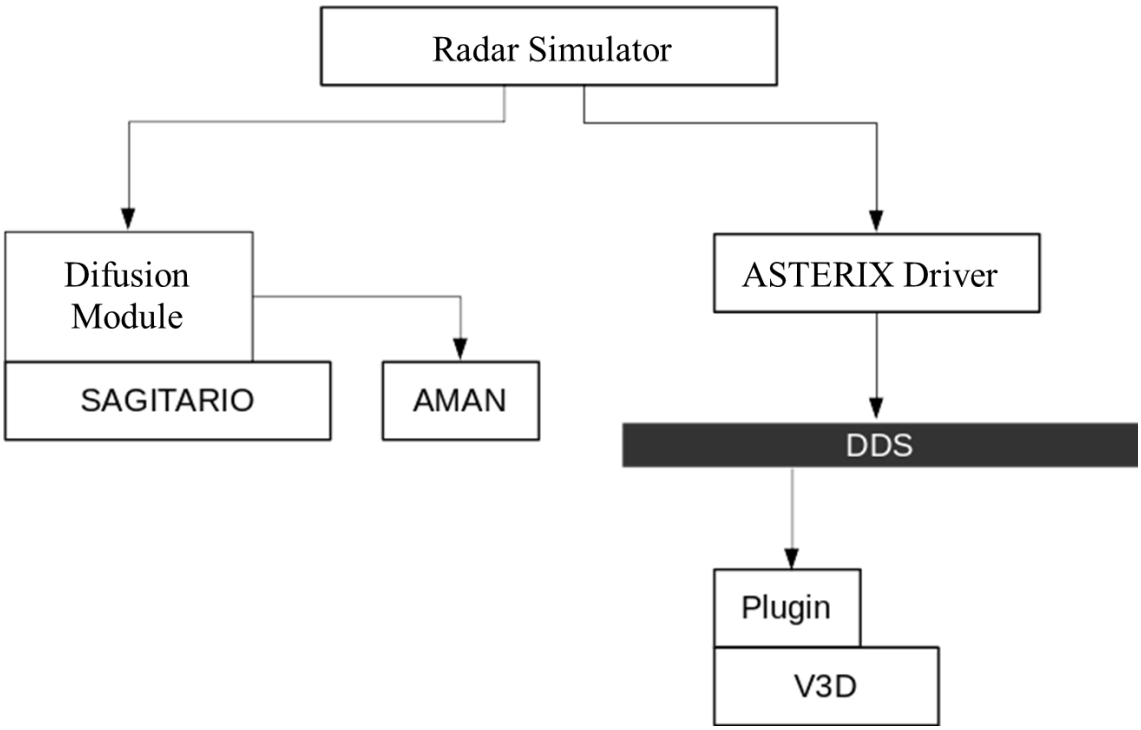


Figure 4: Operating Systems structure

3. RESULTS

The Solution presented in this article was implemented with success. The information from the transponder configured at X-Plane (Figure 5) simulator is seen in the SAGITARIO (Figure 6) and V3D (Figure 7). The result presented in Aguchiku et al. (2018) was achieved with HLA. Therefore, the simulation environment is currently able to readily integrate more systems in the simulation, thus providing different, more complete and complex scenarios than Aguchiku et al. (2018).

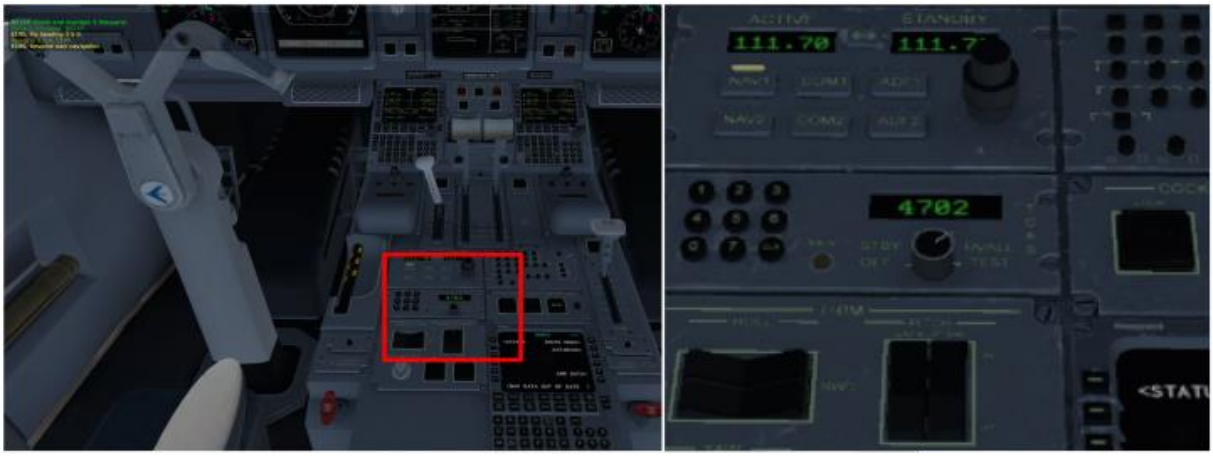


Figure 5: X-Plane Simulator Transponder

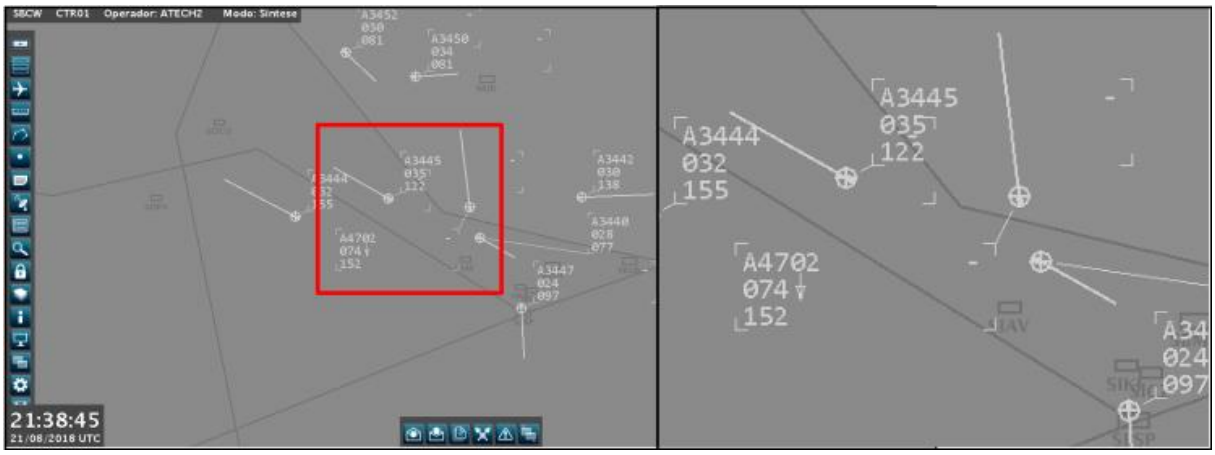


Figure 6: Track in SAGITARIO



Figure 7: Track in V3D

4. CONCLUSION

Some limitations were found in the HLA, once the sync point "ReadyToRun" is achieved, it is not possible to add federates that can receive object attribute updates to the federation. DIS allows to sync new elements during the exercise, however it does not have a time management, its use is focused in real time or near real time scenarios.

It is possible to have a scenario that operate with both DIS and HLA, using a gateway. Moreover, the RTI (Real-Time Innovations) developed an integration via DDS. In RTI (2019), it is mentioned as advantageous the flexibilization to developers to integrate: legacy systems architecture, embedded training operating systems, decision support and simulations that do not have defined open-wire standard.

Regarding the pilot experience, HTC Vive provide a higher immersive one compared to conventional screens or others VR hardware's with a joystick. Since pilot can interact directly with the panel through the controllers and move inside the cockpit.

In this solution it was possible to validate the construction of a complex simulation that can be used for training. The architecture allows other simulators to be integrated, for example, Microsoft Flight Simulator or other aircraft simulators, for example, X-Plane simulator, which can also simulate helicopters.

5. REFERENCES

AGUCHIKU, F. S. et al. Live, Virtual & Constructive simulation for pilot and air traffic controller training. In: SITAER Air Transportation Symposium, 2018, São J\São Paulo. XVII SITRAER Air Transportation Symposium, 2018.

DAHMANN, J. S. FUJIMOTO. R. M. WEATHERLY, R. M. The DoD High Level Architecture: An update. Proceedings of the Second International Workshop on Distributed Interactive Simulation and Real-Time Applications (DIS-RT '98) IEEE Computer Society Washington, DC, United States, 1998. p 32-40.

HLA-GROUP—Carnegie Mellon University. RTI Synopsis. Available at: <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/academic/class/15413-s99/www/hla/doc/>. Accessed at 28/01/2018.

PORTICO. The Portico Project. Available at: <http://www.porticoproject.org>. Accessed at 30/01/2019.

RTI. Can DDS help solve the distributed simulation integration challenge? Available at: <https://www.rti.com/blog/can-dds-help-solve-the-distributed-simulation-integration-challenge>. Accessed at08/03/2019.

RYAN, P. ZALCMAN, L. The DIS vs HLA Debate: What's in it for Australia? SimTect 2003. Simulation Industry Association of Australia. 2003.

TIERNAN, T. R. Synthetic Theater of War (STOW) Engineering Demonstration-1A (ED-1A) Analysis Report. Technical Report 1722. Naval Command, Control and Ocean Surveillance Center. 1996.

X-PLANE. X-Plane 11 Flight Simulator. Available at:<http://www.xplane.com>. Accessed at: 02/02/2019. 02/02/201902/02/2019s 14:00.

DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE BAIXO CUSTO PARA UMA AERONAVE DE PEQUENO PORTE

Eduardo Aben-Athar Freitas
Universidade de Brasília
Faculdade UnB Gama
eduardoafreitas@gmail.com

Mateus Rodrigues Miranda
Universidade de Brasília
Faculdade UnB Gama
mateusmiranda@unb.br

ABSTRACT

A flight simulator is composed of a real or theoretical model, a device by which the model is implemented and an application scheme, in which the model and device are combined using a technique of use to achieve a particular purpose. The present research project has as its scope the design of a small aircraft simulation platform and low-cost first-person UAV control. In this case, with the design of the workbench and ergonomic and anthropometric analyzes for a flight simulator cockpit and its assembly details with the instruments, structure and systems needed to make it. In a next phase, it is intended to manufacture the necessary elements for the complete construction of the aircraft simulator. It also aims to disseminate multidisciplinary learning in the Aerospace Engineering course at the University of Brasilia - Campus Gama and its use in the improvement of research and projects in the area of Aerospace technology.

Keywords: Ergonomics, Aeronautical Cockpit, Flight Simulator, Aerospace Engineering.

RESUMO

Um simulador de voo é composto de um modelo, real ou teórico, um dispositivo através do qual o modelo é implementado e de um regime de aplicação, no qual o modelo e o dispositivo são combinados através de uma técnica de utilização para atingir um objetivo particular. O presente projeto de pesquisa tem como escopo a concepção de uma bancada de simulação de aeronaves de pequeno porte e controle de VANTs em primeira pessoa e de baixo custo. Neste caso, com a concepção da bancada e análises ergonômicos e antropométricos para um cockpit simulador de voo e o seu detalhamento de montagem com os instrumentos, estrutura e sistemas necessários para a confecção. Em uma próxima fase, pretende-se, fabricar os elementos necessários para a construção completa do simulador aeronáutico. Tem o objetivo também de disseminar o aprendizado multididático no curso de Eng. Aeroespacial da Universidade de Brasília – Campus Gama e sua utilização no aprimoramento das pesquisas e projetos na área da tecnologia aeroespacial.

Keywords: Ergonomia, Cockpit Aeronáutico, Simulador de Voo, Engenharia Aeroespacial.

1. INTRODUÇÃO

O uso de simuladores de voo vem sendo empregados desde o início da aviação no treinamento de pilotos e até tripulações completas. A evolução da tecnologia utilizada em sua concepção baseou-se nesse objetivo e nos dias de hoje estão sendo utilizados também no projeto e avaliação de aeronaves e sistemas embarcados com grande êxito. Neste caso, os simuladores de voo podem ser utilizados em vários estágios desde a concepção até a fabricação e posteriores melhorias da aeronave, sendo tratado como uma ferramenta de engenharia, que além de poupar tempo e dinheiro, ainda auxilia na investigação de acidentes aéreos, na proposição de modificações na aeronave e na verificação de desempenho e conformidade.

A característica comum aos simuladores é a tentativa de fornecer uma imitação operacional da atividade real. Pode-se ter vários níveis de abstração e de envolvimento humano em uma simulação. Isso se dá, principalmente com o nível de tecnologia e custo envolvidos no projeto do simulador.

Como o propósito dos simuladores de voo é simular o comportamento de uma aeronave eles envolvem um baixo nível de abstração e um alto nível de envolvimento humano.

A essência de um simulador de voo é a criação de um modelo dinâmico do comportamento de uma aeronave de modo a permitir que o usuário humano interaja com o simulador como parte da simulação.

A forma da simulação envolve uma combinação de ciência, tecnologia e arte para criar uma realidade artificial com o propósito de pesquisa, treinamento ou diversão.

Os três principais pontos a serem analisados para o projeto e desenvolvimento de um cockpit são: antropometria, visibilidade externa e interna, localização e disposição dos equipamentos e mostradores. É a partir deles que são definidos os hard points iniciais de projeto do cockpit.

O projeto e desenvolvimento de tal plataforma de simulação está inserida nas linhas de pesquisa do Laboratório de Inovação em Ciências Aeroespaciais (LAICA) e tem um caráter altamente multidisciplinar por envolver grande parte das Engenharias do Campus do UnB Gama, tais como: Engenharia Aeroespacial, Eng. de Software, Eng. Eletrônica e Eng. Automotiva. Alguns projetos de pesquisa poderão usar o simulador de aeronaves como plataforma de controle, já que seu projeto é altamente adaptável a novos requisitos. Como exemplo temos o voo em primeira pessoa para os VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) e além de pesquisas envolvendo VANTs para monitoramento de vegetação de Cerrado.

O objetivo geral da presente proposta visa o projeto em CAD de um sistema de simulação de baixo custo para aeronaves de pequeno porte, neste caso usando como software de modelagem o CATIA V5R21 e a aeronave Cessna 172 *Skyhawk* como referência para os componentes eletrônicos e comandos funcionais para simulação.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste projeto seguiu as práticas de projeto baseadas em CAD/CAM. Iniciando com a fundamentação teórica nos conceitos de Ergonomia de acordo com referências bibliográficos intrínsecos à pesquisa; Exploração de métodos computacionais para o desenvolvimento da bancada de simulação de cockpit. Exploração de métodos computacionais para validação da bancada; Elaboração de desenhos técnicos para a montagem do projeto,

A partir dos parâmetros definidos pelo padrão de cockpit da *Dreyfuss Associate,* vide Figura 1, foi feito uma simulação usando a plataforma CATIA V5R21 do projeto anterior foram desenvolvidos o sub elementos do sistema para o controle da aeronave.

Foram usadas como referência do projeto as normas Military Standard 1742F – Human Engineering e a SAE Aerospace

Recommended Practice ARP 4101 - Flight Deck Layout and Facilities.

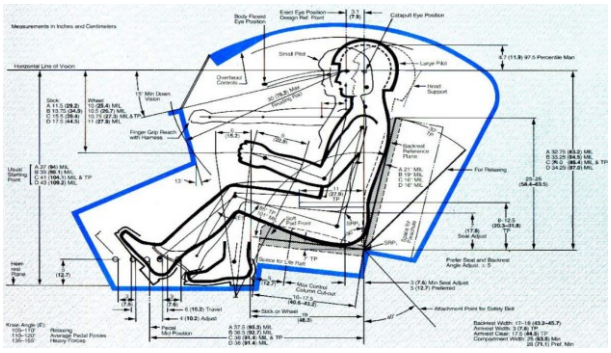


Figura 1 - Padrão de cockpit aeronáutico da Dreyfuss Associates – Fonte: DRIFFIENT, et al., (1985).

3. RESULTADOS

Após as análises, os instrumentos de voo e assento do avião foram desenhados em Software de CAD 3D Catia V5R21 e ajustados para o conforto do piloto, como mostram as figuras 2 e 3 abaixo:

Os resultados obtidos e as análises ergonômicas com a modelagem do Catia podem ser vistos abaixo. Foram feitos dois posicionamentos para os percentis Homem P95% (1,86 m), Figura 2 e Mulher P50% (1,63 m), Figura 3.

Os pontos principais do pedal, manche e posição do assento foram destacados e servirão de base para o projeto do simulador de cockpits que será desenvolvido.

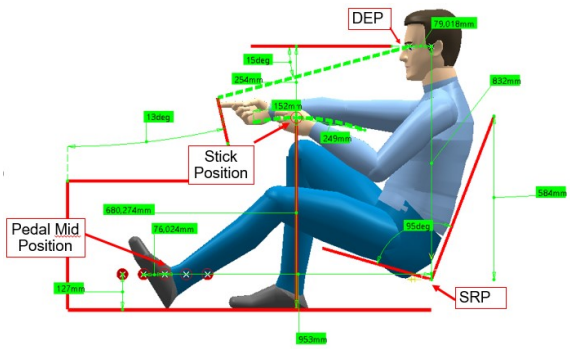


Figura 2 - Vista isométrica da estrutura do simulador. Fonte: REGO e MIRANDA (2017)

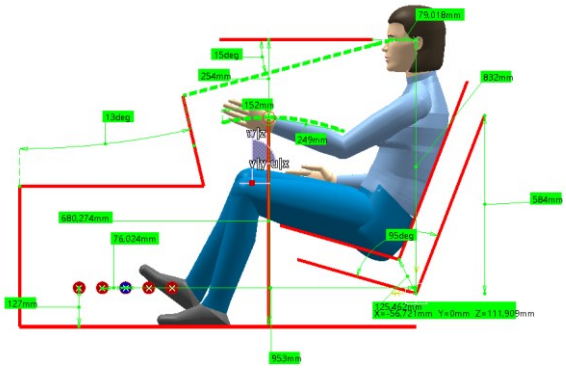


Figura 3– Padrão de cockpit da Dreyfuss Associates no Catia ajustado para a Mulher Percentil 50%. Fonte: REGO e MIRANDA (2017)

3.1. Projeto do cockpit

O projeto do simulador de cockpits de aeronaves seguiu as recomendações ergonômicas do Dreyfuss e pelas normas militares e da SAE de engenharia.

Contudo, foi necessário fazermos ajustes no posicionamento do painel de instrumentos para que se adequasse melhor aos projetos comumente encontrados nas aeronaves de pequeno porte como o Cessna 172 e similares. Tais ajustes se limitaram à altura do painel de instrumentos e possibilidade de ajuste de pedal.

O projeto do simulador pode ser visto nas figuras 4 a 7 abaixo.

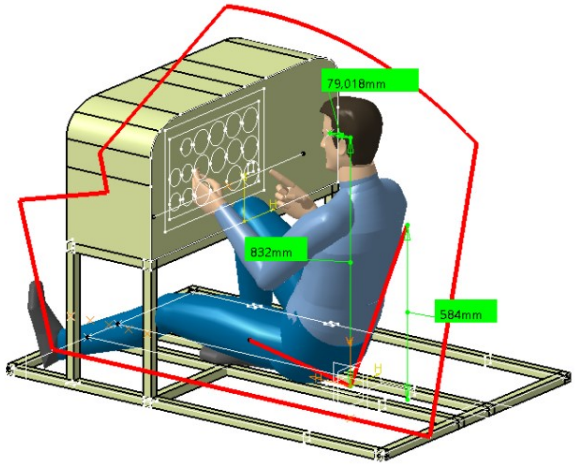
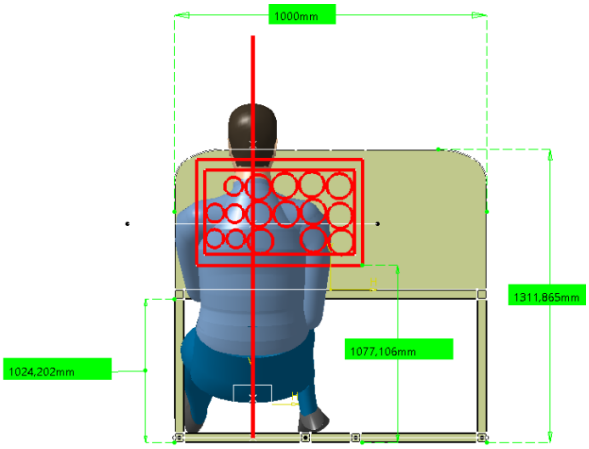
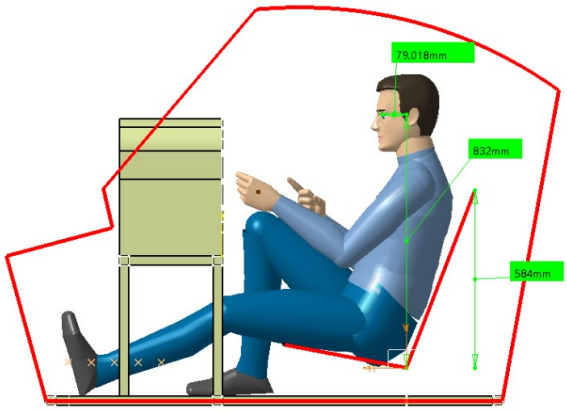


Figura 4 – Padrão de cockpit da Dreyfuss Associates no Catia – Percentil P95%. Fonte: REGO e MIRANDA (2017)



(A)



(B)

Figura 5 – Vista traseira (A) e lateral (B) da estrutura do simulador com as principais dimensões. Fonte: REGO e MIRANDA (2017)

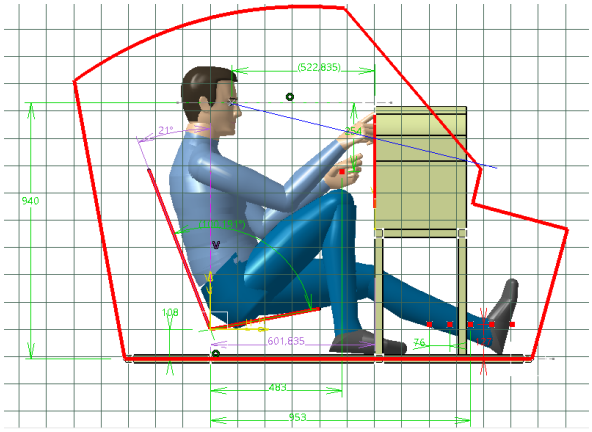


Figura 6 – Principais dimensões relativas do simulador ao piloto masculino P95%. Fonte: REGO e MIRANDA (2017)

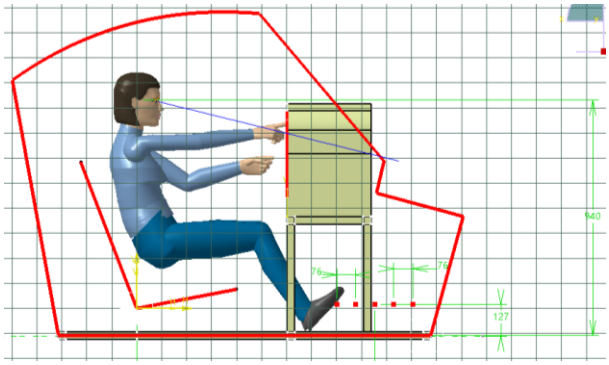


Figura 7 – Principais dimensões relativas do simulador ao piloto feminino P5% e os ajustes para o pedal. Fonte: REGO e MIRANDA (2017)

3.2. Caixa de manetes

Os manetes do simulador foram desenhados com base no desenho abaixo, vide Figura 8. À medida que se puxa ou empurra os manetes, um rolete fixado por dentro do mecanismo permite acionar os componentes eletrônicos que "calibram" a potência do motor e enviam os dados para o computador do simulador.

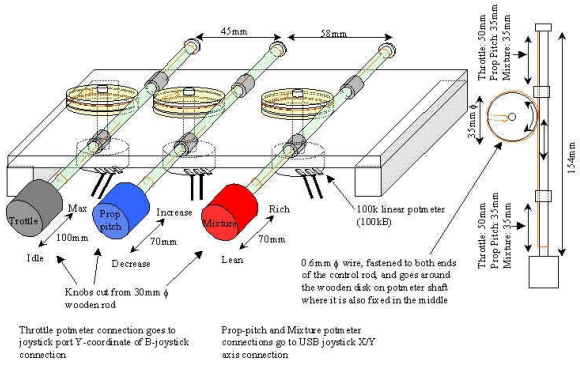


Figura 8 - Dimensões exemplificadas de um conjunto de manetes de simulador. Fonte: *Simprojects* (2019).

Porém, como se trata de uma aeronave de hélice com passo fixo, não houve necessidade de desenhar a manete de passo (em azul), somente as manetes de potência (em preto) e de mistuda de combustível (em vermelho), além de que as medidas mostradas são apenas referências, vide Figura 9.

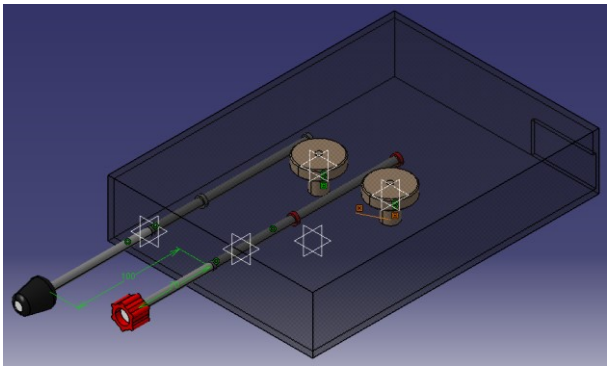


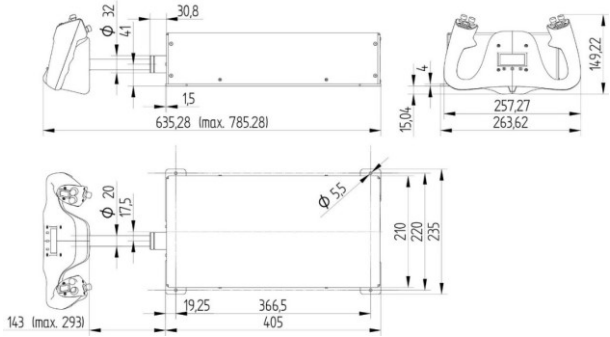
Figura 9 - Caixa dos manetes com transparência para detalhes dos roletes. Fonte: Autores (2019)

A caixa de manete, a priori, possui 5 peças: ambos os manetes, os dois roletes conectados a sensores de movimento e o bloco por onde os componentes eletrônicos e acessórios serão encaixados.

Está previsto para os roletes, apoios dos manetes e batentes das mesmas serem fabricadas em impressão 3D, enquanto os bastões serão de material resistente construído através de usinagem. Para o bloco onde irá acomodar os componentes, será construído de material reciclado, barateando a construção do conjunto total.

3.3. Conjunto do volante

Assim como o conjunto dos manetes, o manche do tipo volante também teve como referência imagens obtidas de fornecedores pela internet, Figura 10.



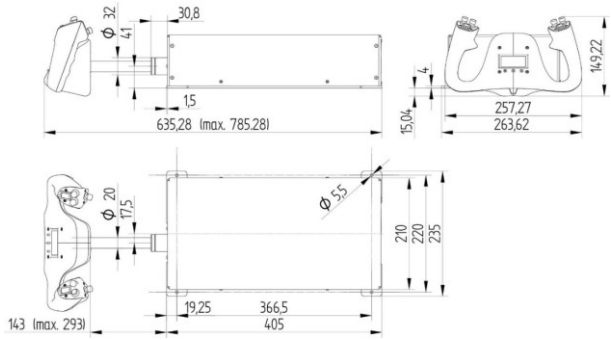


Figura 10 - Medidas de um manche tipo volante para o C172. Fonte: *Brunner-Innovation* (2019).

Além disso, a estrutura em forma de paralelepípedo possui quatro espaços para os parafusos, que serão atados à estrutura do painel.

Porém, apesar de poder ser construído o volante, o mesmo pode ser comprado em loja de artigos para aviação, porém o custo de aquisição é muito alto, sendo melhor, neste caso, fazer uma impressão 3D nos laboratórios da UnB já que já se tem o modelo em Catia do manche, Figura 11.

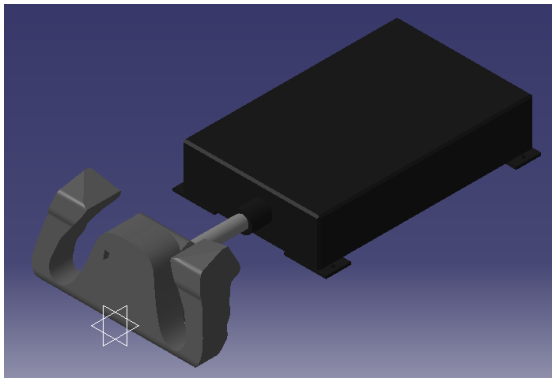


Figura 11 - Modelagem do manche tipo volante. Fonte: Autores (2019)

3.4. Assento

A priori, pode-se dizer que o assento do piloto será a parte mais fácil na construção do simulador. Pode-se reaproveitar um assento de automóvel, retirando-se o encosto para cabeça – para simular o realismo do cockpit do C172 – e ajustando-o aos trilhos do conjunto.

3.5. Estrutura

A estrutura será montada em 3 partes: bancada de madeira simulando o painel de instrumentos da aeronave (1), bancada em forma de mesa que irá acomodar os monitores, bloco do volante, manetes e outros componentes eletrônicos, além de acomodar o painel de instrumentos (2) e a estrutura base (3) formada por trilhos com furos para travar os pedais e assento do piloto, além de acomodar toda estrutura do simulador. A estrutura base será construída em vigas de metalon que é de baixo custo e fácil aquisição, Figura 12

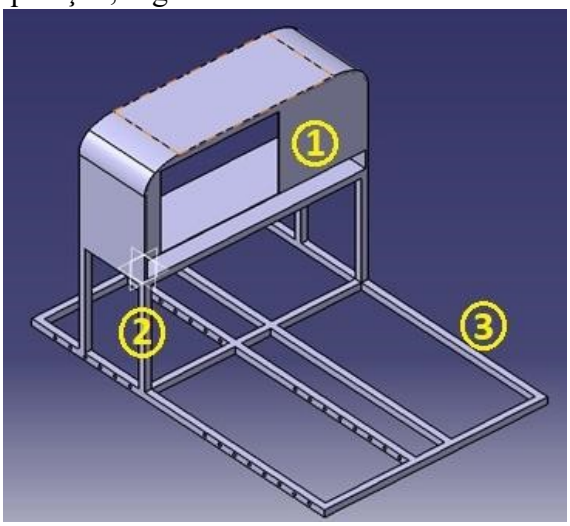


Figura 12 - Estrutura dividida do simulador. Fonte: Autores (2019)

3.6. Pedais

Os pedais foram inspirados em pedais para simuladores próprios para o C172, como mostra a Figura 13 abaixo:

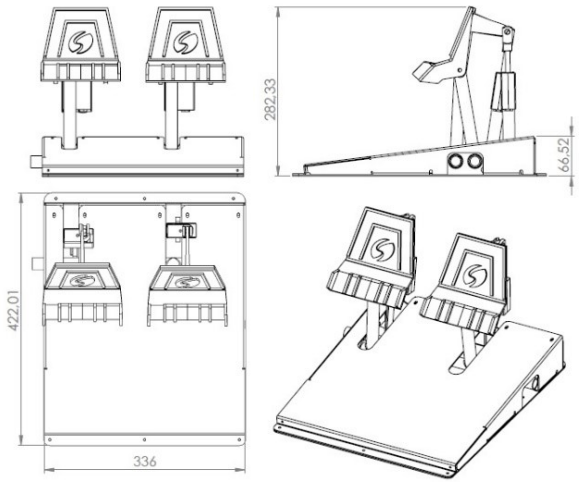
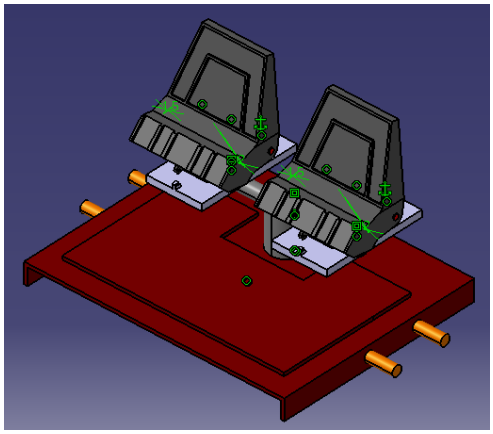


Figura 13 - Imagens de referência para construção dos pedais. Fonte: SimKits (2019)

Os pedais foram simplificados para sua construção: com aproximadamente 10 peças. O par de pedais serão impressos em 3D a base que sustenta será de chapa de aço, as hastes fixadoras (em laranja) dos pedais à estrutura base serão duas barras de aço usinadas, assim como as hastes que fixam os pedais aos mecanismos de freio e direção, os quais serão construídos por impressão em 3D. Todos esses elementos poderão ser confeccionados nos laboratórios de usinagem da FGA, Figura 14.



(B)

Figura 14 - Resultado da modelagem do conjunto dos pedais. Fonte: Autores (2019)

3.7. Painel de instrumentos

O painel de instrumentos será composto de um monitor de computador tipo

Desktop, onde será fixado por pregos em um furo vazado da estrutura do painel afim de acomodá-lo, simulando os instrumentos reais de um avião. Será utilizado um software de simulação de voo comercial para fazer a física do voo em si e todos os elementos de controle estarão atrelados a esse software, vide Figura 15.



Figura 15 - Montagem da tela do monitor simulando os instrumentos da aeronave no cockpit. Fonte: Autores (2019).

3.8. Conjunto completo e análise ergonômica

As imagens a seguir mostram as três vistas (traseira, lateral esquerda e superior) do conjunto completo do simulador. Para isso, foram utilizados três percentis diferentes: 5% ,50% e 95% para análise de alcance dos instrumentos do painel, assim como os manetes, manche e pedais. Claro que para cada percentil há uma regulagem correta quanto às distâncias a serem alcançadas pelos membros da pessoa sentada na posição e com as mãos de acordo com a postura correta de pilotagem.

O primeiro Percentil mostrado é o de 95%, figuras 16 a 20, representado por uma pessoa de alta estatura (1865,67 mm) sentada ao assento, podendo alcançar todos os componentes do cockpit. O Segundo percentil representa uma pessoa de estatura média (1755,8 mm), figuras 21 a 24, com percentil 50%, havendo a necessidade de aproximar o assento ao painel e aproximando os pedais para o sentido do piloto. O terceiro percentil, representado por uma pessoa de baixa estatura (1645,67 mm), figuras 25 a 28, com percentil 5%, apresenta dificuldades para visualizar o monitor externo ao painel, havendo a necessidade de inclinar a cabeça para cima e comprometendo sua visão e conforto na hora de conduzir o avião.

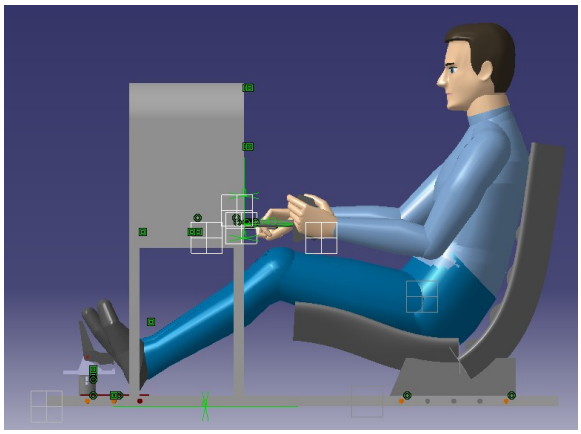


Figura 16 - Vista lateral esquerda do simulador para percentil 95%. Fonte: Autores (2019)

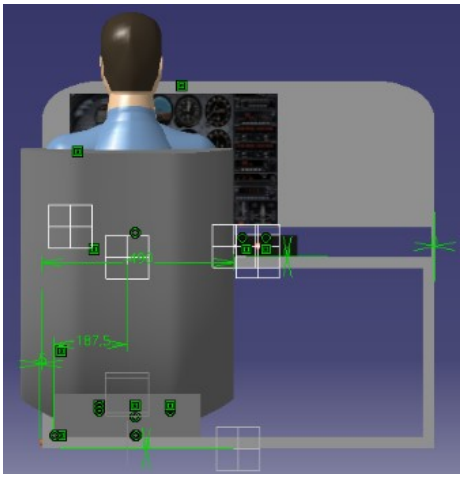


Figura 17 - Vista traseira para percentil 95%. Fonte: Autores (2019)

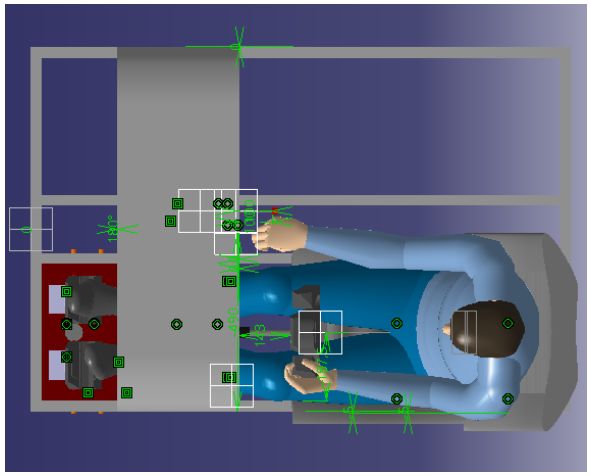


Figura 18 - Vista superior do simulador com percentil 95%. Fonte: Autor (2019)

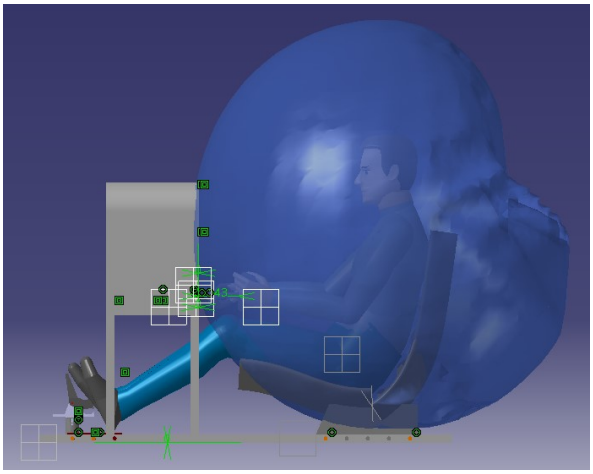


Figura 19 - Análise de alcance do painel de instrumentos com percentil 95%. Fonte: Autor (2019)

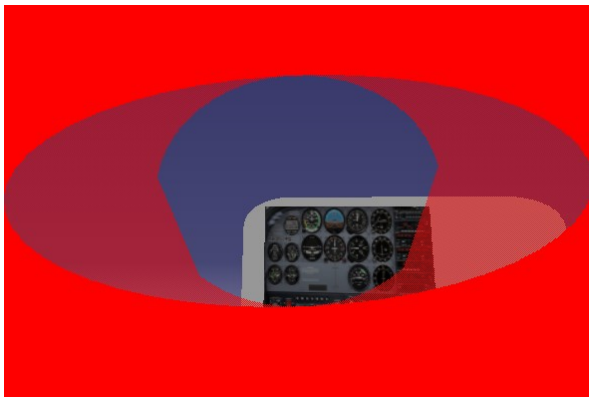
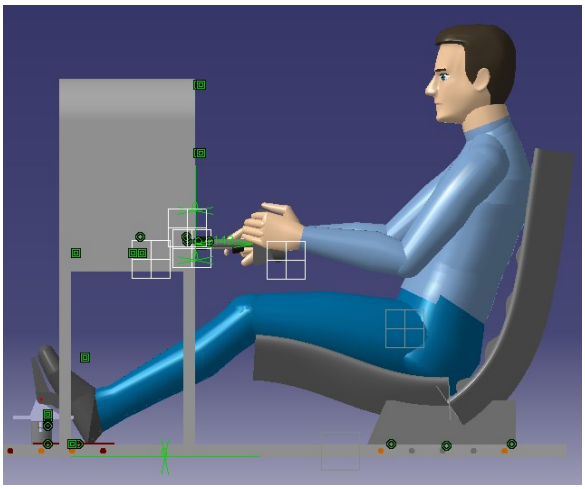
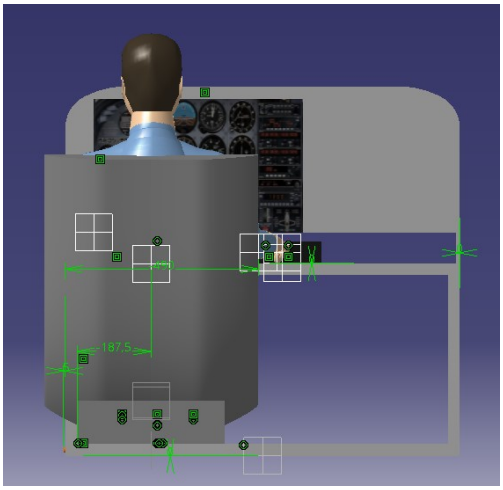


Figura 20 - Visão do piloto percentil 95% dentro do cockpit. Fonte: Autor (2019)



(A)



(B)

Figura 21 - Vistas lateral esquerda (A) e traseira (B) com percentil 50%. Fonte: Autores (2019).

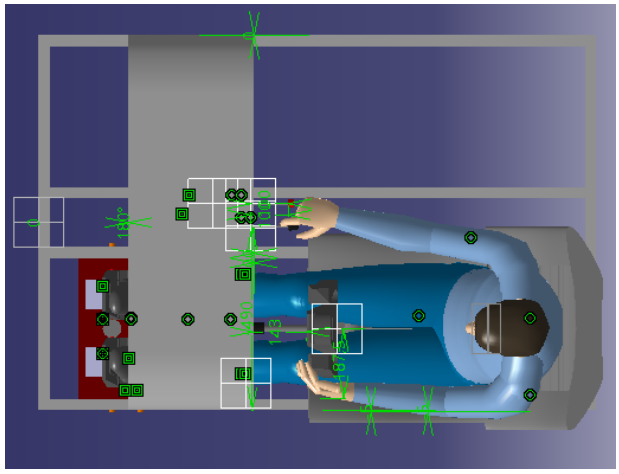


Figura 22 - Vista superior com percentil 50%. Fonte: Autores (2019).

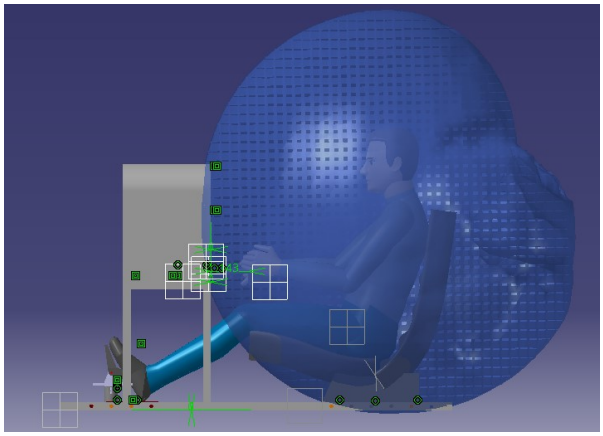


Figura 23 - Análise de alcance com percentil 50%. Fonte: Autores (2019).

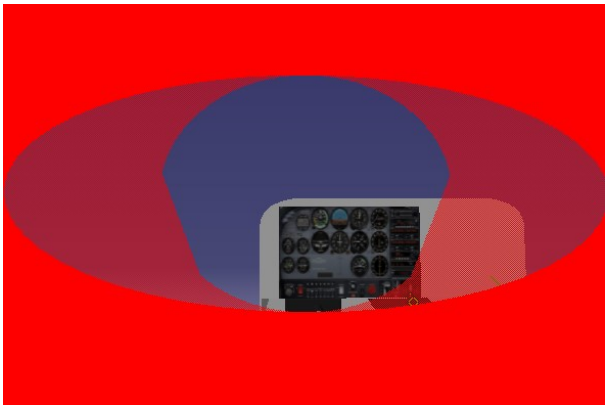
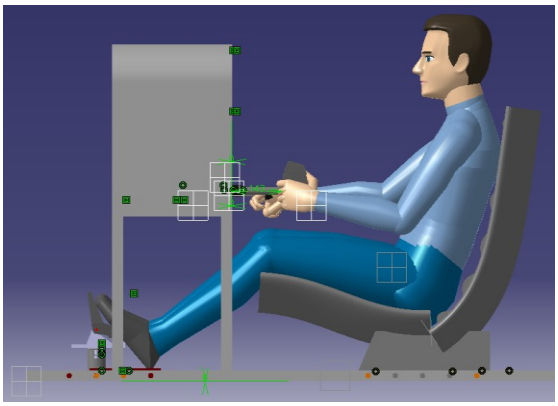
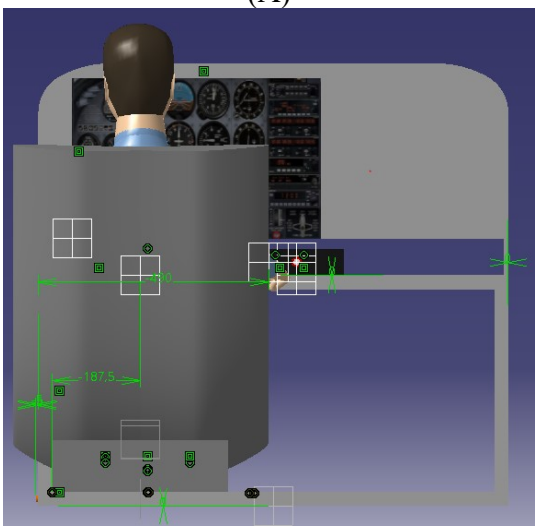


Figura 24 - Visão do piloto percentil 50% dentro do cockpit. Fonte: Autores (2019).



(A)



(B)

Figura 25 - Vistas lateral esquerda (A) e traseira (B) com percentil 5%. Fonte: Autores (2019).

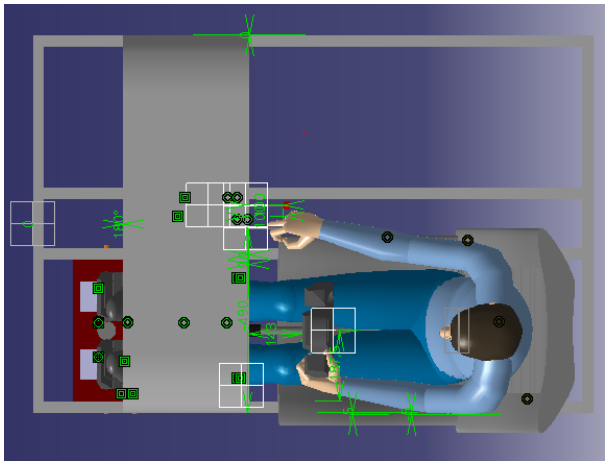


Figura 26 - Vista superior com percentil 5%. Fonte: Autores (2019).

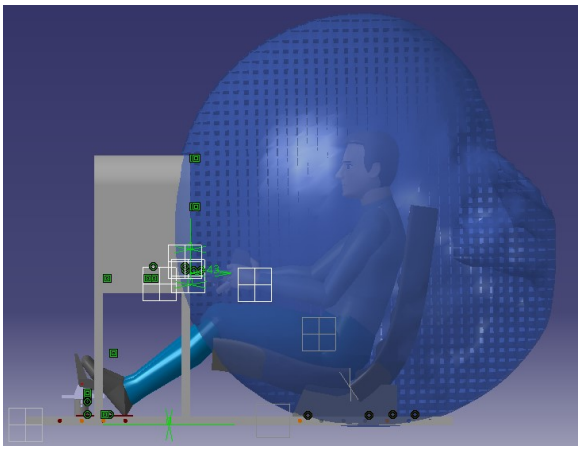


Figura 27 - Análise de alcance com percentil 5%. Fonte: Autores (2019).

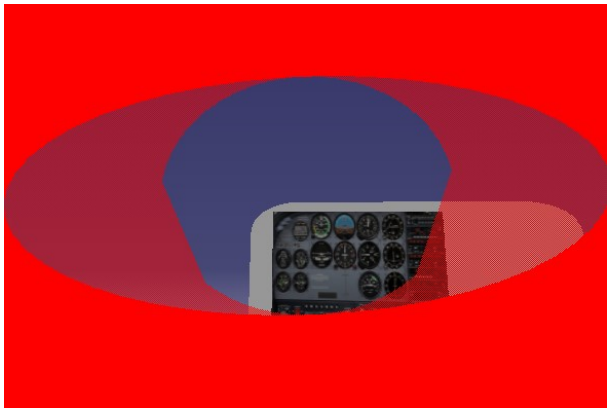


Figura 28 - Visão do piloto percentil 5% dentro do cockpit. Fonte: Autor (2019).

4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do simulador de cockpits aeronáuticos é de grande valia por permitir sua utilização em disciplinas ligadas ao curso da UnB Campus Gama, além de ser uma plataforma de desenvolvimento de projeto de pesquisa e engenharia em todo o ciclo de vida do projeto, como: concepção, projeto, ensaio e produção. Sendo que este projeto de pesquisa está diretamente ligado às aplicações tanto didáticas, em disciplinas oferecidas nos currículos dos cursos de Engenharia da UnB – Gama, quanto a outros projetos de pesquisa ligados à Universidade de Brasília.

O resultado geral do projeto foi bastante promissor, conseguindo congelar o projeto do simulador incluindo todos os subsistemas de controle e sendo adequado ergonomicamente. Futuramente, está se planejando a construção deste simulador tendo como premissa baratear os custos da construção desse simulador de voo com materiais e processos de fabricação acessíveis. Isso será de grande importância para futuras pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos no ramo da Engenharia Aeroespacial.

5. REFERÊNCIAS

Departament of Defence, Military Standard 1742F – Human Engineering, DoD, 1999.

DREYFUSS, H., As medidas do homem e da mulher: Fatores humanos em design. Porto Alegre: Bookman, (2005);

IIDA, I., (2005). Ergonomia: Projeto e Produção. 2nd ed. São Paulo: Edgard Blücher;

REGO, G., MIRANDA, M. R., Projeto conceitual de bancada para simulação de cockpits. PIBIC UnB 2016-2017. Brasília, 2017;

SAE. SAE J941: Motor Vehicle Drivers' Eye Locations. PA, USA: SAE International, 2002;

SAE Standards - Aerospace Recommended Practice ARP 4101 - Flight Deck Layout and Facilities, 2003;

Simkits by TRC Simulations, 2019. Disponível em <https://www.simkits.com/product/rudder-pedals-with-proportional-brake-system/>. Acesso em 19 de julho de 2019;

Throttle and Mixture (Cessna Style), 2015. Disponível em: <http://www.simprojects.nl/throttle_and_mixture.htm> . Acesso em: 18 de julho de 2019;

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO *SOFTWARE* FAARFIELD NOS RESULTADOS DE VIDA ÚTIL DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Mateus do Nascimento Lira
Universidade Federal do Ceará
Rua Professor Armando Farias 703 – Pici, 60020-181, Fortaleza/CE, +55 85 3366-9488
liramateus@det.ufc.br

Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará
Rua Professor Armando Farias 703 – Pici, 60020-181, Fortaleza/CE, +55 85 3366-9488
heber@det.ufc.br

RESUMO

Este artigo objetiva estudar a influência das espessuras das camadas de base e de sub-base, bem como do volume de tráfego, nos resultados de vida útil de pavimentos aeroportuários fornecidos pelo *software* FAARFIELD. A análise de sensibilidade dos dados foi realizada com os *mixes* de aeronaves em aeroportos de porte pequeno, médio, muito grande e de mega internacional, combinando diferentes espessuras de base, sub-base, revestimento e capacidade de suporte do subleito da pista de pouso e decolagem. Os resultados mostram que os a vida útil varia numa amplitude menor conforme se aumenta o volume de tráfego.

Keywords: FAARFIELD, Análise, Sensibilidade, Pavimento, Aeroportuário.

ABSTRACT

This paper aims to study the influence of base and sub-base thicknesses, and traffic volume in the life cycle results given by FAARFIELD. The sensibility analysis of the data was made using mixes from small, medium, very big and mega airports, combining different base and sub-base thicknesses and keeping constant the surface course thickness and the subgrade strength. The results show that FAARFIELD life cycle data become less sensible when the traffic volume increases.

Keywords: FAARFIELD, Analysis, Sensibility, Pavement, Airport.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil passa, desde 2011, por fase de intensa mudança em seu cenário aeroportuário, promovida pelas concessões de aeroportos. Essa mudança acontece não apenas no modelo do sistema de gestão, mas também nas características físicas dos sítios aeroportuários, uma vez que o Estado, para realizar a concessão, exige planos de manutenção, readequação ou expansão das estruturas existentes.

Entre as modificações da parte física dos sítios, podem ser citadas as atividades de reforço ou construção/reconstrução de pistas de pouso e decolagem e de *taxiways*. Segundo Taffe Júnior (2002), projetos de pavimentos novos ou restauração de pavimentos deteriorados, no Brasil, se fundamentam principalmente no método proposto pela *Federal Aviation Administration* (FAA).

Essa metodologia era, inicialmente, empírica, e consistia em ábacos que se fundamentavam no Método *California Bearing Ratio* (CBR) de dimensionamento e na consideração de uma aeronave de projeto. Em 2009, porém, a FAA remodelou completamente o método, passando a utilizar um *software* baseado em camadas elásticas (para pavimentos flexíveis), método dos elementos finitos (para pavimentos rígidos) e análise de dano acumulado para determinar as dimensões das estruturas de pavimentos aeroportuários (RAMOS, 2016).

O *software* da FAA, denominado FAARFIELD (*Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design*), vem sendo usado desde então, e é hoje uma das principais ferramentas utilizadas para projeto de pavimentos aeroportuários.

A utilização do FAARFIELD resulta em dados que requerem senso crítico do projetista para decidir entre aceitá-los ou realizar uma nova simulação, resultados esses que apresentam, muitas vezes, grandes diferenças a partir de pequenas modificações dos dados de entrada. Essa sensibilidade dos *outputs* será o foco do presente trabalho, dada a relevância da compreensão do comportamento dos resultados do *software* para uma correta análise dos dados e seu adequado emprego na concepção de projetos de pavimentos aeroportuários.

Este artigo está dividido em cinco seções: além desta introdução, a Revisão Bibliográfica aborda o estudo da sensibilidade de resultados obtidos a partir do uso de *softwares*; o Método de Pesquisa, apresenta os procedimentos utilizados na obtenção dos resultados apresentados neste trabalho; a Discussão dos Resultados contém uma apresentação dos resultados obtidos, bem como traz uma discussão dos mesmos; nas Conclusões apresentam-se as principais constatações feitas a partir dos resultados obtidos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existem três métodos de dimensionamento de pavimentos, segundo Balbo (2007): o empírico, que consiste na modelagem estatística a partir de parâmetros físicos observados nos pavimentos em serviço; o semi-empírico, resultado de uma extrapolação dos resultados empíricos através de uma teoria analítica; e o empírico-mecanicista, como uma calibração de modelos teóricos com uma base de dados obtidos em campo e em laboratório. A tendência atual é a adoção do método empírico-mecanicista inserido em ferramentas computacionais para o dimensionamento de pavimentos, tanto rodoviários quanto aeroportuários.

Para os pavimentos aeroportuários, a FAA tem destaque na regulação de metodologias de dimensionamento. FAA (1995) regulamentava o dimensionamento através do método empírico, baseado em ábacos que cruzavam informações de CBR do subleito e do estabelecimento de uma aeronave crítica. Anos depois, FAA (2009) substituiu sua metodologia empírica por uma empírico-mecanicista, que estabelecia o uso de uma ferramenta computacional no dimensionamento do pavimento. O *software*, chamado FAARFIELD, utiliza a teoria de camadas elásticas, método dos elementos finitos e análise de dano acumulado para promover o dimensionamento das estruturas, e é utilizado no Brasil em projeto de implantação de pavimentos aeroportuários, bem como em projetos de recuperação dos pavimentos de pistas antigas (RAMOS, 2016).

Para que se diminuam os custos com recuperação e manutenção de pavimentos, é necessária a determinação correta de condições de subleito, espessuras de camadas da estrutura e de condições de volume de tráfego. Para unir todas essas variáveis na análise, estão disponíveis

várias ferramentas computacionais de auxílio no dimensionamento de pavimentos. No entanto, não fica clara para o usuário a forma como cada parâmetro de entrada influencia nas espessuras finais do revestimento, o que torna necessário o estudo e a identificação dos *inputs* críticos através de análises de sensibilidade (PURVIS, 2013).

A sensibilidade de programas computacionais foi testada por Purvis (2013) em aplicação de dados de vias pavimentadas do estado americano de Iowa em diferentes *softwares* de dimensionamento de pavimentos rodoviários. No estudo, realizado com pavimentos rígidos e flexíveis, foi constatada maior sensibilidade das espessuras de camada calculadas pelos programas às variações de tráfego do que às mudanças de capacidade resistente do subleito. A pesquisa constatou, ainda, que em alguns casos as espessuras das camadas de pavimentos flexíveis são mais sensíveis às mudanças em tráfegos leves do que àquelas promovidas em tráfegos pesados.

No âmbito de pavimentos aeroportuários, a sensibilidade de dados a partir do uso de *softwares* também foi estudada. Garg *et. al.* (2004) estudaram a influência do CBR, da espessura do revestimento, da espessura da camada de base e do peso bruto das aeronaves na vida útil dos pavimentos aeroportuários através do uso do *software* LEDFAA 1.3 (*Leyered Elastic Design Federal Aviation Administration*), desenvolvido pela FAA e precursor do FAARFIELD. No estudo, os autores constataram que a espessura da base e o peso das aeronaves como parâmetros de maior influência nos resultados, tendo sido apresentada maior sensibilidade ao peso bruto das aeronaves.

3. MÉTODO DE PESQUISA

O método proposto por este artigo para analisar a sensibilidade do *software* FAARFIELD é a geração de resultados de vida útil, a partir do uso do programa, para condições distintas de *mixes* de aeronaves, portes de aeroporto e espessuras de camadas de base e sub-base.

Os aeroportos cujos *mixes* são utilizados nas análises deste trabalho foram escolhidos de modo a se abrangerem equipamentos de diferentes portes: (i) Aeroporto Regional do Cariri, em Juazeiro do Norte/CE (dados do ano de 2018), aeroporto regional de pequeno porte; (ii) Aeroporto Internacional de Fortaleza/CE (dados do ano de 2016) como aeroporto internacional de médio porte; (iii) Aeroporto Internacional de Guarulhos/SP (dados do ano de 2011) como aeroporto internacional de porte muito grande; (iv) Aeroporto de Atlanta/EUA (dados do ano de 2011) como mega aeroporto. A definição do porte de cada aeroporto usado foi realizada a partir da classificação proposta por OAG Aviation Worldwide Limited (2018), que apresenta essa avaliação pelo total anual de passageiros em aeroportos internacionais, dividindo-os em cinco escalas: aeroporto internacional pequeno (2,5 a 5 mi de passageiros), aeroporto internacional médio (5 a 10 mi de passageiros), aeroporto internacional grande (10 a 20 mi de passageiros), aeroporto internacional muito grande (20 a 30 mi de passageiros) e mega aeroporto internacional (mais de 30 mi de passageiros).

Os modelos de aeronaves considerados para compor cada um dos *mixes* foram definidos como aqueles que tivessem mais de 13.620 kg de peso e que perfizessem mais de 0,1% do total de operações de decolagem dos respectivos aeroportos. Não foram considerados modelos monomotores, pequenos bimotores ou pequenos jatos, por entender-se que o seu pequeno peso não proporcionaria diferenças consideráveis nos resultados de vida útil, uma vez que causam pouco dano à estrutura das pistas. Os *mixes* utilizados estão apresentados nas Tabelas 1 a 4.

Tabela 1: *Mix* do Aeroporto Regional do Cariri em 2018 (INFRAERO, 2019).

Aeronave	Decolagens anuais
A319-100	89
E190-100	103
B737-800	179
B737-700	220
E190-200	271
A320-200	920

Tabela 2: *Mix* do Aeroporto Internacional de Fortaleza em 2016 (INFRAERO, 2017).

Aeronave	Decolagens anuais	*Aeronave*	Decolagens anuais
B757-200	54	B737-700	504
E190-100	70	ATR-72-212	1.187
B767-300	205	E190-200	2.091
A319-100	247	A321-200	4.297
A330-200	306	A320-200	4.769
B737-400	370	B737-800	6.099

Tabela 3: *Mix* do Aeroporto Internacional de Guarulhos em 2011 (INFRAERO. 2014)

Aeronave	Decolagens anuais	*Aeronave*	Decolagens anuais
B747-300	144	B747-500	1.584
MD-11	144	B777-300	1.680
A330-300	336	B767-300	3.936
B767-400	336	A321-100	4.032
B767-200	672	B777-200	4.416
A319-100	720	A330-200	5.472
B737-600	1.021	B737-700	6.336
B747-400	1.098	B737-300	7.536
B747-400	1.104	B737-800	19.248
B727-200	1.200	A320-200	27.360
A340-300	1.584		

A versão do *software* utilizada neste trabalho foi a FAARFIELD v 1.42. Para fazer o dimensionamento de uma estrutura, o programa necessita como *inputs*: *mix*, espessura do revestimento, CBR do subleito e quantidade e materiais das camadas. Optou-se por adotarem-se os materiais de uma estrutura padrão do FAARFIELD, conforme ilustrado na Figura 1, que esquematiza as camadas das estruturas com os materiais utilizados. A primeira camada consiste em um revestimento asfáltico, a segunda, uma base estabilizada e a terceira, uma sub-base de brita graduada simples. O programa permite ainda que o usuário forneça as espessuras das camadas de base e sub-base como *input*, sendo 125 mm e 150 mm seus valores mínimos, respectivamente.

Tabela 4: *Mix* do Aeroporto Internacional de Atlanta em 2011 (KB ENVIRONMENTAL SCIENCES, 2014).

Aeronave	Decolagens anuais	*Aeronave*	Decolagens anuais
B757-200	365	MD-82	2191
DC-10-30	365	B767-400	2192
DC-8	365	B777-200	2192
A340-200	365	B757-300	2920
B747-200	730	E190-200	4380
A300-B4	730	A319-100	9490
B727-200	730	B767-300	11317
MD-11	730	A320-200	12412
DC-10-10	1095	DC-9	13139
B737-500	1095	B737-800	20805
B747-400	1460	B737-700	28470
Saab 340A	1460	Bombardier CRJ-900-ER	51098
MD-90	1461	B757-200	59494
A330-300	2191	MD-83	79932

Uma vez que o *software* calcula automaticamente as espessuras das camadas de base e sub-base para atender a vida de projeto, definida pelos autores como sendo de 20 anos, e de modo a tornar possível a comparação de resultados de *mixes* diferentes, optou-se por adotarem-se os mesmos valores para a espessura do revestimento e para o CBR do subleito das estruturas dos quatro aeroportos, iguais a 130 mm e 12%, respectivamente.

Depois de inseridos os quatro *mixes*, o programa realizou o dimensionamento da estrutura referente ao pavimento de cada um dos aeroportos, gerando valores para as camadas de base e sub-base. A partir desses resultados, estabeleceram-se as espessuras que seriam utilizadas nas análises de tempo de vida útil. Tais análises consistem em comparar valores de vida útil fornecidos pelo FAARFIELD a partir de combinações de espessuras de base e sub-base, sempre mantendo constantes os valores de espessura de revestimento, CBR do subleito e materiais das camadas.

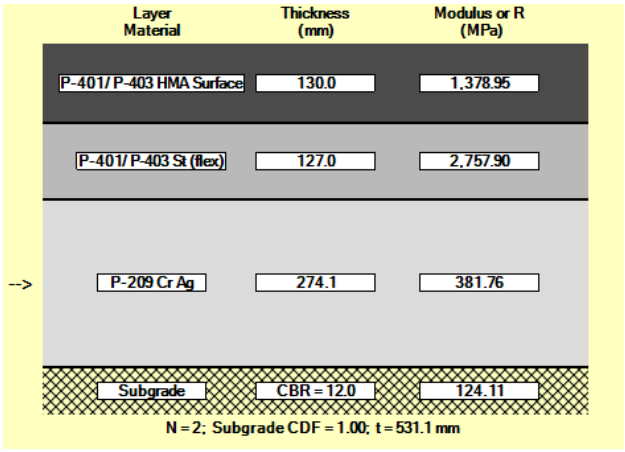


Figura 1: Esquema da estrutura projetada no FAARFIELD.

Nas combinações, determinou-se que a base assumiria valores entre 125 mm e 280 mm, variando em acréscimos de 5 mm. Para a sub-base, o valor calculado pelo FAARFIELD foi aproximado para o múltiplo de 5 mais próximo. Os valores assumidos pela sub-base nas combinações variaram 20 mm para mais e 20 mm para menos do valor corrigido, também variando em intervalos de 5 mm.

Os resultados calculados pelo *software* para a vida útil foram organizados em tabelas e analisados quanto à sensibilidade deles em relação à proporção da mudança nos dados de entrada. Essa sensibilidade foi obtida na forma de porcentagens calculadas entre os valores anteriores e posteriores à mudança nas variáveis avaliadas em cada momento, sendo essa a forma de análise adotada neste trabalho.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente, foram inseridos os dados de entrada para que o programa calculasse as espessuras das camadas para uma vida útil de 20 anos. Os resultados fornecidos pelo *software* para cada um dos aeroportos estão representados na Tabela 5.

Da Tabela 5, podem-se observar dois aspectos relevantes. O primeiro é o fato de o programa calcular sempre a mesma espessura para a camada de base, independente do porte do aeroporto. Conforme explicado por Ramos (2016), isso se observa porque todos os *mixes* possuem aeronaves que ultrapassam os 45.400 kg de peso, ocasião em que passa a ser de 127 mm a espessura mínima da camada de base.

Tabela 5: Espessuras das camadas calculadas pelo FAARFIELD.

Aeroporto	*Revestimento (mm)*	*Base (mm)*	*Sub-base (mm)*
Regional do Cariri	130	127	162,6
Internacional de Fortaleza	130	127	274,2
Internacional de Guarulhos	130	127	349,1
Internacional de Atlanta	130	127	333,3

O segundo, é que a espessura da camada de sub-base é maior para o Aeroporto Internacional de Guarulhos do que para o de Atlanta, mesmo esse último tendo quase 224 mil operações a mais consideradas no *mix* utilizado e apesar de as aeronaves presentes em ambos os *mixes* serem, em sua maioria, as mesmas.

A existência de muitas operações de aeronaves com menor peso ou que aplicassem menores pressões por pneu no *mix* de Atlanta, ou, ainda, a presença de aeronaves maior porte, que possuíssem maior afastamento entre pneus do trem de pouso principal, diminuindo, assim, o tamanho da zona de interferência dos bulbos de tensões criados pelas rodas, poderiam explicar a menor dimensão sugerida pelo FAARFIELD para a espessura da sub-base do Aeroporto Internacional de Atlanta. No entanto, sendo a maioria dos modelos de aeronaves iguais, e existindo muito mais operações no Aeroporto de Internacional Atlanta, os autores não identificam nenhum outro fator contribuinte que possa ter acarretado essa divergência nos resultados do programa.

Após ajuste dos valores de espessura de sub-base fornecidos pelo *software*, obtêm-se as seguintes espessuras, conforme ordem dos aeroportos listados na Tabela 5, a serem utilizadas para definir os intervalos das simulações de tempo de vida útil: 170 mm, 270 mm, 350 mm e 330 mm. Adotou-se o valor de 170 mm para o Aeroporto Regional do Cariri porque, caso se adotassem os valores 160 mm ou 165 mm, a variação de 20 mm para menos ficaria abaixo do valor mínimo para a camada de sub-base permitida pelo FAARFIELD, que é de 150

mm. Os intervalos de espessuras de base e sub-base utilizados estão representados na Tabela 6.

A Tabela 7 apresenta os resultados de vida útil de projeto, em anos, obtidos a partir das simulações com as diferentes combinações de espessuras de camadas para o Aeroporto Regional do Cariri. Foram geradas tabelas similares para os demais aeroportos, porém, não serão apresentadas neste trabalho devido à grande quantidade de dados que contêm.

Tabela 6: Intervalos de valores de base e sub-base utilizados nos cálculos de tempo de vida útil.

Aeroporto	***Base (mm)***	***Sub-base (mm)***
Regional do Cariri	125 a 280	150 a 190
Internacional de Fortaleza		255 a 295
Internacional de Guarulhos		330 a 370
Internacional de Atlanta		310 a 350

Tabela 7: Valores de vida útil de projeto para o Aeroporto Regional do Cariri (em anos).

	Espessura da sub-base (mm)								
Espessura da base (mm)	**190**	**185**	**180**	**175**	**170**	**165**	**160**	**155**	**150**
280	14724930	14782920	14841440	14900530	14690160	15020360	15082740	15151910	15223110
275	14782920	14841440	14900530	14960160	15020360	15082740	15151910	15223110	15295060
270	14841440	14900530	14960160	15020360	15082740	15151910	15223110	15295060	15372380
265	14900530	14960160	15020360	15082740	15151910	15223110	15295060	15372380	15452030
260	14960160	15020360	15082740	15151910	15223110	15295060	15372380	15452030	15533000
255	15020360	15082740	15151910	15223110	15295060	15372380	15452030	15533000	15619570
250	15082740	15151910	15223110	15295060	15372380	15452030	15533000	15619570	15707200
245	15151910	15223110	15295060	15372380	15452030	15533000	15619570	15707200	**15795910**
240	15223110	15295060	15372380	15452030	15533000	15619570	15707200	**15795910**	15885710
235	15295060	15372380	15452030	15533000	15619570	15707200	**15795910**	15885710	15976640
230	15372380	15452030	15533000	15619570	15707200	**15795910**	15885710	15976640	16068700
225	15452030	15533000	15619570	15707200	**15795910**	15885710	15976640	16068700	16161920
220	15533000	15619570	15707200	**15795910**	15885710	15976640	16068700	16161920	15859640
215	15619570	15707200	**15795910**	15885710	15976640	16068700	15366200	12538550	8984069
210	15707200	**15795910**	15885710	15976640	14925550	11854670	8216068	5104375	2669659
205	**15795910**	15885710	14575700	11311270	7657401	4630883	2385914	1206713	608070
200	14338040	10995430	7280745	4312609	2203593	1107571	572271.7	296467	158924.9
195	7063209	4119122	2097216	1047399	238162.4	285883.1	152442.3	84569.8	48847.7
190	2048885	1017918	519781.4	274499.1	149723.4	82317.3	47151.1	27931.7	17100.8
185	514536	269939.7	146685.7	81836.6	46464.3	27308.5	16590.9	10413.9	6735
180	146441.2	81834.6	46666	27203	16394	10213.4	6559.1	4330.6	2932.8
175	47485.3	27571.6	16475.1	10183.5	6492.3	4257.4	2864.7	1973.5	1389.3
170	16820	10310.6	6523.1	4247.4	2839	1943.7	1360.3	971.4	706.7
165	6646.7	4295.7	2851.6	1939.8	1349.4	958.1	693.3	510.4	381.9
160	2900.4	1959.8	1354.8	956.3	688.2	504	375.2	283.6	217.4
155	1375.8	965.3	690.6	503.1	372.7	280.3	213.9	165.4	129.4
150	700.3	507.4	373.9	279.8	212.5	163.5	127.5	100.5	80.1
145	378.6	281.9	213.1	163.3	126.7	99.5	79	63.4	51.3
140	215.5	164.4	127	99.3	78.5	62.7	50.6	41.3	33.9
135	128.3	99.9	78.7	62.6	50.4	40.9	33.5	27.6	23
130	79.4	63	50.4	40.8	33.3	27.4	22.7	19	16
125	50.9	41	33.3	27.3	22.6	18.8	15.8	13.4	11.4

Observando os dados da Tabela 7, uma análise inicial ressalta a extensão da amplitude dos valores: as vidas úteis vão de dezenas de milhões de anos na parte superior a pouco mais de 10 anos na parte inferior da tabela. O Aeroporto Regional do Cariri apresenta, entre os quatro estudados, os maiores valores de vida útil, uma vez que ele apresenta o *mix* mais leve e com menor número de operações (as suas operações correspondem a 8,6%, 1,9% e 0,6% das operações dos *mixes* considerados para os aeroportos de Fortaleza, Guarulhos e Atlanta, respectivamente). Se calculada a diferença entre o maior e o menor valor de vida útil gerados pelo FAARFIELD para cada um dos aeroportos, encontram-se acréscimos de 141.770.000%, 17.550.000%, 4.650.000% e 1.685.000% para os aeroportos do Cariri, de Fortaleza, de Guarulhos e de Atlanta, respectivamente.

Esses números confirmam que, conforme o *mix* possua aeronaves mais pesadas e com maior número de operações, a amplitude dos dados diminui. Isso é devido à queda de vida útil apresentada pela estrutura quando ela recebe a ação de um tráfego mais pesado e intenso. Quanto maior o volume de tráfego atuante na estrutura, maior o dano sofrido pela mesma, o que a leva a apresentar valores de vida útil menor.

Uma análise dos dados na Tabela 7 mostra que alguns valores se repetem na sua diagonal, de forma ascendente (os valores a partir da linha de espessura de base igual a 205 mm foram destacados para evidenciar esse fato). Todos os valores acima da linha diagonal destacada também se repetem nas diagonais, bem como alguns dados abaixo. Esses valores de vida útil iguais correspondem exatamente a iguais espessuras totais da estrutura do pavimento. Por exemplo, em todas as células da linha de dados destacada, a espessura total do pavimento é igual a 525 mm. O mesmo padrão é observado nas análises dos demais aeroportos.

Para todos eles, existe uma espessura mínima do pavimento simulado no FAARFIELD a partir da qual os dados começam a se repetir. Essa repetição se inicia nos valores mínimos permitidos pelo *software* para a camada de sub-base (igual a 150 mm) e aumenta de forma gradativa, tal como pode ser observado na Tabela 7, para o Aeroporto Regional do Cariri. No caso desta estrutura, a repetição se inicia para a espessura total de 500 mm, na célula correspondente a uma base de 150 mm e sub-base de 220 mm, e se encerra na célula seguinte. Na linha acima, espessura total de 510 mm, são 4 células de repetição. Na seguinte, 515 mm de espessura total, 6 células de repetição, e assim, sucessivamente, com aumento gradativo. Se construída uma tabela grande o suficiente para abranger o valor mínimo da base (125 mm) combinado a grandes espessuras de sub-base (por exemplo, da ordem de 430 mm para o Aeroporto Internacional de Atlanta), essa repetição de valores se iniciará do valor mínimo da base e só se encerrará quando atingir a combinação com o valor mínimo da sub-base. Tal comportamento indica possível existência de análise linear pelo FAARFIELD a partir de determinadas condições de solicitação do tráfego e de espessura total da estrutura. Enquanto essa análise linear, para um aeroporto de pequeno porte como o do Cariri, se inicia a partir de uma espessura mínima do pavimento de 500 mm, para portes maiores, como os aeroportos de Fortaleza, Guarulhos e Atlanta, essas espessuras mínimas são de, respectivamente, 505 mm, 610 mm e 610 mm.

Vale destaque para o fato de que o FAARFIELD faz uma análise similar de vida útil para aeroportos com movimentação consideravelmente diferente. O Aeroporto Regional do Cariri, que teve *mix* considerado com 91,4% a menos de operações que o de Fortaleza, teve uma espessura mínima com apenas 5mm a menos que a apresentada por este último, enquanto que, para Atlanta, que possui 224.000 operações a mais que Guarulhos, um movimento 71,3% maior, a espessura mínima foi considerada igual à adotada pelo programa para as análises lineares do menor.

Os dados apresentados na Tabela 7 mostram, ainda, um outro comportamento diverso. Conforme se diminui a espessura total do pavimento dentro da área onde há a repetição dos valores de vida útil, o valor calculado pelo FAARFIELD para a vida útil aumenta, seja em se mantendo fixa a espessura da base e se diminuindo a dimensão da sub-base ou vice-versa. Essa tendência dos dados é contrária à lógica observada em campo que mostra que, em se mantendo fixo o volume do tráfego, o

pavimento tende a sofrer mais danos conforme se diminui sua espessura, o que o leva a ter uma vida útil menor.

Ainda na Tabela 7, esse aumento cessa tão logo seja cruzada a última célula com valor repetido das linhas diagonais de repetição, pontos a partir dos quais começa a se observar o comportamento esperado para a vida útil do pavimento de ser diminuída à medida que se diminui a espessura total do pavimento. Esse padrão dos dados se repete para todos os quatro *mixes* estudados, e se mantém igual mesmo quando se modificam os materiais das camadas de base e sub-base, o que descarta a hipótese de que esse aumento inicial da vida útil com o decréscimo da espessura do pavimento seja atribuído a características particulares de algum dos materiais da biblioteca interna do FAARFIELD. O Gráfico 1 representa esse comportamento dos dados. Nele, cada linha representa uma espessura de sub-base, sendo a mais à esquerda no trecho vertical correspondente à espessura de 150 mm e a mais à direita, à de 190 mm, mostrando que os dados se comportam de maneira semelhante, independente da espessura assumida pela camada, havendo apenas o deslocamento da curva (de cima para baixo no trecho inicial e da esquerda para a direita no trecho vertical) devido à mudança na espessura total do pavimento. Esse comportamento é o mesmo observado nos gráficos gerados para os demais aeroportos estudados nesse artigo.

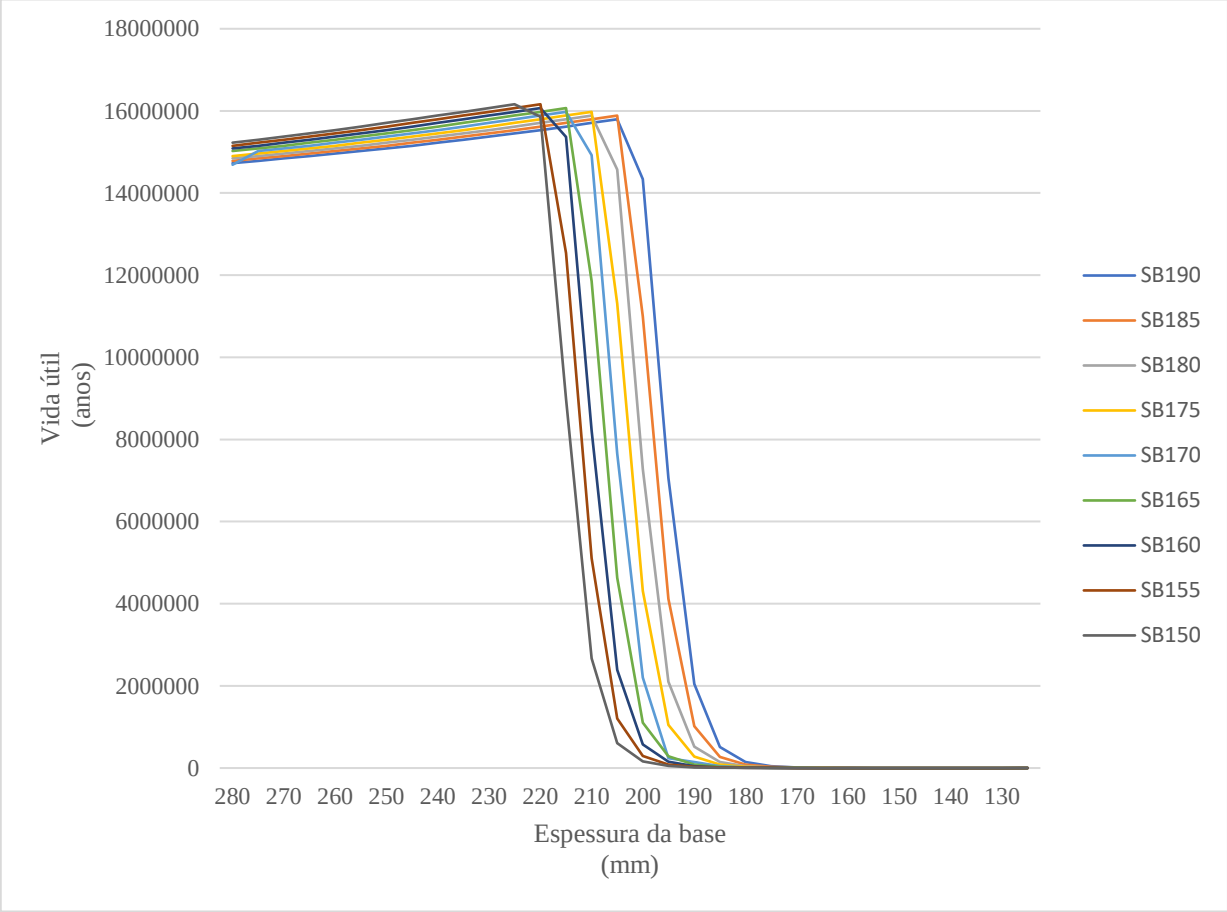


Gráfico 1: Valores de vida útil em função da espessura da base; Aeroporto Regional do Cariri.

Conforme pode ainda ser observado no Gráfico 1, enquanto os dados estão contidos nas áreas onde há a repetição dos valores de vida útil (apresentados na Tabela 7), havendo o aumento da vida útil do pavimento conforme se diminuem as espessuras das camadas, os resultados não são muito sensíveis às mudanças de espessura de base e sub-base. Quando há o acréscimo ou decréscimo de 5 mm na espessura total do pavimento (pela alteração da espessura da base ou da sub-base) para os aeroportos do Cariri, Fortaleza, Guarulhos e Atlanta, os resultados de vida útil sofrem mudanças de apenas 0,51%, 0,19%, 0,17% e 0,22% em média,

respectivamente. A variabilidade dos valores nessa zona é muito baixa, sendo a mais alta a do Aeroporto Regional do Cariri, com valor da ordem de 2,76 x 10^{-6}. Por sua vez, para os valores fora da zona de análise linear, a sensibilidade dos resultados aos *inputs* tem acréscimo considerável. A mudança de 5 mm na espessura total do revestimento, para os aeroportos do Cariri, de Fortaleza, de Guarulhos e de Atlanta, faz os resultados mudarem, em média, 128,81%, 90,59%, 75,81% e 64,93%, respectivamente. A variabilidade dos dados segue o mesmo comportamento de mudança em relação ao aumento do volume de tráfego. Conforme se aumenta o porte do aeroporto, a variabilidade decresce. A variância amostral, para a mesma ordem anterior dos aeroportos, foi de 0,9825, 0,2466, 0,0961 e 0,0650.

Se os dados da Tabela 7 forem analisados na vertical, conforme é decrescida a espessura da camada de base a partir da última célula da linha diagonal de repetição de valores, as mudanças significativas nos dados começam a ocorrer, respectivamente, em 5 mm, 10 mm, 15 mm e 20 mm para os aeroportos do Cariri, Fortaleza, Guarulhos e Atlanta. O Gráfico 2 representa as alterações percentuais médias dos valores de vida útil conforme há o distanciamento dos dados da linha diagonal onde os valores se repetem, na Tabela 7.

Ainda com relação aos dados do Gráfico 2, verifica-se que a sensibilidade dos resultados do FAARFIELD para a vida útil do pavimento tende a ser maior para *mixes* menores de aeroportos de porte pequeno. Conforme se aumenta o porte do aeroporto, o tamanho das aeronaves que compõe o *mix*, bem como o número de operações, a sensibilidade dos resultados de vida útil aos *inputs* diminui, muito embora essa sensibilidade seja alta em qualquer cenário.

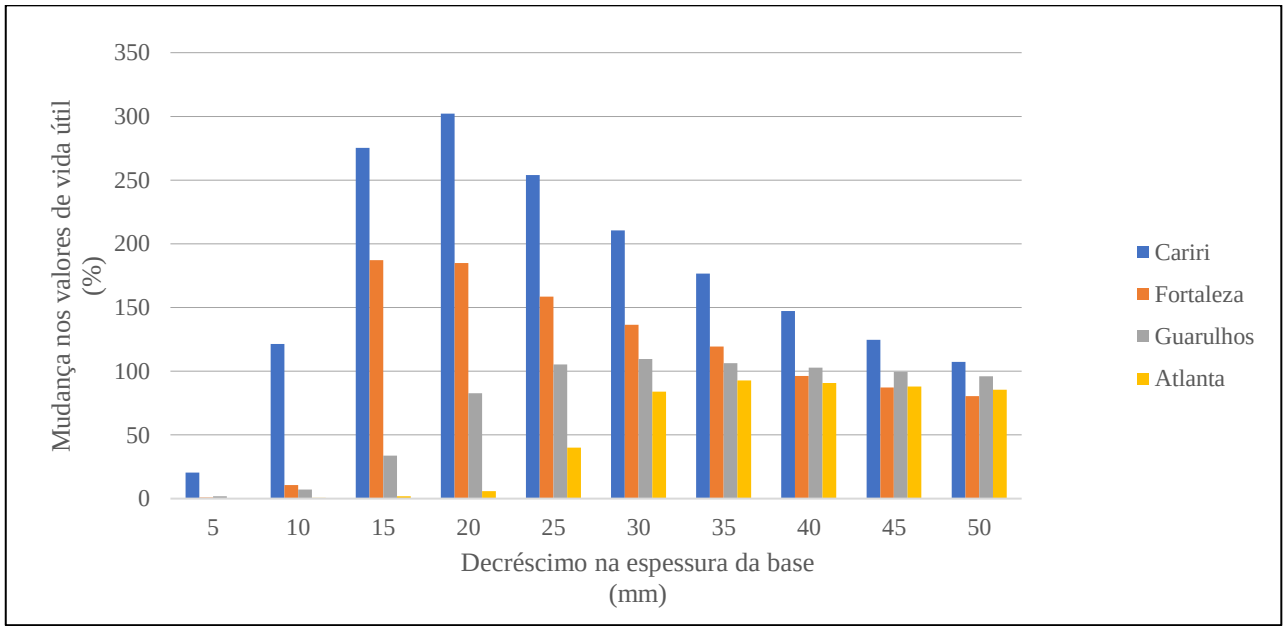


Gráfico 2: Mudança percentual média nos valores de vida útil em função do decréscimo de cada 5 mm na espessura da base.

5. CONCLUSÕES

Considerando a importância de um bom entendimento do comportamento dos dados reportados pelo *software* para um adequado dimensionamento de pavimentos aeroportuários, bem como devido à identificação de variações consideráveis nos resultados a partir de pequenas mudanças nos dados de entrada no programa, o presente artigo avaliou a sensibilidade dos resultados de

vida útil calculados pelo *software* FAARFIELD a partir da variação da espessura das camadas de base e sub-base e de *mixes* de aeronaves pertencentes a aeroportos de porte pequeno, médio, muito grande e de mega aeroporto.

Os resultados mostraram a existência de zona onde o programa, possivelmente, analisa os dados de forma linear, evidenciada pela repetição de valores de vida útil, observada para casos onde as espessuras totais do pavimento são as mesmas, independente da combinação apresentada pelas espessuras das camadas de base e de sub-base. Nessa área, os valores de vida útil do pavimento são altos (da ordem de 10^8 anos), e nela não há sensibilidade dos dados à mudança dos parâmetros de entrada (espessuras das camadas de base e sub-base), com variação dos resultados de apenas 0,57%. No entanto, quando se observaram os valores fora da área de repetição, a sensibilidade aumenta, chegando a diferenças de até 345% para alterações de apenas 5 mm na espessura total do pavimento.

A sensibilidade dos dados depende diretamente do porte do aeroporto, bem como do tamanho do *mix*, do porte e do número de operações das aeronaves. Quanto mais pesado o *mix* e quanto maior o número de operações, menos os dados variam. Por outro lado, quanto maior o aeroporto, menores os valores de vida útil e menor a diferença entre o maior e o menor valor desse parâmetro calculado pelo FAARFIELD para um mesmo aeroporto.

Essa forma de processamento dos dados, no qual o projetista consegue simular cenários variados e visualizar o impacto de cada mudança nos resultados, é um benefício promovido pela evolução dos métodos de dimensionamento. Os novos métodos possibilitam, aos tomadores de decisão, um entendimento mais amplo do comportamento que será apresentado pelas estruturas projetadas após sua construção, fazendo com que as escolhas sejam mais racionais. Nesse sentido, o uso do FAARFIELD tentou ser explorado neste trabalho, buscando contribuir com a compreensão do comportamento do *software* para o projeto de estruturas aeroportuárias que desempenhem de maneira mais efetiva sua função principal de oferecer segurança para as operações de pousos e decolagens.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), no Aeroporto Internacional de Fortaleza/CE e no Aeroporto Regional do Cariri, em Juazeiro do Norte/CE, pela disponibilização dos dados de movimento operacional de pousos e decolagens.

6. REFERÊNCIAS

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração.** São Paulo: Oficina de Texto. 2007.

FAA. **Airport Pavement Design and Evaluation – AC n°: 150/5320-6D.** U. S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. Washington, DC, USA, 1995.

FAA. **Airport Pavement Design and Evaluation – AC n°: 150/5320-6E.** U. S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. Washington, DC, USA, 2009.

GARG, N.; GUO, E; MCQUEEN, R. **Operational life of airport pavements - DOT/FAA/AR-04/46 Final Report.** Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation, Springfield, EUA, 2004.

INFRAERO. **Memorial de Cálculo para Implantação de Saída Rápida para a Pista 27L do Aeroporto Internacional de Guarulhos (GRU/SBGR).** Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária, Brasília, 2011.

INFRAERO. **Movimento operacional: Aeroporto Internacional de Fortaleza/CE.** Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária, Fortaleza, 2017.

INFRAERO. **Movimento operacional: Aeroporto Regional de Juazeiro do Norte/CE.** Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária, Juazeiro do Norte, 2019.

KB ENVIRONMENTAL SCIENCES. **Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport - Documentation for the CY 2011 Criteria Air Pollutant Emission Inventory.** City of Atlanta/Department of Aviation, Atlanta, EUA, 2014.

OAG AVIATION WORLDWIDE LIMITED. **On-time performance for airlines and airports and TOP 20 busiest routes.** 2018. Disponível em: <https://www.oag.com/hubfs/Free_Reports/Punctuality_League/2018/PunctualityReport2018.pdf>. Acesso em 05 de agosto de 2019.

PURVIS, J. **Sensitivity Analysis of Pavement Thickness Design Software for Local Roads in Iowa.** Dissertação. University of Iowa, Iowa City, EUA, 2013.

RAMOS, B. A. S. **Estudo de casos com o emprego de métodos de dimensionamento de pavimentos aeroportuários da Federal Aviation Administration (FAA).** 2006. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.

TAFFE JÚNIOR, E. J. **Uma alternativa econômica quanto ao dimensionamento de pistas de aeródromos.** Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA, 2002, São José dos Campos. *Anais do VIII ENCITA.* São Paulo: 2002. Disponível em: < http://www.bibl.ita.br/viiiencita/>. Acesso em 05 de agosto de 2019.

QUANTIFYING CAPACITY LOSSES OF THE PHYSICAL SEPARATION OF DOMESTIC AND INTERNATIONAL PASSENGERS USING DISCRETE EVENT SIMULATION

Max Georg Schulze Schwienhorst
RWTH Aachen University, Institute of Transport Science
Mies-van-der-Rohe-Str. 1, 52074 Aachen – Germany
schwienhorst@via.rwth-aachen.de

Giovanna Miceli Ronzani Borille
Aeronautics Institute of Technology (ITA)
São José dos Campos, SP - Brazil
ronzani@ita.br

Johannes Reichmuth
German Aerospace Center (DLR), Institute of Air Transport and Airport Research
Linder Höhe, 51147 Cologne – Germany
johannes.reichmuth@dlr.de

ABSTRACT

Today's airport terminals suffer from various usage restrictions such as the physical separation of domestic and international passenger flows. New technologies like biometrics may enable the abolition of this physical constraint and hence increase the terminal capacity. This paper uses a discrete event simulation environment to quantify the capacity effect of an abolition of the physical separation of international and domestic passenger flows in airport terminals for the European case. Therefore, a simulation model in AnyLogic is applied. The simulation model uses varying shares of domestic an international passengers as an input and models different scenarios. The different scenarios in the simulation allow comparing different terminal layouts and the particular usage restrictions behind.

Keywords: Airport Capacity; Terminal Simulation; Discrete Event Simulation; Future Terminal Concepts; Level of Service

1. INTRODUCTION

The aviation sector is facing a continuing growth (IATA 2017). Consequently, airports, as a main player in the aviation sector, have to deal with increasing traffic and passenger volumes in their terminals. Often limited in their options for infrastructure expansion, they are frequently facing capacity issues. A clear fact in terms of efficiency and capacity management is a flexible use of the existing infrastructure. Therefore, restrictions and constraints in terminal operations may cause capacity issues.

Today's airports have to deal with various restrictions. A paragon of inefficient airport terminal operations is the physical separation of domestic and international passengers. For the European case, the present Schengen Border Code prescribes airport operators to "physically separate (…) passengers on internal flights from passengers (…) on other flights." (Lilico et al. 2016). As a result, terminal gate areas at airports can be used solely for either Schengen or Non-Schengen flights. This constraint affects daily airport operations, causing capacity losses, and is costly for passengers and airport operators.

This study aims to quantify the capacity losses caused by the restriction of the aforementioned physical separation of passengers in airport terminals. Therefore, we will compare restricted terminal scenario to an unrestricted terminal scenario with the help of computer simulation. The unrestricted terminal scenarios in this study are based on the terminal concept called Uniform Terminal Area (UTA), which will be explained more detailed in a subsequent section.

In a prior work, we could already prove capacity effects for the abolition of the physical separation. While we used aggregated flight schedule data for 50 European airports as an input for our simulation in that prior work, this paper will deploy a clustered airport class approach. We will take into account the different volatilities of the individual flight schedules of the 50 airports.

Hypothesis: Airports with a greater volatility in their flight schedules in terms of domestic and international flights are facing greater capacity losses in a restricted gate scenario.

To test this hypothesis, a simulation model using Discrete Event Simulation (DES) is applied. In this paper, we will derive three airport categories depending on their volatility in their individual flight schedules. With this airport category approach, we can compare our restricted terminal model with the unrestricted UTA scenario and test our stated hypothesis.

Subsequent to a brief summary of the system idea of a UTA in section 2, the methodology of this paper will be explained in four consecutive steps. In section 4 we introduce our simulation model using DES in AnyLogic. The sections 5 and 6 will pave the way for our simulation in AnyLogic, as we generate the right input data. Therefore, we consider historic flight schedule data and determine the volatility in the flight schedule of individual airports. At the end of section 6, we derived three airport categories and generated the arrival rate schedules for our simulations. In section 7 we present the results of the DES in AnyLogic. Ascertained throughput values for different scenarios combined with queuing times will allow us to quantify the capacity losses in the restricted scenario. Conclusions will be drawn in section 8. A short discussion of the results concludes the paper.

2. SYSTEM IDEA OF UTA

The system idea of the Uniform Terminal Area was introduced in detail in a previous publication . This section gives a brief summary of the idea of a shared and uniform terminal area.

Current terminal processes at an international airport can be described by the following simplified scenario (Mensen 2013). Subsequent to check-in and baggage claim, all departing passengers have to undergo a security inspection when entering the terminal airside. Depending on the passenger's destination, a passport control is mandatory. Domestic and international passenger flows (or used as a synonym in this paper: Schengen and Non-Schengen) are physically divided after this passport control. Consequently, passengers traveling to Non-Schengen countries will always use different and physically separated terminal areas than Schengen passengers. At the

end of the process chain, all passengers will leave the terminal airside when boarding the plane. Figure 1 shows a generic terminal layout of an airport with the present restrictions and processes described before. For the terminal airside the light blue rectangle represents the domestic gate area while the dark blue rectangle represents the international gate area. Both areas are separated physically, for instance by a wall. This physical separation will represent the restricted scenario in the subsequent capacity analysis.

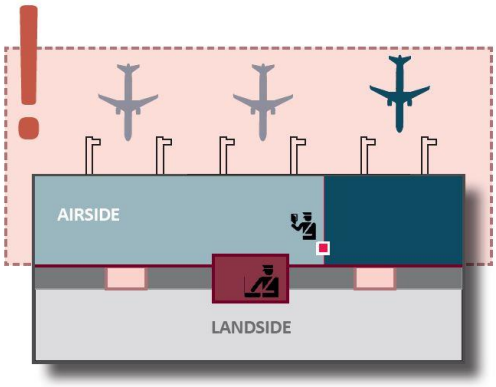


Figure 1: Generic Terminal Layout with a physical separation of domestic and international passengers

The processes within a UTA will be similar to current procedures in a passenger terminal, just without a physical separation of passenger flows (see Figure 2). To ensure the reliable unbundling of departing passengers, three biometric checkpoints are established. Starting with a biometric enrollment (facial recognition) for all passengers at security control, a mandatory passport control for passengers flying to Non-Schengen countries will follow. To prevent unauthorized emigrations and to ensure the reliable unbundling of passengers, a third biometric checkpoint is needed at the boarding gate. The last checkpoint at the boarding gate will ensure the reliable unbundling of passengers travelling inside the Schengen area and passengers travelling outside. For a detailed determination of the three biometric checkpoints we refer to (Schulze Schwienhorst, 2019b). The UTA layout will represent the UTA scenario in the subsequent capacity analysis.

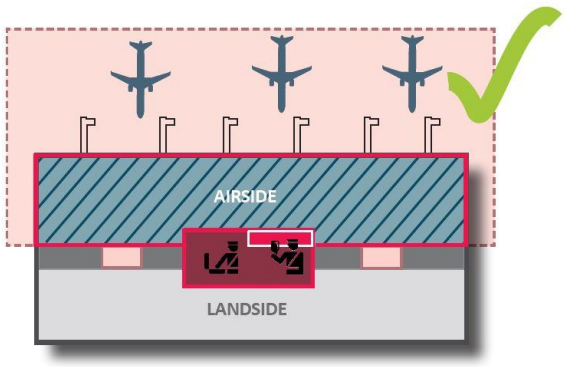


Figure 2: System Idea of a Uniform Terminal Area (UTA)

The previously presented processes in a UTA are guided by present terminal operations to make them more comprehensible. The rigid setup of the single processes is not limited to the introduced one. Checkpoint two, for instance, could work with single kiosks spread around the terminal airside or even without a physical checkpoint in the future (Dutton, 2017). The European Entry and Exit System (EES) initiative, going into effect in 2020, is introducing self-service border-crossing facilities, for example, and paving the way for trendsetting and modern border-crossing processes (European Commission, 2016). Therefore, technological and regulatory changes will facilitate the idea of a UTA in the near future.

3. METHODOLOGY

In a previously published paper, we could already prove significant capacity effects for the abolition of the physical separation. While we used aggregated flight schedule data for 50 European airports as an input for our DES in that prior work, this paper will deploy a clustered airport class approach. Therefore, we will analyze OAG (Official Airline Guide) flight plan data from 2016 and derive varying hourly shares for domestic and international flights for each day of the week. Based on the Mean Average Deviation (MAD) for the hourly shares of the individual 50 airports, we will cluster the airports in three groups. Consequently, the domestic and international shares will be more homogenous within the three groups and conclusions from the discrete

event simulation will be more specific and related to the particular airport category.

In order to describe a comprehensible procedure, we will subdivide the methodology in four consecutive steps. In a **first step**, historic flight schedule data from 2016 are analyzed. The flight schedule data we use come from the OAG and include information about all commercial flights conducted worldwide for one week in July 2016. Having a focus on the European Case and thus on flights from the Schengen area[1], we are examining the weekly flight schedules of all airports in the Schengen Area with a minimum volume of 5 million passengers per year and a maximum volume of 30 million annual passengers. In total, these 50 airports were handling more than 28,000 commercial flights (departing flights only) in the chosen week in July 2016. For every day of the week, from 5 am to 11 pm, the varying share of flights to either Schengen or Non-Schengen destinations are derived. Additionally, we calculate a weekly average of the ratio of flights to Schengen and Non-Schengen destinations.

Within the **second step**, we will use the results of the flight schedule analysis of step one to determine the volatility of the flight schedules of the individual 50 airports. Keeping in mind the hypothesis of the paper's introduction, the individual airports will be clustered depending on the volatility of their flight schedules in terms of Schengen and Non-Schengen flights. Therefore, we will use the Mean Absolute Deviation (MAD). The MAD can be used as a robust measure of the volatility for historic data (Ederington and Guan, 2006). In contrast to the Standard Deviation (SD) the MAD only takes the absolute deviation into account. Considering the absolute deviation instead of a squared deviation lowers the influence of especially extreme outliers.

Calculating the MAD for every of the 50 airports allows us to cluster the 50 airports in three categories. Airport category I contains the third of the considered airports with the lowest volatility in their Schengen and Non-Schengen ratio. On the other side, airport category III contains the third of the considered airports with the highest volatility in their flight schedules. The result of this second step is a classification of our airports in terms of volatility in their flight schedules. This classification allows us a more specific consideration of our hypothesis on one hand and represents a more homogenous basis for our following simulation scenarios.

Step three of this study is combining the results of step one and two and thus to generate the input parameters for the DES. The ascertained airport categories of step two enable us to derive tailored passenger arrival profiles for domestic and international flights for every airport category. Therefore, we have to conflate the rolling hourly shares (10-minute-steps) of domestic and international flights for the airports of the particular airport category. These shares are transformed into arrival rate schedules, the input parameter of our DES.

In order to transform the hourly shares into arrival rate schedules, we do need to know about the passenger volume. As the aim of this paper is to quantify the capacity of different terminal layouts, we are interested in the throughput and corresponding queuing times. Hence, we will run our DES with various passenger volumes. In this study, we started with a constant passenger volume of 100 PAX/h for all of the three airport categories. We increased the passenger volume in steps of 100 PAX/h up to a maximum passenger volume of 2300 PAX/h.

The result of step three are 69 arrival rate schedules as an input for our DES. Consequently, for every airport category we calculated 23 arrival rate schedules with varying passenger volumes. The underlying rolling hourly shares thereby stay constant within the airport category, while the passenger volume increases for the 23 arrival rate schedules.

The **fourth step** of this study is to determine the capacity of two different scenarios. Scenario 1, named the restricted

[1] Germany, Austria, Belgium, the Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Greece, Hungary, Iceland, Italy, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, Malta, the Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden and Switzerland have all acceded to the Schengen Agreement and are thus Schengen states. Citizens of Schengen countries can cross the internal borders of all member states without passport checks. The Schengen visa entitles the holder to visits of up to 90 days every 6 months in the entire Schengen area. (Federal Foreign Office Germany. Link: https://www.auswaertiges-amt.de/en/einreiseundaufenthalt/-/231202

scenario, corresponds the current airport terminal configuration where gate restrictions in terms of a separation of domestic and international passengers are present. Scenario two, named the UTA scenario, corresponds the UTA configuration where no gate restrictions in terms of a separation of domestic and international passengers are present. To determine the capacity of the two scenarios we use DES. The tool we use therefore is AnyLogic Professional (version 8.3.3). Our DES uses the arrival rate schedules derived in step three of this study as an input. Based on the process-modelling library in AnyLogic, our simulation can calculate individual queuing times for the different scenarios. By applying the Level of Service (LoS) concept (Zografos et al., 2013) we can compare the different terminal configurations for different airport categories.

Using varying passenger volumes as well as specific arrival rates for three airport clusters as an input, the results of the comprehensive simulations in AnyLogic allow us to draw nuanced conclusions and to quantify the capacity effect of the physical separation of domestic an international passengers in most of today's airport terminals.

4. SIMULATION MODEL

For an advanced analysis of the capacity effect of the physical separation of passenger flows, we use DES. The simulation runs were conducted with AnyLogic Professional (version 8.3.3) using the Process Modeling Library. The fundamental structure of the simulation model is shown in Figure 3. The simulation model contains both, the restricted scenario (gate restrictions are present) and the UTA scenario. Therefore, it is considering three types of passengers (Schengen, Non Schengen and UTA passengers).

While Schengen and Non Schengen passengers in the restricted scenario enter the simulation via the S_source and NS_source, UTA passengers in the UTA scenario use the UTA_source. Both scenarios have different resources in their gate and boarding service stations (delay blocks).

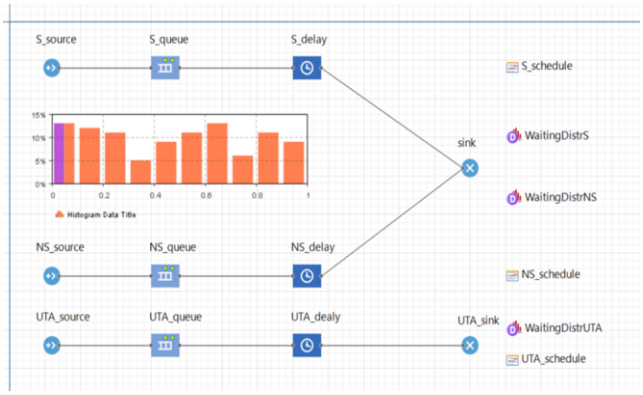


Figure 3: Simulation Model in AnyLogic

All passengers enter the simulation following a predefined schedule. The individual schedules we are using will be derived in section 6 and base on the flight schedule analysis. Our DES uses varying arrival rates in terms of passenger volumes (PAX/h) as well as varying Schengen and Non-Schengen shares as an input.

5. HISTORIC FLIGHT SCHEDULE ANALYSIS

To obtain a sensible basis for the DES we are analyzing historic flight schedule data from 2016 (first step of the methodology). The underlying database for the evaluation in this section is an OAG database, containing all global flights (commercial, regular flights) for one week in July 2016. The primary database includes but is not limited to the following information: flight number, departing airport, arriving airport, local departure time, local arrival time and days of operation.

As this paper is using the Schengen Area to quantify the capacity impact of the physical separation of domestic and international passenger flows in airport terminals, this evaluation is about departing flights from airports inside the Schengen Area. Consequently, we adjusted the database by flights departing from airports within the named Schengen Area.

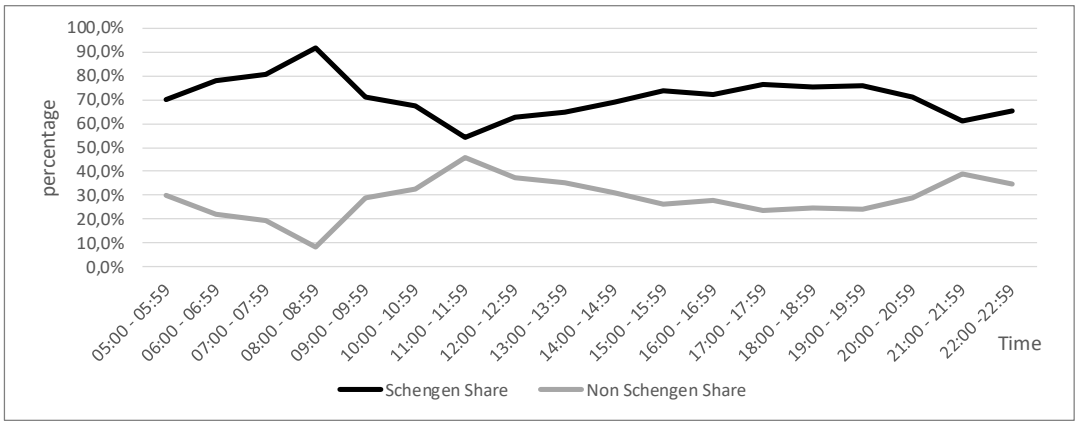


Figure 4: Exemplary plot of the Schengen/ Non Schengen Share for a group of airports (Friday, July 2016 | airport category II)

In order to prevent a blending of too many airport categories in our study, global hubs (Malighetti et al., 2009) and small airports were excluded from the evaluation of the OAG flight schedule data. Therefore, only airports with a minimum volume of 5 million passengers per year and a maximum volume of 30 million annual passengers were considered. The operating hours were limited to a period from 5 am to 11 pm to preclude the prevalent night flight bans at European airports.

Based on the filtered database, we derived varying shares for departing Schengen and Non-Schengen flights for every day of the week and for all of the 50 airports. Additionally, we calculated a weekly average of the ratio of flights to Schengen and Non-Schengen destinations.

Figure 4 shows an exemplary plot of the diurnal variation of the Schengen and Non Schengen share for a group of airports (example set is later on defined as airport category II) on a Friday in July 2016. One can see a strong domination of Schengen flights in the morning hours. With a peak of 91.8 percent of Schengen flights from 08:00 to 08:59 the Non Schengen share is increasing around midday. The greatest Non-Schengen share stated with 45.6 percent in the period from 11:00 – 11:59.

On a weekly average, the Schengen and Non Schengen flight share equals a 30.6 percent of Non-Schengen flights and 69.4 percent of Schengen flights ratio. The average hourly shares show a minimum share of 8.2 and a maximum share of 45.6 percent in Non-Schengen flights. For Schengen flights, the minimum hourly share corresponds to 54.4 percent while the maximum corresponds to 91.8 percent.

In summary, it can be stated for the first step that the study consists of flight schedule data for 7 days and 50 airports and is taking into account departing flights from 19 different countries. The result of this first step is a total view of the Schengen and Non Schengen shares for every individual airport and for each day of the week.

Within the second step, we use these processed data to determine the volatility of the flight schedules of the individual airports. Therefore, we apply the MAD as a measure of volatility. Equation 1 shows the calculation of the MAD and demonstrates the dependency on the weekly ratio of Schengen and Non Schengen flights (equals m(X)). This weekly ratio corresponds to the quantity of flights to Schengen or Non-Schengen destinations proportional to the total amount of flights at the specific airport. As the Schengen and Non Schengen shares are interdependent, the MAD of the Schengen Share equals the MAD of the Non Schengen Share.

Equation 1: Mean Average Deviation

$$MAD = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |x_i - m(X)|$$

Calculating the MAD for the individual 50 airports allows us to cluster the airports in three categories. Therefore, we had to sequence the

airports depending on their MAD. Following this, we split the airports into three equal groups.

Table 1 depicts the list of airports belonging to airport category I. This airport category is the one with the lowest volatility in the individual flight schedules. We could observe that the airport of Oslo (Norway) has the lowest MAD value with 9.1 percentage points. The greatest volatility within airport category I shows the airport of Nice (France) with a MAD value of 19.0 percentage points.

Table 1: Airport Category I: Mean Absolute Deviation of international passenger shares

Airport City	*IATA Code*	*PAX/a in 2016*	*MAD [%]*
Oslo	*OSL*	*25.787.691*	*9.1*
Bergen	*BGO*	*5.949.060*	*10.8*
Palermo	*PMO*	*5.325.559*	*11.0*
Porto	*OPO*	*9.378.082*	*14.1*
Hamburg	*HAM*	*16.224.154*	*14.4*
Stockholm	*ARN*	*24.682.466*	*15.1*
Catania	*CTA*	*7.914.117*	*15.7*
Brussels	*BRU*	*21.818.418*	*16.2*
Cologne	*CGN*	*11.910.138*	*16.6*
Copenhagen	*CPH*	*29.043.287*	*16.6*
Mallorca	*PMI*	*26.253.882*	*17.0*
Helsinki	*HEL*	*17.184.681*	*17.4*
Milan	*BGY*	*11.159.631*	*17.8*
Vienna	*VIE*	*23.352.016*	*18.4*
Dusseldorf	*DUS*	*23.521.919*	*18.8*
Geneva	*GVA*	*16.532.690*	*18.9*
Nice	*NCE*	*12.427.427*	*19.0*

Concurrent to the details of airport category I, Table 2 depicts the list of airports belonging to airport category II. The airports of this category have a medium volatility in their flight schedules. We could observe that the airport of Zurich (Switzerland) has the lowest MAD value of airport category II with 19.1 percentage points. The greatest volatility within airport category II shows the airport of Heraklion (Greece) with a MAD value of 24.4 percentage points.

Table 2: Airport Category II: Mean Absolute Deviation of international passenger shares

Airport City	*IATA Code*	*PAX/a in 2016*	*MAD [%]*
Zurich	*ZRH*	*27.666.428*	*19,10%*
Lisbon	*LIS*	*22.449.289*	*19,30%*
Milan	*LIN*	*9.682.264*	*19,60%*
Toulouse	*TLS*	*8.081.179*	*20,60%*
Venice	*VCE*	*9.553.250*	*21,10%*
Ibiza	*IBZ*	*7.416.368*	*21,20%*
Stuttgart	*STR*	*10.626.430*	*21,40%*
Athens	*ATH*	*20.017.530*	*21,40%*
Milan	*MXP*	*19.420.690*	*21,70%*
Valencia	*VLC*	*5.799.104*	*23,00%*
Berlin	*SXF*	*11.652.922*	*23,60%*
Basel	*BSL*	*7.314.269*	*23,70%*
Malaga	*AGP*	*16.672.776*	*23,70%*
Lyon	*LYS*	*9.553.250*	*23,90%*
Bologna	*BLQ*	*7.680.992*	*24,20%*
Heraklion	*HER*	*6.742.746*	*24,40%*

For airport category III, Table 3 depicts the list of airports belonging to that category. The airports of this category have the highest volatility in their flight schedules. We could observe that the airport of Brussels Charleroi (Belgium) has the lowest MAD value of airport category III with 24.5 percentage points. The greatest volatility within all of the 50 airports shows the airport of Reykjavik (Island) with a MAD value of 36.6 percentage points.

Table 3: Airport Category III: Mean Absolute Deviation of international passenger shares

Airport City	*IATA Code*	*PAX/a in 2016*	*MAD [%]*
Brussels	*CRL*	***7.303.720***	*24,50%*
Alicante	*ALC*	***12.344.945***	*24,50%*
Budapest	*BUD*	***11.441.999***	*24,90%*
Prague	*PRG*	***13.074.517***	*25,10%*
Marseille	*MRS*	***8.475.809***	*25,20%*
Naples	*NAP*	***6.775.988***	*25,20%*
Berlin	*TXL*	***21.253.959***	*25,40%*
Faro	*FAO*	***7.630.909***	*26,50%*
Bordeaux	*BOD*	***5.779.569***	*26,60%*
Thessaloniki	*SKG*	***5.687.325***	*27,10%*
Hannover	*HAJ*	***5.408.814***	*29,60%*
Gothenburg	*GOT*	***6.369.396***	*31,10%*
Rome	*CIA*	***5.395.699***	*31,40%*
Warsaw	*WAW*	***12.795.356***	*32,70%*
Malta	*MLA*	***5.080.071***	*34,60%*
Riga	*RIX*	***5.400.243***	*36,10%*
Reykjavik	*KEF*	***6.821.358***	*36,60%*

The result of this second step is a classification of our airports in terms of volatility in their flight schedules. This classification allows us a more specific consideration of our hypothesis on one hand and represents a more homogenous basis for our DES we already showed in section 4.

6. INPUT PREPARATION

Within this section, we are going to combine the results of the flight schedule analysis and the airport categorization in order to generate the input parameters for the DES. The ascertained airport categories enable us to derive tailored passenger arrival profiles for domestic and international flights for every airport category. As a result of the airport schedule analysis, diurnal variations of the Schengen and Non Schengen shares for every of the 50 airports and for every day of the week are available. Based on these results, we compile rolling hourly shares with a frequency of 10-minute-steps. We compile the rolling hourly shares for domestic and international flights for all airports of the particular airport category. We transform theses shares into arrival rate schedules, subsequently.

Table 4 indicates the primary step on the way to our arrival rate schedules. The table exemplary shows for the airport category II how data about the hourly shares are available. The sample period starts at 5 am with a Schengen share of 75.8 % and a Non Schengen share of 24.2 %. One can see that the share values update in 10-minute-steps. Around midmorning, the Non Schengen share has increased up to 38.1 % while the Schengen share corresponds 61.9 %.

Table 4: Rolling Hourly Shares of Schengen and Non-Schengen flights for Airport Category II (weekly average)

Time [hh:mm]	*S-Share [%]*	*NS-Share [%]*
05:00 – 05:59	*75.8*	*24.2*
05:10 – 06:09	*83.3*	*16.7*
05:20 – 06:19	*86.5*	*13.5*
05:30 – 06:29	*88.3*	*11.7*
05:40 – 06:39	*87.8*	*12.2*
05:50 – 06:49	*82.2*	*17.8*
...	...	...
11:00 – 11:59	*61.9*	*38.1*
11:10 – 12:09	*63.2*	*36.8*
11:20 – 12:19	*67.6*	*32.4*
11:30 – 12:29	*65.3*	*34.7*
11:40 – 12:39	*64.0*	*36.0*
11:50 – 12:49	*65.1*	*34.9*
...	...	...
20:00 – 20:59	*72.1*	*27.9*
20:10 – 21:09	*72.2*	*27.8*
20:20 – 21:19	*72.3*	*27.7*
20:30 – 21:29	*69.9*	*30.1*
20:40 – 21:39	*66.8*	*33.2*
20:50 – 21:49	*61.1*	*38.9*
...	...	...

In order to transform the hourly shares into arrival rate schedules, we do need to know

about the passenger volume. As the aim of this paper is to quantify the capacity of different terminal layouts, we are interested in the throughput and corresponding queuing times. Hence, we will run our DES with various passenger volumes. In this study, we start with a constant passenger volume of 100 PAX/h for all of the three airport categories. We increase the passenger volume in steps of 100 PAX/h up to a maximum passenger volume of 2300 PAX/h. The underlying rolling hourly shares thereby stay constant within the airport category, while the passenger volume increases for the 23 arrival rate schedules of the individual three airport categories.

An example for a completed arrival rate schedule can be seen in Table 5. The table shows the individual arrival rates for the airport category I with a passenger volume of 1,600 PAX/h. The schedule contains arrival rates for the S_source, the NS_source and the UTA_source. The arrival rate schedule starts with a period from 0 to 600 seconds (which equals the first 10 minutes of the simulation) and updates in 10-minute-steps. The last arrival rate is given for a period ending at 64,800 seconds. The 64,800 seconds equal 18 hours which is the total time of the period of the analysis.

Table 5: Example of the AnyLogic Input – Rate-Schedule for Airport Category I with a Passenger Volume of 1,600 PAX/h

AL_Time [s]	*s_rate [PAX/s]*	*ns_rate [PAX/s]*	*UTA [PAX/s]*
0 – 600	*0.360*	*0.084*	*0.444*
600 – 1,200	*0.351*	*0.094*	*0.444*
1,200 – 1,800	*0.355*	*0.090*	*0.444*
1,800 – 2,400	*0.340*	*0.104*	*0.444*
2,400 – 3,000	*0.348*	*0.097*	*0.444*
3,000 – 3,600	*0.355*	*0.089*	*0.444*
3,600 – 4,200	*0.362*	*0.083*	*0.444*
…	*…*	*…*	*…*
… – 64,800	*0.339*	*0.106*	*0.444*

The result of this section's 'input preparation' are 69 arrival rate schedules as an input for our DES. Consequently, for every airport category we calculated 23 arrival rate schedules with varying passenger volumes. The arrival rate schedules serve as the input parameter in our DES.

7. RESULTS

A main objective of this paper is to testing the stressed hypothesis. The hypothesis implies that for airports with a greater volatility in the flight schedule, the application of UTA has a stronger capacity effect than for airports with a lower volatility in the flight schedule. Therefore, we had to determine the capacity for the restricted and the UTA scenario for our three airport categories separately.

In the subsequent figure and the subsequent tables, we will present the results of the 69 simulation runs in AnyLogic. For the restricted scenario, we have separate outcomes for every airport category and every passenger volume. The UTA scenario in contrast has the same outcome for every airport category at a given passenger volume. Hence, our results have four output columns (UTA, Cat 1, Cat 2 and Cat 3).

Figure 5 shows the summarized results for the 69 simulation runs in terms of the average queuing time per passenger. One can see for low passenger volumes that both scenarios, the restricted (for three different airport categories) and the UTA scenario show no relevant queuing times. At about a passenger volume of 1,500 passengers per hour, the queuing times increase for the restricted scenario. Within the restricted scenario, the queuing times for airport category III are the first that increase. Followed by the queuing times for airport category II and finally the queuing times for airport category I. The queuing times for the UTA scenario stay steady on a low level (<10 s) until a passenger volume of around 2,000 per hour. As the technical capacity of the terminal is designed for 2,000 passengers per hour, the results reveal reliable. Small waiting times occur even if the demand rate is lower than the service rate (Jacquillat and Odoni, 2017).

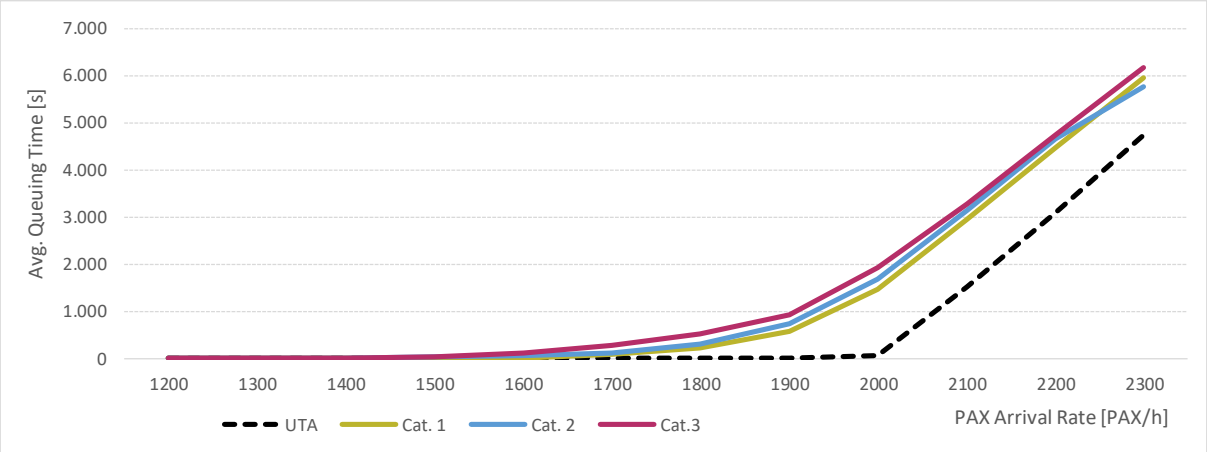


Figure 5: Average Queuing Time per PAX

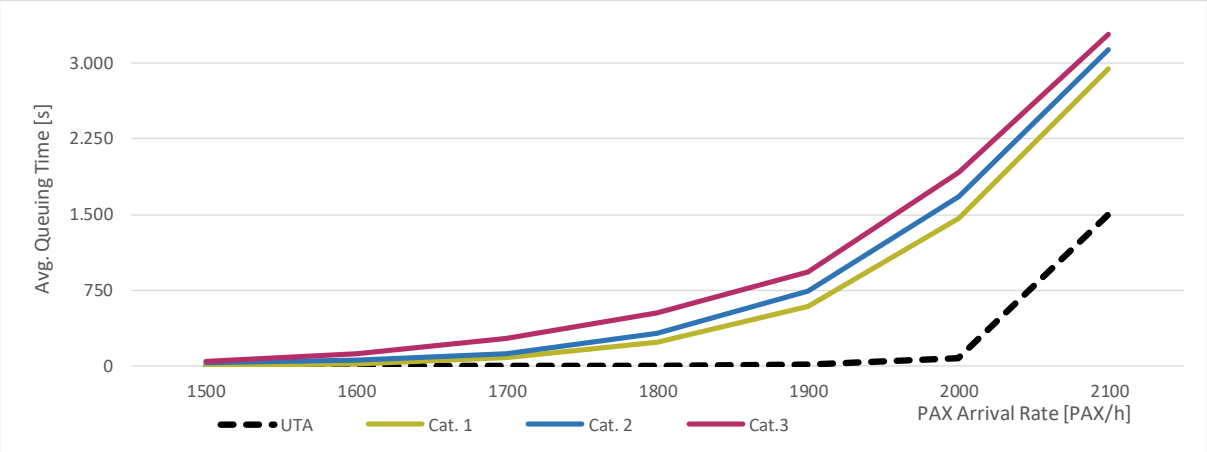


Figure 6: Average Queuing Time per PAX (enlarged)

For a detailed view on the most interesting part of the mean queuing times, Figure 6 shows an enlarged extract of the results for passenger volumes from 1,500 to 2,100 per hour. For every point in time, the queuing times for passengers in the restricted scenario are greater than the queuing times for passengers in the UTA scenario.

To use the results of the DES for a comparison of the two scenarios, we now apply the Level of Service concept. With the help of capping the mean queuing times, we can determine the performance of the different scenarios. As we do not intend to decide on a specific mean queuing time, we determine the performance for three different thresholds.

The throughput values for the different scenarios and different airport categories in Table 6 reveal that the throughput for UTA is above 2,000 passengers per hour for each of the three thresholds of the mean queuing time. For the 10 min threshold for instance, the UTA scenario has a throughput of about 2,036 passengers per hour. The restricted scenario on the other hand has a throughput of about 1819 passengers per hour for airport category III and a throughput of about 1901 passengers per hour for airport category I.

Table 6: Throughput of the individual airport categories for three service levels (mean queuing times)

Mean Queuing Time	*UTA [PAX/h]*	*Cat. I [PAX/h]*	*Cat. II [PAX/h]*	*Cat. III [PAX/h]*
5 min	*2015.79*	*1819.57*	*1790.05*	*1712.13*
10 min	*2036.63*	*1901.45*	*1866.86*	*1818.80*
15 min	*2057.46*	*1935.74*	*1917.10*	*1897.38*

8. CONCLUSIONS

The results presented in the previous section indicate that the UTA terminal design achieves a better performance than the terminal design in the restricted scenario. This counts for both the mean queuing times and the ascertained throughput.

To better quantify the capacity effects of the different scenarios we converted our results of the DES as shown in Table 7. Setting the throughput of the UTA scenario to 100 %, we can put the three different airport categories of the restricted scenario in relation.

A first conclusion of the results shown in Table 7 is that the airport category has an impact on the performance.

Table 7: Capacity of the individual airport categories compared to the UTA capacity (=100 %) for three service levels (mean queuing times)

Mean Queuing Time	*UTA [%]*	*Cat. 1 [%]*	*Cat. 2 [%]*	*Cat. 3 [%]*
5 min	*100.0*	*90.3*	*88.8*	*84.9*
10 min	*100.0*	*93.4*	*91.7*	*89.3*
15 min	*100.0*	*94.1*	*93.2*	*92.2*

Taking the difference between the performance of the UTA scenario and the performance of the restricted scenario basically defines the capacity losses. Looking at the 5 min (mean queuing time) threshold for airport category II for instance, one can see a capacity loss of the restricted scenario of 11.2 per cent compared to the UTA scenario. To put it another way, the benefit of abolishing the physical separation of domestic and international passengers could increase the capacity by 11.2 per cent for the input parameter of airport category II and a determined threshold of 5 min for the mean queuing times.

Table 8: Capacity losses of the individual airport categories compared to the UTA capacity (=100 %)

Mean Queuing Time	*Cat. 1 [%]*	*Cat. 2 [%]*	*Cat. 3 [%]*
5 min	*- 9.7*	*- 11.2*	*- 15.1*
10 min	*- 6.6*	*- 8.3*	*- 10.7*
15 min	*- 5.9*	*- 6.8*	*- 7.8*

The summarized data in Table 8 indicate that there are two main conclusion to draw. First, the volatility of the flight schedule of the airport category has an impact on the performance. Airport category I has the lowest volatility and at the same time the lowest capacity losses compared to the UTA scenario. Airport category III, with the highest volatility in the flight schedule has the highest capacity losses compared to the UTA scenario. This holds true for all of the three thresholds for the mean queuing time.

The second conclusion to draw is related to the Level of Service criteria. In the present analysis, we used the mean queuing time as the prevalent criteria. We could observe greater capacity losses for the restricted scenario for stricter thresholds of the mean queuing times. The capacity losses for the 5 min threshold are greater compared to the 10 min threshold for all airport categories. The same applies to the 10 min to 15 min threshold comparison. In other words - if the LoS criteria is set strict, the greater the capacity losses can be anticipated.

9. DISCUSSION

The aim of this paper was to quantify capacity losses caused by the physical separation of domestic and international passengers for the European case. The focus of this paper was the impact of the volatility of an airport's flight schedule on the observed capacity losses. With the objective of answering the research question and testing the stated hypothesis, we used DES to compare our restricted and UTA scenario for three different airport categories.

Our results of the DES allow two main conclusions. The first conclusion is that there is a capacity effect caused by the physical separation of domestic and international passengers. Our analysis showed, depending on the airport category and LoS threshold, a capacity loss for the restricted scenario of 5.9 to 15.1 per cent compared to the UTA scenario. The introduction of UTA therefore would probably generate positive effects in terms of airport terminal capacity.

The second conclusion is that the airport category and with that the volatility of the flight schedule has an impact on the performance. The

lower the volatility in the flight schedule, the lower are the capacity losses in the restricted scenario. Hence, the stated hypothesis can be accepted. Beyond the volatility, we could also observe an impact of the defined LoS criteria. The stricter (meaning shorter) the LoS criteria is set, the greater the expected capacity losses can be anticipated.

10. REFERENCES

Dutton, P. (2017). Australia to introduce world leading border clearance technology.

Ederington, L.H. and Guan, W. (2006) Measuring historical volatility. Journal of Applied Finance, 16.

European Commission (2016). Stronger and Smarter Borders in the EU: Commission proposes to establish an Entry-Exit System.

IATA (2017) 2036 Forecast Reveals Air Passengers Will Nearly Double to 7.8 Billion. https://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2017-10-24-01.aspx. Accessed 11.04.2019.

Jacquillat, A. and Odoni, A.R. (2017) A roadmap toward airport demand and capacity management. Cap 1. Transportation Research Part A: Policy and Practice.

Lilico, A., Leghari, S. and Hegg, M. (2016). The Cost of non-Schengen: The impact of border controls within Schengen on the Single Market. Introduction/Motivation. Brussels, European Parliament.

Malighetti, P., Paleari, S. and Redondi, R. (2009) Airport classification and functionality within the European network. AirportClass2. Problems & Perspectives in Management, 7, 183–196.

Mensen, H. (2013). Planung, Anlage und Betrieb von Flugplätzen. (2., neu bearb. Aufl.). VDI-Buch. Berlin, Springer Vieweg.

Schulze Schwienhorst, M.G. (Ed.) (2019a). Capacity Impact of the Physical Separation of Domestic and International Passengers at Airport Terminals Applied to the European Example, Air Transport Research Society.

Schulze Schwienhorst, M.G. (2019b) Uniform Terminal Area: How to Abolish the Physical Separation of International and Domestic Passengers at Airports Using the European Example, AIAA Aviation 2019 Forum. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Zografos, K.G., Andreatta, G. and Odoni, A.R. (2013). Modelling and managing airport performance. (Online-Ausg). Chichester, West Sussex, U.K, Wiley.

MANAGING NETWORK FLIGHT DELAYS THROUGH COLLABORATIVE DECISION MAKING

Sibusiso Moyo
Research, Innovation & Engagement, Durban University of Technology
Steeve Biko Campus, Durban, South Africa, dvcrie@dut.ac.za

Hamdan Sulayman Alfazari
Sohar University, Sohar, Sultanate of Oman, alfazari03@hotmail.com

Georges Mykoniatis
Business Development for Research, Labo ENAC, ENAC,
7 avenue E. Belin, 31055 Toulouse, France, georges.mykoniatis@enac.fr

Felix Mora-Camino
UFF, Labo ENAC-France and Durban University of Technology
7 avenue E. Belin, 31055 Toulouse, France, moracamino@hotmail.fr

ABSTRACT

This communication considers the operation of domestic airlines and more particularly the delay propagation along their operated network. In this communication is first introduced a modelling approach which allows to assess the consequences of perturbations, in general flight delays, on the operation of the network operated by the airline. An optimization process is introduced so that AIRLINES can update on-line and in a global way their flight schedules by performing optimally in-flight delay absorption. Then an ATC procedure is presented to assign time arrival slots to delayed aircraft according to the value of their network arrival delay index. A similar procedure, run by AIRPORT, is used to assign time departure slots at runway to departing aircraft. The whole process configurates a collaborative decision making (CDM) scheme devoted to managing efficiently network flight delays.

Keywords: air transportation networks, delay propagation, collaborative decision making, flight schedules, delay mitigation.

1. INTRODUCTION

This paper considers the operation of flights operated by airlines in a domestic network and develops a collaborative scheme to face delays generated during operation. In general, domestic airlines try at the same time to offer an on-time air transport service to potential passengers and to maximize the use of their fleet of aircraft. These are contradictory objectives and when a tight flight schedule, with as many flights as possible, has been adopted by an airline, the occurrence of any delay on a flight, either at departure or arrival, may impact on the remaining flights of the day. This can be in terms of delayed or cancelled flights, with a high impact on the quality of service. The Collaborative Decision Making (CDM) concept has been developed recently to deal with the coordination of activities addressed to the processing of aircraft during their whole operation (flights and airport operations). This concept favors overall efficiency by implementing on-time communication of information and predictions between the different operators which process aircraft in the airspace as well as at airports.

In this communication is first introduced a graph framework which allows to assess the consequences of perturbations, in general flight delays, on the operation of the network operated by the different airlines. An optimization process is introduced so that AIRLINES can update on-line and in a global way their flights schedule by performing optimally in-flight delay absorption. Then an ATC procedure is presented to assign time arrival slots to delayed aircraft according to the value of their network arrival delay index. A similar procedure run by AIRPORT is used to assign time departure slots at runway to departing aircraft. The whole process configurates a Collaborative Decision Making scheme devoted to managing efficiently network flight delays.

The paper is organized as follows: in section 2 elements about network delays are introduced and compose the background of the problem, then is section 3 a directed graph is introduced to represent the sequencing constraints between flights. In section 4 is considered, based on the proposed graph representation, the feasibility and the cost efficiency of flight schedules. Section 5 considers the in-flight delay absorption by airlines through the repeated resolution of NCIO, a global cost-effective optimization module. Section 6 introduces a sequencing procedure at landing, ASATS, which allows to implement priority policies for delayed aircraft. Section 7 considers from the airport side priority policies for departing aircraft with delays, the ASDTS procedure is then introduced. Finally, in the conclusion the whole collaborative scheme is displayed.

2. FLIGHT DELAYS IN AIR TRANSPORTATION

Delay is the time duration which appears when a planned event does not happen at the planned time, but later. In air transportation two planned events are of main interest: planned departure time and planned arrival time. A departure delay is the difference between a scheduled time of departure for a flight as informed to passengers and its actual off-block time. An arrival delay is the difference between a scheduled time of arrival for a flight and the actual on-block time at the destination airport. Arrival delay is important for passenger connectivity (and crew and aircraft connectivity) and is now becoming a more important issue for the airlines because of the costs of passenger compensation in case of long delay. Many causes may induce delays in airlines operations. These can be classified in different ways: internal or external reasons with respect to the airline, ground (airport) or in-flight reasons, common or exceptional reasons. Delays can be classified as primary or reactionary, where reactionary delays are the result of a late arrival of an aircraft, crew, passengers or loads from an anterior flight, while primary delays are all the other delays which take place during the commercial operation of the aircraft. It appears that along a day of operation the proportion of primary and reactionary delays varies with in general an accumulation of reactionary delays by the end of the operations period. Figure 1 displays the evolution of the shares of delay causes by

hour of the day reported by airlines in Europe for 2017.

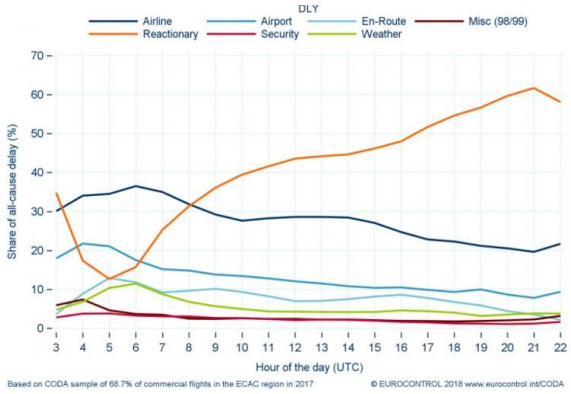


Figure 1: Hourly evolution of shares of delay causes in 2017

In Europe the percentage of flights with an actual block time which exceeded the scheduled block time for 2017 was 27% while for the US domestic airlines, 20% of the flights were delayed (meaning at least 15 minutes delay).

Delays forecast is considered from an European perspective in Eurocontrol's last study published earlier in 2018: despite the 16% planned improvement in airport capacity (111 airports, 84% of flights), the most likely scenario in 2040 shows a shortage of 1.5 million flights, which is 8% of the underlying demand or 160 million passengers unable to fly [7]. That would mean that the average delay would be 20 minutes per flight (year 2040) compared to 12 minutes per flight today (2018).

3. FLIGHT SCHEDULES AND TRANSFER GRAPHS

In this section is introduced a mathematical representation of the flight schedule of an airline to enable the computation of cumulative effects in network delays. Here the daily operation of an airline is seen as a set of elementary tasks, the flights, performed sequentially or in parallel, using resources such as aircraft and crews as well as air traffic and airport facilities. Then let F_α be the set of flights $f \in F_\alpha$ offered by a given airline α, $\alpha \in A$, where A is the set of considered airlines. Let V_α be the set of operated aircraft, $C_{T\alpha}$ is the set of technical crew and $C_{C\alpha}$ is the set of commercial crew for airline α on a standard day of operation. Let $F_{\alpha v}$ be the set of flights operated by aircraft v of airline α. Then, sequential time constraints between the flight legs of $F_{\alpha v}$ take place according to the order in which these flights are planned to be operated by the airline. Let this sequence be given by $\left(f_1^v, \cdots, f_k^v, \cdots, f_{|F_v|}^v\right)$, then between flights k and k+1 of this sequence, time constraints such as:

$$t_d^{pf_k^v} + DF_{f_k^v} + GAD_{f_k^v f_{k+1}^v} \leq t_d^{pf_{k+1}^v} \quad (1)$$

should be satisfied. Here t_d^{pf} is the planned or published departure time for flight f, DF_f is the nominal duration of flight f, $GAD_{ff'}$ is the overall duration of ground handling activities for successive flights f and f'. The difference between the RHS and the LHS of relation (1) represents the buffer which could compensate for a delay at departure of flight f_k^v, for a delay during the flight f_k^v or during ground handling tasks at arrival of flight f_k^v or departure of flight f_{k+1}^v. When a connection from flight f to flight $f'$is planned, this introduces a succession constraint. Let X be the set of planned flight connections, then:

$$t_d^{pf} + DF_f + T_{ff'} \leq t_d^{pf'} \quad \forall (f, f') \in X \quad (2)$$

where $T_{ff'}$is the transfer time (passengers and luggage) from flight f to flight f'. The flights offered by an airline may be linked between themselves by flight connections which introduce sequential constraints between flights, these constraints are effective if passengers can use these connections. To each departing flight f of airline α can be attached a set of predecessor flights Φ_f^α which satisfy different constraints such as same airlines group, same airport, passenger transfer is feasible and waiting time is acceptable. Among the daily operated flights, source and end flights can be identified. The set of daily source flights for airline α, S_α, is composed of its flights with no predecessor that day and the set of daily end flights for airline α, E_α.

Let $\Phi^\alpha = \bigcup_{f \in F_\alpha} \Phi_f^\alpha$, the pair $[F_\alpha, \Phi^\alpha]$ built up for each airline α a directed graph G_α, the Flight Transfer Graph, whose vertices are the

flights operated and the arcs are associated with the precedence constraints. This directed graph without circuits links the sources flights S_α to the end flights E_α through intermediate connected flights with $|S_\alpha| = |E_\alpha| = |V_\alpha|$. Let also G_α^f be the transitive closure of vertice *f* in G_α. Let Γ_f be the set of arcs leading to the vertice associated to flight *f* and Γ^f the set of arcs leaving the vertice associated with flight *f* in graph G_α . Then it is possible to assign in an increasing way, a rank r_f to each flight *f* of F_α with a maximum rank $r_{max} = \max_{f \in E_\alpha} r_f$. Then, between the source flights and the end flights, the different possible paths, or *cross paths*, composed of successively connected flights, can be defined. Let P_α be the number of these paths, the p^{th} path will be composed of a source flight f_p^s, n_p intermediate flights, $f_n^p, n = 1\ to\ n_p$ and an end flight f_p^e.

4. FEASIBLE DEPARTURE FLIGHT PLANS

For each flight *f* in S_α is attached an earliest starting time t_d^{Ef} which corresponds to the earliest time at which all resources for this flight can be made available at its departure airport. For each flight *f* in E_α is attached a latest starting time t_d^{Lf} which corresponds to the latest time at which all resources for this flight can be made available at its departure and arrival airports. Then, beginning from the earliest starting times of flights in S_α it is possible to compute by increasing rank in G_α for each remaining flight an earliest starting time t_d^{Ef} given for $f \in F_\alpha - S_\alpha$ by:

$$t_d^{Ef} = max_{\varphi \in \Phi_f^\alpha} \left\{ t_d^{E\varphi} + DF_\varphi + GAD_{\varphi f} + T_{\varphi f} \right\} \quad (3)$$

where $T_{\varphi f}$ is the transfer time from flight φ to flight *f*. Then, beginning from the latest starting times of flights in E_a, it is possible to compute through decreasing rank for each remaining flight a latest starting time t_d^{Lf} given for $f \in F_\alpha - E_\alpha$ by:

$$t_d^{Lf} = min_{\varphi \in (\Phi_f^\alpha)^{-1}} \left\{ t_d^{L\varphi} - DF_f - GAD_{f\varphi} - T_{f\varphi} \right\} \quad (4)$$

Then a feasible flight programs will exist if for each flight *f*, t_d^{Ef} is inferior or equal to t_d^{Lf} and then for each flight $f \in F_a$, the feasible period for departure is such as $t_d^{pf} \in \left[t_d^{Ef}, t_d^{Lf} \right]$. When there a no feasible departure time window, the question which arises is whether or not it is possible to turn it feasible by modifying the duration of some flights. If this is not possible, the frame of the flight program must be modified either by deleting some flights or by introducing new airplanes and crews.

The duration of a flight *f*, DF_f, covers here taxi-out, take-off and climb, cruise, approach, descent, landing and taxi-in. The duration of the climb, cruise, descent and approach phases depends of the flight plan adopted by the airline through the choice of tactical parameters such as the cost index for its flight management programme which corresponds to a relative weight of the cost of fly time with respect to the and cost of fuel. The other phases of the trip, taxi-out, take-off, landing and taxi-in, are considered to have durations which cannot be changed by the airline even if a limited choice can exist with respect to parking positions. Then the cost of a flight for an airline can be written as:

$$C_f(DF_f) = C_f^{cst} + C_f^{var}(DF_f)$$
$$\text{with} \quad DF_f^{min} \leq DF_f \leq DF_f^{max} \quad (5)$$

where C_f^{var} is a decreasing function of DF_f, DF_f^{min} corresponds to a maximum value of the cost index and DF_f^{max} corresponds to a minimum value of the cost index.

The set of flight succession constraints (1) and (2) will be satisfied if cross paths of G_α are such as for $p \in [1, \dots, P_\alpha]$:

$$t_d^{Ef_p^s} + \sum_{n=1}^{n_p} (DF_{f_n^p} + GAD_{f_n^p f_{n+1}^p} + T_{f_n^p f_{n+1}^p}) \leq t_d^{Lf_p^e} \quad (6)$$

If constraints (6) are satisfied adopting the maximum duration for each flight, the proposed flight plan is loose enough for each flight be operated at minimum flight cost. If it is not the case but constraints (6) are satisfied adopting the minimum duration for each flight, it will be necessary to find feasible flight durations so that condition (6) are satisfied at the minimum total operating cost. What will be of interest for the airline will be

to set the flight durations to minimize the total flight cost. This lead to formulate the following convex optimization problem with linear constraints, called here NCIO (Network Cost Index Optimization):

$$min \sum_{f \in F_\alpha} C_f(DF_f) \qquad (7)$$

under constraints (5) and (6) . Then , the concept of *network cost index* appears, where to each flight corresponds a globally optimal cost index according to (7): the choice of cost index is no more independent from one flight to the next when flight scheduling is too tight. In the case of a loose flight schedule for flight *f*, the natural solution will be: $DF_f^* = DF_f^{max}$. Observe that problem (7) is a linear convex mathematical programming problem with well known solution algorithms such as the convex simplex.

5. FACING DELAYED OPERATIONS FROM AIRLINES

Here it is considered that once flight delays appear, airlines try to update their flights plan so that they remain feasible and when flight schedules become too tight, they have to adopt global scheduling solutions for the now interdependent flights. Also, it is considered useful to compute for each remaining flight a frequently updated estimation of its induced delays on the remaining of the flights either at arrival or departure, allowing to point out delay critical flights. In this study reductions of ground-handling or transfer durations is not developed but could be easily introduced in the analysis when potential benefits appear possible.

Let $S_{\alpha d}(t)$ be the set of flights of airline α which have already departed at that time t , either on time or not. Then the current ***e**xpected* earlier departure of flights ϕ of $F_\alpha - S_{\alpha d}(t)$ will be $t_d^{e\phi}(t,0)$ given through increasing rank as for $\phi \in F_\alpha - S_{\alpha d}(t)$:

$$t_d^{e\phi}(t,0) = \max\left\{t_d^{p\phi}, max_{g \in \Phi_\phi}\left\{\begin{matrix} t_d^{eg}(t,0) + \\ DF_g + GAD_{gf} + T_{gf} \end{matrix}\right\}\right\} \qquad (8)$$

while for flights of $S_{\alpha d}(t)$, $t_d^{e\phi}(t,0)$ is equal to the ***e**ffective* departing time of flight ϕ. A similar notation is adopted for arrival times for $\phi \in F_\alpha - S_{\alpha d}(t)$:

$$t_a^{e\phi}(t,0) = t_d^{e\phi}(t,0) + DF_\phi \qquad (9)$$

Let expression (10) be the set of constraints corresponding to the constraints (6) reduced to the remaining flights, $p \in [1, \dots, P_\alpha]$:

$$t_d^{ef_p(t)} + \sum_{f_n \in \pi_p(t)} \left(\begin{matrix} DF_{f_n^p} + \\ GAD_{f_n^p f_{n+1}^p} + T_{f_n^p f_{n+1}^p} \end{matrix} \right) \leq t_d^{Lf_p^e} \qquad (10)$$

where $f_p(t)$ is the current operated flight of cross path *p* at time *t*, while $\pi_p(t)$ is the set of the remaining flights of cross path *p* which have not started at time *t*. Then, the tactical duration of flight plans can be updated by solving the updated version of NCIO, relation (6):

$$min \sum_{f \in F_\alpha - S_{\alpha d}(t)} C_f^{var}(DF_f) \qquad (11)$$

under constraints (5) and (10). The solution of problem (11) results in the desired flight durations at time *t*: $DF_f^*(t)$, $f \in F_\alpha - S_{\alpha d}(t)$.

Then, to know at current time *t* the expected network effect of a delay δ at departure time of flight *f*, the computation of the departure times for the flights belonging to the transitive closure of flight f in G_α , G_α^f, should be updated starting with $t_d^{ef}(t,\delta) = t_d^{ef}(t,0) + \delta$ and by increasing rank order:

$$\forall f \in F_\alpha - S_{\alpha d}(t): \forall \phi \in G_\alpha^f:$$

$$t_d^{e\phi}(t,\delta) = \max\left\{t_d^{p\phi}, max_{g \in \Phi_\phi}\left\{\begin{matrix} t_d^{eg}(t,\delta) \\ +DF_g^*(t) + GAD_{g\phi} \end{matrix}\right\}\right\} \qquad (12)$$

and $$t_a^{e\phi}(t,\delta) = t_d^{e\phi}(t,\delta) + DF_\phi^*(t) \qquad (13)$$

Then the total induced arrival delay estimated at time *t* and resulting from a departure delay δ for flight *f* of airline α will be given by:

$$T_{\alpha f}^a(t,\delta) = \sum_{\varphi \in G_\alpha^f} \left(t_a^{e\varphi}(t,\delta) - t_a^{e\varphi}(t,0) \right) \qquad (14)$$

While the total induced departure delay estimated at time *t* and resulting from a departure delay δ for flight *f* of airline α will be given by:

$$T_{\alpha f}^d(t,\delta) = \sum_{\varphi \in G_\alpha^f} \left(t_d^{e\varphi}(t,\delta) - t_d^{e\varphi}(t,0) \right) \qquad (15)$$

Here according to the way departure times are computed, $T_{\alpha f}(\delta)$ should be an increasing piecewise linear function of δ. This computation can be performed for different values of δ over a given time span The maximum sustainable value of δ for flight *f*, written $\delta^{ft}_{\alpha\max}$ at time *t*, corresponds to the value of δ beyond which it becomes no more possible to comply with the upper limit for departure for some of the flights of the transitive closure of *f* in G_α . This maximum value is given by:

$$\delta^{ft}_{\alpha max} = min\{\delta / \exists \varphi \in G^f_\alpha : t^{e\varphi}_d(t,\delta) = t^{L\varphi}_d\} \quad (16)$$

Then for a departure delay for flight *f* greater than $\delta^{ft}_{\alpha max}$, the remaining flight program is no more feasible and must be revised at period *t*: flights or connections must be cancelled.

6. FACING DELAYED OPERATIONS FROM ATC

It is assumed here that no trading process takes place for arrival slot ownership or allocation, the only objective, beyond safety being to mitigate congestion effects on traffic, i.e. delays. It is also assumed that collaboration between airlines through aircraft, ATC and airport operations takes place, fully endorsed by ad-hoc regulations. This paragraph proposes a collaboration scheme between these actors which is developed according to a tempo based on different time scales.

It is supposed that a landing runway and an arrival time slot are assigned to each arriving aircraft before TOD (Top of Descent) on a first come-first served basis mixed with priority, so that aircraft have a stable scenario to optimize their descent and satisfy overfly and noise constraints. This will take place roughly between 30 min and 20 min before landing (Δ=10 min for decision making + about 20 min for descent). The common arrival time slot duration δ_S for all operated aircraft, about 2 min, covers final approach, landing and roll-out until exit from runway.

Then when flight *f* reaches its top of descent point TOD at time t^f_{TOD}, an arrival time slot chosen between $t^f_{min} = t^{e\varphi}_d(t^f_{TOD} - \Delta,0) - \Delta^f_{min}$ and $t^f_{max} = t^{e\varphi}_d(t^f_{TOD} - \Delta,0) - \Delta^f_{max}$ must have been assigned to it during decision period $[t^f_{TOD} - \Delta, t^f_{TOD}]$ by ATC. Here Δ^f_{min} represents for the aircraft operating flight *f* the maximum feasible descent shortening while Δ^f_{max} represents the maximum feasible descent extension. Let $s^f_1, s^f_2, \ldots, s^f_{n_f}$ be the successive reachable arrival time slots for flight *f* at time $t^f_{TOD} - \Delta$, with $[t^f_{min}, t^f_{max}] = [s^f_1, s^f_{n_f} + \delta_S]$. To each of these time slots can be attached an extended arrival delay for flight *f* :

$$EAD^f_n(\delta^f_n) = \begin{pmatrix} (t^{ef}_a(t^f_{TOD} - \Delta,0) - t^{pf}_a) \\ +\delta^f_n + T^a_{af}(t^f_{TOD} - \Delta, \delta^f_n) \end{pmatrix} \quad (17)$$

$$\text{with} \quad \delta^f_n = s^f_n - t^{ef}_a(t^f_{TOD} - \Delta,0) \quad (18)$$

$EAD^f_n(\delta^f_n)$ defined by relation (18) represents the addition of the estimated delay of flight *f* at time $t^f_{TOD} - \Delta$, of the supplementary delay (δ^f_n which can be positive or negative) associated to the assigned arrival time slot and the induced delay on successive flights. There is no distinction between on time and delayed flights so that compression effects can be introduced to diminish the presence of unused arrival time slots.

First, arrival capacity is checked for period $[t^f_{min}, t^f_{max}]$ at time $t^f_{TOD} - \Delta$: If the number of arriving flights during period $[t^f_{min}, t^f_{max}]$ is superior to n_f, choose among these arriving flights φ with $t^\varphi_{TOD} > t^f_{TOD} - \Delta$ (this includes *f*), the one with smaller extended delay and assign it a delayed trajectory or holding position and a new TOD, repeat this until capacity matches non delayed arrivals.

Then, the assignment procedure, ASATS, activated for flight *f* when $t = t^f_{TOD} - \Delta$ or when its assigned arrival time slot has been reassigned to another flight, is a greedy on-line heuristic algorithm given by:

ASATS (f, $t^f_{TOD} - \Delta$):

n:=1

iter:

if s^f_n is free, assign slot n to flight f: $t^{ef}_a(t^f_{TOD}, 0) = s^f_n + \delta_S$, end.

if s^f_n is already assigned to a flight φ:

if $t^\varphi_{TOD} \le t^f_{TOD} - \Delta$, assignment is frozen to flight φ, do $n = n+1$ and go back to iter;

if $t^\varphi_{TOD} > t^f_{TOD} - \Delta$, compare extended arrival delays of flight f and φ :

if $EAD^f_n(\delta^f_n) \le EAD^\varphi_n(\delta^\varphi_n)$ do $n = n+1$ and go to iter;

if $EAD^f_n(\delta^f_n) > EAD^\varphi_n(\delta^\varphi_n)$: unassign slot n to flight φ, free slot s^f_n and go to iter;

At time t^f_{TOD}, the estimated time of arrival, including the assigned arrival time slot, is frozen for the descent phase: $t^{ef}_a(t) = t^{ef}_a(t^f_{TOD}, 0)$ for $t^f_{TOD} \leq t \leq t^{ef}_a(t^f_{TOD}, 0)$. The first goal of the proposed on-line heuristic is to assign to a flight the first reachable free arrival time slot, this should limit additional delays. The second goal, when a reachable slot is already assigned but not already frozen, is to assign that slot the more delay critical competing flight, so that over delays is not generated for some flights. A different choice can be done at this stage inverting the two last inequalities, leading now to disturb as less as possible not delayed or slightly delayed flights. So another layer could be added to the ASATS procedure by checking if concurrent aircraft *f* and φ are from the same airline group or not. In the first case, delays impacts will be shared and in the second case, they will remain segregated.

7. FACING DELAYED OPERATIONS FROM AIRPORT

It is assumed here also that no trading process takes place for departure slot ownership or allocation, the only objective, beyond safety, being to manage efficiently airport capacity for flight departures. It is also assumed that collaboration between airlines, ATC and airport operations takes place through an Airport Collaborative Decision Making process easing exchange of flow information and coordination of the different processing stages of aircraft associated with arriving and then departure flights.

Once flight *f* has arrived, its effective arrival time (it is the "in-block time (AIBT)" of A-CDM) can be written $t^{ef}_a(t)$. Once aircraft is ready for next flight *f'*, start up is requested at time $t^{f'}_{dr}$ to control tower ("Start up request time (ASRT)" of A-CDM) . At this point, the start up approval process ("Start up approved time, ASAT" of A-CDM) can either generate new delays or on the contrary, reduce existing delays. Remembering that in this study the duration of a flight covers also taxi-out and take-off , if start up approval is immediate for flight *f'*, its departure delay will be given by $t^{f'}_{dr} - t^{pf'}_d$. Here also, total induced delay can be computed by the airline operating flight *f'*.

Let $P^{f'}_\alpha$ bet the set of cross paths to which flight *f'* belongs, then expression (18) be the set of constraints corresponding to constraints (6) reduced to the remaining flights:

$$t^{f'}_{dr} + \sum_{f_n \in \pi_p(t)} \begin{pmatrix} (DF_{f^p_n} + \\ GAD_{f^p_n f^p_{n+1}} + T_{f^p_n f^p_{n+1}}) \end{pmatrix} \leq t^{Lf^e_p}_d \quad p \in P^{f'}_\alpha \tag{19}$$

The current tactical duration of flight plans can be computed by solving the updated version of NCIO , relation (8):

$$min \sum_{f \in \pi_p\left(t^{f'}_{dr}\right), p \in P^{f'}_\alpha} C^{var}_f(DF_f) \tag{20}$$

with constraints (6) and (19).

The solution of problem (20) results in the desired flight durations at time $t^{f'}_{dr}$: $DF^*_f(t^{f'}_{dr})$, $f \in \pi_p\left(t^{f'}_{dr}\right), p \in P^{f'}_\alpha$. Then, at time $t^{f'}_{dr}$, to estimate the expected network effect of a delay δ at departure time of flight *f'*, the computation of the departure times for the flights belonging to the transitive closure of flight *f'* in G_α , $G^{f'}_\alpha$, should be updated starting with $t^{ef}_d(t^{f'}_{dr}, \delta) = t^{f'}_{dr} + \delta$ and by increasing rank order:

$$t^{e\phi}_d\left(t^{f'}_{dr}, \delta\right) = \max\left\{ t^{p\phi}_d, max_{g \in \Phi_\phi} \begin{Bmatrix} t^{eg}_d\left(t^{f'}_{dr}, \delta\right) \\ +DF^*_g(t^{f'}_{dr}) + GAD_{g\phi} \end{Bmatrix} \right\} \quad p \in P^{f'}_\alpha \tag{21}$$

and

$$t^{e\phi}_a(t^{f'}_{dr}, \delta) = t^{e\phi}_d(t^{f'}_{dr}, \delta) + DF^*_\phi(t^{f'}_{dr}) \tag{22}$$

Then the total induced arrival and departure delays estimated at time $t^{f'}_{dr}$ and resulting from a departure delay δ for flight *f'* of airline α ,respectively $T^a_{\alpha f'}(t^{f'}_{dr}, \delta)$ and $T^a_{\alpha f'}(t^{f'}_{dr}, \delta)$, are given by:

$$T^a_{\alpha f'}(t^{f'}_{dr}, \delta) = \sum_{\varphi \in G^{f'}_\alpha} \left(t^{e\varphi}_a(t^{f'}_{dr}, \delta) - t^{e\varphi}_a(t^{f'}_{dr}, 0)\right) \tag{23}$$

and

$$T^d_{\alpha f'}(t^{f'}_{dr}, \delta) = \sum_{\varphi \in G^{f'}_\alpha} \left(t^{e\varphi}_d(t^{f'}_{dr}, \delta) - t^{e\varphi}_d(t^{f'}_{dr}, 0)\right) \tag{24}$$

When start up for flight f' is delayed of δ, it can be attached to flight f' at time $t_{dr}^{f'}$, an extended departure delay:

$$EDD_n^f(\delta) = (t_{dr}^{f'} - t_d^{pf'}) + \delta + T_{af'}^d(t_{dr}^{f'}, \delta) \quad (25)$$

Let $\sigma_1^{f'}, \sigma_2^{f'}, \ldots, \sigma_{n_d}^{f'}$ be the successive reachable departure time slots at the runway for flight f' at time $t_{dr}^{f'}$. To each of these departure time slots at the runway, is attached a start up time (including engines warm up) at the gate: $t_{d1}^{f'} < t_{d2}^{f'} < \ldots < t_{dn_d}^{f'}$ corresponding to departure delays $\delta_i^{f'} = t_{di}^{f'} - t_{dr}^{f'}, i = 1, \ldots, n_d$.
Then, the assignment procedure, ASDTS, activated for flight f' at ASRT or when its assigned departure time slot has been reassigned to another flight, is a greedy on-line heuristic algorithm given by:

ASDTS (f', $t_{dr}^{f'}$)

n:=1
iter:
if $\sigma_n^{f'}$ is free, assign departure slot $\sigma_n^{f'}$ to flight f': $t_a^{ef}(t_{dr}^{f'}, 0) = t_{dn}^{f'}$, end.
if $\sigma_n^{f'}$ is already assigned to a flight φ but it start up
request has not been still approved,
    if the corresponding start up time for φ has been approved,
    do $n = n+1$ and go back to iter;
    otherwise, compare extended departure delays of flight f' and φ :
        if $EDD_n^{f'} \leq EDD_n^{\varphi}$ do $n = n+1$ and go to iter;
        if $EDD_n^{f'} > EDD_n^{\varphi}$: unassign slot $\sigma_n^{f'}$ to flight φ,
        free slot $\sigma_n^{f'}$ and go to iter;

Then, once approved, departure time for flight f' is: $t_d^{ef'} = t_{dn}^{f'}$. If delay for start up approval is important, problem (19) with updated constraint (18) can be run to get updated previsions of arrival times of flights $f' \cup G_{\alpha}^{f'}$.

8. CONCLUSION

This communication has considered the operation of a domestic air transportation network and more particularly the management of flight delays which propagate along the networks operated by the different airlines. In the proposed scheme in-flight delays can be treated during cruise in a global way by airlines, arrival delays are processed by ATC up to TOD time while the processing of departure delays is under responsibility of airport tower. The flows of information within the CDM scheme is sketched in figure 2 where different milestones are introduced (ALDT: estimated landing time, AIBT: estimated block in time, ASRT: estimated start up request time, ASAT: start up approved, ATOT: estimated take off time).

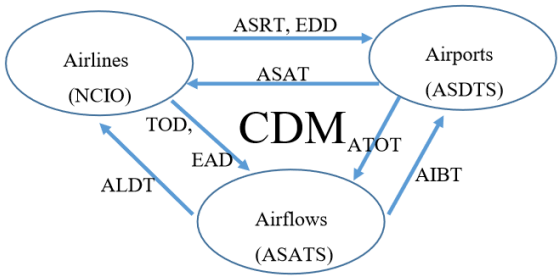


Figure 2: Global view of proposed CDM scheme

Coordinated decisions of the different actors will contribute to reduce the effect of primary delays. It is worth to be observed that both procedures ASATS and ASDTS can be easily modified to integrate ground delay programs when next destinations are known to be saturated, so *no need to hurry* policies can be implemented by modifying accordingly the EAD and EDD indexes of concerned flights. However in some cases with large disruptions, flight rescheduling will be necessary. In that cases, new decision tools should be developed for the different actors of air transport operation.

REFERENCES

HARARY F. Graph Theory, Addisson-Wesley Series in Mathematics, Addison-Wesley Pub. Co.,Reading, Massachusetts. 1969.

BARNHART, C., N. L. BOLAND, L.W. CLARKE, E.L. JOHNSON, G.L. NEMHAUSER and R.G. SHENOI, Flight string models for aircraft fleeting and routing. Transportation Science, Vol. 32, N°3, pp. 208–220.1998.

MORA-CAMINO F. , Modélisation, Optimisation , Complexité et Algorithmes, Lectures Notes, CNAM Toulouse. 2004.

LAWPHONGPANICH, Convex-Simplex Algorithm. In: Floudas C., Pardalos P. (eds) Encyclopedia of Optimization. Springer, Boston, MA.2008.

ZANGWILL W.I. (1967), The convex simplex method, Management Science, Vol.14, pp. 221-283.1967.

COOK A. and G. TANNER, Modelling the airline costs of delay propagation, *AGIFORS Airlines Operations Conference*, London, United Kingdom, May 16 – 19, 2011.

SCHUMER C. E., Flight Delays Cost Passengers, Airlines and the U.S. Economy Billions. *A Report by the Joint Committee Majority Staff*, May 2008.

EUROCONTROL, Performance Review Unit, Eurocontrol, Evaluating the True Cost to Airlines of One Minute of Airborne or Ground Delay, *University of Westminster Final Report*, May, 2004.

BEATTY R., R. HSU, L. BERRY, and J. ROME, Preliminary Evaluation of Flight Delay Propagation Through an Airline Schedule. *Air Traffic Control Quarterly*, Vol. 7(4), pp. 259-270. 1998.

KONDO A. (2010) Delay Propagation and Multiplier, *51st Annual Transportation Research Forum*, Arlington, Virginia, March 11-13, USA.2010.

EUROCONTROL, IATA, A-CDM The Manual. Airport CDM Implementation. 2012.

ROBYN D., Reforming the air traffic control system to promote efficiency and reduce delays, *The Brattle Group*, October 29, 2007.

BALL M.O. and G. Lulli, Ground Delay Programs: Optimizing over the included flight set based on distance, *Air Traffic Control Quarterly*, vol.12, pp. 1-25, 2004.

LIU J., LI K., YIN M., ZHU X. and K. HAN, Optimizing Key Parameters of Ground Delay Program with Uncertain Airport Capacity Journal of Advanced Transportation Volume 2017, Article ID 7494213, 9 pages, 2019.

VOSSEN, T. W. M. , Fair Allocation Concepts in Air Traffic Management. PhD Dissertation, University of Maryland at College Park, USA, 2002.

OKWIR S., A. CORREAS, Collaborative Decision Making (CDM) in Airport Surface: Europe vs USA Implementations, Challenges and Best Practices, Published in: *Integrated communications, Navigation and Surveillance Conference* (ICNS), ISBN: 978-1-4799-4892-5ACI, 2014.

MORA-CAMINO F., L. WEIGANG, O. DIAZ OLARIAGA, Network Slot Allocation for Domestic Traffic Management, XV Sitraer, São Luis do Maranhão, Brazil. 2016.

ALFAZARI H.S., S. MOYO, L.G. ZELAYA CRUZ and F. MORA-CAMINO, Cost effectiveness of domestic airline flight schedules, EURO 2019, Dublin, 2019.

BASELEY D. , Interaction Strategies for Arrival and Departure Manager. Survey of Literature. EUROCONTROL. ASA.02.AMAN/DMAN.DEL01.LIT, 2000.

BÖME D., DMAN Functional Requirement Specification Document. EUROCONTROL. ASA.02.DMAN.TRS025/02, 2003.

JOZEFOWIEZ N. , C. MANCEL, F. MORA-CAMINO, A heuristic approach based on shortest path problems for integrated flight, aircraft, and passenger rescheduling under disruptions. Journal of the Operational Research Society, Vol.64, n°3, pp. 384-395. 2013.

A FORMAÇÃO DOS CONTROLADORES DE TRÁFEGO AÉREO NA AERONÁUTICA: UMA ANÁLISE DAS POLÍTICAS EDUCACIONAIS E SUAS PRÁTICAS

Eduardo Araújo da Silva[1]
Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA)
Avenida General Justo nº 160 – Centro – Rio de Janeiro/RJ
(21) 98192-1692 / eduardosilvaeas@decea.gov.br

Lilian Maria Paes de Carvalho Ramos[2]
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)
Av. Governador Roberto Silveira S/N – Nova Iguaçu – Rio de Janeiro/RJ
(21) 95904-6197 / lilianmpcramos@yahoo.com.br

RESUMO

Este estudo teve por objetivo analisar as políticas educacionais relativas ao ensino profissionalizante e suas práticas, na área de formação de Controladores de Tráfego Aéreo no Brasil, no âmbito da Força Aérea Brasileira. O período analisado fora da criação do primeiro curso de formação, na Escola Técnica de Aviação - ETAv, em 1944, até a última atualização da grade curricular, ocorrida no ano de 2017. A pesquisa partiu da descrição das circunstâncias da criação do curso, das primeiras grades curriculares, do perfil do aluno, do egresso do curso de formação, da criação da Escola de Especialistas de Aeronáutica - EEAR, das transformações na capacitação e na formação continuada, da migração da especialização para essa nova escola e das principais modificações sofridas até os dias atuais. Para o referencial teórico de análise dessa instituição, utilizaram-se estudos inspirados na história das instituições educacionais, os quais permitiram compreender os caminhos que seguem as instituições desde a sua criação, incluindo os documentos orientadores da formulação inicial e moldagem de suas políticas, sua produção em texto na forma de leis, decretos e portarias, até a sua colocação em prática nas diferentes unidades que compõem a instituição analisada. Quanto às escolhas metodológicas, tratou-se de uma pesquisa de cunho qualitativo que se valeu de diferentes instrumentos, visando a compreensão das principais mudanças ocorridas na instituição e no curso em análise, e seus desdobramentos na prática dos egressos desta

[1] Mestre em Educação pela UFRRJ. Possui pós-graduação *lato sensu* em Educação Tecnológica pelo CEFET/RJ, pós-graduação *lato sensu* em Dificuldades de Aprendizagem: Prevenção e Reeducação pela UERJ, graduação em Pedagogia pela FIC, graduação em Segurança Pública e Social pela UFF e graduação em Gerenciamento de Tráfego Aéreo pelo CIAAR. É Oficial especialista em Controle de Tráfego Aéreo da Força Aérea Brasileira.

[2] Doutora em Educação pela Unicamp. Possui pós-doutorado pela Universidade do Minho (Portugal), mestrado em Educação e graduação em Pedagogia pela UFPR. É professora junto à UFRRJ, tendo atuado no Instituto Multidisciplinar de Nova Iguaçu. Autora do livro Mauá Muito Além da Família.

formação técnica. Foram apresentados resultados obtidos por meio de entrevistas com os formandos da turma que ingressou no primeiro semestre de 2016, docentes do curso de formação e gestores da escola. Conclui-se que alguns conteúdos teóricos e práticos deveriam ser incorporados ao currículo, por sugestão dos alunos. Os achados convergiram para a conveniência da criação de um grupo de estudos para analisar a possibilidade de transformação do atual curso técnico de nível médio num curso de graduação tecnológica, tendo em vista sua carga horária e organização curricular.
Palavras-chave: Controle de Tráfego Aéreo, Currículo, Ensino Militar, Ensino Profissionalizante, Políticas Educacionais.

ABSTRACT

This study aimed to analyze educational policies related to vocational education and its practices, in the area of training of Air Traffic Controllers in Brazil, within the Brazilian Air Force. The period analyzed outside the creation of the first training course, in the Technical School of Aviation - ETAv, in 1944, until the last update of the curriculum, occurred in the year 2017. The research started from the description of the circumstances of the creation of the course, the first graders, the profile of the student, the graduation of the training course, the creation of the School of Aeronautics Specialists - EEAR, transformations in training and continuing education, migration of specialization to this new school and major modifications suffered to this day. For the theoretical framework of analysis of this institution, studies inspired in the history of educational institutions were used, which allowed to understand the paths that follow the institutions from its creation, including the documents guiding the initial formulation and molding of its policies, its production in text in the form of laws, decrees and ordinances, until its implementation in the different units that compose the analyzed institution. As for the methodological choices, it was a qualitative research that used different instruments, aiming at understanding the main changes that occurred in the institution and in the course under analysis, and its consequences in the practice of the graduates of this technical training. Results were presented through interviews with the trainees of the group that entered the first semester of 2016, teachers of the training course and managers of the school. It is concluded that some theoretical and practical contents should be incorporated into the curriculum, at the students' suggestion. The findings converged to the convenience of creating a study group to analyze the possibility of transforming the current technical level in a technological undergraduate course, considering its workload and curricular organization.
Keywords: Air Traffic Control, Curriculum, Educational Policies, Military Education, Vocational Education.

1. INTRODUÇÃO

A fim de assegurar que os profissionais do tráfego aéreo tenham o conhecimento necessário para a prática segura e eficiente de suas atividades, depois de concluído o curso; no decorrer da formação inicial, há de se garantir não só a concepção formal de um currículo mínimo, mas também de um planejamento político-social da instituição formadora, tendo em vista os constantes avanços tecnológicos.

Todo plano de pesquisa tem como preocupação fundamental responder às questões *o quê, para quê* e *para quem*.

O objetivo geral desta pesquisa foi analisar as diretrizes políticas que norteiam o processo de formação inicial e a capacitação continuada e suas repercussões na prática por meio de entrevistas com os egressos do curso de formação de Controladores de Tráfego Aéreo (ATCO), no contexto do ensino militar da FAB, mais especificamente no âmbito da Escola de Especialistas da Aeronáutica (EEAR), tendo como foco principal os formandos do segundo semestre de 2017.

No tocante aos objetivos específicos, buscou-se:

a) Identificar a matriz curricular da formação do ATCO e sua evolução;

b) Analisar a aplicabilidade do conteúdo adquirido frente às demandas operacionais na pós-formação; e

c) Discutir a evolução do currículo do ATCO à luz das políticas educacionais de ensino profissionalizante.

No artigo, foram elencados os dados preliminaries acerca do contexto acadêmico relative à pesquisa, bem como os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do estudo. Fez-se necessária uma explanação sobre a Aviação e a atividade de Controle de Tráfego Aéreo, com vistas a demonstrar para o leitor o histórico existente. Ademais, citou-se a escola de formação inicial e todo o avanço ocorrido no tocanto ao currículo e às práticas pedagógicas implementadas desde a criação do curso de formação dos ATCO. Por fim, o estudo concluiu que as políticas educacionais devem atentar para a atualização curricular frente às novas demandas de circulação aérea e, do memso modo, uma análise quanto à alteração do Ensino Médio Técnico inerente ao curso de formação desses profissionais para um Nível Superior de Tecnologia.

2. ANÁLISE DE DADOS E METODOLOGIA

O presente estudo constou inserido na linha de pesquisa Desigualdades Sociais e Políticas Educacionais, do Programa de Pós-Graduação em Educação, Contextos Contemporâneos e Demandas Populares - PPGEduc, da UFRRJ. Sua importância residiu na análise das políticas brasileiras de ensino profissionalizante, particularmente as que envolvem a formação do ATCO, as quais são permeadas por discussões éticas, sociais, econômicas, políticas, educacionais e técnicas.

Para a estruturação do trabalho, utilizou-se como pressuposto metodológico a pesquisa de natureza exploratória fundamentada na abordagem qualitativa.

As motivações norteadoras desta pesquisa derivaram da minha prática profissional e das observações feitas por profissionais atuantes no ATC, junto às diversas áreas vinculadas à atividade.

A questão central da pesquisa foi o processo formativo desse profissional, sob a ótica da história de uma instituição de Ensino Médio Técnico no contexto do ensino profissionalizante brasileiro, o que requereu a análise dos currículos, das metodologias de ensino e dos projetos político-pedagógicos; bem como entrevistas com os sujeitos em formação, professores e demais responsáveis pela formação e formulação dos currículos e metodologias do curso.

Tratou-se da comparação do currículo e da metodologia aplicada ao curso no decorrer de sua evolução até o contexto atual, procurando observar as mudanças que ocorreram, assim como o sentido do estável e do irregular nos programas de formação e no processo de profissionalização desse ofício.

Foi realizada uma pesquisa com o primeiro colocado da primeira turma de ATCO do país, o Suboficial Francisco Drezza, que gentilmente cedeu uma série de

documentos e imagens de seu arquivo privado referente a época em que ainda era aluno do curso de formação. Tais ilustrações não apenas serviram como ilustração da realidade da época, mas também corroboraram para a veracidade da pesquisa referenciada.



Figura 1: Francisco Drezza (1º ATCO do Brasil)

Com os processo de globalização e evolução dos meios tecnológicos, há de se falar sobre a complexidade dos sistemas operacionais ligados ao tráfego de aeronaves, o que requer uma melhor qualificação dos profissionais atuantes no ATC, uma vez que analisar o processo de formação técnica desses protagonistas da aviação é imprescindível para que se constate a eficiência dos serviços prestados. Por isso elegemos sua formação como objeto de pesquisa.

3. A AVIAÇÃO E O CONTROLE DO TRÁFEGO AÉREO NO BRASIL

O ATCO é o profissional responsável por separar o tráfego de aeronaves nos aeroportos e no espaço aéreo, de modo seguro, ordenado e rápido. Segundo Siewerdt (2010), esse profissional "trabalha emitindo autorizações aos pilotos, dando instruções e informações necessárias dentro do espaço aéreo sob sua jurisdição, com o objetivo de prevenir colisões entre as aeronaves e entre aeronaves e obstáculos nas imediações dos aeroportos".

Segundo Costa (2013), a formação e capacitação dos ATCO no Brasil ocorre por intermédio de duas organizações: a Escola de Especialistas de Aeronáutica (EEAR) e o Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA).

A EEAR, atualmente sediada na cidade de Guaratinguetá/SP, é subordinada à Diretoria de Ensino da Aeronáutica (DIRENS), anteriormente chamada de Departamento de Ensino (DEPENS), e se destina à formação dos controladores militares. Já o ICEA, localizado na cidade de São José dos Campos/SP, é o órgão responsável pela formação dos profissionais civis, sendo subordinado ao DECEA. Ambas as instituições pertencem ao Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB).

Conquanto haja um rol específico de características, acerca dos processos formativos que envolvem a capacitação dos controladores civis no cenário da aviação, a ser analisado, optamos por destinar a pesquisa somente ao cenário da EEAR, uma vez que, sendo esta uma escola de formação de Nível Médio Técnico, compõe o rol de instituições ligadas ao ensino militar profissionalizante.

De acordo com o Catálogo Nacional de Cursos Técnicos de Nível Médio, regulamentado pela Resolução nº 3, de 9 de junho de 2008, Portaria nº 870, de 16 de julho de 2008 e pela Portaria Normativa Interministerial nº 16, de 30 de outubro de 2008, ao concluinte do curso de formação supracitado é conferido o diploma de Técnico em Controle de Tráfego Aéreo, do Eixo Militar.

Segundo Lavenère-Wanderley (1975), as verdadeiras origens da Aeronáutica foram a Aviação Naval e a Aviação Militar, sendo a fusão dessas duas organizações o princípio que, no ano de 1941, fomentou a criação da Força Aérea Brasileira.

Essa criação ocorreu em meio a um período profícuo de reformas em todas as áreas do Estado brasileiro, iniciadas no primeiro governo Vargas (1930), tendo prosseguimento no Estado Novo (1937-1945), durante a qual foi agregada aos pilares do Poder Nacional uma nova instituição. O Decreto-Lei nº 2.961, de 20 de janeiro de 1941 criou o Ministério da Aeronáutica, passando esse ente a ser o órgão central de planejamento, coordenação, controle e emprego do Poder Aéreo no Brasil.

Com a criação do Ministério da Aeronáutica, o conjunto de órgãos, partições e atividades ligadas à aviação no Brasil passou a fazer parte dos ativos da FAB, incluindo-se os recursos humanos que, anteriormente, eram agregados ao Ministério da Guerra, da Viação e Obras Públicas e da Marinha. Nesse sentido, a reorganização dos estabelecimentos de ensino inerentes à aviação e o preparo do pessoal se intensificaram.

A Escola de Aeronáutica do Exército e a Escola de Aviação Naval encerraram suas atividades por força do Decreto-lei nº 3.140 de 25 de março de 1941, que as extinguiu. Nessa data, também foram criadas a Escola de Aeronáutica, voltada para a formação dos oficiais aviadores, localizada no Campo dos Afonsos e a Escola de Especialistas de Aeronáutica que, na Ponta do Galeão, conhecida à época como EEAer, se destinava à formação de Sargentos especialistas (técnicos de aviação) em diversas áreas ligadas à atividade aérea.

Assim, concomitante ao processo de formação dos especialistas da Aeronáutica feito na então EEAer, em 1944, com a presença ilustre de Getúlio Vargas, eram iniciadas oficialmente as atividades na ETAv. Essa Escola, localizada no bairro de Mooca, região central de São Paulo, contemplou a primeira turma de ATCO do Brasil. De acordo com Anjos (1945), a cidade de São Paulo reunia requisitos essenciais para sediar um centro de estudos aeronáuticos, uma vez que possuía o maior parque industrial do país e uma mão-de-obra predisposta ao trabalho técnico-profissional.



Figura 2: Fachada do Prédio da ETAv

Um dos aspectos que caracterizava a cerimônia de formatura da ETAv era a passagem da Ferramenta Simbólica: um aluno transmitia, a um outro aluno da próxima turma a ser formada, uma "chave inglesa", especialmente destinada ao ato solene (CAVALCANTI, 1995, p.64).

Em 03 de março de 1944, iniciou-se o primeiro curso de formação dos denominados "Controladores de Voo ou Controladores de Torre" na ETAv, sob a direção de Mr. Walter Fields, navegador da *American Airlines* e especialista em aviação formado pela CAA.

A conclusão da primeira turma de Controladores de Voo se deu em 03 de março de 1945 (Figura 9), habilitando-os como os primeiros operadores do país.



Figura 3: Primeira Turma de ATCO (1945)

4. A ESCOLA DE ESPECIALISTAS DE AERONÁUTICA (EEAR)

Diretamente subordinada ao Diretor-Geral de Ensino da Aeronáutica (DIRENS), a EEAR (Figura 15) tem por missão a formação e o aperfeiçoamento dos Sargentos da FAB. Possui como atribuição o planejamento e a execução do Curso de Formação de Sargentos (CFS) e do Curso de Aperfeiçoamentos de Sargentos (CAS), bem como a ativação de cursos e estágios especiais.

Cavalcanti (1995) define a Especialidade como uma denominação específica da atividade desempenhada por um militar, de acordo com um certo padrão de eficiência. Esse padrão de eficiência, qual seja o das especialidades é conhecido como o documento oficial que caracteriza as atividades desempenhadas, por meio dos níveis de conhecimento.



Figura 4: Portão principal da EEAR

O currículo mínimo do CFS contempla, desde a inauguração da escola, três campos de conhecimento, quais sejam o científico, o militar e o técnico-especializado.

A instrução científica era composta das seguintes disciplinas: Língua Portuguesa I e II, Aeronáutica, Comunicação Oral e Escrita, Relações Humanas, Educação Cívico-Militar, História da Força Aérea, Conduta Social e Chefia e Liderança.

No campo militar, as instruções contemplavam outras disciplinas como: Legislação Militar I, II e III, Ordem Unida (Figura 18), Armamento, Munição e Tiro, Exercício de Campanha, Segurança, Sobrevivência, Higiene, Primeiros Socorros e Treinamento Físico.

O ensino técnico-especializado era realizado em pavilhões especiais, denominados Galpões (Figura 20), os quais serviam como grandes laboratórios, representando, de forma simulada, os ambientes laborais nos quais os futuros profissionais iriam atuar.



Figura 5: Galpão da especialidade BCT

Durante o período do governo militar (1964-1985), foi realizada uma ampla reforma do ensino superior (Lei nº 5540/68); e foi ainda promulgada uma nova Lei de Diretrizes e Bases, a LDB nº 5.692, de 11 de agosto de 1971, a qual modificou substancialmente os cursos abaixo daquele nível de ensino, inclusive o ensino técnico.

Visando ao preparo da tropa e à especialização dos seus militares, e tendo como finalidade o desenvolvimento técnico dos profissionais ligados à aviação, a FAB se posicionou de maneira favorável às diretrizes legais, fomentando uma adequação da estrutura curricular e logística inerente à formação dos Sargentos especialistas.

Uma das primeiras modificações curriculares no CFS ocorreu no segundo semestre de 1990, surpreendendo, inclusive, os candidatos que já aguardavam por um novo processo seletivo.

O comando da Escola, cumprindo as diretrizes do Diretor-Geral de Ensino, após estudos realizados acerca da duração do curso e da grade curricular a ser cumprida, adotou as seguintes medidas:

- Eliminação do estágio da 4ª série;
- Redução das férias escolares;
- Reformulação do calendário escolar; e
- Alteração na programação de ensino.

Embora o curso tenha diminuído o número de semestres, permaneceu tendo como pré-requisito a conclusão, com aproveitamento, da primeira série do 2º grau, que logo depois se tornaria o Ensino Médio do Sistema Nacional de Educação, ou ter condições de concluí-la até a data da concentração final do concurso em questão, estipulada no edital do certame.

A partir de 2001, o primeiro ano do Ensino Médio deixou de ser um dos requisitos para o ingresso na EEAR. O nível de escolaridade foi elevado e, consequentemente, novas mudanças surgiriam a contar desse ano.

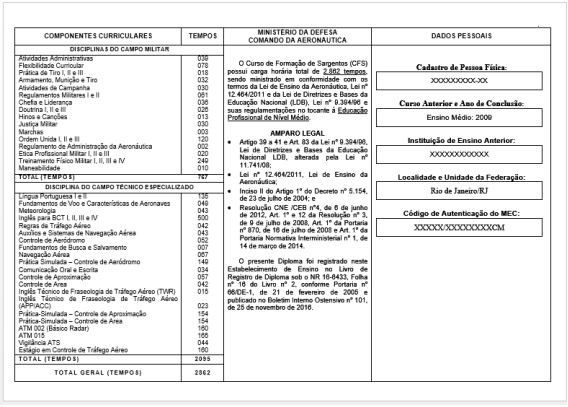
Para ingresso na escola, o candidato deveria ter concluído, ou estar em condições de concluir, com aproveitamento, o Ensino Médio do Sistema Nacional de Ensino até a data da concentração final do concurso.

A valorização do profissional iria ao encontro da elevação da diplomação do concluinte do curso, pois o ideal seria que

pudessem receber o diploma de Nível Médio Técnico, reconhecido pelo MEC, na especialidade pretendida. Um dos fatores observados foi o fato de esses técnicos poderem permanecer no mercado de trabalho após a aposentadoria.

Em 2005, todos os currículos entraram em vigor. Ratificou-se, com isso, a proposta inicial de aumento da qualidade do curso mediante o retorno da 4ª série e da implementação do estágio supervisionado e, também, de reconhecimento junto ao MEC dos cursos como Ensino Médio Técnico. A especialidade de Controle de Tráfego Aéreo já faz parte do Catálogo Nacional de Nível Médio Técnico do MEC.

Ao concluinte do CFS, na especialidade BCT, segundo a regulamentação dada pela Resolução nº 3, de 9 de junho de 2008; Portaria nº 870, de 16 de julho de 2008 e também por meio da Portaria Normativa Interministerial nº 16, de 30 de outubro de 2008, é conferido o diploma de Técnico em Controle de Tráfego Aéreo do Eixo Militar.



COMPONENTES CURRICULARES	TEMPOS
DISCIPLINAS DO CAMPO MILITAR	
Atividades Administrativas	038
Flexibilidade Curricular	078
Prática de Tiro I, II e III	018
Armamento, Munição e Tiro	032
Atividades de Campanha	030
Regulamentos Militares I e II	061
Chefia e Liderança	036
Doutrina I, II e III	026
Hinos e Canções	013
Justiça Militar	030
Marchas	003
Ordem Unida I, II e III	120
Regulamento de Administração da Aeronáutica	002
Ética Profissional Militar I, II e III	020
Treinamento Físico Militar I, II, III e IV	249
Maneabilidade	010
TOTAL (TEMPOS)	767
DISCIPLINA DO CAMPO TÉCNICO ESPECIALIZADO	
Língua Portuguesa I e II	135
Fundamentos de Voo e Características de Aeronaves	049
Meteorologia	043
Inglês para BCT I, II, III e IV	500
Regras de Tráfego Aéreo	042
Auxílios e Sistemas de Navegação Aérea	043
Controle de Aeródromo	052
Fundamentos de Busca e Salvamento	007
Navegação Aérea	067
Prática Simulada – Controle de Aeródromo	140
Comunicação Oral e Escrita	034
Controle de Aproximação	087
Controle de Área	042
Inglês Técnico de Fraseologia de Tráfego Aéreo (TWR)	015
Inglês Técnico de Fraseologia de Tráfego Aéreo (APP/ACC)	023
Prática-Simulada – Controle de Aproximação	154
Prática-Simulada – Controle de Área	154
ATM 002 (Básico Radar)	160
ATM 015	165
Vigilância ATS	044
Estágio em Controle de Tráfego Aéreo	160
TOTAL (TEMPOS)	2095
TOTAL GERAL (TEMPOS)	2862

MINISTÉRIO DA DEFESA
COMANDO DA AERONAUTICA

O Curso de Formação de Sargentos (CFS) possui carga horária total de 2.862 tempos, sendo ministrado em conformidade com os termos da Lei de Ensino da Aeronáutica, Lei nº 12.464/2011 e da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), Lei nº 9.394/96 e suas regulamentações no tocante à Educação Profissional de Nível Médio.

AMPARO LEGAL

- Artigo 39 a 41 e Art. 83 da Lei nº 9.394/96, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional LDB, alterada pela Lei nº 11.741/08;
- Lei nº 12.464/2011, Lei de Ensino da Aeronáutica;
- Inciso II do Artigo 1º do Decreto nº 5.154, de 23 de julho de 2004; e
- Resolução CNE /CEB nº4, de 6 de junho de 2012, Art. 1º e 12 da Resolução nº 3, de 9 de julho de 2008, Art. 1º da Portaria nº 870, de 16 de julho de 2008 e Art. 1º da Portaria Normativa Interministerial nº 1, de 14 de março de 2014.

O presente Diploma foi registrado neste Estabelecimento de Ensino no Livro de Registro de Diploma sob o NR 16-8433, Folha nº 16 do Livro nº 2, conforme Portaria nº 66/DE-1, de 21 de fevereiro de 2005 e publicado no Boletim Interno Ostensivo nº 101, de 26 de novembro de 2016.

DADOS PESSOAIS

Cadastro de Pessoa Física:
XXXXXXXXX-XX

Curso Anterior e Ano de Conclusão:
Ensino Médio: 2009

Instituição de Ensino Anterior:
XXXXXXXXXXX

Localidade e Unidade da Federação:
Rio de Janeiro/RJ

Código de Autenticação do MEC:
XXXXX.XXXXXXXXCM

Figura 6: Diploma de Conclusão de Curso (verso)

Nos exemplos acima, é possível observar o total de 2.862 tempos no tocante à carga horária do CFS, mais especificamente da especialidade BCT. Pelo fato de o curso formar Sargentos de carreira, ainda que para exercessem a profissão como ATCO, há um total de 767 tempos destinados às instruções voltadas para a formação militar, restando para o campo técnico-especializado 2.095 tempos.

5. A ATUAL FORMAÇÃO DO ATCO NA EEAR

Nos dias atuais, o processo seletivo para ingresso na EEAR, para acesso ao CFS e mais especificamente como aluno da especialidade BCT, é feito por meio de concurso público nacional que, aplicado em todas as Regiões do país, possui como requisito a conclusão do Ensino Médio e a faixa etária de 17 a 24 anos.

Durante os 2 (dois) anos de curso, o aluno fica sujeito ao regime de internato militar da escola e faz jus à remuneração fixada em lei, tendo direito à alimentação, alojamento, fardamento, assistência médico-hospitalar e dentária. Caso seja militar da Aeronáutica, permanece com a remuneração que possuía na data de matricula.

A língua inglesa faz parte do currículo mínimo do CFS/BCT e, ministrado em 4 (quatro) módulos, é específico do campo técnico-especializado, totalizando 500 tempos de aula, sendo 424 tempos de instrução e 76 tempos destinados à avaliação. Na grade curricular é denominado Inglês para BCT (I, II, III e IV) e é dividido de acordo com os 4 (quatro) semestres do curso.

De acordo com a OACI, há 6 (seis) níveis de proficiência previstos para os profissionais da aviação, são eles: Pré-Elementar, Elementar, Pré-Operacional, Operacional, Avançado e Expert. O nível Operacional (nível 4) é o mínimo de proficiência requerido para comunicações radiotelefônicas. Dessa maneira, a eficiência e a adequação dos treinamentos feitos nas escolas de formação passam a ser analisadas mediante avaliações que, no caso específico da EEAR, ocorrem no último semestre do curso de formação, por meio do Exame de Proficiência em Língua do SISCEAB (EPLIS).

Segundo o Plano de Implementação dos Requisitos de Proficiência em Inglês do COMAER (PCA 37-9), aprovado pela Portaria nº 7/DGCEA de 7 de janeiro de 2014, deve ser feita uma contínua atualização do conteúdo inerente ao idioma nos processos de seleção e formação da EEAR, adequando-o à abordagem ESP (English for Specific Purposes), num contexto de Inglês voltado

para uma finalidade específica, diretamente ligada ao ATC.

A qualificação operacional dos técnicos em ATC é o objetivo desse estágio. Para que tal meta seja alcançada, de acordo com a ICA 100-18 (Licenças e Certificados para Controladores de Tráfego Aéreo. Esses princípios, considerados basilares, são requisitos para a concessão do Certificado de Habilitação Técnica (CHT).

Nesse sentido, considera-se de crucial relevância a fase prática, pois ela estabelecerá a habilitação do controlador, e os bons resultados dessa fase estão diretamente associados ao nível de desempenho adquirido pelos operadores no decorrer da formação teórica.

Além da inserção formal do aperfeiçoamento da fraseologia inglesa para o tráfego aéreo, como recomenda a OACI, houve o incremento das Técnicas de Operação Radar em Rota e Área Terminal (ATM015) no currículo mínimo do CFS/BCT. Esse módulo, que totaliza 165 tempos de aula, agrega ao formando os conhecimentos técnico-operacionais inerentes à prestação do Serviço de Vigilância ATS. O ATM015, originalmente, é um curso de especialização que, até o ano de 2013, era oferecido aos egressos do curso de formação inicial, nas dependências do ICEA.

A implementação do referido módulo, na figura de disciplina obrigatória, além de ser um avanço no tocante à capacitação do aluno, é considerado estágio supervisionado, requisito imposto pelo MEC, junto à escola, no cumprimento de 160 horas, para o reconhecimento da qualificação como Ensino Médio Técnico. As instruções permanecem divididas nos campos geral, militar e técnico-especializado.

A inserção do curso de Inglês para fins específicos, ocorrida no ano de 2009, teve como finalidade atender não somente às necessidades dos alunos, mas também aos seus interesses do COMAER, visto que esses profissionais se tornam ATCO ao final do curso de formação na EEAR, tendo que utilizar a fraseologia inglesa quando em contato bilateral com pilotos de aeronaves estrangeiras.

O CFS/BCT possui uma carga horária aproximada de 2860 horas, sendo que 117 tempos são utilizados para atividades administrativas e flexibilidade da programação. Esse total de horas pode variar uma vez que as disciplinas e demais atividades são alteradas no decorrer das reestruturações curriculares.

6. CONCLUSÕES

A EEAR possui no seu rol de cursos formadores o de formação de Sargentos Especialistas em Controle de Tráfego Aéreo. Os candidatos às vagas, após passarem por um rigoroso e concorrido certame, finalmente ingressam no Corpo de Alunos da Escola. Após dois longos anos de formação, de extensa carga horária e grade curricular atualizada semestralmente por um grupo de trabalho composto por membros do DECEA/ICEA/EEAR, finalmente os alunos, agora Sargentos, estão aptos para atuarem em órgãos operacionais por todo o território nacional, contribuindo para que a FAB possa cumprir sua missão constitucional: manter a soberania no espaço aéreo, com vistas à defesa da pátria.

Diante do arcabouço de tarefas e áreas com as quais os ATCO se deparam após a formação inicial, foi constatado que suas expectativas vão ao encontro da amostragem a seguir:

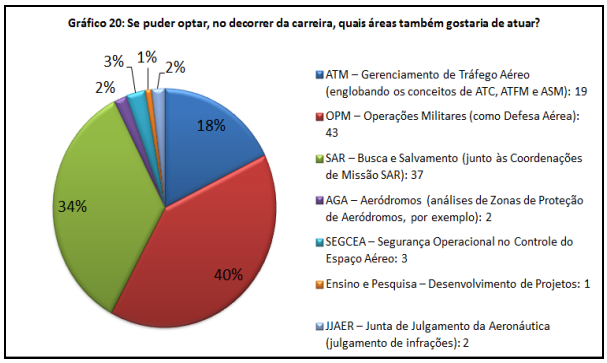


Figura 7: Áreas de preferência após o CFS

A pesquisa mostrou que 40% dos alunos gostaria de atuar em OPM, seguido pela atividade SAR, o que apoia a ideia de que seria importante a inserção de tais áreas na matriz curricular, pelo menos no campo das noções básicas. Outro fator que deve ser levado em consideração é que pode ocorrer de

um ATCO formado pela EEAR não atuar, imediatamente, junto ao controle de aeronaves, e por uma necessidade sistêmica acabar exercendo sua especialidade em âmbitos distintos aos de órgãos de controle, como TWR, APP e ACC. Outras áreas como a de Procedimentos de Navegação Aérea, Julgamento de Infrações e Gerenciamento de Fluxo, por exemplo, contêm profissionais BCT atuando. Ao passo que conhecer um pouco acerca dessas áreas é necessário, cabe ratificar que o egresso do CFS/BCT é capacitado para operar num órgão de controle.

O curso, nos dias atuais, com duração de 2 anos, em sistema de semi-internato, abrange um total de aproximadamente 2860 horas. A carga horária é até superior ao que é requerido para a instituição de uma Graduação Tecnológica.

Conforme o Catálogo de Cursos de Nível Superior de Tecnologia do MEC, são necessárias 1600 horas para que o curso seja reconhecido como Tecnólogo. É fato que a carga horária do curso é distribuída em campos diversos como o técnico-especializado, geral e o militar e que a tarefa de se reajustar essa dinâmica é árdua. Conquanto, é cabível a formação de um grupo de trabalho tendo esse tema como objeto de estudo.

Ressalta-se que a pesquisa não teve como foco a legislação do MEC que trata dos requisitos para a formação de Tecnólogo. Outrossim, na medida em que, atualmente, para ingressar na EEAR o aluno necessita ter concluído o Ensino Médio, uma formação de Nível Superior, ressalvadas as especificidades do quadro, das tratativas no tocante às demais especialidades e da graduação de Sargento, traria, além do pioneirismo para a FAB nesse contexto, um aprimoramento da própria especialidade.

7. REFERÊNCIAS

Realizamos um levantamento bibliográfico e uma revisão de literatura sobre o tema. Constatamos a existência de produções científicas inerentes à Aeronáutica nos seguintes acervos:

a) Indexador Online de Periódicos na Área da Educação (Educ@), da Fundação Carlos Chagas Filho;

b) Scientific Electronic Library Online (SciELO);

c) Banco Nacional de Dissertações e Teses Digitais (BDTD), do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT);

d) Banco de Dissertações e Teses da Universidade da Força Aérea (UNIFA);

e) do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA).

A partir desse levantamento, foram encontrados 946 trabalhos sobre a instituição Força Aérea Brasileira. Acerca da atividade ATC, foram levantados 28 trabalhos. No entanto, sobre políticas educacionais de ensino profissionalizante, que abarcam a formação inicial e a capacitação continuada dos ATCO, não obtivemos resultados.

Diante do exposto, fez mister a conclusão desse estudo, que foi fulcrado nas seguintes referências:

ANJOS, Guilherme Augusto dos. A Escola Técnica de Aviação do Ministério da Aeronáutica em São Paulo. Separata da Revista do Serviço Público. Ano VIII. Nº 2. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1945.

BALL, S.J. Educational reform: a critical and post-structural approach. Buckingham: Open University Press, 1994.

CUNHA, Luiz Antônio. O ensino de ofícios nos primórdios da industrialização. São Paulo: Editora UNESP, Brasília (DF): Flacso, 2000.

DUMONT, Alberto Santos. O que eu vi, o que nós veremos. Ed. Encantada. [S.l.: s.n], 1918.

FAJER, M. Sistema de investigação dos acidentes aeronáuticos da aviação geral – uma análise comparativa. 2009. 149f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FAUSTO, Boris. História do Brasil. São Paulo: Editora da USP. 1996.

GONDRA, José Gonçalves; SILY; Paulo Rogério M. Narrativas em Trânsito: Apontamentos sobre internacionalização da história e historiografia da educação nas Américas (1916-1934). Revista Mexicana de Historia de la Educación, vol. I, núm. 2, 2013, 199-227.

LAVENÈRE-WANDERLEY, Nelson Freire. História da Força Aérea Brasileira. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Gráfica Brasileira Ltda. 1975.

PARRET, Peter. Construtores da Estratégia Moderna. Biblioteca do Exército Editora. Rio de Janeiro, 2001.

ROMANELLI, Otaíza de Oliveira. História da Educação no Brasil. 36. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2010.

SEGUNDA DEMONSTRAÇÃO DO SWIM NO CENÁRIO NACIONAL

Camila Bassetto
Departamento de Controle do Espaço Aéreo - DECEA
Av. Gereral Justo, 160 – Rio de Janeiro/RJ, camilacb@decea.gov.br

Lorrene Carolline Nunes Vieira, Ivan Matias da Silva
Instituto de Controle do Espaço Aéreo - ICEA
Praça Marechal-do-Ar Eduardo Gomes, 50 – São José dos Campos/SP,
lorrenelcnv@icea.gov.br / matiasims@icea.gov.br

Inaldo Capistrano Costa
Instituto de Tecnologia da Aeronáutica
Praça Marechal-do-Ar Eduardo Gomes, 50 – São José dos Campos/SP, inaldo.costa@gp.ita.br

Li Weigang, Lucas Borges Monteiro, Iuri Souza Ramos Barbosa
Universidade de Brasília - UnB
Full Address, weigang@unb.br, lucasbmonteiro@gmail.com, iuri.srb@gmail.com

ABSTRACT – TEXT STYLE 'ABSTRACT TITLE'

The System Wide Information Management (SWIM) is a concept recommended by the International Civil Aviation Organization (ICAO) meant to improve the interoperability of data and systems in the context of the ATM System once adopted. As part of the initiatives headed to SWIM implementation in the Brazilian scenario, technical demonstrations are being held. This paper presents the contextualization of the SWIM Brazilian demonstrations, as well as the results of the second one, which took place in May 2019.

Keywords: SWIM, SOA, ATM, Information Management, Web Services.

1. INTRODUÇÃO

Em termos teóricos, o conceito de Gerenciamento da Informação de Todo o Sistema – SWIM (do inglês, *System Wide Information Management*) foi desenvolvido e documentado pela Organização de Aviação Civil Internacional – OACI, em seu Manual sobre o Conceito SWIM (Canadá, 2015). Entretanto, a implementação de um conceito tão complexo e disruptivo como o SWIM requer alto investimento e, portanto, deve ser adequadamente avaliado e planejado para garantir o alcance dos objetivos e benefícios esperados. Nesse sentido, FAA[1] e SESAR[2] promoveram, nos anos de 2014 e 2016, demonstrações globais sobre o SWIM, que foram úteis para testar as tecnologias, procedimentos e padrões, consolidando o conceito nos cenários norte-americano e europeu, respectivamente.

Trazendo a prática para o cenário nacional, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA promoveu em 2017 uma primeira demonstração, com o objetivo principal de simular na prática a arquitetura orientada a serviços – SOA (do inglês *Service-Oriented Architecture*), evidenciando os benefícios advindos de sua aplicação. A demonstração, realizada em colaboração com o Laboratório de Modelo Computacional para o Transporte Aéreo – TransLab[3] da Universidade de Brasília – UnB e a empresa brasileira IACIT[4], aconteceu durante o II Workshop sobre Segurança Cibernética no ATM (do inglês *Air Traffic Management*) e SWIM, ou apenas Workshop Cyber&SWIM[5], na presença de representantes do governo, indústria, academia, provedores de serviço de navegação aérea e usuários do Sistema ATM nacional.

Desta forma, em adição aos objetivos técnicos esperados, a demonstração proporcionou um ambiente colaborativo entre o DECEA e a Comunidade ATM nacional, resultado desejável, considerando que no âmbito do SWIM, a cooperação entre os *stakeholders* é um fator essencial para garantir a consistência na implementação do conceito.

Considerando a relevância técnica da realização de demonstrações práticas para validar e evoluir conceitos e processos, bem como para suportar a especificação técnica dos componentes tecnológicos que farão parte do SWIM, o DECEA planejou a realização de demonstrações anuais sobre o SWIM, que acompanharão a transição da implantação do conceito no cenário nacional.

Nesse contexto, este artigo apresenta o resultado da segunda demonstração SWIM promovida pelo DECEA (Item 4), incluindo, para fins de contextualização, uma breve apresentação acerca do Sistema ATM e o Gerenciamento da Informação (Item 2) e a definição de SWIM (Item 3). Por fim, é apresentada uma conclusão (Item 5).

2. O SISTEMA ATM E O GERENCIAMENTO DA INFORMAÇÃO

O Sistema ATM é um sistema que "proporciona o gerenciamento de tráfego aéreo através da integração colaborativa de seres humanos, informação, tecnologia, instalações e serviços, apoiado por comunicações, navegação e vigilância baseadas em ar, solo ou espaço" (Canadá, 2003).

Embora a base do Sistema ATM seja a provisão de serviços integrados, houve a necessidade de desagrega-lo em componentes para facilitar sua compreensão e possibilitar sua evolução. Desta forma, sete componentes são apresentados pela OACI como parte do Sistema ATM, conforme apresentado na Figura 1. (Canadá, 2003)

[1] A FAA, do inglês *Federal Aviation Administration*, é a organização dos Estados Unidos responsável, entre outras coisas, pela evolução do Sistema ATM naquele país, o que é feito por intermédio do programa NextGen. Fonte: <https://www.faa.gov/nextgen/what_is_ nextgen/>)

[2] O SESAR é o mecanismo que coordena e concentra todas as atividades de pesquisa e desenvolvimento em ATM da União Europeia. Fonte: <https://www.sesarju.eu/>

[3] <http://www.translab.unb.br/>

[4] <http://www.iacit.com.br/>

[5] <http://pesquisa.icea.gov.br/IIworkshopcyberswim/index.php>

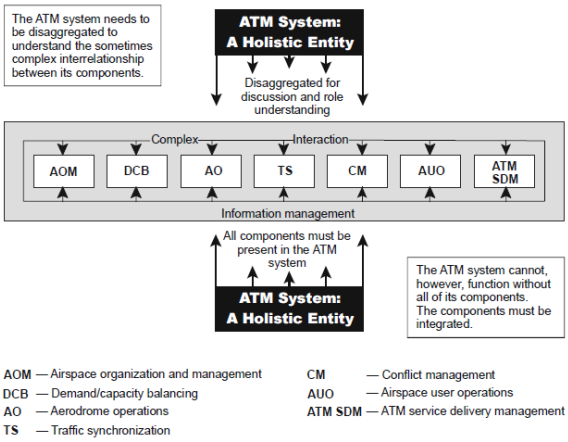


Figura 1: Componentes do Sistema ATM (Fonte: OACI, 2003)

Aos sete componentes que constituem o Sistema ATM, se soma um oitavo elemento, os serviços de informação, com a função de lidar com o intercâmbio e o gerenciamento das informações utilizadas pelos diferentes processos e serviços, garantindo a coesão e a ligação entre os sete componentes já citados. (Canadá, 2003)

Ao descrever os serviços de informação, a OACI (Canadá, 2003) dá especial destaque ao gerenciamento da informação, como o fator que irá proporcionar o compartilhamento das informações de forma ampla, permeando todo o sistema, garantindo, assim o suporte adequado e oportuno às tomadas de decisões colaborativas e contribuindo para melhores resultados, tanto comerciais como operacionais.

Dessa forma, em seu Plano Global de Navegação Aérea – GANP (do inglês, *Global Air Navigation Plan*), a OACI endereça o gerenciamento da informação apresentando o SWIM como um dos módulos de capacidade necessários à melhoria da performance do ATM por meio de um ambiente com melhor interoperabilidade de sistemas e dados. (Canadá, 2016)

O SWIM, então, proporcionará ao longo dos próximos anos, conforme os países membro da OACI o adotarem, um ambiente global de interoperabilidade de dados e informações relacionados ao ATM, contribuindo para a garantia e para a evolução da segurança, regularidade e eficiência das operações aéreas.

3. SWIM - DEFINIÇÃO

Em resumo, o SWIM é uma forma colaborativa, padronizada, governada e gerenciada de intercâmbio de informações em um ambiente de rede. Os componentes do SWIM são informação, serviços de informação e infraestrutura técnica SWIM suportados pela governança SWIM (incluindo padrões), conforme ilustrado na Figura 2. (Brasil, 2019)

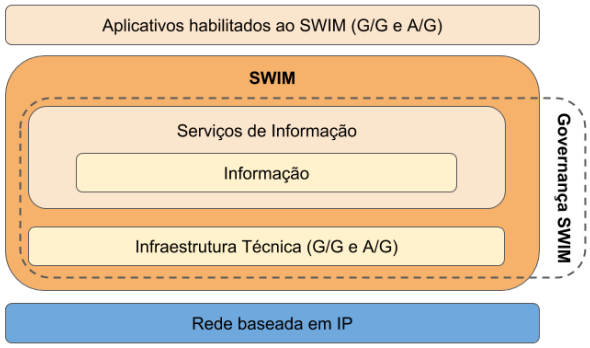


Figura 2: Componentes do SWIM (Fonte: Brasil, 2019)

A orientação a serviços é adotada no SWIM para a troca de informações entre os *stakeholders*, ou seja, um provedor de serviço SWIM publica e expõe seus serviços para o uso de consumidores. Isso é feito através de registros que listam os serviços e os detalhes específicos para consumi-los, conforme ilustrado na Figura 3. (Brasil, 2019)

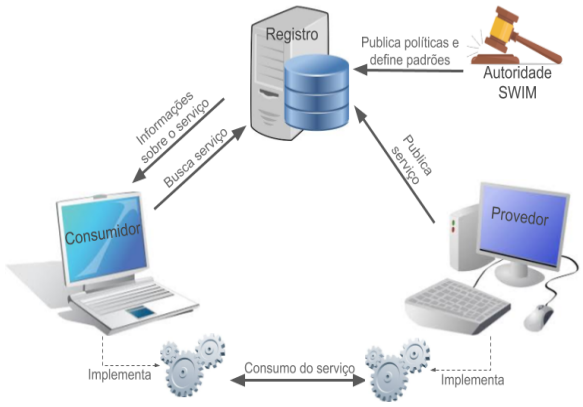


Figura 3: Conceito de um Registro SWIM (Fonte: Brasil, 2019)

4. SEGUNDA DEMONSTRAÇÃO DO SWIM NO CENÁRIO NACIONAL

A segunda demonstração do SWIM foi realizada durante o III Workshop Cyber&SWIM[6], em maio de 2019, com o objetivo de apresentar em ambiente prático aspectos de interoperabilidade por meio da adoção do conceito SWIM e exemplificar possibilidades de implementação no cenário nacional.

4.1. ARQUITETURA DO EXERCÍCIO

Com base nos elementos SOA (provedor, consumidor e registro), foi proposta a arquitetura do exercício, conforme ilustrado na Figura 4.

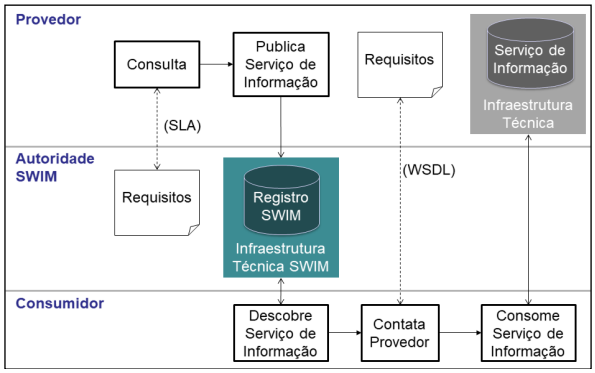


Figura 4: Arquitetura do exercício realizado na 2ª Demonstração SWIM no cenário nacional

Para o exercício, foi considerado que o provedor já estaria ciente e em conformidade com os requisitos estabelecidos pela Autoridade SWIM, por meio da Governança. Desta forma, o provedor já seria um usuário cadastrado no Registro, cumprindo, desta forma, todos os requisitos de acesso necessários, e o seu serviço já seria considerado um serviço SWIM, estando apto a ser publicado no Registro.

O serviço escolhido foi o de previsão de turbulência de céu claro, mantido e disponibilizado pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo – ICEA[7] para fins de pesquisa e desenvolvimento. A opção por esse serviço em particular deu-se tão somente pela facilidade de acesso aos dados e por se tratar de um serviço já desenvolvido[8].

Considerando que o foco da Demonstração foi evidenciar o uso dos mecanismos de interoperabilidade de dados e informações proporcionados por um ambiente SWIM, foi utilizado apenas uma parte do serviço.

Foram considerados cinco passos para a execução do exercício, conforme detalhado nos itens 4.2 a 4.6 a seguir.

4.2. PASSO 1: PROVEDOR PUBLICA SERVIÇO NO REGISTRO

Para a demonstração foi adotado como o Registro o jUDDI, uma implementação *open source* em Java da especificação UDDI[9] da OASIS[10].

Foi demonstrada, então, a publicação do serviço pelo provedor no Registro. A Figura 5 mostra a página de um cliente *web* do jUDDI para apresentar os serviços publicados no registro. O serviço adotado no exercício, de previsão de turbulência de céu claro, aparece na lista nomeado como “tma-wsdl”.

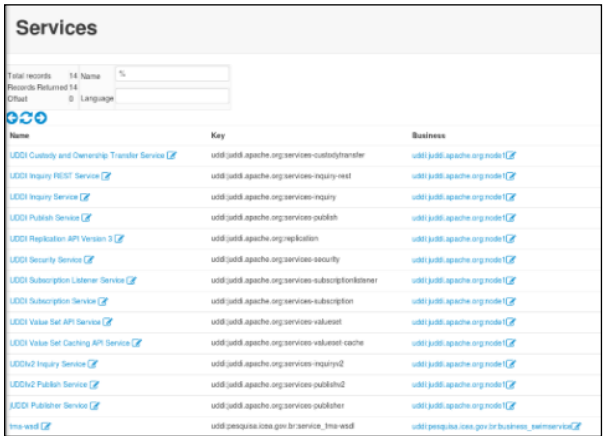


Figura 5: Cliente *web* jUDDI – lista de serviços publicados no Registro.

[6] <http://www.icea.gov.br/workshopcyberswim/>

[7] O ICEA é organização do Comando da Aeronáutica – COMAER, subordinado ao DECEA, a que compete “capacitar recursos humanos e realizar pesquisas e desenvolvimentos no âmbito do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB)”. Fonte: <http://www.icea.gov.br/index.php/missao-visao-e-valores>

[8] O serviço de turbulência em céu claro e outros estão disponíveis para consulta em: <http://pesquisa.icea.gov.br/climatologia/wrf.php>

[9] UDDI é o serviço de diretório onde empresas podem publicar e buscar serviços Web.

[10] < https://juddi.apache.org/>

4.3. PASSO 2: CLIENTE BUSCA SERVIÇO NO REGISTRO

Por intermédio do Registro SWIM, o usuário tem a possibilidade de pesquisar os serviços disponíveis, utilizando filtros diversos, definidos conforme a categorização e opções dos serviços. No exercício em questão, utilizamos as opções de filtros do jUDDI para demonstrar essa funcionalidade.

Conforme apresentado na Figura 6, o jUDDI possibilita, entre outras, a opção de busca de serviços por nome. Foi realizada então esse tipo de busca para o termo "tma", adicionando qualificadores para busca aproximada (approximateMatch) e para não diferenciação entre letras maiúsculas e minúsculas (caseinsensitiveMatch). O sinal % foi adicionado no início e no término do termo pesquisado para possibilitar a busca aproximada, conforme requisito do jUDDI.

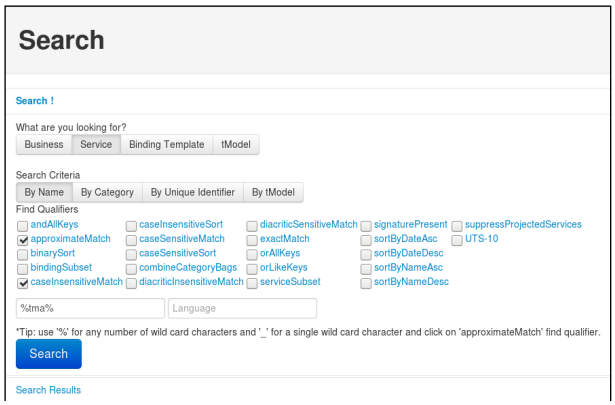


Figura 6: Cliente *web* do jUDDI - filtros para consulta no registro

A Figura 7 apresenta o resultado da busca realizada. No caso, apenas um serviço entre os cadastrados no Registro possuía o termo "tma" em seu nome, justamente o serviço de previsão de turbulência de céu claro, nomeado "tma-wsdl".

A busca de serviços no Registro estará disponível por intermédio de uma interface homem-máquina acessível pela internet. Como exemplo, pode-se citar os registros SWIM dos Estados Unidos e da Europa, acessíveis em:

- <https://nsrr.faa.gov/>
- <https://eur-registry.swim.aero/>



Figura 7: Cliente *web* jUDDI - resultado da pesquisa por filtros

O Registro SWIM brasileiro está em fase de desenvolvimento e uma versão inicial do aplicativo *web* para acesso pelos usuários foi proposto pela UnB, em cooperação com o ICEA (Barbosa et al, 2017), conforme ilustrado na Figura 8.

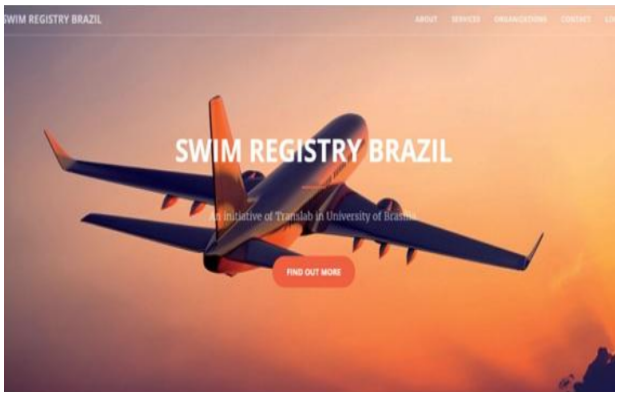


Figura 8: Página inicial do Registro SWIM *brasileiro* – em desenvolvimento

4.4. PASSO 3: CONSUMIDOR FAZ CONTATO COM PROVEDOR

Após identificar o serviço de interesse no Registro, o consumidor terá acesso à descrição desse serviço, contendo as informações necessárias para que um aplicativo cliente possa consumir diretamente o serviço provido. Desta forma, a partir deste momento a interação entre provedor e consumidor passa a ser máquina-máquina, enquanto estiverem mantidos os requisitos acordados para acesso ao serviço.

Um dos padrões propostos no âmbito do SWIM para a divulgação dos metadados dos serviços é o WSDL, que é uma linguagem baseada em XML utilizada para descrever *Web Services*, funcionando como um contrato do serviço. O WSDL descreve o serviço,

especifica como acessá-lo e lista as operações ou métodos disponíveis.

Nesse contexto, durante a demonstração foi apresentado acesso do usuário ao WSDL do serviço escolhido, via Registro (Figura 9).

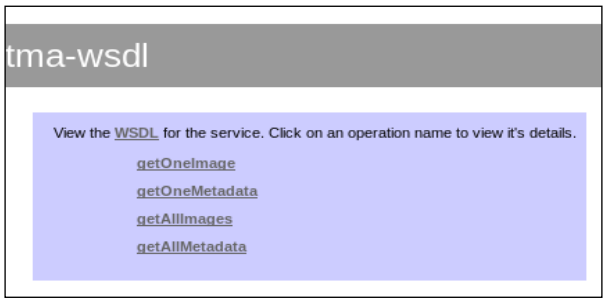


Figura 9: Acesso ao WSDL do serviço via Registro.

Em um ambiente operacional, a descrição do serviço, em WSDL ou outro formato padronizado, ou a URL para acesso a ela, tanto pode estar disponível no Registro como pode ser enviada ao consumidor por e-mail, por exemplo, após contato inicial deste com o provedor. Estes aspectos devem ser considerados e previstos pela governança SWIM.

4.5. PASSO 4: CONSUMO DO SERVIÇO CLIENTE-PROVEDOR

Foi desenvolvido um aplicativo cliente para demonstrar o consumo do serviço de previsão de turbulência de céu claro, publicado no Registro.

As funcionalidades do aplicativo cliente correspondem às opções disponibilizadas pelo serviço. No caso, foi oferecida ao usuário a opção de escolha de uma TMA (*Terminal Manoeuvring Area*) representadas por marcadores clicáveis em um mapa (Figura 10).

Após a indicação da TMA, conforme apresentado na Figura 11, o usuário poderia indicar a resolução da imagem da previsão em grid (06 ou 18 quilômetros) e a pressão atmosférica em hPA (lista suspensa contendo as opções disponíveis).



Figura 10: Aplicativo cliente consumindo serviço – opção de seleção de TMA

Ainda, poderia escolher entre retornar a previsão para um horário específico (lista suspensa contendo as opções disponíveis) ou apresentar todas as imagens disponíveis (o serviço oferece as imagens das últimas 24h). Em resposta, o aplicativo retorna a imagem da previsão para as opções selecionadas pelo usuário e um link para os metadados (Figura 12).

O aplicativo cliente, utilizando as opções indicadas pelo usuário, consultou o serviço fornecido por meio da implementação dos métodos disponibilizados por intermédio do arquivo WSDL.

A

Figura 13 apresenta o trecho de código do aplicativo cliente, que utiliza os quatro métodos disponibilizados pelo Produtor (getOneImage, getOneMetadata, getAllImages, getAllMetadata), de forma que o serviço provedor seja chamando de acordo com as opções escolhidas pelo usuário.

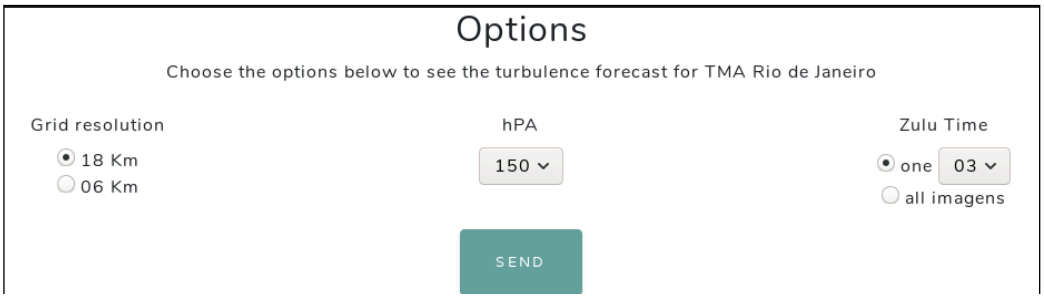


Figura 11: Aplicativo cliente consumindo serviço – opção de seleção de resolução, hPA e imagens

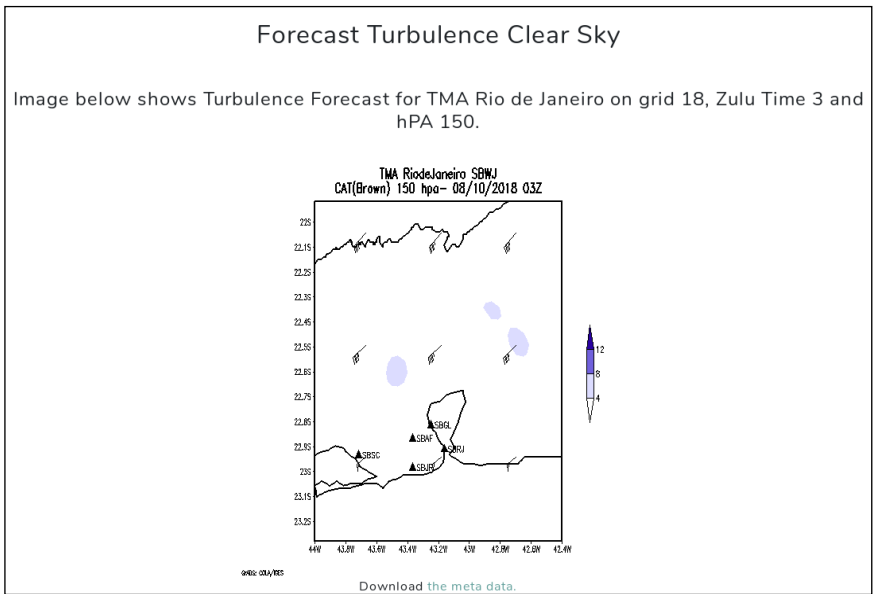


Figura 12: Aplicativo cliente consumindo serviço – retorno das opções do usuário

```
            if ($_POST['image'] =="01") {

              $url_image = $client->call("getOneImage", array("tma_region" => getRegion($_GET['tma']) , "tma_state"=>
getState($_GET['tma']), "tma_grid" => $_POST['grid'], "tma_schedule" => $_POST['zulutime'], "tma_hpa" => $_POST['hpa'] ));
              $url_metadata = $client->call("getOneMetadata", array("tma_region" => getRegion($_GET['tma']) , "tma_state"=>
getState($_GET['tma']), "tma_grid" => $_POST['grid'], "tma_schedule" => $_POST['zulutime'], "tma_hpa" => $_POST['hpa'] ));

              echo "<p><h4>Image below shows Turbulence Forecast for ". getTitle($_GET['tma'])." on grid ".$_POST['grid'].", Zulu
Time ".$_POST['zulutime']." and hPA ".$_POST['hpa'].".</h4></p><br />
                    <img src='".$url_image."'><br />
                    Download <a href='".$url_metadata ."'>the meta data.</a><br />";

            } else {

              echo "<p><h4>Images below show Turbulence Forecast for ".getTitle($_GET['tma'])." on grid ".$_POST['grid']." and
hPA ".$_POST['hpa'].". </h4></p><br />";

               $url_images = $client->call("getAllImages", array("tma_region" => getRegion($_GET['tma']) , "tma_state"=>
getState($_GET['tma']), "tma_grid" => $_POST['grid'], "tma_hpa" => $_POST['hpa'] ));
               $url_metadata = $client->call("getAllMetadata", array("tma_region" => getRegion($_GET['tma']) , "tma_state"=>
getState($_GET['tma']), "tma_grid" => $_POST['grid'], "tma_hpa" => $_POST['hpa'] ));

                $array_url_images = explode (" ", $url_images);
                $array_url_metadata = explode (" ", $url_metadata);

              for ($i=0; $i<16; $i++) {

                echo "<img src='".$array_url_images[$i]."'><br />Download <a href='".$array_url_metadata[$i]."'>the meta data.</
a><br /><br /><br />";

              }

            }
```

Figura 13: Trecho do código do aplicativo cliente.

4.6. PASSO 5: PROVEDOR ATUALIZA SERVIÇO NO REGISTRO

Quando o estado ou descrição de um serviço é atualizado pelo provedor no Registro, o usuário poderá receber uma notificação. Um serviço de notificação faz parte da infraestrutura SWIM e suporta o controle e visibilidade do ciclo de vida dos serviços.

O Registro garante às partes o cumprimento e a manutenção da Governança estabelecida. O provedor pode fornecer suas atualizações diretamente aos usuários do seu serviço, entretanto o fato da descrição constar no Registro pressupõe a aderência aos padrões previstos para garantia da interoperabilidade.

5. CONCLUSÃO

A segunda demonstração do SWIM no cenário nacional foi mais uma oportunidade de aprofundar a harmonização da compreensão do conceito para a Comunidade ATM nacional. Essa disseminação de conhecimento é relevante no cenário de implementação do conceito no Brasil, dado que o sucesso de tal empreitada depende fortemente do envolvimento de todas as partes interessadas.

Em particular, essa Demonstração trouxe destaque para o processo de fornecimento e consumo de serviços em um ambiente SOA, utilizando, para isso, um serviço de previsão de turbulência de céu claro, publicado no Registro SWIM, e um aplicativo cliente consumindo tal serviço, por intermédio da implementação dos métodos disponibilizados no arquivo WSDL, acessível via Registro.

O cenário do exercício compôs elementos de cotidiano com aspectos técnicos, de forma que pudesse ser bem compreendido por todos na plateia, considerando que o público-alvo não se restringiu a profissionais da área de Tecnologia da Informação.

A execução do exercício e os resultados alcançados, serão utilizados como suporte para a elaboração de um plano de implementação para o SWIM no cenário nacional.

Novas demonstrações serão realizadas nos próximos anos, visando ampliar o cenário e aumentar sua complexidade, possibilitando, assim, a antecipação para um ambiente de prova de conceito de aspectos com potencial impacto em ambiente operacional. Adicionalmente, tendo em vista a possibilidade de que o SWIM seja implementado por um grupo de Estados reunidos em uma região SWIM, há possibilidade de realização de demonstrações regionais.

6. REFERÊNCIAS

BARBOSA, I. S. R. et al. Desenvolvimento do SWIM Registry Brasileiro. XVI Simpósio de Transporte Aéreo: SITRAER 2017. Rio de Janeiro, 2017.

BONOMO, I. S. et al. Development of SWIM Registry for Air Traffic Management with the Blockchain Support. 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) proceedings. Maui, 2008. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8569223>. Acesso em 08 ago. 2019.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Concepção Operacional ATM Nacional: DCA 351-2. Rio de Janeiro, 2011.

_____. SWIM no ATM Nacional: DCA 351-5. Rio de Janeiro 2019.

CANADÁ. Organização da Aviação Civil Internacional. Conceito Operacional ATM Global (GATMOC): Doc. 9854. Montreal, 2005.

_____. Manual sobre o Conceito SWIM: Doc. 10039. Montreal, 2015.

_____. Plano Global de Navegação Aérea 2016-2030 (GANP): Doc. 9750. Montreal, 2016.

CAUSAL ANALYSIS OF VERTICAL FLIGHT INEFFICIENCY DURING DESCENTS

João Basílio Tarelho Szenczuk
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – São José dos Campos, SP, Brasil
+ (61) 99838-2202 jb_pva@hotmail.com

Mayara Condé Rocha Murça
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – São José dos Campos, SP, Brasil
+ (12) 3947-6925 mayara@ita.br

Rogéria de Arantes Gomes Eller
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – São José dos Campos, SP, Brasil
+ (12) 98127-5079 rogeria@ita.br

Wallace Silva Sant' Anna Souza
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – São José dos Campos, SP, Brasil
+ (12) 3947-6925 wallace2silva2souza@gmail.com

ABSTRACT

Continuous Descent Operations (CDOs) have proven to deliver significant economic and environmental benefits. Yet, flight trajectories are often observed to deviate from optimal procedures during actual operations. Better assessing and understanding the level of trajectory adherence to reference ideal procedures is a key step towards improving system performance. To this end, this paper presents a statistical model of flight trajectory performance and investigates causal factors of vertical inefficiency during descents. Based on historical flight tracking data, the structure and the use of the airspace is learned, and vertical inefficiency is quantified in terms of the amount of level flight during descent. A regression model is then created to map structural and operational factors into vertical performance. Our case study consists of 19,059 arrival flights for the two major airports in the Sao Paulo metroplex, Congonhas (CGH) and Guarulhos (GRU). Results indicate that the airspace structure is the most important causal factor, but adverse weather conditions and traffic flow management restrictions can significantly increase vertical inefficiency.

Keywords: Continuous Descent Operations (CDO); Continuous Descent Approach (CDA); Vertical Inefficiency.

1. INTRODUCTION

Continuous Descent Operations (CDOs) are among the top priorities of the International Civil Aviation Organization's Global Air Navigation Plan (GANP). CDOs enable aircraft to descend from cruise flight to final approach with less engine power. In addition to the significant reduction in fuel consumption, CDOs can also reduce noise levels around airports.

Many studies have estimated the potential benefits of CDOs in terms of fuel consumption. In this stream of literature, fuel consumption of idealized flight tracks are typically compared with actual ones through an aircraft performance model (e.g., Base of Aircraft Data – BADA).

Melby and Mayer (2008) analyzed the benefits of CDOs and CCOs using flight data for one day of operations in 34 major airports in the U.S. Their results suggest that flight operators could save about US$ 380 million per year with more efficient climbs and descents, considering fuel and time costs.

Robinson and Kamgarpour (2010) estimated the benefits of CDOs in congested airspace. Flight trajectories were built from flight plans in 8 U.S. airports. Their results indicate that potential savings vary substantially according to the type of traffic analyzed. Scenarios with low and moderate demand showed more potential for fuel consumption reduction.

CDOs were also analyzed by Knorr et al. (2011), but along with speed reductions during the en route phase. Their results indicate that potential reductions are in the order of 100 kg of fuel and 3 minutes per flight, on average.

Using similar techniques, Howell and Dean (2017) assessed the impact of FAA initiatives on the efficiency of descents. Using flight tracks of representative days in 29 U.S. major airports, they observed that fuel and time reductions in the order of 30-40% were achieved where time-based separation and optimized descents were implemented.

In Brazil, Pamplona, Fortes and Alves (2015) evaluated the benefits of CDOs and PBN procedures in the Guarulhos – Galeão (GIG) route using fast time simulations with TAAM software. Their results indicated that fuel savings due to CDOs could be in the order of 30%.

While CDOs have proven to deliver significant benefits, flight trajectories are often observed to deviate from optimal procedures during actual operations. The lack of adherence to reference ideal procedures is observed not only at the vertical but also at the horizontal dimension. Recent studies have focused on better assessing and understanding trajectory performance as a first step towards operational improvements.

Most studies on causal factors of flight inefficiency have focused only on the horizontal profile. Liu et al. (2017) applied clustering techniques and developed a linear regression model to analyze flight trajectories arriving at or departing from 34 U.S. major airports. They investigated contributions of wind, connective weather, and Miles-in-Trail (MIT) restrictions to flight inefficiency. Results varied across city-pairs, but in general convective weather showed the greatest contribution, followed by winds and MIT restrictions.

More recently, Pasutto, Hoffman and Zeghal (2019) assessed the vertical inefficiency at four major European airports, using the deviation from best local practice for each flow as an inefficiency metric. They considered the 50 NM area around each airport and six months of data from 2018 during day-time operations for more than 200,000 flights in total. Their results led to three main conclusions: descent profiles efficiencies are significantly lower than best practices; there is a degradation of descent profiles with the level of congestion; descent profiles efficiency vary for a same level of congestion.

Our work contributes to this literature by developing a statistical model to investigate causal factors of vertical inefficiency in the Sao Paulo metroplex. Historical flight tracking data for the two major airports, Congonhas (CGH) and Guarulhos (GRU), is leveraged to learn the structure and the use of the airspace and to quantify vertical inefficiency in terms of the amount of level flight during descent. A regression model is then created to map

structural and operational factors, including airspace structure, weather conditions and traffic flow management (MIT) restrictions, into vertical performance.

2. METHODOLOGY

2.1. Data Description

We analyzed 19,059 arrival flights at GRU and CGH, within the period September 18th – November 14th of 2017. The flight tracking data was obtained from FlightRadar24 and consists of one-minute reports with spatial position (latitude, longitude, altitude) and flight information (aircraft type, call sign, origin, and destination).

Two complementary datasets were used to create the statistical model. Weather conditions were collected from the Meteorological Aerodrome Report (METAR) of both airports. MIT restrictions were collected from the Brazilian Air Navigation Management Centre (CGNA) website.

2.2. Vertical Inefficiency of Descents (VID)

The methodology adopted to measure the VID follows ICAO's Key Performance Indicator (KPI) 19. This KPI is intended to give an indication of the amount of level flight during the descent phase. There are two variants. The first considers the average distance flown in level flight, while the second uses the average time flown in level flight during descent. We use the distance variant, but the same method could also be applied with the time variant. Equation (1) defines the VID metric.

$$VID = \frac{total\ level{-}offs\ during\ descent}{total\ descent\ distance}\ x\ 100 \quad (1)$$

In this analysis, we consider a radius of 100 NM around the airports. Level flight segments in descent trajectories are detected using a vertical speed limit or a level band limit. The vertical speed limit considered is 300 feet per minute. The level band limit is 300 feet, 150 feet below or above the previous data point. Thus, a data point is considered to be the start of a level segment if the vertical speed towards the next data point is less than or equal to the vertical speed limit; or if the altitude difference with the next data point is less than or equal to the level band limit. An exclusion box of 90% is also adopted, which means that we exclude from the analysis data points at which the altitude is higher than 90% of the maximum altitude of each flight within the 100 NM radius.

2.3. Learning the Airspace Structure

The airspace structure is one of the main factors that are expected to drive the VID, especially in busy metroplex airspace where procedures from closely located airports have to be de-conflicted. To account for this factor, we perform a trajectory clustering analysis to learn the main arrival traffic patterns in the analyzed airspace. Flight trajectories are unique, but they fall into one of several groups, or clusters. Among the trajectories that form a given cluster, we can identify a specific trajectory that is the center of the cluster, or a nominal route.

The trajectory clustering process was performed with the Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) algorithm (Ester et al., 1996). The choice for this algorithm is based on some reasons. First, DBSCAN can automatically handle noise observations, enabling the identification of the core trajectory patterns in the presence of abnormal trajectories that can occur for a variety of reasons. Moreover, DBSCAN can handle non-convex clusters and does not require the user to predetermine the number of clusters. Finally, DBSCAN has been the primary choice of algorithm for clustering flight trajectory datasets in previous works (Gariel et al., 2011; Liu et al., 2017; Murça et al., 2018).

After the clusters of trajectories are identified, a nominal route is determined for each cluster by solving a 1-median problem, in other words, a representative trajectory for each cluster is obtained by calculating the center of the cluster.

2.4. Statistical Model

The statistical model seeks to map structural and operational factors into vertical performance. A linear regression model, shown in Equation (2), was employed for each airport. The VID metric is the dependent variable. The regressors fall into one of five categories: demand, weather conditions, MIT restrictions, airspace structure, and aircraft type, as detailed below.

$$VID = \beta_1 ARR_CGH + \beta_2 DEP_CGH + \beta_3 ARR_GRU + \beta_4 DEP_GRU\ \beta_5 WX + \beta_6 IMC + \beta_7 MIT + \beta_8 CLUSTER_* + \beta_9 ACFT.TYPE + u$$

where:

- ARR_CGH is the number of flights descending into CGH when the flight enters the TMA.
- DEP_CGH is the number of flights departing from CGH when the flight enters the TMA.
- ARR_GRU is the number of flights descending into GRU when the flight enters the TMA.
- DEP_GRU is the number of flights departing from GRU when the flight enters the TMA.
- MIT is a dummy variable that indicates whether a flight was performed during a period with a traffic flow management MIT restriction or not.
- WX is a dummy variable indicating the presence of convective weather. It is 1 when the METAR reports rain, thunderstorm or cumulonimbus clouds.
- IMC is a dummy variable that indicates instrument meteorological conditions. It is 1 when the METAR reports visibility below five kilometers or ceiling below 1500 feet.
- CLUSTER_* are dummy variables indicating which nominal route is used by the flight. The baseline is the outliers' group (trajectories that do not fall into any of the identified traffic patterns).
- ACFT. TYPE are dummy variables for each aircraft type. These variables capture the effects of performance differences among aircraft models.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Quantification of Vertical Performance

The VID metric was calculated for each flight in the time period analyzed using Equation (1). Figures 1 and 2 show the frequency histograms of VIDs at GRU and CGH, respectively. The airports exhibit similar vertical performance. Most of the flights show up to 20% of inefficiency. Figure 3 illustrates the vertical profile of flight trajectories at GRU and CGH for a particular day of operations. Each trajectory is colored based on the calculated VID.

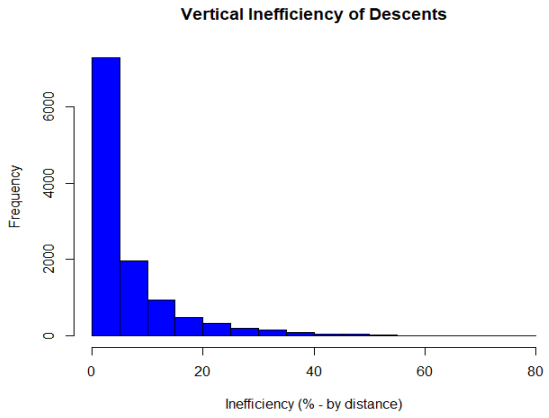


Figure 1 - Distribution of VID at GRU

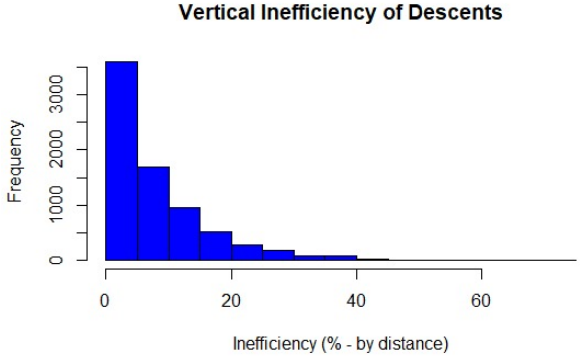
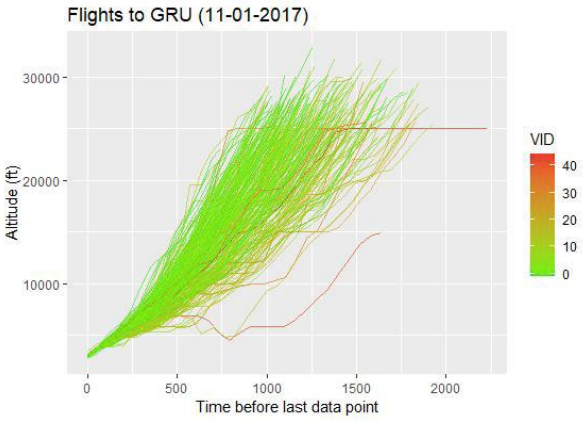
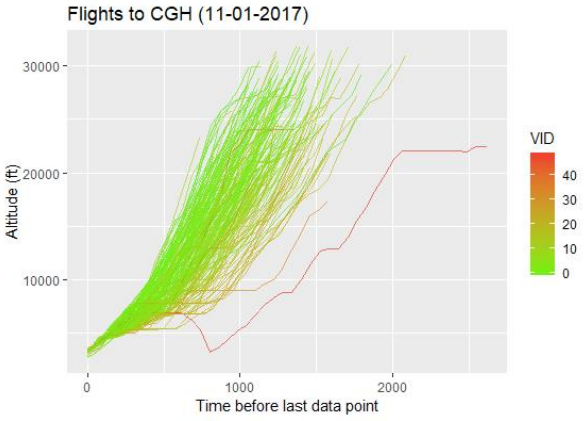


Figure 2 - Distribution of VID at CGH



(a)



(b)

Figure 3 – Visualization of the vertical profile of actual trajectories on Nov 1, 2017 at (a) GRU and (b) CGH.

With the trajectory clustering analysis, six arrival patterns were identified for CGH and ten arrival patterns were identified for GRU. Figures 4 and 5 show the nominal routes learned for GRU and CGH, respectively, and Figures 6 and 7 display the boxplot of VIDs for each nominal route and the group of outliers. For CGH, arrival pattern 4, that corresponds to flights descending through the north gate towards runway 35, and the group of outliers stand out with the highest mean vertical inefficiency. For GRU, arrival patterns 9 and 10, which correspond to flights descending through the northwest arrival gate, and the group of outliers, stand out with the lowest mean efficiency.

An important factor in VID analysis is the altitude at which level flights occur, since level offs in low altitudes are more critical in terms fuel consumption and noise. The mean altitude of level offs, weighted by the distance flown in each altitude, was calculated for each flight with VID higher than 0. Figures 8 and 9 show the mean altitude of level offs by traffic pattern. In general, the traffic patterns with the highest VIDs also presented the highest altitude of level offs, which may represent an initiative of the Brazilian ANSP to reduce fuel consumption and noise through the airspace design.

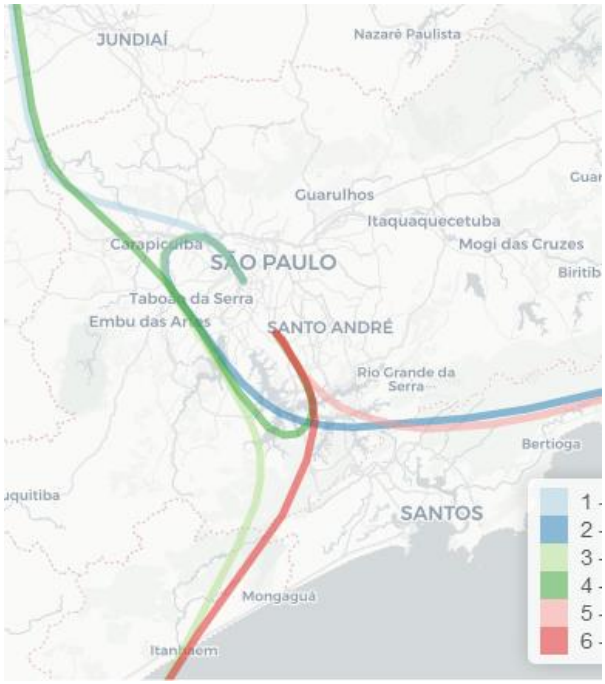


Figure 4 - Nominal arrival routes for CGH

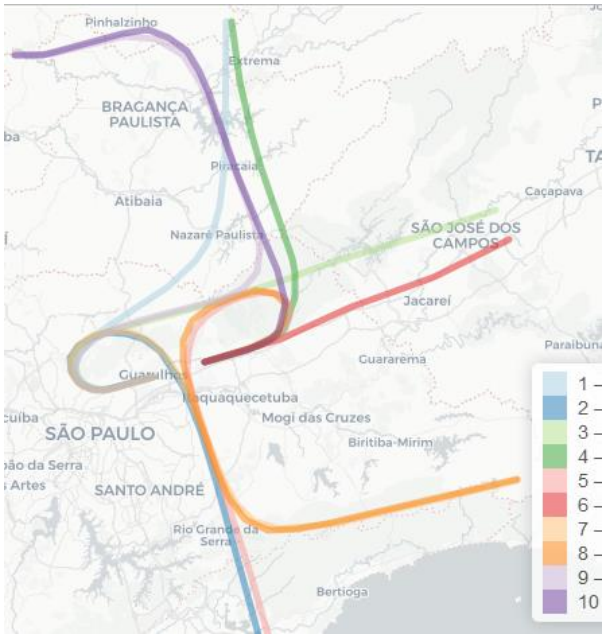


Figure 5 - Nominal arrival routes for GRU

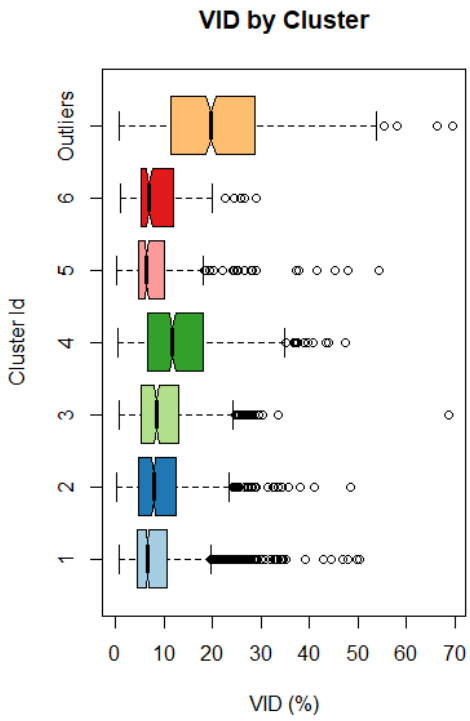


Figure 6- VID by arrival cluster at CGH

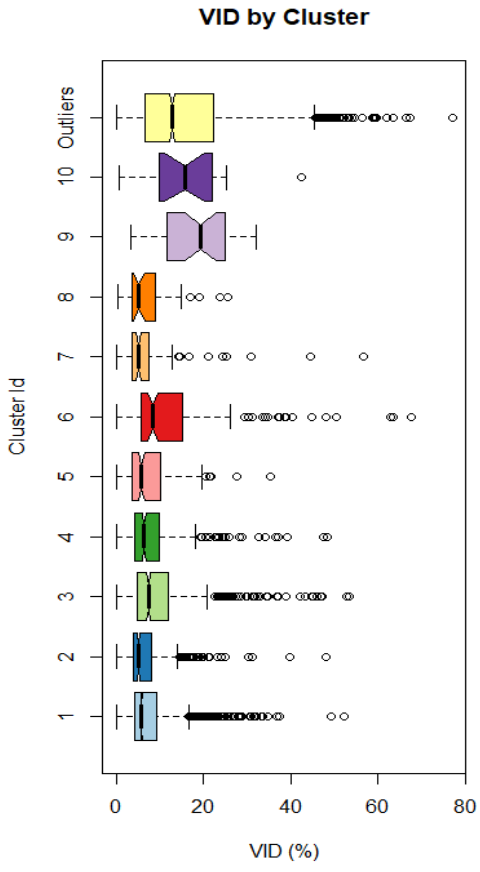


Figure 7- VID by arrival cluster at GRU

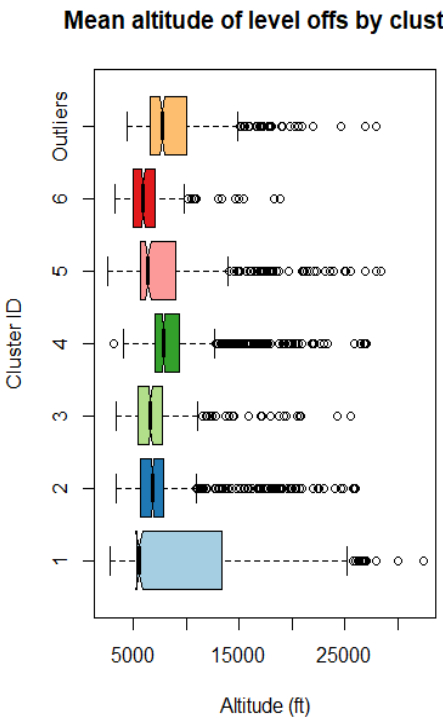


Figure 8 - Mean altitude of level offs during descents by cluster (CGH)

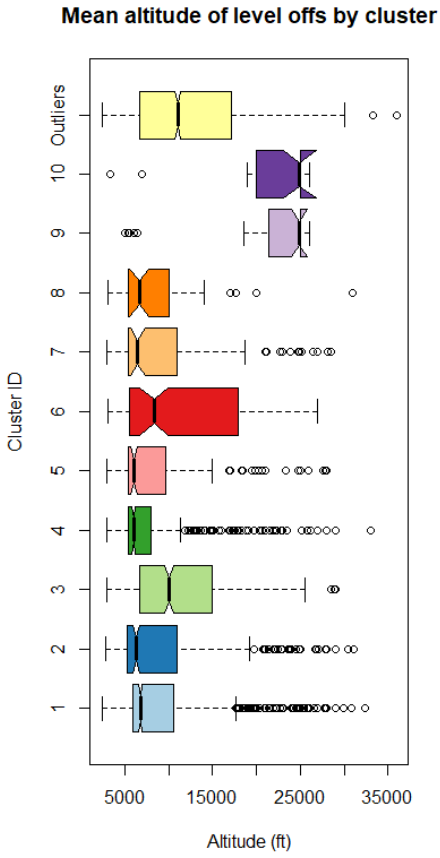


Figure 9 - Mean altitude of level offs during descents by cluster (GRU)

3.1. Model Estimation Results

The model estimation results are summarized in Table 1. Most coefficients are statistically significant, and their signs generally match the theoretical expectations. The most important factor explaining VID variability is the airspace structure. The coefficients of the traffic pattern variables are all significant, except for the CLUSTER_10 of GRU. For CGH, arrival pattern 4 and the group of outliers (baseline) stand out as the least efficient, while for GRU, pattern 9 stand out with lower efficiency. These results match the statistics presented in Figures 6 and 7.

The demand variables indicate that the number of arriving aircraft positively affects inefficiency, i.e., performance tends to degrade with higher levels of congestion. Yet, the neighboring airport demand does not seem to affect inefficiency, potentially indicating that the Sao Paulo metroplex operations have low level of interdependency. This agrees with the observations made by Murça et al. (2018).

The dummy variable WX is statistically significant at 1%, with positive sign for both airports, indicating that convective weather does increase inefficiency of descents, probably because of additional holdings and rerouting. The variable IMC shows that low ceiling and visibility conditions significantly affect flights to GRU. However, for CGH, IMC shows lower statistical significance and magnitude. The coefficient of the MIT restriction variable is positive and statistically significant at the 1% level for GRU, revealing that traffic flow management also contribute to degrade trajectory performance at this airport. For CGH, no statistical evidence was found.

4. CONCLUSIONS

This paper presents a statistical model of flight trajectory performance and investigates causal factors of vertical inefficiency during descents in the Sao Paulo metroplex. Historical flight tracking data for the two major airports, Congonhas (CGH) and Guarulhos (GRU), is leveraged to quantify vertical inefficiency in terms of the amount of level flight during descents, as in ICAO's KPI 19. The impacts of various structural and operational factors on vertical performance are investigated, including demand, meteorological conditions, traffic flow management restrictions, and airspace characteristics. Results vary by airport, but in general the airspace structure and the presence of convective weather make the greatest contribution to the inefficiencies observed.

Table 1 – Model estimation results

	VID – CGH	VID – GRU
ARR_CGH	0.5745***	0.0408
ARR_GRU	0.0044	0.6285***
DEP_CGH	-0.1834**	-0.0790
DEP_GRU	-0.0905	0.0180
WX	2.1793***	1.9076***
IMC	0.5152*	6.8187***
MIT	-0.0105	1.0787***
CLUSTER_1	-13.4868***	-7.9272***
CLUSTER_2	-11.8748***	-8.9315***
CLUSTER_3	-11.9024***	-5.8325***
CLUSTER_4	-6.5962***	-7.5604***
CLUSTER_5	-14.0208***	-7.2626***
CLUSTER_6	-14.3545***	-5.1383***
CLUSTER_7		-8.3522***
CLUSTER_8		-7.6021***
CLUSTER_9		3.7426***
CLUSTER_10		2.2068
Acft. Type Dummies	yes	yes
R2_Adj	0.2546	0.2417
RMSE	7.5013	7.7184
N_Obs	7468	11591

p-value representations:
* p<0.10, ** p<0.05, *** p<0.01

Acknowledgment

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

REFERENCES

Alcabin, M., Schwab, R., Cheng, S., Tong, K. O., & Soncrant, C. (2009, September). Measuring Vertical Flight Path Efficiency in the National Airspace System. In 9th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO) and Aircraft Noise and Emissions Reduction Symposium (ANERS) (p. 6959).

A. Eckstein, "Automated flight track taxonomy for measuring benefits from performance-based navigation," in 2009 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), Crystal City, VA, USA, 2009.

Howell, Dan; Dean, Rob. Have Descents really become more Efficient? Twelfth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2017). 2017.

ICAO- International Civil Aviation Organization (2016). DOC 9750, AN/963: Global Air Navigation Plan. 5th Edition. Disponível em: <http://www.icao.int/airnavigation/Documents/GANP-2016-interactive.pdf>. Acesso 15 de fev. 2019.

Knorr, D., Chen, X., Rose, M., Gulding, J., Enaud, P., & Hegendoerfer, H. (2011, June). Estimating ATM efficiency pools in the descent phase of flight. In 9th USA/Europe air traffic management research and development seminar (ATM2011) (Vol. 5, pp. 16-23).

Liu, Y., Hansen, M., Lovell, D., Chuang, C., Ball, M., & Gulding, J. (2017). Causal Analysis of En Route Flight Inefficiency–the US Experience. 12th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar.

Reynolds, T. G. (2014). Air traffic management performance assessment using flight inefficiency metrics. Transport Policy, 34, 63-74.

Robinson III, john; Kamgarpour, Maryam. Benefits of continuous descent operations in high-density terminal airspace considering scheduling constraints. In: 10th AIAA aviation technology, integration, and operations (ATIO) conference. 2010. p. 9115.

Pasutto P.,Hoffman E. and Zeghal K. (2019). Vertical Efficiency in Descents Compared to Best local Practices. 13th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar.

Melby, P., & Mayer, R. (2008). Benefit potential of continuous climb and descent operations. In The 26th Congress of ICAS and 8th AIAA ATIO (p. 8920).

Pamplona, D. A., de Castro Fortes, J. L., & Alves, C. J. P. (2015). Análise dos benefícios da utilização de procedimentos baseados em desempenho e da utilização de aproximações de descida contínua na rota Galeão-Guarulhos. TRANSPORTES, 23(2), 22-35.

Gariel, M.; Srivastava, A. N.; Feron, E.: “Trajectory clustering and an application to airspace monitoring”. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 12 nº 4 (2011), pp. 1511-1524.

Murça, M. C. R.; Hansman, R. J.; Li, L.; Ren, P.: “Flight trajectory data analytics for characterization of air traffic flows: A comparative analysis of terminal area operations between New York, Hong Kong and Sao Paulo”. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 97 (2018), pp. 324-347.

SOLUÇÃO COMPUTACIONAL PARA PREVENIR ACIDENTES AERONÁUTICOS CAUSADOS POR ESTEIRAS DE TURBULÊNCIA USANDO MACHINE LEARNING

Daniel Valério Leite
Departamento de Ciências da Computação (CIC)
Laboratório de Transportes Aéreos da Universidade de Brasília (TransLab-UnB)
Campus Darcy Ribeiro - CEP 70910-900 - Asa Norte, Brasília – DF
dan.valerio@hotmail.com

Geraldo P. Rocha Filho
Departamento de Ciências da Computação (CIC)
Laboratório de Transportes Aéreos da Universidade de Brasília (TransLab-UnB)
Campus Darcy Ribeiro - CEP 70910-900 - Asa Norte, Brasília – DF
geraldoprfilho@gmail.com

Li Weigang
Departamento de Ciências da Computação (CIC)
Laboratório de Transportes Aéreos da Universidade de Brasília (TransLab-UnB)
Campus Darcy Ribeiro - CEP 70910-900 - Asa Norte, Brasília – DF
weigangbr@gmail.com

RESUMO

Um problema fatal para muitas aeronaves é a esteira de turbulência reconhecida pela primeira vez como de extremo perigo em 1960. Diversos acidentes e incidentes ocorreram no mundo devido a aeronaves adentrarem a esteira de turbulência de uma aeronave maior. As aeronaves tem a capacidade de enxergar as outras ao seu redor graças a um equipamento chamado ADS-B que se comunica com o ADS-B de outras aeronaves e tanto recebe quanto transmite sua a posição, velocidade, altitude, identificação etc. Com o uso de critérios de separação segura para esteira de turbulência (fluxos de ar gerados e que giram a partir das pontas das asas de um avião e que permanece por minutos no ar) de aeronaves e utilizando técnicas de Machine Learning será possível agregar ao sistema ADS-B alertas precisos ao piloto. Tais alertas informaram o perigo de se aproximar de um vórtice gerado por uma aeronave categoria super, por exemplo, Airbus A380. A metodologia por meio de Machine Learning será classificar qual aeronave está voando ao seu redor e a partir dessa informação de imediato saber qual a sua respectiva esteira de turbulência. A solução para o problema é justamente usar o ADS-B para detectar uma aeronave a quilômetros de distância em sua trajetória e alertar o piloto por meio sonoro e visual, pois o ADS-B atualmente não realiza tal solução proposta. Tais informações são suficientes para o piloto manter as devidas separações para com a outra aeronave e assim evitar um acidente aeronáutico, pois é sabido que esteiras de turbulência de aviões categoria pesada e super são de extremo perigo. Sendo assim, o piloto em caso de não ser avisado do perigo pelo Controlador de Tráfego Aéreo por qualquer motivo que seja, poderá ter sua própria tomada de decisão dentro da sua cabine para evitar um vórtice de uma aeronave maior.

Keywords: Esteira de Turbulência, Aeronave, Avião, ADS-B, Machine Learning.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das décadas acidentes aeronáuticos aconteceram devido a aeronaves ingressarem em esteiras de turbulência muito fortes e visando prevenir tais acidentes é que foi pensado em separações e um tempo seguro para pouso e decolagem. Com o uso do ADS-B é possível obter informações de altitude, velocidade, posição de outras aeronaves a milhas de distância. Será apresentado nesse trabalho técnicas de Machine Learning (área de Inteligência Artificial, com a finalidade de desenvolver técnicas computacionais capazes de adquirir conhecimento de forma automática) utilizando as regras de separação segura por distância e de tempo para com as esteiras de turbulência de outras aeronaves possibilitando perfeitamente a geração de alertas audiovisuais ao piloto em sua própria cabine. Um perigo, uma ameaça real que aparece invisível no céu e provoca desastres sempre sem avisos.

Em 12/06/2016, uma aeronave Piper Saratoga que tem esteira de turbulência categoria leve cruza abaixo da trajetória de um Boeing 737. A aeronave leve se despedaça no ar devido a ter adentrado a violenta à esteira de turbulência do Boeing 737 ser muito violenta. O piloto e o passageiro morreram.

O Manual de Informação Aeronáutico recomenda que o piloto liberado a seguir uma aeronave e tenha aceitado realizar aproximação visual para pouso, é de sua responsabilidade manter a distância segura e manter uma trajetória para o pouso ou decolagem que evite adentrar a esteira de turbulência.

Alguns casos de acidentes/incidentes relatados em relatórios de investigação no mundo:

- Bombardier Challenger 604, sobre o Mar Arábico. Diversos passageiros se machucaram, um deles gravemente. A aeronave ficou muito danificada e, consequentemente, inservível, 2017.
- E170, en-route, Ishioka Japan, 2014.
- Um C-130J-30, da Força Aérea Indiana, se acidentou perto de Gwalior, Índia, morreram todas as 5 pessoas abordo, 2014.
- Robin DR 400. Três morreram e um ficou gravemente ferido, 2012.
- P28A / S76, Humberside UK 2009
- A319 / B744, en-route near Oroville WA USA, 2008
- A320, en-route, North East Spain 2006
- A306, vicinity JFK New York USA, 2001
- B733, en-route, Santa Barbara CA USA, 1999
- B735, en-route, North East of London UK, 1996
- C185, Wellington New Zealand, 1997
- WW24, vicinity John Wayne Airport Santa Ana CA USA, 1996.

Atingir uma esteira de turbulência no momento do pouso ou decolagem pode ser fatal. O piloto muitas das vezes não tem noção do que lhe espera ou não tem a precisão necessária para tomar a melhor manobra evasiva para evitar o vórtice de uma aeronave. Por isso, que este trabalho traz uma solução computacional usando Machine Learning para prover alertas e orientações que possam agregar mais informações de forma automática ao piloto.

A de se destacar que o avião é considerado um meio de transporte muito seguro, mas nem por isso acidentes aéreos deixam de acontecer.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura será dividida em três subseções sobre a área de Inteligência Artificial, sendo a primeira sobre Machine Learning, a segunda sobre Naive Bayes e a última sobre Rede Neural Multi-layer Perceptron.

2.1 Machine Learning

A classificação de esteiras de turbulência pode ser automatizada utilizando uma técnica de inteligência artificial chamada aprendizado de máquina.

Neste trabalho, inicialmente os exemplos são classificados como perigosos, para as esteiras de turbulências identificadas como super e pesadas.

A classificação é uma subcategoria de aprendizagem supervisionada. A classificação consiste em atribuir um rótulo para a saída a

partir de determinada entrada. Sistemas de classificação são usados geralmente quando as previsões são de natureza distinta, ou seja, um simples “sim ou não”. Exemplo: Mapeamento de uma categoria de esteira de turbulência e classificação como super, pesada, leve e média.

2.2 Naive Bayes

É uma técnica de classificação baseado no teorema de Bayes com uma suposição de independência entre os preditores. Possui uma velocidade relativamente alta e precisa de apenas poucos dados para realizar a classificação, o Naive Bayes pode ser utilizado para previsões em tempo real. Além disso, o Naive Bayes só precisa de um pequeno número de dados de teste para concluir classificações com uma boa precisão para concluir que se é perigosa ou não se aproximar de uma esteira de turbulência.

2.3 Rede neural multi-layer perceptron

O Perceptron produz uma única saída com base em várias entradas de valor real, formando uma combinação linear usando os pesos (e às vezes passando a saída através de uma função de ativação não linear): perigoso ou não para determinada esteira de turbulência.

3. ACIDENTES ENVOLVENDO ESTEIRAS DE TURBULÊNCIA

O problema a ser solucionado está relacionado a acidentes aeronáuticos que já aconteceram devido a aeronaves se cruzarem muito próximas no espaço aéreo. Por exemplo, um jato Chalenger 600 em 2017, acabou entrando na esteira de turbulência gerada por um Airbus A380, o que ocasionou em perda de altitude do jato em espiral no ar e o piloto só retomou o controle do avião cerca de mais de 10.000 pés abaixo da altitude que se encontrava, o jato teve perda total e os passageiros ficaram feridos.

A componente de alta pressão que passa pela parte de baixo da asa desloca-se para a ponta da asa para encontrar a componente de baixa pressão que passa pela parte de cima da asa, ocorrendo o surgimento de vórtices rotativos que recebem o nome de esteira de turbulência. O vórtice da asa direita possui rotação no sentido anti-horário e o vórtice da asa esquerda possui rotação no sentido horário, observando-se por trás. (Hünecke, 2001)

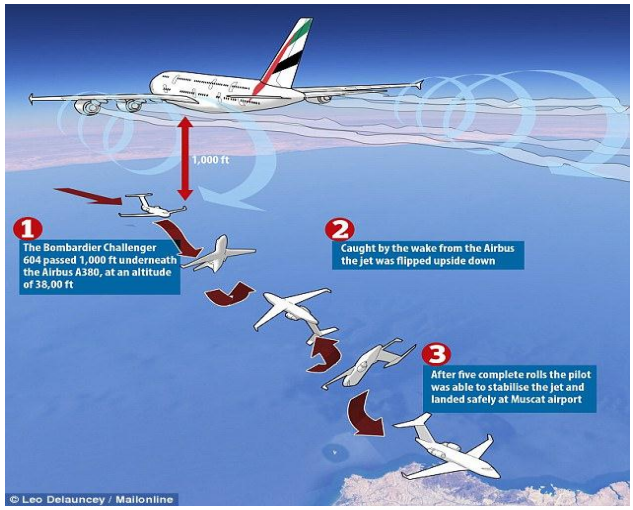


Figura 1: Jato em queda livre após cruzar esteira de turbulência de Airbus A380. Site(https://www.aviationcv.com/aviation-blog/2017/private-jet-flipped-upside-down-and-fell)

Os três principais efeitos da turbulência de esteira na aeronave que se segue são o rolamento induzido, a perda de altitude ou de velocidade de subida. Quando do encontro com a esteira turbulenta ocorre na área de aproximação, seu perigo é maior, já que a aeronave que se segue está então em uma fase crítica com respeito à velocidade, impulso, altitude e tempo de reação.



Figura 2: Situação no interior do jato após entrar na esteira de turbulência. Site(https://ops.group/blog/inside-the-cabin-before-and-after-the-wake-turbulence-encounter/)

Cabe ao Controlador de Tráfego Aéreo avisar ao piloto para aumentar a separação vertical para 1.000 pés em casos de uma aeronave de categoria inferior cruzar um avião categoria super. No caso desse acidente relatado acima o piloto não foi orientado a aumentar a

distância e nem sabia que um A380 passaria por cima de seu jato.

Outro acidente fatal em 2008 causado por esteira de turbulência se trata do LearJet 45, de matrícula XC-VMC. A aeronave voava atrás de um Boeing 767-300 e acima de um helicóptero pesado. Os pilotos do Learjet não foram avisados do tipo de aeronave em que se aproximavam, nem orientados a manter a separação segura. (Isso foi confirmado pelo Governo Mexicano através do Luiz Tellez, então Ministro de Comunicações do México.)

O Learjet de categoria de esteira de turbulência média se aproximou demais e entrou na esteira de turbulência categoria pesada do Boeing 767-300 perdendo seu controle em uma descida descontrolada e caindo sobre vários carros, ferindo 40 pessoas em uma avenida muito movimentada próximo ao aeroporto Internacional da Cidade do México antes mesmo de iniciar para o pouso. As nove pessoas no avião morreram e outras cinco vítimas fatais que passavam na avenida no momento da queda.

Alguns fatores contribuintes:

1. Falta de treinamento adequado da tripulação no Lear Jet 45.
2. Atraso da tripulação de voo na redução da velocidade.
3. Falta de controle de tráfego aéreo para corrigir a velocidade de aproximação excessiva da aeronave.
4. Provável fadiga acumulada pelo controlador de tráfego aéreo.

A separação entre o 767 e o Learjet deveria ser de 5 NM, os dois estavam apenas 4,15 NM. Fica evidente a importância de aprimoramentos de técnicas de Inteligência Artificial para prover alertas ao piloto de forma automática e evitar acidentes e mortes.



Figura 3: Destroços da queda da aeronave. Site(https://www.transponder1200.com/diosito-a-10-anos-del-impacto-del-learjet-45-en-ciudad-de-mexico/)

Outros eventos de acidentes envolvendo esteiras de turbulência de espalham pelo mundo e este artigo tem a intenção de trazer informações importantes para a prevenção de sinistros aéreos.

4. CATEGORIAS DE ESTEIRAS DE TURBULÊNCIA DE AERONAVES

Tabela 1: Categorias de Esteiras de Turbulência de aeronaves

CATEGORIAS DE ESTEIRA DE TURBULÊNCIA/ PESO MÁXIMO DE DECOLAGEM DA AERONAVE SUPER(J) Airbus A380 e o Antonov 225		
PESADA (H) - 136.000 kg (300.000 libras) ou mais;	**EMPRESA**	**PESO DE DECOLAGEM (kg)**
A300B4-200	Airbus	165000
A340-200	Airbus	275000
A340-300	Airbus	276500
A340-500	Airbus	380000
A340-600	Airbus	380000
A380-800	Airbus	560000
An-124-100	Antonov	392000
An-124-100M-150	Antonov	402000
An-225	Antonov	640000
BOEING 707-320C	Boeing	152407
BOEING 767-300	Boeing	163747

MÉDIA (M) -acima de 7.000 quilos, mas menor do que 136 000 kg (300. 000 libras)	EMPRESA	PESO DE DECOLAGEM (kg)
AIRBUS A318-100	Airbus	68000
A319-100	Airbus	75500
A320-200	Airbus	77000
A321-200	Airbus	93500
An-148-100B	Antonov	41950
An-148-100E	Antonov	43700
An-158***	Antonov	43700
An-168***	Antonov	43700
An-12	Antonov	61000
717-200	Boeing	54885
727-200	Boeing	95254
727-200/W	Boeing	95254
737-200	Boeing	58332
737-300	Boeing	62823
737-300/W	Boeing	62823
737-400	Boeing	68039

LEVE (L) - 7000 kg (15.500 libras) ou menos.	EMPRESA	PESO DE DECOLAGEM (kg)
ANTONOV An-2	Antonov	5500
An-3	Antonov	5800
An-28	Antonov	6500

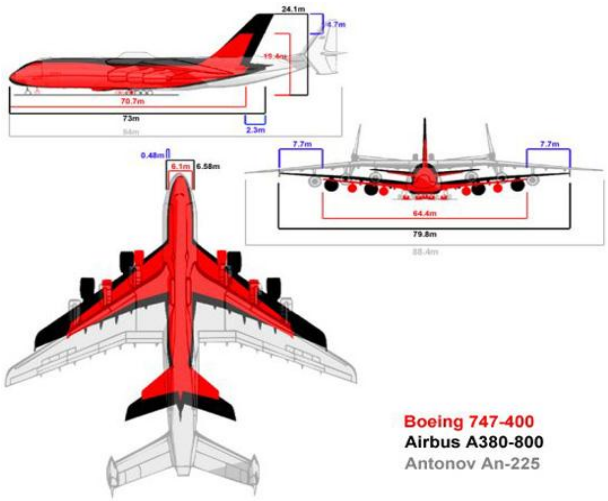


Figura 4: Dimensões de aeronaves categoria pesada e super. Site https://tacairnet.com/2016/08/31/china-aims-to-build-a-second-an-225-cossack-in-cooperation-with-antonov/an225-81/

A metodologia de separação por categoria de esteira de turbulência começou a ser empregada na década de 70 e foi criada com o intuito de evitar o risco de a aeronave seguidora enfrentar dificuldades de controle ao entrar na esteira de turbulência da aeronave líder, tendo essas preocupações aumentadas à medida que as aeronaves se tornaram mais rápidas, maiores e com maior peso de decolagem.

Em uma pesquisa realizada pela NTSB (National Transportation Safety Board) mostrou que entre os anos de 1983 e 1993 ocorreram pelo menos 51 acidentes e incidentes nos Estados unidos que foram resultado de possíveis encontros com esteiras de turbulência, causando 27 mortes e elevados danos a aeronaves. A pesquisa apontou que os acidentes e incidentes causados pela esteira de turbulência foram mais frequentes durantes as aproximações para pouso e no pouso do que em qualquer outra fase do voo pelo fato dos aviões estarem voando em baixa velocidade e altura, tendo efeitos do fenômeno sido sentidos de forma abrupta e sem aviso prévio (FAA 2005).

Portanto, após realizar análises e pesquisas ficou constatada a necessidade de produzir alertas na tela do ADS-B para orientar o piloto que uma aeronave que gera um vórtice muito grande está a sua frente ou está por passar por cima ou por baixo de seu avião.

5. SOLUÇÕES RELACIONADAS E DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO

A esteira de turbulência não é um fenômeno natural, mas sim um vórtice gerado pela própria aeronave. Algumas soluções foram criadas como:

1 – Sensores para captar turbulências;

2 – A Boeing está desenvolvendo um detector a laser que ficará no nariz do avião para captar adversidades meteorológicas;

3 – Captação de condições meteorológicas por satélite. Nenhum trabalho foi encontrado usando o ADS-B como solução para prover informações suficientes para que o piloto não adentre uma esteira de turbulência.

Sensores, lasers e imagens por satélite podem informar turbulências que são fenomenos naturais. A esteira de turbulência gerada por um avião cria um fluxo de ar que

pode durar alguns minutos em baixas altitudes e muitos minutos em altas altitudes, onde a sua dissipação é mais demorada devido ao ar ser mais rarefeito.

O ADS-B se comunica constantemente com as outras aeronaves e conseguem trocar informações, mas não informa ao piloto qual categoria de esteira de turbulência está em sua direção. Na aviação a redundância para problemas é muito forte e nunca podemos usar apenas uma tecnologia, mas várias são usadas para garantir o perfeito funcionamento.

O uso do ADS-B é uma medida preventiva para mitigação e evitar acidentes aeronáuticos. Introduzindo técnicas de Inteligência Artificial é possível de maneira rápida, precisa e automática fornecer ao piloto qual aeronave está ao seu redor e consequentemente saber a sua esteira de turbulência. Automaticamente proverá orientações ao piloto do que fazer para não ser atingido ou não adentrar uma esteira de turbulência muito forte com antecedência de centenas de quilômetros.

Atualmente o ADS-B não informa ao piloto quais as categorias de esteiras de turbulência das aeronaves que estão ao seu redor. Diante desse vazio de informações é que foi pensado em usar técnicas de Machine Learning para prover informações precisas de forma inteligente. Sabendo os critérios de separação radar e do tempo mínimo para decolagem e pouso é possível criar métodos computacionais no CDTI do ADS-B para alertar o piloto a manter a separação segura e lhe informar o tempo correto de decolar e pousar sem o perigo de entrar em uma esteira turbulência muito forte. Ensinar ao sistema a alertar o piloto de maneira oral e visual quando o mesmo não respeitar os critérios de separação radar e de tempo em relação à categoria de esteira de turbulência.



Figura 5: Aeronave adentrando esteira de turbulência da aeronave a sua frente. Site (https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/agencia-europeia-emite-alerta-sobre-riscos-da-esteira-de-turbulencias-de-superjumbos_3596.html)



Figura 6: Maiores aeronaves. Categoria J (Super). Site (http://www.ie-wallpapers.com/antonov-225.html)

6. DADOS DE TEMPO E DISTÂNCIA PARA OBTENÇÃO DE RESULTADOS

Tabela 2: Critérios de tempo para pouso e decolagem de aeronaves e distância de separação radar em voo. ICA 100-37, Serviços de Tráfego Aéreo - 2018

AERONAVES	POUSO	DECOLAGEM	DISTÂNCIA	PERIGO
MÉDIA ATRÁS DE UMA PESADA	2 MINUTOS	2 MINUTOS	5NM (9,26 km)	SIM
LEVE ATRÁS DE UMA PESADA	3 MINUTOS	2 MINUTOS	6NM (11,1 km)	SIM
LEVE ATRÁS DE UMA MÉDIA	3 MINUTOS	2 MINUTOS	5NM (9,26 km)	SIM
MÉDIA ATRÁS DE UM SUPER	3 MINUTOS	3 MINUTOS	7NM (12,96 km)	SIM
LEVE ATRÁS DE UM SUPER	4 MINUTOS	3 MINUTOS	8NM (14,8 km)	SIM
PESADA ATRÁS DE UM SUPER	2 MINUTOS	2 MINUTOS	6NM (11,1 km)	SIM
SUPER/PESADA ATRÁS DE UM SUPER			NÃO REQUERIDO	NÃO
PESADA ATRÁS DE UMA PESADA			4NM (7,40 km)	NÃO
PESADA ATRÁS DE UMA MÉDIA			3NM (5,55 km)	NÃO
MÉDIA ATRÁS DE UMA MÉDIA			3NM (5,55 km)	NÃO
PESADA ATRÁS DE UMA LEVE			3NM (5,55 km)	NÃO
MÉDIA ATRÁS DE UMA LEVE			3NM (5,55 km)	NÃO
LEVE ATRÁS DE UMA LEVE			3NM (5,55 km)	NÃO

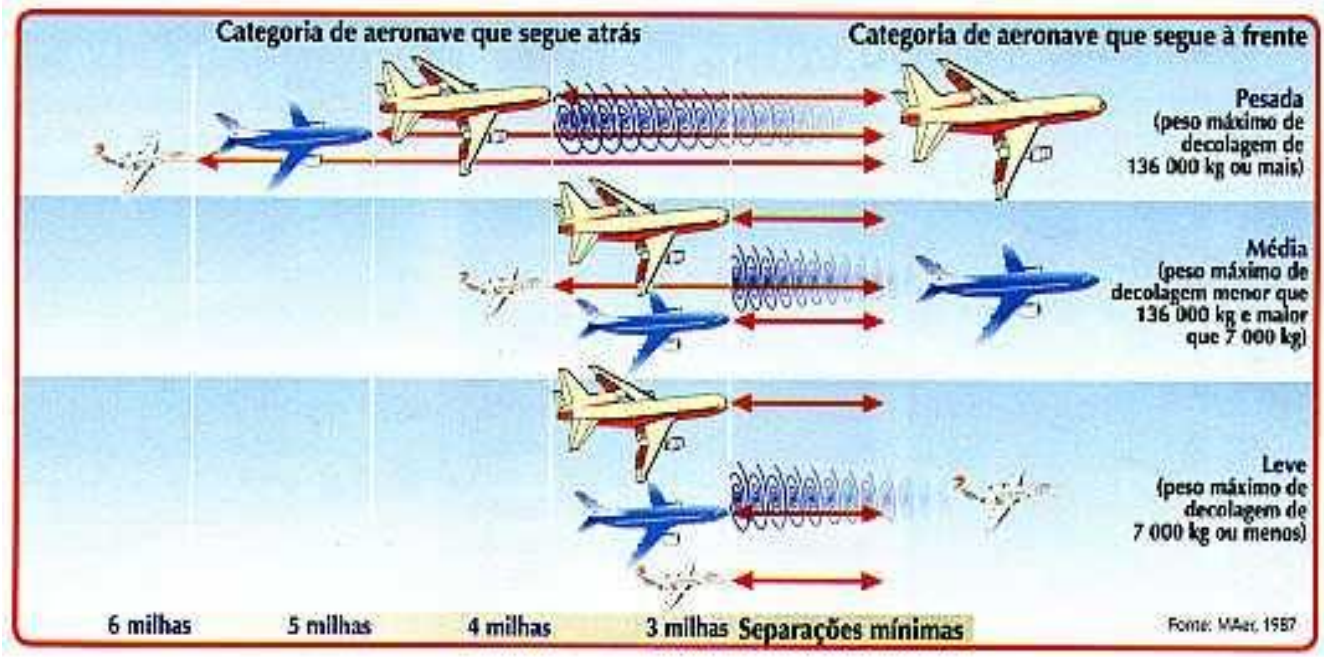


Figura 7: Separação devida para se evitar entrar na esteira de turbulência da aeronave à frente. Site (https://www.aviacaofederal.com.br/2009/12/esteiras-de-turbulencia-o-risco-dos.html)

Fisicamente, a esteira apresenta o comportamento inicialmente de se mover para baixo e depois manter-se nivelada. Ela nunca é encontrada no mesmo nível, nem abaixo de 300 metros que a aeronave geradora. Geralmente, os vórtices apresentam uma razão de descida de 100 a 150 metros por minuto, nos primeiros 30 segundos. A razão de descida diminui, atingindo zero entre 150 a 300 metros abaixo da linha de voo. A velocidade da aeronave irá determinar a força e o movimento inicial do vórtice.

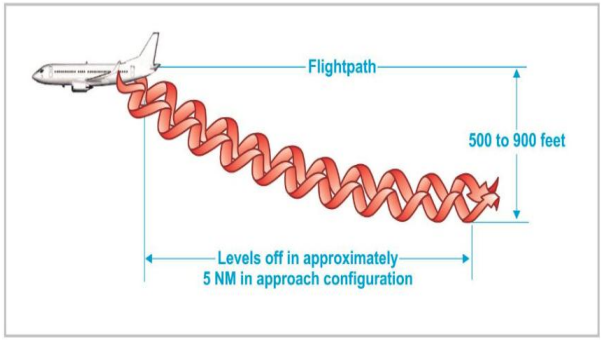


Figura 8: Esteira de Turbulência de um avião. (Fonte: Fonte: FAA AC 90-23G - Aircraft Wake Turbulence)

Portanto, a melhor maneira da aeronave seguidora evitar a esteira de turbulência é voando acima do nível de voo da aeronave líder.

7. COMUNICAÇÕES ENTRE AS AERONAVES

Aeronaves possuem atualmente o ADS-B (Automatic dependent surveillance-broadcast) que permite ao piloto ter informações de posição, velocidade e altitude de outras aeronaves.

O ADS-B out transmite a cada segundo para outras aeronaves suas informações de identificação, posição, altitude e velocidade, por meio de um transmissor a bordo.

Para a recepção dessas informações em tempo real faz se presente o ADS-B in. O ADS-B consegue enxergar aeronaves tanto no ar quanto em solo a quilômetros de distância.

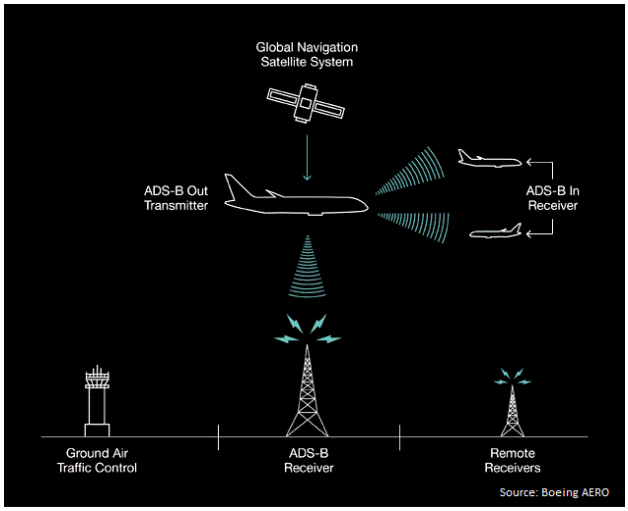


Figura 9: Aeronaves se comunicando pelo ADS-B. Site (https://www.suasnews.com/2015/08/new-survey-on-ads-b-tracking-for-small-drones/)

Através do CDTI (Cockpit Display of Traffic) o piloto tem em sua própria cabine tais informações do ADS-B.



Figura 10: Tela do CDTI de uma aeronave. Site(https://blog.csdn.net/emperior/article/details/80741031)



Figura 11: Comunicação via ADS-B/Satélites de aeronaves. Site(https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2011-11-21/committee-ads-b-not-currently-justified)

8. CENÁRIOS

Vários cenários foram simulados usando as técnicas de Aprendizagem de maquina e os dados da tabela 2.

Na figura 12, temos o primeiro cenário de tempo de espera para uma aeronave decolar após outra aeronave ter decolado primeiro. Fazendo com que o sistema informe ao piloto que o tempo de espera já passou e que o mesmo pode executar a decolagem com segurança.

Para decolar é necessário esperar no mínimo de 2 a 3 minutos dependendo da categoria de esteira de turbulência da aeroanave à frente.



Figure 12 – Aeronave decolando e gerando uma sua esteira de turbulência. Site (http://www.formula1dictionary.net/drag.html)

Na figura 13, temos o cenário 2 que apresenta o sistema informando ao piloto que o tempo e a distância de realizar o pouso sem que seja atingido pelo vórtice é seguro e que poderá executar o pouso com segurança. Para pousar é necessário esperar no mínimo de 2 a 4 minutos dependendo da categoria de esteira de turbulência da aeroanave à frente.



Figure 13: Pouso de aeronave e geração de sua esteira de turbulência.
Site (https://www.military.com/video/commercial-aviation/civil-aviation/emirates-777-wake-vortex-landing/2630275674001)

Na figura 14, temos o terceiro cenário que apresenta a distância segura de uma aeronave para outra em voo. O sistema informa ao piloto para manter a distância segura e que o mesmo não seja atingido pela esteira de turbulência.

Em voo a aeronave deve manter uma distância de no mínimo de 5 a 8 milhas dependendo da categoria de esteira de turbulência da aeronave à frente.



Figure 14: Esteira de turbulência de avião. Site https://www.reddit.com/r/aviation/comments/lozfm/757_with_wake_vortex/)

9. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados foram obtidos através da ferramenta Weka, utilizada como forma de validar a base de dados criada para este projeto. Foi utilizado três algoritmos classificadores no weka para validar a base de dados: a rede neural *multi-layer perceptron (grupo functions)*, árvore j48 (grupo trees) e o método de naive bayes (grupo bayes).

Foi carregado o dataset com 5 atributos, 13 instâncias e duas classes para termos uma visão geral no Weka dos resultados.

Uma comparação é feita entre os algoritmos usados na Tabela 3. Nela são apresentadas a precisão média de cada algoritmo, sua taxa média de Falsos Positivos (FP), taxa média de Verdadeiros Positivos (TP) e a *f-measure*. O Weka detalha para cada classificador resultados de desempenho.

No diagrama 1, é apresentado um diagrama do processo de indução de um classificador e, posteriormente, a sua utilização. Primeiro, o conjunto de treinamento, no qual os rótulos das classes dos exemplos são conhecidos, é utilizado por um algoritmo de aprendizado para construir um modelo. Após a

construção, esse classificador pode ser aplicado para predizer os rótulos das classes dos exemplos do conjunto de teste, ou seja, exemplos cujas classes são desconhecidas.

Utilizando as métricas apresentadas é perfeitamente solucionável o problema de esteiras de turbulência, pois com a geração de informações por meio de alertas e culminando em orientações orais ao piloto é mais que suficiente evitar que a aeronave seguidora ou que cruzará uma aeronave maior sofra com o impacto que a esteira de turbulência provoca.

Os testes de acordo com os cenários foram para alinhar os algoritmos de Inteligência Artificial em um contexto real da aviação tripulada. Tal sistema é importante para qualquer procedimento que evite adentrar uma esteira de turbulência, embora as especificidades de altitude em que as aeronaves voam apresentem uma duração de seu vórtice por tempos diferentes. A implementação atual para o ADS-B é um passo destacável para a segurança da aviação.

Os classificadores MLP e o Naive Bayes apresentaram uma média de verdadeiros positivos de 0,923 para ambos. Para os falsos positivos apresentam respectivamente uma média de 0,066 para ambos.

O J48 apresentou uma média de verdadeiros positivos de 0,846. Para os falsos positivos apresentou uma média de 0,156.

Na comparação os classificadores se mostraram com resultados bem satisfatórios utilizando os dados da tabela 3. O classificador MLP e o Naive Bayes apresentaram os melhores resultados, com uma média de precisão de mais de 93%. Sendo que o classificador J48 teve uma média de precisão de mais de 84%.

Tabela 3: Resultados obtidos no WEKA

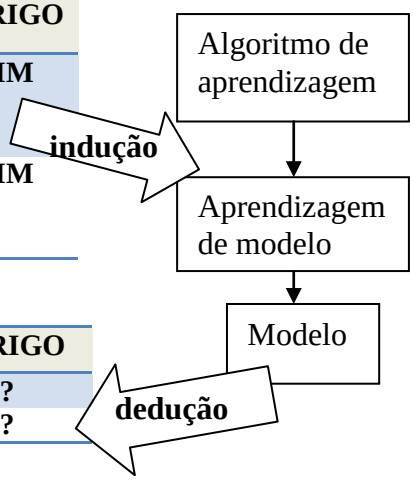
Classificador	Precisão Média %	F-Measure Médio	TP Médio	FP Médio
Rede Neural MLP	0,934	0,923	0,923	0,066
J48	0,846	0,846	0,846	0,156
Naive Bayes	0,934	0,923	0,923	0,066

Fonte: Elaborado pelos autores

Diagrama 1: Indução de classificação de esteiras de turbulência e dedução das classes para novas amostras

AERONAVES	POUSO	DECOLAGEM	DISTÂNCIA	PERIGO
LEVE ATRÁS DE UM SUPER	4 MINUTOS	3 MINUTOS	8NM (14,8 km)	SIM
LEVE ATRÁS DE UMA LEVE			3NM (5,55 km)	SIM

AERONAVES	POUSO	DECOLAGEM	DISTÂNCIA	PERIGO
XY	4 MINUTOS	3 MINUTOS	8NM (14,8 km)	?
YX			3NM (5,55 km)	?



Fonte: Elaborado pelos autores

10. CONCLUSÃO

A melhoria a se ter no CDTI do ADS-B é pensada com o intuito de aprimorar as informações fornecidas e utilizando técnicas de classificação dentro da Inteligência Artificial foi possível prestar um sistema robusto que aponte o nível de perigo de uma esteira de turbulência e com isso evitar incidentes, sinistros aéreos e consequentemente mortes.

11. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Primeiro Centro Integrado de defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA I) e ao Translab-UnB que possibilitaram conhecimentos para realização desse projeto.

12. REFERÊNCIAS

ICA 100-37. Instruções do Comando da Aeronáutica (Serviços de Tráfego Aéreo). Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4993>. Acessado em 25 de maio de 2019.

OPSGROUP. Dentro da cabine - Antes e Depois de Encontrar Esteira de Turbulência. Disponível em: <(https://ops.group/blog/inside-the-cabin-before-and-after-the-wake-turbulence-encounter/>. Acessado em 29 de maio de 2019.

AVIATIONCV. "Jato em queda livre após cruzar esteira de turbulência de um Airbus A380. Disponível em: <(https://www.aviationcv.com/aviation-blog/2017/private-jet-flipped-upside-down-and-fell>. Acessado em 29 de maio de 2019.

TRANSPONDER1200. Destroços da queda de aeronave. Disponível em: <(https://www.transponder1200.com/diosito-a-10-anos-del-impacto-del-learjet-45-en-ciudad-de-mexico/>. Acessado em 04de junho de 2019.

TACAIRNET. Categoria pesada e super. Disponível em: <https://tacairnet.com/2016/08/31/china-aims-to-build-a-second-an-225-cossack-in-cooperation-with-antonov/an225-81/>. Acessado em 19 de junho de 2019.

PAMPLONA, Daniel Alberto. Impactos na capacidade aérea através da recategorização da esteira de turbulência das aeronaves(Hünecke,2001). Disponível em: <https://www.academia.edu/12480774/impactos_na_capacidade_a%c3%89rea_atrav%c3%89s_da_recategoriza%c3%87%c3%83o_da_esteira_de_turbul%c3%8ancia_das_aeronaves>acessado em 10 de julho de 2019.

CSDN. Tela do CDTI/ADS-B de uma aeronave. Disponível em:<https://blog.csdn.net/emperior/article/details/80741031> Acessado em 10 de julho de 2019.

FLIGHTZONA. Esteira de Turbulência. Disponível em: <https://www.flightzona.com/2017/03/17/terbang-1-000-kaki-di-bawah-a380-challenger-634-dihantam-turbulensi-dahsyat/>. Acessado em 10 de julho de 2019.

SUASNEWS. Comunicação ADS-B. Disponível em: <https://www.suasnews.com/2015/08/new-survey-on-ads-b-tracking-for-small-drones/>. Acessado em 19 de julho de 2019.

AEROMAGAZINE. Aeronave adentrando esteira de turbulência da aeronave a sua frente. Disponível em:< https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/agencia-europeia-emite-alerta-sobre-riscos-da-esteira-de-turbulencias-de-superjumbos_3596.html>. Acessado em 10 de julho de 2019.

FORMULA1. Aeronave decolando e gerando uma sua esteira de turbulência. Disponível em: <http://www.formula1dictionary.net/drag.html>. Acessado em 10 de julho de 2019.

AOPA. Acidentes aeronáuticos. Disponível em: http://www.aopa.org/asf/epilot_acc/chi06fa154.html. Acessado em 24 de julho de 2019.

ANAC. Esteira de Turbulência. Disponível em:<https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/profissionais-da-aviacao-civil/meteorologia-aeronautica/condicoes-meteorologicas-adversas-para-o-voo/turbulencia#esteira>. Acessado em 24 de julho de 2019.

AINONLINE. Comunicação via ADS-B/Satélites de aeronaves.Disponível em:<https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2011-11-21/committee-ads-b-not-currently-justified>. Acessado em 24 de julho de 2019.

WALLPAPERS. Antonov 225. Disponível em: <http://www.ie-wallpapers.com/antonov-225.html>. Acessado em 24 de julho de 2019.

DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA CIENTÍFICO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO IONOSFÉRICO PARA GBAS NO BRASIL

Vinícius Amadeu Stuani Pereira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR
Curso de Agronomia
Rua Cerejeira (prolongamento), s/n, Bairro São Luiz, 85892-000, Santa Helena/PR
+55 (45) 3268-8818, vpereira@utfpr.edu.br

João Francisco Galera Monico
Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT
Departamento de Cartografia
Rua Roberto Simonsen, 305, Bairro Centro Educacional, 19060-900, Presidente Prudente/SP
+55 (18) 3229-5511, galera.monico@unesp.br

Paulo de Oliveira Camargo
Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT
Departamento de Cartografia
Rua Roberto Simonsen, 305, Bairro Centro Educacional, 19060-900, Presidente Prudente/SP
+55 (18) 3229-5516, paulo.camargo@unesp.br

RESUMO

Devido aos benefícios que o GBAS pode proporcionar à navegação aérea brasileira, foi implementado o MoR_Ion: programa científico com o objetivo de investigar a usabilidade do modelo CONUS de risco ionosférico para GBAS no território brasileiro. Para tanto, se faz uso de dados GPS, GLONASS e Galileo (L1/L2/L5) das estações da RBMC, GNSS-SP, CIGALA/CALIBRA, IGS, LISN e ICEA, referentes aos anos de 2000 a 2016. O sistema permite também estimar parâmetros local-temporais para os principais aeroportos internacionais, devido as diferentes condições ionosféricas em regiões distintas, além de estimar o σ_{vig} em tempo real para cada satélite GPS e GLONASS disponível.

ABSTRACT

Due to the benefits that GBAS can provide to Brazilian air navigation a scientific program was implemented: MoR_Ion, aiming to investigate the usability of the CONUS ionospheric threat model for GBAS in the Brazilian territory. For this purpose, GPS, GLONASS and Galileo (L1/L2/L5) data from RBMC, GNSS-SP, CIGALA/CALIBRA, IGS, LISN and ICEA stations from 2000 to 2016 are used. It also estimates local-temporal parameters for principal international airports, due to different ionospheric conditions in different regions, and estimates the real time σ_{vig} for each available GPS and GLONASS satellite.

Keywords: GBAS, modelo de risco ionosférico, GNSS, gradiente ionosférico.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de aumento baseado em estações terrestres (GBAS – *Ground-Based Augmentation System*) possui a capacidade de corrigir grande parte dos erros que acometem a pseudodistância a partir do uso do DGNSS (*Differential GNSS*) (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008; MONICO, 2008), levando em consideração que a camada ionosférica tenha um comportamento similar nas proximidades do aeroporto. No entanto, dependendo do ciclo de manchas solares, da atividade geomagnética, do fluxo de ionização solar, da hora local e da localização geográfica, a ionosfera pode sofrer fortes perturbações, acarretando em risco à integridade do GBAS, uma vez que os efeitos ionosféricos podem ser diferentes para pequenas distâncias.

Várias pesquisas sobre os efeitos da camada ionosférica no GBAS têm sido realizadas, como por exemplo: Luo et al. (2003), Luo et al. (2005), Ene et al. (2005), Lee et al. (2007), Pullen et al. (2009), Mayer et al. (2009), Datta-Barua et al. (2010), Lee et al. (2011a), Lee et al. (2011b), Jung e Lee (2012), Wang et al. (2014), Kim et al. (2014), Yoon e Lee (2014), Srinivas et al. (2014), Kim et al. (2015), Lee et al. (2015), Weng et al. (2015), Yoon et al. (2015), Yoon et al. (2016), Felux et al. (2017), Pereira et al. (2018a) e Pereira et al. (2018b).

Desse modo, modelos de risco ionosférico, que visam determinar a máxima decorrelação espacial ionosférica existente entre o GBAS e a aeronave que se aproxima num aeroporto, foram desenvolvidos ou avaliados, principalmente para o território norte-americano, onde se destaca o *CONUS* (*Conterminous United States*) *Threat Model*. Nessa área o comportamento da ionosfera é mais estável em comparação com o setor brasileiro, localizado na região equatorial, caracterizada por condições adversas, tais como: Anomalia de Ionização Equatorial (AIE), bolhas ionosféricas, irregularidades ionosféricas, cintilação ionosférica e Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS).

O aumento de voos nacionais e internacionais, concomitantemente com a implantação de um GBAS SLS-4000 da Honeywell, por intermédio do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), no aeroporto internacional Tom Jobim (Galeão/SBGL) no Rio de Janeiro/RJ em 2011, levantou a questão para a necessidade de estudos sobre modelo de risco para o Brasil. Sendo o equipamento certificado, a princípio, para operação apenas nos Estados Unidos, qualquer agência que queira fazer o seu uso deve estimar os parâmetros do *CONUS Threat Model* (gradiente ionosférico, velocidade e extensão da frente ionosférica e valor máximo de atraso ionosférico) para a região de interesse, e verificar se os valores atendem os limiares estabelecidos.

Entre os parâmetros de integridade transmitidos pelo GBAS há o desvio-padrão do gradiente ionosférico vertical, conhecido por sigma-VIG (σ_{vig}), o qual é utilizado, juntamente com outros parâmetros, para determinar os níveis de proteção horizontal (HPL – *Horizontal Protection Level*) e vertical (VPL – *Vertical Protection Level*) da aeronave na fase de aproximação precisa. O limiar de 4 mm/km para o desvio-padrão do gradiente é o suficiente para atender todas as situações ionosféricas atuantes no modelo do CONUS, considerando todos os satélites GPS (*Global Positioning System*) e invariavelmente da distância entre o GBAS e aeronave (LEE et al., 2007).

Assim, o trabalho visa apresentar o desenvolvimento do programa científico MoR_Ion, que permite estimar os parâmetros do *CONUS Threat Model* de forma semiautomática e, por conseguinte, analisar a usabilidade do mesmo no território brasileiro. Para tanto é realizada, primeiramente, uma breve apresentação sobre GBAS, modelo de risco ionosférico e estimativa do σ_{vig}.

2. GBAS

O GBAS foi desenvolvido para a utilização em aproximações de precisão CAT-I, com possibilidade de suporte a CAT-II e CAT-III. Tais aproximações são conduzidas por aeronaves que possuem receptor GNSS, o qual utiliza as mensagens transmitidas via VHF (*Very High Frequency*) do GBAS instalado próximo à pista.

Entre as diversas mensagens GBAS, há aquelas que contêm correções diferenciais de pseudodistância (Tipo 1), parâmetros de integridade (Tipo 2) e trajetórias de aproximação precisa (Tipo 4). A Figura 1 ilustra a arquitetura de um GBAS.

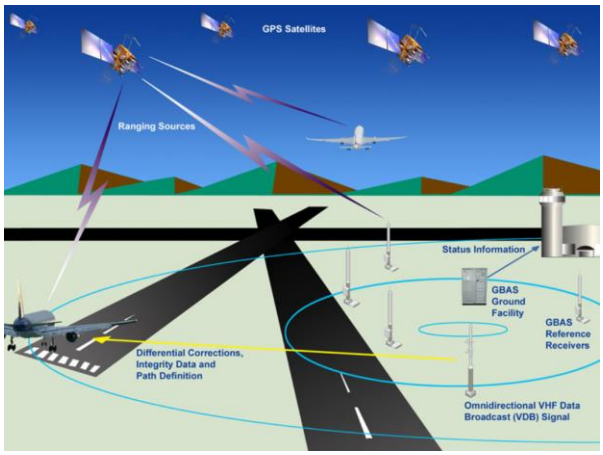


Figura 1: Arquitetura de um GBAS (FAA, 2018)

As correções diferenciais de pseudodistância são obtidas utilizando o conceito de DGNSS, a partir de um conjunto de 4 estações de referência, equipadas com receptores de simples frequência, instaladas em pontos de coordenadas conhecidas. Destaca-se que o sistema utiliza somente a L1, pois, por segurança, a L2 não é autorizada pela ICAO (*International Civil Aviation Organization*) na navegação aérea (ICAO, 2013). Entretanto, Tang et al. (2009) realizaram alguns experimentos com as frequências L1 e L2 e obtiveram uma melhora no posicionamento, mas também indicaram a ocorrência de um maior índice de ruído no sinal devido a L2. Destaque-se também que a modernização do GPS, a partir da disponibilização da L5 pelos satélites do bloco IIF, permite minimizar o erro introduzido pela ionosfera. De acordo com Circiu et al. (2014), a utilização dos sinais da L1 e L5 no GBAS poderá melhorar, consideravelmente, as correções dos efeitos da ionosfera por meio da *ion-free* ou através da filtragem da pseudodistância pela fase da portadora.

Para que o GBAS atenda os requisitos de desempenho de navegação estabelecidos pela ICAO, ou seja, HPL < HAL e VPL < VAL (Figura 2), limites devem ser estabelecidos na variação dos erros ionosféricos entre a aeronave e as estações de referência, de modo a minimizar a perda de disponibilidade (DATTA-BARUA et al., 2002).

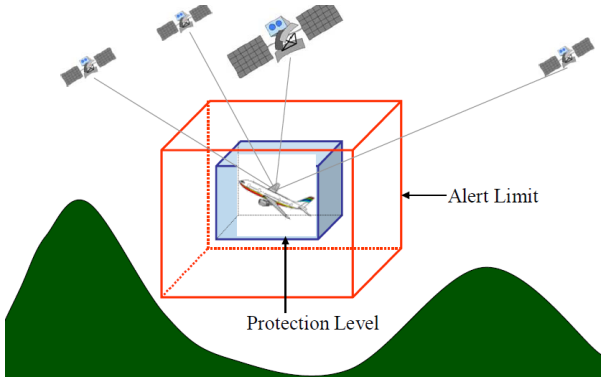


Figura 2: Regiões do nível de proteção e do limite de alerta na navegação aérea (LEE, 2005)

Com objetivo de obter esses limites, a configuração do GBAS a ser trabalhada é aquela em que as estações de referência e o receptor da aeronave rastreiem, simultaneamente, um determinado número mínimo de satélites, cujos sinais sejam submetidos a atrasos devido à ionosfera. Porém, tais atrasos não são iguais quando as linhas de visadas forem diferentes. Em contrapartida, à medida que a aeronave se aproxima das estações, a diferença entre os erros ionosféricos tende a ser minimizada (DATTA-BARUA et al., 2002).

Diante o problema, pesquisadores da *Stanford University* desenvolveram um modelo de risco ionosférico, intitulado de *CONUS Threat Model*, a fim de estimar a máxima decorrelação espacial existente entre o atraso (erro) proporcionado de um satélite a uma estação de referência e o atraso do sinal desse mesmo satélite ao receptor da aeronave. Tal estimativa é denominada de gradiente ionosférico (DATTA-BARUA et al., 2010).

3. MODELO CONUS DE RISCO IONOSFÉRICO

No *CONUS Threat Model* a AIE e as irregularidades ionosféricas são representadas como uma "frente ionosférica", que se movimenta com uma determinada velocidade horizontal, proporcionando gradientes de erro ionosférico (MAYER et al., 2009). A representação de uma frente ionosférica é apresentada na Figura 3, sendo os parâmetros do modelo o gradiente ionosférico, a

velocidade e extensão da frente e o valor máximo de atraso ionosférico.

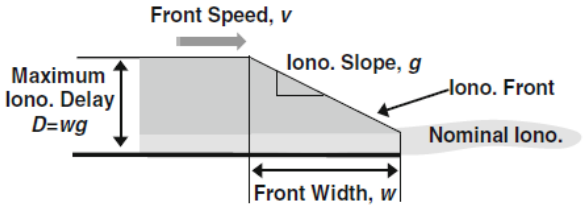


Figura 3: Representação de uma frente ionosférica (KIM et al., 2015)

Os limites dos parâmetros são determinados a partir do processamento de um conjunto de dados que abrangem dias em que há alta variabilidade na densidade eletrônica da camada ionosférica. Os resultados são apresentados em função do ângulo de elevação dos satélites para o caso dos gradientes, em termos de valores máximos e mínimos para a velocidade e extensão e o valor máximo de atraso ionosférico, não havendo variação temporal para os valores.

A metodologia para a estimativa dos parâmetros pode ser consultada em Pereira et al. (2017), Srinivas et al. (2014), Bumrungkit et al. (2014), Mayer et al. (2009) e Ene et al. (2005), por exemplo.

Para verificar se os limites dos parâmetros do modelo de risco podem ser utilizados numa região, uma das possibilidades existentes consiste em utilizar uma densa rede de estações de monitoramento contínuo dos sinais GNSS, pois, dentre um dos modos de desenvolvimento do modelo tem-se o que utiliza pares de estações (*station-pair method*), onde uma estação do par caracteriza um GBAS e a outra uma aeronave (LEE et al., 2007).

Para o desenvolvimento do *CONUS Threat Model* foram utilizados dados GPS (L1/L2) de estações da rede CORS (*Continuously Operating Reference Station*) referentes a 10 dias entre 2000 e 2004. Os limites e variações dos parâmetros do modelo são apresentados na Figura 4.

4. ESTIMATIVA DO σ_{vig}

Kolb et al. (2005) e Datta-Barua et al. (2002), ao analisarem gradientes ionosféricos sobre os territórios da Alemanha e dos Estados Unidos, respectivamente, estimaram o valor de 1 mm/km (1σ) para σ_{vig} em dias nominais.

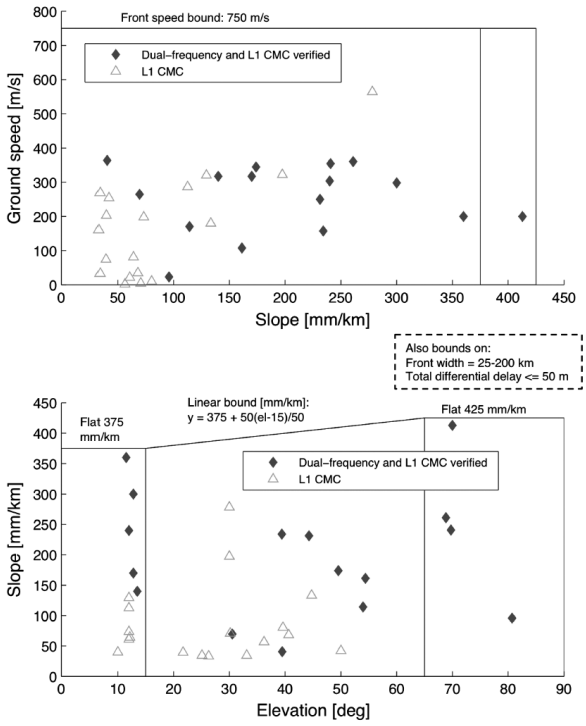


Figura 4: Limites e variações dos parâmetros do *CONUS Threat Model* (DATTA-BARUA et al., 2010)

No entanto, tal valor não é rigoroso o suficiente para garantir que os níveis de proteção atendam os requisitos de navegação aérea devido à dois motivos principais: primeiro, o método para o cálculo dos níveis de proteção assume média zero e distribuição gaussiana para a decorrelação espacial ionosférica, sendo que os gradientes não apresentam, necessariamente, média zero e distribuição normal; segundo, o GBAS não consegue distinguir condições ionosféricas nominais de anômalas em tempo real. Dessa forma é necessário que o valor de σ_{vig} transmitido contemple todas as condições ionosféricas (LEE et al., 2007).

Assim, Lee et al. (2007) desenvolveram um método para a estimativa do desvio-padrão do gradiente ionosférico vertical de forma rigorosa, designado de *Sigma Overbounding Method*. O método consiste na análise das funções de densidade de probabilidade (FDP) de gradientes ionosféricos verticais normalizados, obtidos para dias ionosféricos ativos e nominais, com o intuito de obter um fator de inflação (f) que, ao multiplicar a distribuição gaussiana 1σ,

obtém uma distribuição que se adeque de fato a real distribuição dos gradientes.

As etapas do *Sigma Overbounding Method* são: os gradientes verticais são divididos em intervalos (blocos) de acordo com as distâncias das estações que formam os pares, ou seja, em intervalos de 0-50 km, 50-100 km, 100-150 km, 150-200 km, 200-250 km e outros, por exemplo; a média (μ_{vig}) e o desvio-padrão (σ_{vig}) dos gradientes ionosféricos verticais são então calculados para cada intervalo e utilizados para normalizar os gradientes de cada bloco; assim, com base na FDP dos gradientes ionosféricos verticais normalizados determina-se o fator de inflação (f) para cada intervalo utilizando conceitos de assimetria e curtose. A Figura 5 apresenta o exemplo de uma FDP de gradientes ionosféricos normalizados da região norte-americana para o dia 2 de julho de 2000.

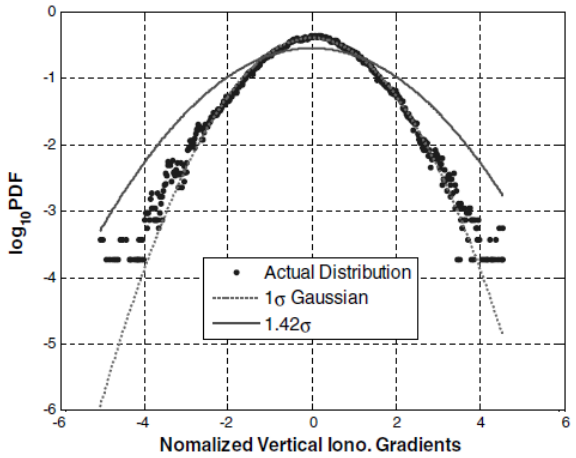


Figura 5: FDP de gradientes ionosféricos verticais normalizados da região dos Estados Unidos para 2 de julho de 2000 (LEE et al., 2007)

A partir da figura nota-se que a real distribuição dos dados não possui caldas gaussianas. Assim, a distribuição gaussiana N(0,1σ) deve ser multiplicada pelo fator de inflação de 1,42 para que as caldas da distribuição real sejam contempladas (LEE et al., 2007).

Por fim, o "σ_{vig} inflacionado" é calculado para cada intervalo utilizando a equação (1) (LEE et al., 2007).

$$\sigma_{vig_infla} = |\mu_{vig}| + f \cdot \sigma_{vig} \qquad (1)$$

Valores de σ_{vig_infla} obtidos para o *CONUS Threat Model*, referentes aos dias ionosféricos nominais e anômalos, são apresentados na Figura 6.

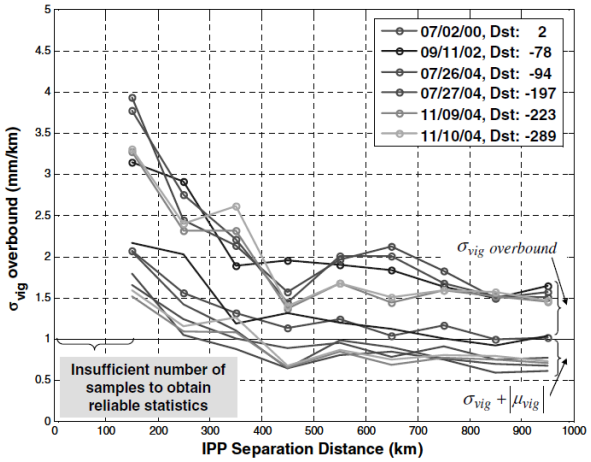


Figura 6: Valores de σ_{vig_infla} do *CONUS Threat Model* referentes aos dias ionosféricos nominais e anômalos (LEE et al., 2007)

Os resultados indicam que um σ_{vig_infla} de 4 mm/km é suficiente para atender todas as condições ionosféricas atuantes no *CONUS Threat Model* (LEE et al., 2007).

5. DESENVOLVIMENTO DO MoR_Ion

Dentre as principais diferenças, contribuições e características do MoR_Ion em relação ao *CONUS Threat Model* destacam-se:

1. Utilização de 307 dias compreendidos entre os anos de 2000 e 2016, contemplando os ápices dos ciclos solares 23 e 24;
2. Estimativa dos parâmetros utilizando, além dos sinais GPS (L1/L2), dados GLONASS (L1/L2) e Galileo (L1/L5), bem como observáveis provenientes da portadora L5 do GPS;
3. Estimativa dos parâmetros utilizando medidas de fase da portadora e de pseudodistância filtrada pela fase;
4. Estimativa dos parâmetros para os aeroportos da INFRAERO (Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária) e do DAESP (Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo);
5. Estimativa dos parâmetros considerando a variação temporal, com referência às

estações do ano (outono, inverno, primavera e verão);

6. Validação semiautomática dos gradientes ionosféricos;
7. Determinação das direções de deslocamento das frentes ionosféricas;
8. Geração de diferentes gráficos do modelo de risco; e
9. Determinação do σ_{vig} em tempo real para cada satélite GPS (L1/L2) e/ou GLONASS (L1/L2) disponível.

O desenvolvimento do programa é divido em duas modalidades: pós-processado – estimativa dos parâmetros do modelo de risco ionosférico (MoR_Ion_PP); e em tempo real – estimativa do desvio-padrão do gradiente ionosférico vertical (MoR_Ion_TR). Na seção 5.1 é descrita a modalidade pós-processada, sendo a implementação em tempo real abordada na seção 5.2. O MoR_Ion foi desenvolvido em linguagem C e para sistema operacional Windows.

5.1 MoR_Ion_PP

A modalidade MoR_Ion_PP, cujo fluxograma de execução é esquematizado na Figura 7, é dividida em cinco tipos de operações: iniciais, diárias, para cada par de estações, finais I e II.

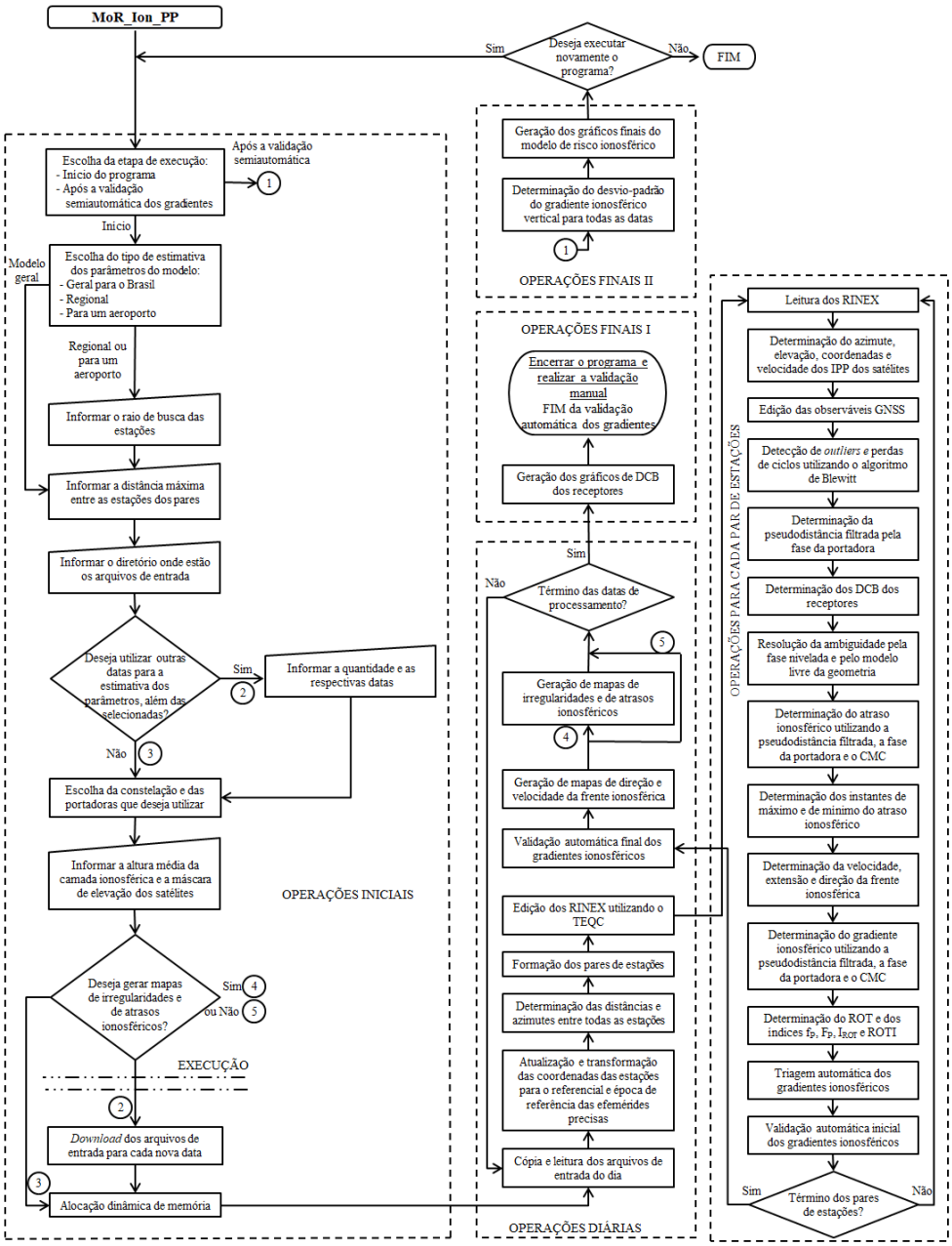


Figura 7: Fluxograma do MoR_Ion_PP

A primeira operação consiste na informação, por parte do usuário, das seguintes configurações iniciais: tipo de estimativa dos parâmetros do modelo de risco ionosférico; distância máxima (DM) entre as estações para formação dos pares pelo *station-pair method*; diretório em que se encontram os arquivos de entrada; opção de utilizar ou não outras datas para a estimativa dos parâmetros; tipo de constelação de satélites e de combinação de portadoras; altura média da camada ionosférica; máscara de elevação dos satélites; e opção de gerar ou não mapas de irregularidades ionosféricas e de atrasos ionosféricos.

Três tipos de estimativas dos parâmetros podem ser escolhidos: geral, regional ou para um determinado aeroporto. O geral considera todas as estações disponíveis em cada dia para a formação dos pares de estações, independentemente da localização das mesmas. No caso regional são estimados os valores para uma determinada região de interesse, delimitada a partir de um ponto central e um raio de abrangência. Já para um determinado aeroporto são ofertadas duas redes: a INFRAERO e a DAESP.

Os critérios para a seleção das datas, cuja atividade ionosférica provavelmente foi ativa, foram: valor máximo do índice K_p do dia sendo maior ou próximo de 6,0; ou valor mínimo do índice D_{st} do dia sendo menor ou próximo de -100 nT; ou valor máximo do índice S4 (sem correção dos ruídos do ambiente) do dia sendo maior ou próximo de 1,0. Ressalta-se que foram escolhidos também os dias 20 e 21 de junho (próximo ao solstício de inverno no hemisfério sul) para cada um dos anos do referido período, com intuito de abranger uma amostra caracterizada por baixa atividade ionosférica (nominal).

Determinados os DCB (*Differential Code Bias*) dos receptores, as ambiguidades diferenciadas e as ambiguidades somente para a portadora L1, estimam-se três tipos de atrasos para os sinais dos satélites GPS, GLONASS e Galileo, nas combinações L1/L2 e L1/L5 e apenas L1, fazendo uso das observáveis fase da portadora, pseudodistância filtrada pela fase e medidas CMC (*Code Minus Carrier*), respectivamente. Consequentemente, três tipos de gradientes ionosféricos também são obtidos.

São calculados o ROT (*Rate of Change of TEC*) e índices de irregularidades da ionosfera concomitantemente com as estimativas dos gradientes, com o objetivo de auxiliar as etapas de triagem automática, validação automática inicial e validação manual. O processo de estimativa do ROT e dos índices é o mesmo descrito por Pereira e Camargo (2017).

Para a separação automática dos gradientes é considerado o limiar de 100 mm/km apresentado por Datta-Barua et al. (2010). Outra operação de triagem é excluir os gradientes cuja taxa de variação do atraso ionosférico é inferior a 10 mm/s, valor esse conservador em relação ao limiar de 15 mm/s adotado por Datta-Barua (2004). A justificativa para a adoção dessa taxa de variação é que irregularidades ionosféricas de pequena escala e magnitudes podem ocorrer no território brasileiro, conforme investigado por Pereira (2015).

Semelhantemente ao procedimento geral de validação dos gradientes (DATTA-BARUA et al., 2010), que consiste em examinar manualmente os gradientes triados com o objetivo de comprovar que os eventos observados são, de fato, eventos ionosféricos anômalos, é proposto uma validação semiautomática (PEREIRA, 2018). Para isso, são utilizados índices de irregularidades ionosféricas, gradientes CMC, abordagem diferenciada de comparação de gradientes de pares de estações vizinhas e análise manual.

Finalizada as etapas das operações finais I (validação manual dos gradientes) tem-se início as operações finais II, que consistem na determinação do σ_{vig} e do σ_{vig_infla} para todas as datas e na geração dos gráficos finais. Além do tradicional gráfico que compara os gradientes ionosféricos com a elevação dos satélites, elaboram-se, também, gráficos que relacionam os gradientes com: ano, azimute do par de estações, direção da frente ionosférica, distância entre as estações do par, extensão da frente ionosférica, latitude geomagnética do IPP (*Ionospheric Pierce Point*), longitude do IPP, satélite, tempo universal e velocidade da frente ionosférica. Além dessa variedade de gráficos, realiza-se,

também, para cada tipo, uma distinção dos dados em relação às estações do ano (outono, inverno, primavera e verão), de forma que seja possível identificar prováveis comportamentos que estejam associados à variabilidade sazonal.

Como exemplo de resultados gerados pelo MoR_Ion_PP, considerou-se a estimativa geral dos parâmetros do modelo do CONUS de acordo com as seguintes configurações: DM entre as estações de 250 km, utilização de apenas as observáveis GPS nas portadoras L1 e L2, altura média da camada ionosférica de 350 km e máscara de elevação de 10°. A Figura 8 apresenta a relação dos gradientes com a elevação dos satélites.

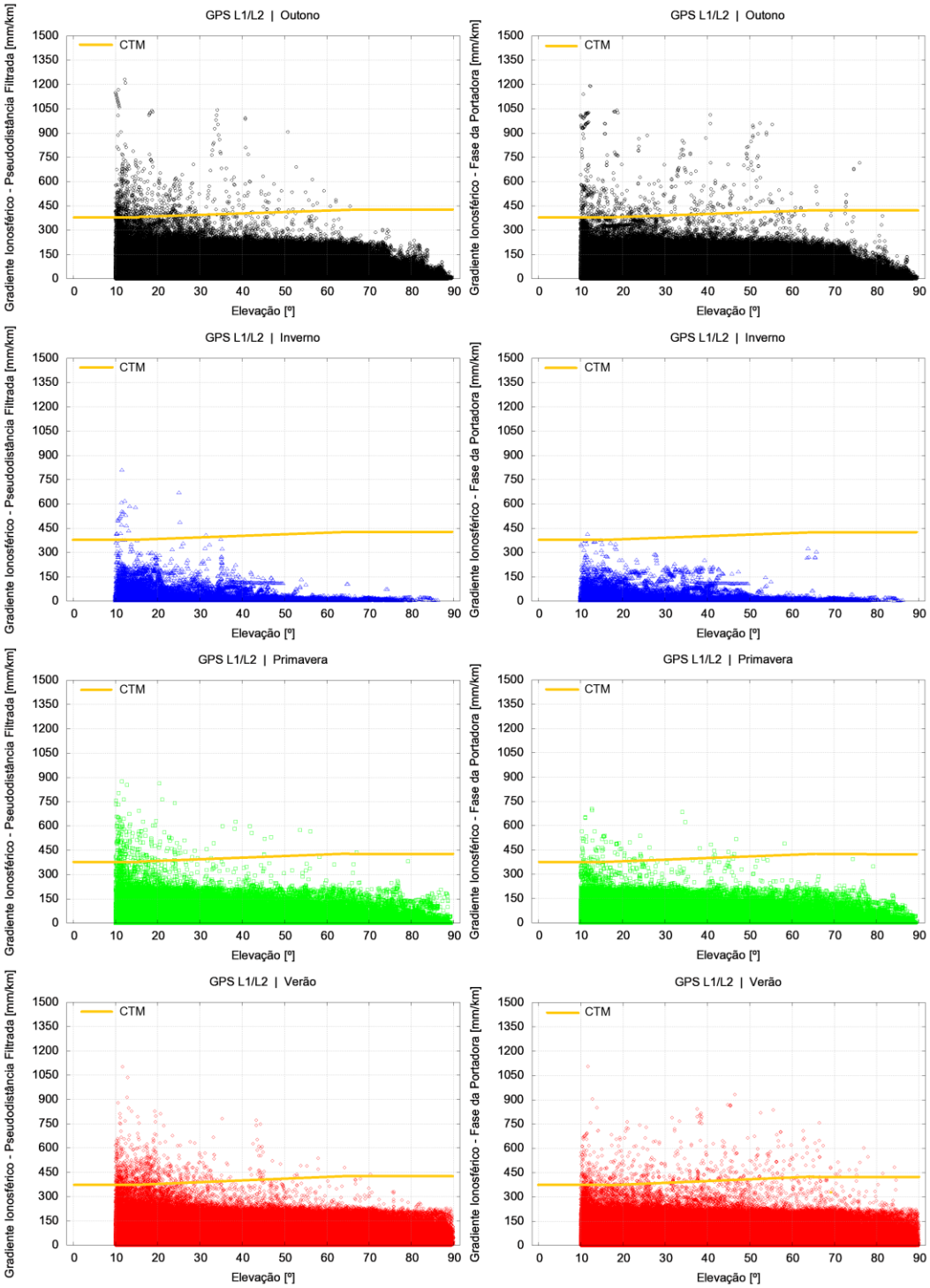


Figura 8: Gradientes ionosféricos em função da elevação referentes à estimativa geral dos parâmetros do modelo, considerando os satélites GPS (L1/L2), para as estações: outono, inverno, primavera e verão

5.2 MoR_Ion_TR

O MoR_Ion_TR é dividido em quatro tipos de operações: iniciais, intermediárias, finais e em tempo real. Várias etapas dessas operações são congêneres da modalidade pós-processada, descrita na seção 5.1, conforme pode ser verificado ao se comparar o fluxograma pós-processado (Figura 7) com o em tempo real apresentado na Figura 9.

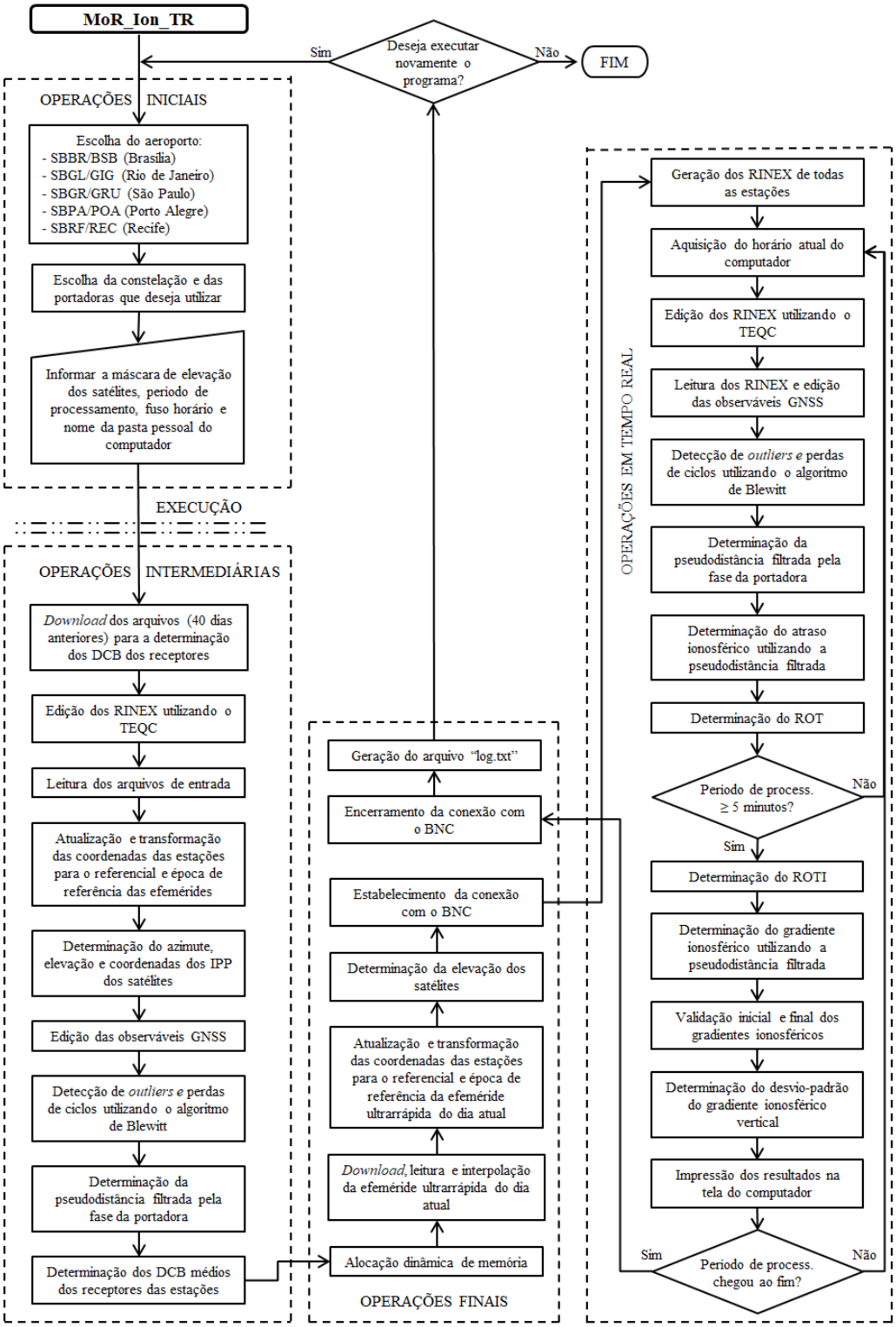


Figura 9: Fluxograma do MoR_Ion_RT

Primeiramente, ao executar o programa, o usuário deve informar algumas configurações iniciais: aeroporto para o qual deseja determinar o σ_{vig}; tipo de constelação

de satélites e de combinação de portadoras; máscara de elevação; período de processamento; fuso horário; e nome da pasta pessoal do computador.

Diferentemente do modo pós-processado, no modo tempo real são pré-estabelecidos os pares de estações somente para os seguintes aeroportos: aeroporto internacional de Brasília/DF – "Presidente Juscelino Kubitschek" (SBBR), aeroporto internacional do Rio de Janeiro/RJ – "Galeão" (SBGL), aeroporto internacional de São Paulo/SP – "Cumbica" (SBGR), aeroporto internacional de Porto Alegre/RS – "Salgado Filho" (SBPA) e aeroporto internacional de Recife/PE – "Gilberto Freyre" (SBRF).

Independentemente da escolha, os possíveis pares de estações são definidos *a priori*, considerando um raio de busca de 500 km em relação à localização do aeroporto e uma distância máxima de 250 km entre as estações dos pares.

Devido à impossibilidade de se estimar o DCB do receptor em tempo real utilizando a técnica proposta por Prol e Camargo (2014), pois os IONEX são fornecidos em arquivos diários e os de DCB dos satélites em arquivos mensais, é aplicada no programa a seguinte abordagem: determinam-se os DCB dos receptores das estações para os 40 dias anteriores do dia atual e calculam-se as médias e os respectivos desvios-padrão. Assim, são considerados válidos os DCB médios cujos desvios não forem superiores a um nanossegundo. Caso contrário as estações e, consequentemente os pares, são invalidados para a determinação dos gradientes.

O processamento em tempo real se inicia com a conexão do BNC (*BKG NTRIP Client*). Nessa etapa é gerado um *script* "BNC.bnc" contendo todos os parâmetros de conexão com o *caster* da RBMC-IP.

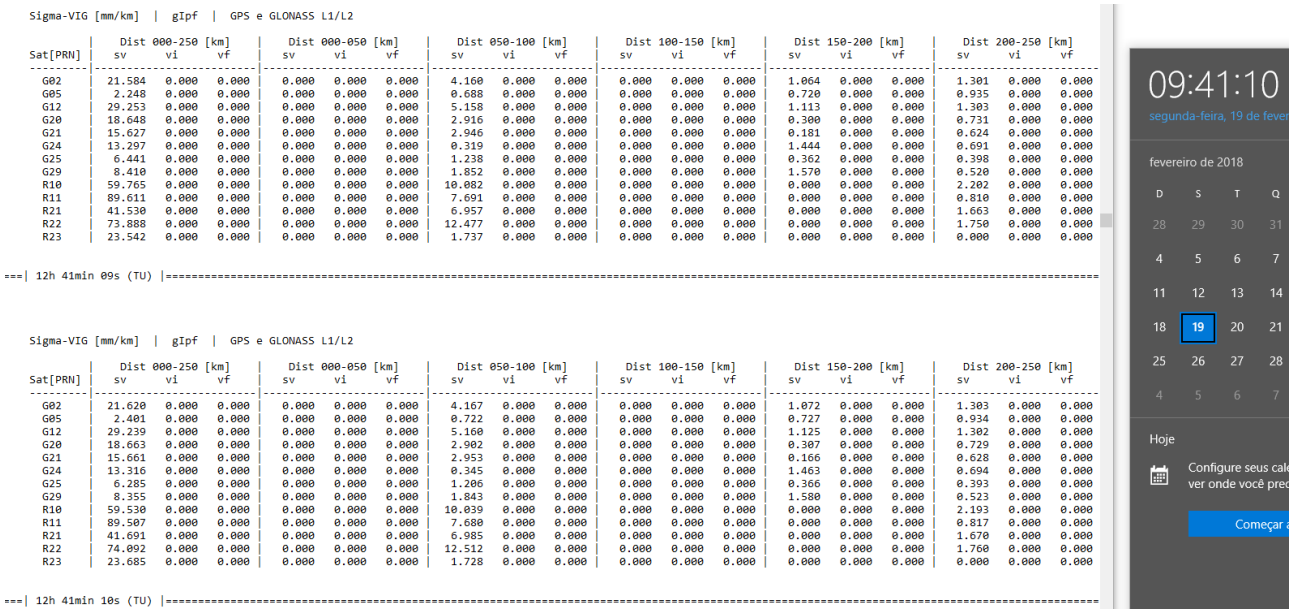
Determinados os gradientes iniciais de cada par, realizam-se as comparações com os pares vizinhos, sendo que para cada aeroporto já são definidos os possíveis tipos de comparações. Caso a maioria dos gradientes dos pares vizinhos apresente discrepâncias inferiores a 200 mm/km com os gradientes do par que estão sendo analisados, os últimos gradientes são classificados como finais.

Por fim, são determinados três tipos de desvios-padrão dos gradientes ionosféricos para cada um dos cinco blocos de distâncias, bem como para o bloco de 0 a 250 km, o qual contempla todos os possíveis pares: desvio-padrão dos gradientes sem aplicação das validações ("sv"); após a aplicação da validação automática inicial ("vi"); e após a aplicação da validação automática final ("vf").

Para fins de exemplificação, a Figura 10 apresenta a captura da tela do programa referente ao aeroporto SBBR, para os instantes 12h 41min 09s e 12h 41min 10s TU (Tempo Universal) do dia 19 de fevereiro de 2018, considerando os satélites GPS e GLONASS (L1/L2) e uma máscara de elevação de 10°. Ressalta-se que os desvios-padrão dos gradientes iniciais ("vi") e, consequentemente os finais ("vf"), são nulos, pois não houve distúrbios ionosféricos durante o processamento em tempo real. Adicionalmente, que não há valores de σ_{vig} para os blocos 0-50 km e 100-150 km devido à presença de apenas um par de estações em cada bloco, o que inviabiliza a estimativa do desvio-padrão.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a avaliação do *CONUS Threat Model* para o Brasil a partir do MoR_Ion, fica possível verificar se o modelo de GBAS atualmente comercializado pela Honeywell pode ser utilizado com segurança nas fases de aproximação e pouso de aeronaves nos principais aeroportos. No caso da possibilidade de não atender aos valores máximos dos parâmetros do *CONUS Threat Model* e nem aos requisitos de desempenho de navegação aérea estabelecidos pela ICAO, identificar quais áreas do território e em quais períodos do ano o GBAS provavelmente pode ser empregado, bem como informar quais as constelações de satélites e quais os sinais são os mais adequados para esse fim.



Sigma-VIG [mm/km] | gIpf | GPS e GLONASS L1/L2

Sat[PRN]	Dist 000-250 [km] sv	vi	vf	Dist 000-050 [km] sv	vi	vf	Dist 050-100 [km] sv	vi	vf	Dist 100-150 [km] sv	vi	vf	Dist 150-200 [km] sv	vi	vf	Dist 200-250 [km] sv	vi	vf
G02	21.584	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.064	0.000	0.000	1.301	0.000	0.000
G05	2.248	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.688	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.720	0.000	0.000	0.935	0.000	0.000
G12	29.253	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.158	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.113	0.000	0.000	1.303	0.000	0.000
G20	18.648	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.916	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.731	0.000	0.000
G21	15.627	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.946	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.181	0.000	0.000	0.624	0.000	0.000
G24	13.297	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.319	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.444	0.000	0.000	0.691	0.000	0.000
G25	6.441	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.238	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.362	0.000	0.000	0.398	0.000	0.000
G29	8.410	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.852	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.570	0.000	0.000	0.520	0.000	0.000
R10	59.765	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.082	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.202	0.000	0.000
R11	89.611	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.691	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.810	0.000	0.000
R21	41.530	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.957	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.663	0.000	0.000
R22	73.888	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.477	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.750	0.000	0.000
R23	23.542	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.737	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

===| 12h 41min 09s (TU) |

Sigma-VIG [mm/km] | gIpf | GPS e GLONASS L1/L2

Sat[PRN]	Dist 000-250 [km] sv	vi	vf	Dist 000-050 [km] sv	vi	vf	Dist 050-100 [km] sv	vi	vf	Dist 100-150 [km] sv	vi	vf	Dist 150-200 [km] sv	vi	vf	Dist 200-250 [km] sv	vi	vf
G02	21.620	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.072	0.000	0.000	1.303	0.000	0.000
G05	2.401	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.722	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.727	0.000	0.000	0.934	0.000	0.000
G12	29.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.125	0.000	0.000	1.302	0.000	0.000
G20	18.663	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.902	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.307	0.000	0.000	0.729	0.000	0.000
G21	15.661	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.953	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.166	0.000	0.000	0.628	0.000	0.000
G24	13.316	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.345	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.463	0.000	0.000	0.694	0.000	0.000
G25	6.285	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.206	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.366	0.000	0.000	0.393	0.000	0.000
G29	8.355	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.843	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.580	0.000	0.000	0.523	0.000	0.000
R10	59.530	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.193	0.000	0.000
R11	89.507	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.680	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.817	0.000	0.000
R21	41.691	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.985	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.670	0.000	0.000
R22	74.092	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.512	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.760	0.000	0.000
R23	23.685	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.728	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

===| 12h 41min 10s (TU) |

Figura 10: Tela do MoR_Ion_TR referente ao aeroporto SBBR, para os satélites GPS e GLONASS (L1/L2), para dois instantes do dia 19/02/2018

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à FAPESP pela bolsa de doutorado (proc. n° 2015/20522-7), ao INCT GNSS-NavAer (CNPq – proc. n° 465648/2014-2, FAPESP – proc. n° 2017/50115-0 e CAPES – proc. n° 88887.137186/2017-00) e a UTFPR/câmpus Santa Helena pelos ambientes à pesquisa e às bolsas PQ (CNPq – proc. n° 309832/2016-0 e n° 307417/2017-4).

REFERÊNCIAS

BUMRUNGKIT, A.; RUNGRAENGWAJIAKE, S.; SUPNITHI, P.; SIANSAWASDI, N. Drift velocity estimation of ionospheric disturbance using GPS observations. In: THE 4th JOINT INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY, ELECTRONIC AND ELECTRICAL ENGINEERING, 2014, Chiang Rai. *Electronic proceedings…*Chiang Rai, 5-8 mar. 2014. doi: 10.1109/JICTEE.2014.6804061

CIRCIU, M. S.; FELUX, M.; REMI, P.; YI, L.; BELABBAS, B. PULLEN, S. Evaluation of dual frequency GBAS performance using flight data. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL TECHNICAL MEETINGS OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 2014. *Electronic proceedings…* ITM2014, 2014.

DATTA-BARUA, S. Ionosphere threats to Space-Based Augmentation System development. *Proceedings of the International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Long Beach, 2004. pp. 1308-1317

DATTA-BARUA, S.; LEE, J.; PULLEN, S.; LUO, M.; ENE, A.; QIU, D.; ZHANG, G.; ENGE, P. Ionospheric threat parameterization for local area Global-Positioning-System-Based aircraft landing systems. *Journal of Aircraft*, v. 47, n. 4, p. 1141-1151, 2010. doi:10.2514/1.46719

DATTA-BARUA, S.; WALTER, T.; PULLEN, S.; LUO, M.; BLANCH, J.; ENGE, P. Using WAAS ionospheric data to estimate LAAS short baseline gradients. In: NATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 2002, San Diego. *Electronic proceedings…*San Diego, Jan. 2002. p. 523-530.

ENE, A.; QIU, D.; LUO, M.; PULLEN, S.; ENGE, P. Comprehensive ionosphere storm data analysis method to support LAAS threat model development. In: NATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 2005, San Diego. *Electronic proceedings…*San Diego, Jan. 2005. p. 110-130.

FAA. US Federal Aviation Administration. *Satellite Navigation – Ground Based Augmentation System (GBAS)*, 2018. Disponível em: <https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/laas/>. Acesso em: 24 out. 2018.

FELUX, M.; CIRCIU, M. S.; LEE, J.; HOLZAPFEL, F. Ionospheric Gradient Threat Mitigation in Future Dual Frequency GBAS. *International Journal of Aerospace Engineering*, v. 2017, 2017.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. New York: Springer-Verlag Wien, 2008. 516 p.

ICAO. International Civil Aviation Organization. *Global Navigation Satellite System (Gnss) Manual 2nd Edition (Doc 9849)*. 2013. Disponível em: <http://www.icao.int/airnavigation/Lists/T_Documents/DispForm.aspx?ID=63>. Acesso em: 15 dez. 2016.

JUNG, S.; LEE, J. Long-term ionospheric anomaly monitoring for Ground Based Augmentation Systems. *Radio Science*, v. 47, RS4006, 2012. doi:10.1029/2012RS005016

KIM, J.; LEE, S. W.; LEE, H. K. An annual variation analysis of the ionospheric spatial gradient over a regional area for GNSS applications. *Advances in Space Research*, v. 54, p. 333-341, 2014.

KIM, M.; CHOI, Y.; JUN, H. S.; LEE, J. GBAS ionospheric threat model assessment for category I operation in the Korean region. *GPS Solutions*, v. 19, n. 3, 2015. doi:10.1007/s10291-014-0404-6

KOLB, P. F.; CHEN, X.; VOLLATH, U. A new method to model the ionosphere across local area networks. In: PROCEEDINGS OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 2005, Alexandria. *Proceedings*... Alexandria: [s.n.], 2005. p. 705-711.

LEE, J. *GPS-Based aircraft landing systems with enhanced performance: beyond accuracy*. 2005. 146 p. Dissertation (PhD in Philosophy) – Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, USA.

LEE, J.; DATTA-BARUA, S.; ZHANG, G.; PULLEN, S.; ENGE, P. Observations of low-elevation ionospheric anomalies for Ground-Based Augmentation of GNSS. *Radio Science*, v. 46, RS6005, 2011a. doi:10.1029/2011RS004776

LEE, J.; PULLEN, S.; DATTA-BARUA, S.; ENGE, P. Assessment of ionosphere spatial decorrelation for Global Positioning System-Based aircraft landing systems. *Journal of Aircraft*, v. 44, n. 5, p. 1662-1669, 2007. doi:10.2514/1.28199

LEE, J.; PULLEN, S.; GILLESPIE, J.; MATHUR, N.; COLE, R.; SOUZA, J, R,; DOHERTY, P.; PRADIPTA R. Preliminary results from ionospheric threat model development to support GBAS operations in the Brazilian region. In: *ION Pacific GNSS 2015*. The Institute of Navigation, 2015.

LEE, J.; SEO, J.; PARK, Y. S.; PULLEN, S.; ENGE, P. Ionospheric threat mitigation by geometry screening in Ground-Based Augmentation Systems. *Journal of Aircraft*, v. 48, n. 4, p. 1422–1433, 2011b. doi:10.2514/1.C031309

LUO, M.; PULLEN, S.; DATTA-BARUA, S.; ZHANG, G.; WALTER, T.; ENGE, P. LAAS study of slow-moving ionosphere anomalies and their potential impacts. In: 18th INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 2005, Long Beach. *Electronic proceedings…* Long Beach: ION/GNSS, Sep. 2005. p. 2337-2349.

LUO, M.; PULLEN, S.; DENNIS, J.; KONNO, H.; XIE, G.; WALTER, T.; ENGE, P.; DATTA-BARUA, S.; DEHEL, T. LAAS ionosphere spatial gradient threat model and impact of LGF and airborne monitoring. In: ION GPS/GNSS, 2003, Portland. *Electronic proceedings…*Portland: ION/GNSS, Sep. 2003. p. 2255-2274.

MAYER, C.; BELABBAS, B.; JAKOWSKI, N.; MEURER, M.; DUNKEL, W. Ionosphere threat space model assessment for GBAS. In: ION/GNSS, 2009, Savannah. *Electronic proceedinds…*Savannah: ION/GNSS, 2009. p. 1091-1099.

MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações*. 2. ed. São Paulo: Ed. da UNESP, 2008. 476 p.

PEREIRA, V. A. S. *Monitoramento das irregularidades ionosféricas e cintilação dos sinais GNSS: em tempo real e pós-processado*. Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, 2015. 159p.

PEREIRA, V. A. S. *Investigação da usabilidade do GBAS no Brasil*. Tese de Doutorado em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, 2018. 305p.

PEREIRA, V. A. S.; CAMARGO, P. O. Brazilian active GNSS networks as systems for monitoring the ionosphere. *GPS Solutions*, vol. 21, n. 3, 2017. pp. 1013-1025

PEREIRA, V. A. S.; MONICO, J. F. G.; CAMARGO, P. O. Procedimento geral para o desenvolvimento de modelo de risco ionosférico para GBAS e principais modelos existentes. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA & II JORNADAS LUSÓFONAS – CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 2017, Presidente Prudente. *Anais eletrônicos...* Presidente Prudente: Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, 24-26 jul. 2017. p. 563-570.

PEREIRA, V. A. S.; MONICO, J. F. G.; CAMARGO, P. O. Estimativa de níveis de proteção para aproximação no aeroporto Tom Jobim (SBGL) utilizando valores de sigma-VIG para cada satélite das constelações GPS e GLONASS. In: XVII SITRAER – AIR TRANSPORTATION SYMPOSIUM, 2018a, São Paulo. *Anais eletrônicos...* São Paulo: Tryp São Paulo Itaim Hotel, 22-24 out. 2018.

PEREIRA, V. A. S.; MONICO, J. F. G.; CAMARGO, P. O. Estimativa do desvio-padrão do gradiente ionosférico vertical para o aeroporto internacional de Recife/PE. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2018b, Recife. *Anais eletrônicos...* Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 08-09 nov. 2018.

PROL, F. S.; CAMARGO, P. O. Estimativa da tendência diferencial do código nos receptores GNSS. *Boletim de Ciências Geodésicas*, vol. 20, n. 4, 2014. pp. 735-749

PULLEN, S.; PARK, Y. S.; ENGE, P. Impact and mitigation of ionospheric anomalies on Ground-Based Augmentation of GNSS. *Radio Science*, v. 44, RS0A21, 2009. doi:10.1029/2008RS004084

SRINIVAS, V. S.; SARMA, A. D.; REDDY, A. S.; REDDY, D. K. Investigation of the effect of ionospheric gradients on GPS signals in the context of LAAS. *Progress In Electromagnetics Research B*, v. 57, p.191-205, 2014.

TANG, H.; WALTER, T.; BLANCH, J.; ENGE, P.; CHAIN, F. C. Flight test data validation of dual-frequency GPS measurement error characteristics. In: ION/GNSS, 2009, Savannah. *Electronic proceedings…*Savannah: ION/GNSS, 2009. p. 1637-1644.

WANG, Z.; MACABIAU, C.; ZHANG, J.; ESCHER, A. C. Prediction and analysis of GBAS integrity monitoring availability at LinZhi Airport. *GPS Solutions*, v. 18, p. 27-40, 2014. doi:10.1007/s10291-012-0306-4

WENG, D.; JI, S.; CHEN, W.; LI, Z.; XU, Y.; YE, L. Assessing and mitigating the effects of the ionospheric variability on DGPS. *GPS solutions*, v. 19, n. 1, p. 107-116, 2015.

YOON, M.; LEE, J. Medium-scale travelling ionospheric disturbances in the Korean Region on 10 November 2004: potential impact on GPS-Based Navigation Systems. *Space Weather*, v. 12, p. 173–186, 2014. doi:10.1002/2013SW001002

YOON, M.; KIM, D.; LEE, J.; PULLEN, S. Multi-dimensional Verification Methodology of Ionospheric Gradient Observation during Plasma Bubble Events in the Brazilian Region. In: *ION Pacific PNT 2015*. The Institute of Navigation, 2015.

YOON, M.; KIM, D.; LEE, J.; RUNGRAENGWAJIAKE, S.; PULLEN, S. Assessment of Equatorial Plasma Bubble Impacts on Ground-Based Augmentation Systems in the Brazilian Region. In: *2016 ION International Technical Meeting (ITM)*. The Institute of Navigation, 2016.

LOGICAL ACCESSMENT OF VULNERABILITY AT DEPARTING PASSENGERS CONTROL

Carl Rizk
Civil Aviation Administration of Lebanon
Kesrouani Building, Adib Chidiac Street, Hadat, Baabda, Lebanon, carlrizk@gmail.com,

Sibusiso Moyo
Research, Innovation & Engagement, Durban University of Technology
Steeve Biko Campus, Durban, South Africa, dvcrie@dut.ac.za

Hadj Batatia
University of Toulouse, INPT, ENSEEIHT-IRIT-TéSA,
Maison de la Recherche, Campus de l'UPS, Toulouse, France, hadj.batatia@inp-toulouse.fr

Felix Mora-Camino
UFF, Labo ENAC-France and Durban University of Technology
7 avenue E. Belin, 31055 Toulouse, France, moracamino@hotmail.fr

ABSTRACT

This study develops a logical framework to access the vulnerability of passenger control process at airports to different threats. The initial objective is to determine in which conditions a threat will be able to go undetected through a departure passengers control process. In this study are not considered or estimated probabilities of occurrence of passenger control failures, but only their possibility and the conditions for that. Here a logical framework is developed to establish the logical constraint each inspection station must satisfy to insure robustness to malicious behavior. Considering the nature of the resulting logical satisfiability problem, an approach based on a graph representation of the control process is adopted, leading to consider minimum length paths representative of optimal malicious behavior.

Keywords: Airport security, passenger screening, complex systems, logical constraints, controlled satisfiability graphs, path optimization

1. INTRODUCTION

Airport security refers to the techniques and methods used to protect large number of passengers passing through in addition to staff and planes from terrorism accidents, crimes and another threats. Airport security has heightened drastically after multiple severe crimes and terrorist attacks coupled with the increasing number of passengers traveling around the world.

Currently, the aviation industry has become one of the main targets of terrorist acts and many people have lost their lives in recent years because of its vulnerability, its economic importance and the involvement of the integrity of people and property. Thus most travellers are dreading the once enjoyable airport experience: long lines, intrusive officers, and grumpy flyers make the Airport Security Checkpoint a less than desirable aspect of air travel.

This study develops a logical framework to access the vulnerability of passenger control process at airports to different threats. The initial objective is to determine in which conditions a threat will be able to go undetected through a departure passengers control process. In this study are not considered or estimated probabilities of occurrence of passenger control failures, but only their possibility and the conditions for that. Here a logical framework is developed to establish the logical constraint each inspection station must satisfy to insure robustness to malicious behavior. Considering the nature of the resulting logical satisfiability problem, an approach based on a graphical representation of the control process is adopted, leading to consider minimum length paths representative of optimal malicious behavior.

The proposed approach turns possible to detect the minimum number of elementary control defects that turn possible a control failure. It allows also to generate different scenarios of attack of the control system by a threat, to analyze the behavior of the system under these conditions and to evaluate their permeability with respect to different types of attacks.

2. LOGICAL REPRESENTATION OF CONSTRAINED SYSTEMS

Here a short introduction to *logical constraint* representation is proposed. *Boolean algebra* is an algebra defined on the truth values, true(T) or false (F) false, of the considered variables. A *logical* or *Boolean formula* Σ is a string of symbols composed of boolean variables, their literals organized in *clauses* and *binary operators*, such as *negation* ($\bar{x}$), *and* (∧), *or* (∨) and *nor* (⊗) leading to logical formulas. Π(Σ) denotes the set of variables occurring in Σ.

Example, for the formula Σ= (a ∨ $\bar{b}$ ∨c) ∧(b ∨c) ∧($\bar{a}$ ∨$\bar{c}$), the set of occurring variables is Π(Σ) ={ a, b, c}, appearing as literals: a, $\bar{a}$, b, $\bar{b}$, c, $\bar{c}$, with clauses : (a ∧ $\bar{b}$∧ c) , (b ∨c) and ($\bar{a}$∨$\bar{c}$).

To each complete assignation *V* of truth values to Π(Σ), the truth value of the formula Σ can be computed by replacing the variables *x* by their values. If Σ is evaluated to be true, *V* is said to be a solution of Σ, or Σ(*V*)=T. When a solution exists for formula Σ, Σ is said to be consistent or *satisfiable*. If no such solution exists, Σ is said to be inconsistent or unsatisfiable. For example Σ= (a ∨ $\bar{b}$ ∨c) ∧(b ∨c) ∧($\bar{a}$∨$\bar{c}$) is satisfiable (take a=T, b=T and c=F).

A logical constraint can be formulated as a formula Σ being evaluated as T (or F) for a given assignation *V* to its variables.

Propositional calculus is a symbolic system of treating complex propositions and their logical relationships. In the case of Boolean logic, propositions are Boolean formulae and their relationships are defined by the different rules, such as the resolution rule.

In order to have a set of rules on Boolean formulae, it is useful to adopt a normal form that every formula must have. The most common normal forms are the *conjunctive normal form* (CNF) and the *disjunctive normal form* (DNF). Both forms use the concept of literal variable and its negation.

For the disjunctive normal form, the main object is a disjunction of literals (x ∧¬y), or *cube*. A cube *K* is said unsatisfied when at least one literal is evaluated to be true. Disjunctive normal form formulæ are composed of a number *n* of conjunctions of cubes: $K_1 \vee ... \vee K_n$. A disjunctive normal form formula Σ is unsatisfied if there exists at least one assignation such that every cube in Σ is unsatisfied.

The main object in a conjunctive normal form is a *clause* which is a conjunction of literals ($x \vee \bar{y}$). A clause *C* is said satisfied if there exists at least one assignation such that at least one of the literal can be evaluated to be true. Conjunctive normal form formulæ are composed of disjunction of clauses: $C_1 \wedge ... \wedge C_n$. A conjunctive normal form formula Σ is satisfied if there exist at least one assignation such that every clause in Σ is satisfied.
It is possible to convert any general Boolean formula to a conjunctive normal form formula Σ, however the computational time to get this result may increase exponentially with the size of the problem.

The Satisfiability Problem
A problem of satisfaction of Boolean constraints, also called *problem satisfiability*, consists, given a set of constraints defined with Boolean variables, to decide whether there exists an assignment of logical values to the variables which allows to satisfy all the constraints, and if possible to determine such feasible assignment.
When this assignment does not exist and, it can be of interest to search for a assignment satisfying a maximum number of constraints, or to search for an assignment not satisfying a minimum number of constraints.
An example of a Boolean constraint satisfaction problem is the problem known as SAT, of deciding whether a propositional formula (expressed as a conjunction of disjunctions) is satisfied or not. This problem has been recognized by Computational Complexity Theory to be NP-complete. The *NP*-completeness of SAT ensures that no algorithm for this problem can be computationally effective *in its worst case* instance. But for many instances encountered in practical applications, this problem can be solved in an acceptable computing time.

3. LOGICAL MODEL OF PASSENGER CONTROL

The considered passengers logical control models makes use of boolean algebra and results from the consideration of the arrangement of the various constituent elements of the airport control system and the nominal or non-nominal operating procedures of the latter. The model must be completed by scenarios concerning the data available for a passenger posing a threat or not, and the operational state of the system (equipment and control procedures operating or failing on an ad hoc basis or not). Here the main purpose is to evaluate the permeability of an airport terminal to boarding threats. It is considered that the passenger (staff members are not considered in this study, but should be in a complete threat study) are assigned with a data set whose components represent the real characteristics of the person: does he/she hold one or more tickets? an identity card or passport in accordance with this or these tickets? Is he/her able to commit an act affecting the security of air transport? Does he/her possess material means constituting a threat? , etc. All this data can be represented by a set of Boolean variables and the transition from one area of the airport to another will correspond to the apparent satisfaction of certain logical constraints. For example, at the level of the constraints related to the registration bank, the possession of a ticket and the possession of a piece of matching identity are validated. If the passenger has malicious intentions, they are modeled by logical conditions and it is in fact to check if they can be satisfied or not in a scenario. It is then a question of identifying the conditions of satisfaction of a break through scenario. Then, taking into account its consequences for safety, possible adjustments of the control system and associated procedures should be proposed to turn it unfeasible.

Passenger logical data

The information concerning a passenger is given by a data set whose Boolean components represent the information characterizing this person (either well or ill-intentioned). The Boolean components of the data set can be classified as :
Identification : X_1 : possession of identity card, X_2 : authenticity of identity card, X_3 : possession of passport, X_4 : authenticity of passport. *Transport ticket* : X_5 : possession of domestic title, X_6 : authenticity of domestic title, X_7 : possession of international title, X_8 : authenticity of international title. *Boarding card* : X_9 : Possession of a domestic boarding card, X_{10} :

authenticity of domestic boarding card, X_{11} : possession of international boarding card, X_{12} : authenticity of international boarding cards. Prohibited object : X_{13} : no metal object located in the hand luggage, X_{14} : no organic object located in the hand luggage, X_{15} : no inorganic object in the hand luggage, X_{16} : no metal object under the clothes, X_{17} : no organic object located under clothing, X_{18} : no inorganic object under the clothes. *Dangerous object* : X_{19}: no dangerous metal objet in hand luggage, X_{20} : no dangerous organic object in hand luggage, X_{21} : no dangerous inorganic object in hand luggage, X_{22}: no dangerous metal objet under clothes, X_{23} : no dangerous organic object under clothes, X_{24} : no dangerous inorganic object under clothes, X_{25} : no prohibited or dangerous object in hold luggage. *Concordance* : X_{26} : Air ticket and identity document coincide, X_{27} : boarding card and identity document coincide.

Control stages

To each control element of the passenger control station can be associated the test on one or more components of the vector $\underline{X}$.

The lists below display the components tested by the different passenger control stages:

Identity Document validation : X_1, X_2, X_3, X_4. Ticket reservation : X_5, X_6, X_7, X_8.Boarding card validation : X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}. Cross beam detector : X_{16}, X_{22}. Scanner : X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{19}, X_{20}, X_{21}. Manual detection : X_{16}, X_{22}. Passenger search : X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{22}, X_{23}, X_{24}. Aleatory search : X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}. Luggage search : X_{25}.

Different clauses, or macro state variables in some cases, are introduced in order to define more clearly the constraints to satisfy. On one side they contribute to reduce the size of the logical expression describing the operations of the passenger control stations and on the other side they match the corresponding elementary control actions: $Z_1=(X_1 \wedge X_2)$, $Z_2=(X_3 \wedge X_4)$, $Z_3=(X_5 \wedge X_6)$, $Z_4 = (X_7 \wedge X_8)$, $Z_5=(X_9 \wedge X_{10})$, $Z_6=(X_{11} \wedge X_{12})$, $Z_7=(X_{16} \wedge X_{22})$, $Z_8 = X_{13} \wedge X_{14} \wedge X_{15} \wedge X_{19} \wedge X_{20} \wedge X_{21}$, $Z_9=(X_{16} \wedge X_{22})$,$Z_{10}=(X_{16} \wedge X_{17} \wedge X_{18} \wedge X_{22} \wedge X_{23} \wedge X_{24})$,$Z_{11}=X_{13} \wedge X_{14} \wedge X_{15} \wedge X_{16} \wedge X_{17} \wedge X_{18} \wedge X_{19} \wedge X_{20} \wedge X_{21} \wedge X_{22} \wedge X_{23} \wedge X_{24}$, $Z_{12}=X_{26}$, $Z_{13} = X_{27}$, $Z_{14}=X_{25}$. An additional variable to be taken into account is Z_{15} which is T if international flight, and F if domestic flight. The checks carried out in the passenger control system may depend on each other, for example, the non-random manual search of hand luggage takes place only in the event of an "alarm" of the scanner.

Passengers logical constraints

Here the set of constraints is represented by logical conditions so that the transition from one area of the airport to another will correspond to a test on a number of components of the resource vector. For example, at the boarding gate, the possession of an authentic boarding pass and a valid identity document / passport will be tested. If these conditions are verified, it is possible to go beyond the "boarding gate" control stage and access the aircraft. It should be noted that the satisfaction of these constraints is related to the instantaneous state of operation of the system. In summary, at each step of the control system (passage of the control station, boarding, badge reader, ...) a sequence of logical variables must satisfy a set of constraints. The resource is then tested to validate access to the next zone. The conditions to pass without detection through the different controls are given by :Registration banks:

$$C_{rb}=((Z_1 \wedge Z_3 \wedge \overline{Z_{15}}) \vee (Z_2 \wedge Z_4 \wedge Z_{15})) \wedge Z_{12} \quad (1)$$

Control and filtering station :

$$C_{cs}=((Z_5 \wedge \overline{Z_{15}})\ (Z_6 \wedge Z_{15})) \wedge (Z_7 \wedge Z_8 \wedge Z_9 \wedge Z_{10} \wedge Z_{11}) \quad (2)$$

Immigration control:

$$C_{ic} = (Z_{15} \wedge (Z_2 \wedge Z_6)) \vee \bar{Z}_{15} \quad (3)$$

Boarding gate :

$$C_{bg} = ((Z_1 \wedge Z_5 \wedge \overline{Z_{15}}) \vee (Z_2 \wedge Z_6 \wedge Z_{15})) \wedge Z_{13} \quad (4)$$

Hold luggage control :

$$C_{hl} = X_{25} = Z_{14} \quad (5)$$

Once analyzed the sequential operation of the passenger control station, one can establish the global constraint to be satisfied:

$$C = C_{rb} \wedge C_{cs} \wedge C_{ic} \wedge C_{bg} \wedge C_{hl} \quad (6)$$

It should be noted that the test on the variable Z_{11} (random manual search) can be carried out legally on at least 10% of the passengers regardless of the value of the other variables. In the case where this search takes place, the variable Z_{11} must be set to T. It is clear that if variables X_1 to X_{27}, are all T then C = T and the corresponding satisfiability problem is trivially satisfied and that if some variables from X_1 to X_{27} are F either for domestic or international passenger, then C = F. Depending of the nature of the passenger defect, it will be spoted always at a control stage or another further in the control sequence. However in practice, passengers lacking some documentation or

carrying forbidden objects may achieve to go through departure controls as the result of some control failure. So, it appears that this logical model must be enhenced to take into account the occurrence of control failures.

4. LOGICAL MODEL OF CONTROL FAILURES

In this paragraph is introduced the occurrence of failure at elementar controls, which can impair the detection of a threat associated with a passenger (inadequate documents, dangerous object, etc). This can make such a passenger to go through the whole control process without being arrested. The precedent logical constraints must be completed to include the instant effect of the failure of an elementar control caused either by equipment failure or staff mis operation.

Operational state of inspection station

The state of operation of the system at a given moment details which elements of the control system operate nominally and which ones are defective at this time. Adverse events are expressed as logical conditions. Depending on the nature of the adverse event and the status of the controlled person, the list of these logical conditions may vary. Each of the following control elements may behave correctly or not when the potentially dangerous passenger passes: Check-in: Y_1 : Identity control, Y_2 : Ticket control,Y_3 : coïncidence air ticket and identity document. Screening inspection station: Y_4 : boarding card control , Y_5 :Cross-beam,Y_6 :scanner, Y_7 : manual detector,Y_8 : manual search,Y_9 : aleatory manual control. To immigration: Y_{10} : passport and visa control. Upon boarding:Y_{11} : Boarding card,Y_{12} : identity control,Y_{13} :coïncidence boarding card and identity document. Check of hold baggage: It is considered here a global operating condition for the screening inspection station, let Y_{14} be the corresponding logic variable. In fact, check of hold baggage and boarding are performed partially in parallel and there is no precedence constraint between them.

These checks can be seen as the minimum checks for a departing passenger, other means of control could be included: private passenger control units , face recognition, doors, anti-lift doors, badge readers, etc.

Passenger control with malfunctions

The logical consequences of elementary failure of control equipment or staff are to change the logical values of some variables. Here false alarms are not considered since they are in general corrected and the result in that case remains unchanged. The matching between controls and macro state variables is here such as : At registration : $Y_1 \rightarrow Z_1 \vee Z_2$, $Y_2 \rightarrow Z_3 \vee Z_4$, $Y_3 \rightarrow Z_{12}$.At the level of the inspection station: $Y_4 \rightarrow Z_5 \vee Z_6$,$Y_5 \rightarrow Z_7$,$Y_6 \rightarrow Z_8$, $Y_7 \rightarrow Z_9$, $Y_8 \rightarrow Z_{10}$, $Y_9 \rightarrow Z_{11}$. At immigration control : $Y_{10} \rightarrow Z_2 \wedge Z_6$. At boarding :$Y_{11} \rightarrow Z_5 \vee Z_6$,$Y_{12} \rightarrow Z_1 \vee Z_2$,$Y_{13} \rightarrow Z_{12}$.At luggage inspection station : $Y_{14} \rightarrow Z_{14}$.

In the case of a single effect with T reference value, a failure of Y_i will declare Z_j to be T when it is F and T if it is T, Z_j should be replaced in any logical constraint by the logical expression $(Z_j \wedge Y_i) \vee \bar{Y}_i$ which has the logical table :

Table 1 : Truth table for $(Z_j \wedge Y_i) \vee \bar{Y}_i$

Z_j \ Y_i	T	F
T	T	T
F	F	T

which is T when Z_j is F and Y_i is F. In the case of a multiple effect with T reference value, a failure of Y_i will declare Z_j *and* Z_k to be T when both are F and T if both are T, Z_j should be replaced in any logical constraint by the logical expression $(Z_j \wedge Y_i) \vee \bar{Y}_i$, Z_k should be replaced in any logical constraint by the logical expression $(Z_k \wedge Y_i) \vee \bar{Y}_i$, and the logical expression $(Z_j \vee Z_k)$ will be replaced by $(Z_j \wedge Y_i) \vee (Z_k \wedge Y_i) \vee \bar{Y}_i$, while the logical expression$(Z_j \wedge Z_k)$ will be replaced by $(Z_j \wedge Y_i) \wedge (Z_k \wedge Y_i) \vee \bar{Y}_i$. In the case of multiple causes with T reference value, when Y_i *and* Y_j imply the failure of Z_k, Z_k should be replaced by $(Z_k \vee (Y_i \wedge Y_j) \vee (\bar{Y}_i \vee \bar{Y}_j))$, when Y_i or Y_j imply the failure of Z_k, Z_k should be replaced by $(Z_k \vee (Y_i \vee Y_j) \vee (\bar{Y}_i \wedge \bar{Y}_j))$. Following these rules, the updated logical constraint to be satisfied to pass through the passengers departure control and board an aircraft is given by :

$$(((Z_1 \wedge Y_1) \vee \overline{Y_1}) \wedge ((Z_3 \wedge Y_2) \vee \overline{Y_2}) \wedge \overline{Z_{15}}) \vee (((Z_2 \wedge Y_1) \vee \overline{Y_1}) \wedge ((Z_4 \wedge Y_2) \vee \overline{Y_2}) \wedge Z_{15}) \wedge (Z_{12} \wedge Y_{13}) \vee \overline{Y_{13}})$$
$$\wedge$$
$$(((Z_5 \wedge Y_4) \wedge \overline{Z_{15}}) \vee (Z_6 \wedge Y_4) \wedge Z_{15}) \vee \overline{Y_4}) \wedge ((Z_7 \wedge Y_3) \vee \overline{Y_5}) \wedge ((Z_8 \wedge Y_6) \vee \overline{Y_6}) \wedge ((Z_9 \wedge Y_7) \vee \overline{Y_7}) \wedge$$
$$((Z_{10} \wedge Y_8) \vee \overline{Y_8}) \wedge ((Z_{11} \wedge Y_9) \vee \overline{Y_9})$$
$$\wedge$$
$$(Z_{15} \wedge (Z_2 \wedge Z_6 \wedge Y_{11}) \vee \overline{Y_{11}})) \vee \overline{Z_{15}})$$
$$\wedge$$
$$((((Z_1 \wedge Y_1) \vee \overline{Y_1}) \wedge ((Z_5 \wedge Y_4) \vee \overline{Y_4}) \wedge \overline{Z_{15}}) \vee ((Z_2 \wedge Y_1) \vee \overline{Y_1}) \wedge (((Z_6 \wedge Y_4) \vee \overline{Y_4}) \wedge Z_{15}) \wedge Z_{13})$$
$$\wedge$$
$$((Z_{14} \wedge Y_{14}) \vee \overline{Y_{14}})$$

(7)

Figure 1 displays the influence of each control action to the different stages of the passenger control process.

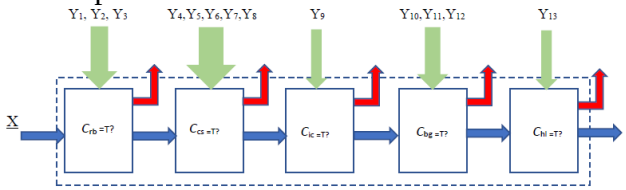


Figure 1 : The different logical stages to be checked

5. BUILDING A VULNERABILITY ANALYSIS FRAMEWORK

Here the idea is to develop a tool, based on the logical constraint displayed in the previous paragraph, to check, once the personal data of a passenger has been provided, which minimum number of elementary controls should fail to allow this passenger to go undetected through the passenger control system. The proposed tool is a graph which is built to check the existence of a possible path for any passenger, from a no threat passenger to a multi threat passenger. In recent years and decades, many different graphical representations have been introduced to analyze logical constraints as pure mathematical objects. However, here, the structure of the considered logical constraint is based on a particular physical system, the passengers control system, and that makes a difference when searching for characteristical logical configurations.

Controlled satisfaisability graph

Here is introduced a graphical representation of the global logical constraint given by expression (7) which is composed of a serie of conjunctions of clauses (not necessarily in normal form). Here the clauses are ordered according to the structure of the passengers control system. The rules of construction of the controlled satisfaisability graph (**CSG**) are the following : a first node is created, it is node m = **a**. To each logical variable present in a clause is associated an orientated arc. To each control complex such as $(Z_j \wedge Y_i) \vee \overline{Y_i}$, $(\overline{Z_k} \wedge Y_i) \vee \overline{Y_i}$ or $(\overline{Z_k} \vee (Y_i \wedge Y_j) \vee (\overline{Y_i} \vee \overline{Y_j}))$ is attached a cycle. To each control complex such as $(Z_j \wedge Y_i) \vee (Z_k \wedge Y_i) \vee \overline{Y_i}$ are attached two cycles. Each $\wedge$ operator outside a control complex and linking two clauses, generates a new node , node m+1, and the arcs linking the previous node to this new one are according to the following clause. Clauses are treated according to their original ordering.

The CSG associated to a passengers control system

The above rules are applied considering the following ordering : C_{rb} / C_{cs} / C_{ic} / C_{bg} / C_{hl} in expression (7). Then to each clause, is associated the corresponding subgraph. Figure 2 represents the associated CSG where orange arrows represent possible entry points, blue arrows are resource logical variables, red arrows are control effective logical variables, black arrows are control uneffective logical variables, orange arrows are dummy arcs between the same nodes, green arrows are possible output points. In the considered case, the structure of the control system and overall satisfaisability constraint is mainly sequencial with some paralelism when multiple differentiated control lines are available. More complex structures could be found when considering other types of control processes.

Accessing vulnerability

To each arc of the CSG is associated a weight : The weight of an arc associated to a control logical variable Y_j, $j \in J$, is ε if Y_j =T, ∞ if Y_j = F, then $\overline{Y_j} = T$. The weight of an arc associated to a control logical variable $\overline{Y_j}$, $j \in J$, is a strictly positive number $\alpha_j < \infty$, if $\overline{Y_j}$ =T, ∞ if $\overline{Y_j} = F$. The weights of the arcs associated with controlled logical variables Z_i, $i \in I$, are such that if the variable is T, the weight is ε, if the variable is F, the weight is ∞. The weights of the arcs associated with non controlled logical variables Z_i, $i \in I$, are such that if the variable is T, the weight is 2 ε, if the variable is F, the weight is 2 ∞. Here ε and ∞ are real numbers such as : $0 < N \cdot \varepsilon \ll \alpha_j$ and $\alpha_j \cdot N \ll \infty \ \ \forall j \in J$ where N is the number of literals in the global logical constraint. N is at the same time a size parameter for the global logical constraint and

an upper bound of the number of arcs in the corresponding CSG.

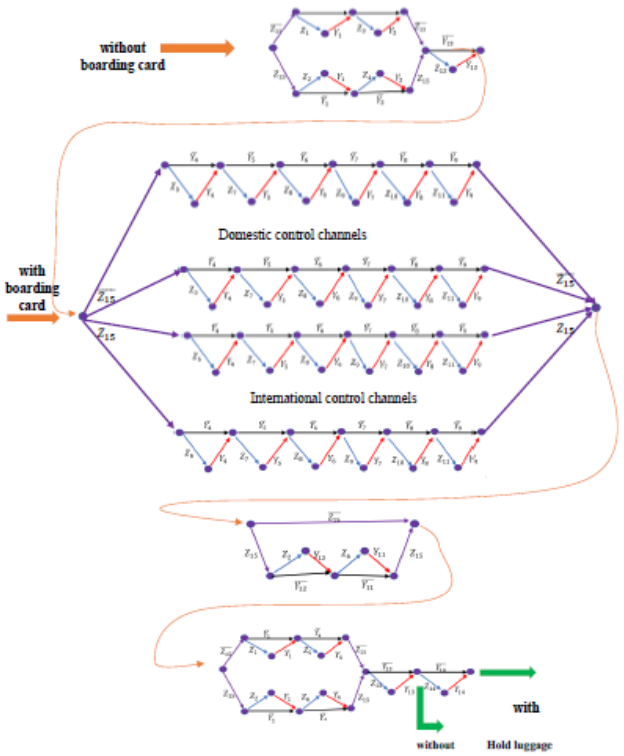


Figure 2: The CSG associated to the control system

For example for a logical constraint such as : (a $\vee \bar{b} \vee$c) $\wedge$(b $\vee$c) $\wedge$($\bar{a} \vee \bar{c}$), N= 7. In the case of formula (7), N = 63. Let WCSG be the weighted controlled satisfiability graph. With this choice of the weightings, whatever the scenario adopted for the Zs and the Ys , the structure of the WCSG remains unchanged. Once a passenger scenario has been built (Xs and then Zs), a new weighting is produced to the CSG. Then the vulnerability assessment is performed by searching the shortest path between the corresponding entry point and exit point in the CSG. Entry points are either the entry node of the check-in subgraph or the entry node of the screening inspection station subgraph. The exit point for departure passengers is the exit node of the boarding subgraph (no hold luggage) or the exit node of the hold luggage check (passenger with hold luggage).

The length L^* of the shortest path π_{min} can be written as :

$$L^* = n + 2 \cdot K \cdot \varepsilon + 2 \cdot H \cdot \infty \qquad (8)$$

Here n is related with the failed controls, K is the sum of the number of times controls are successful and of the number of times compliant noncontrolled variables are crossed, finally, H is the number of times an uncontrolled variable is forced.

Different measures of vulnerability (and at contrario of robustness) can be considered :

- When α_j =1 $\forall j \in J$, n is the number of times a control is failed along the chosen path. The pair (n, H) is a vulnerability measure of the control system with respect to the current passenger scenario. When H is different from 0, it means that H uncontrolled variables are in fact critical and should be controlled. Once this correction is implemented, the WCSG must be updated.
- The α_j $\forall j$ could also be chosen to represent on a limited scale, say from 1 to 10, the difficulty to deceive control j. In that case $\sum_{j \in \pi_{min}} \alpha_j$ is an additive measure of the difficulty to coerce satisfaction of the downgraded logical expression.
- If the probabilities p_j of deceiving the j controls, $j \in J$, are available, choosing α_j = - log p_j :

$$1 - \prod_{j \in \pi_{min}} e^{\alpha_j} = 1 - e^{n^*} \qquad (9)$$

is the probability of not being able to go undetected through the whole control system when these probabilities are independent from one control to the other.

- In the case of aleatory control, the probability of performing it must be taken into account in the weighting of the control variable.

Solution algorithm

Here the WCSG is a directed acyclical graph (DAG) = [V,U] where V is the set of nodes {u $\in V$} and U is the set of arcs {(u,v)$\in U$, u$\in V, v \in V$}. Let $w(u,v)$ be the weight of arc (u,v) in the considered WCSG. To solve this problem in the real domain, variations of shortest paths algorithms such as Moore-Dijkstra algorithm, can be adapted by considering the nodes of the acyclic graph ordered by increasing rank. A one sweep numerical algorithm is as follows :

1. Rank in increasing order all the nodes in V;
2. Set the distance $L(1)$ of the source node (node 1) to 0;
3. Set the distances to all other nodes to $+\infty$
4. Set all predecessors of $u \in V$, to node 1: $P(u)=1$;
4. For each node $u \in V$:
5. - Walk through all immediate successors v of u;
6. - If $L(v) > L(u) + w(u, v)$
set $L(v) \leftarrow L(u) + w(u, v)$ and make $P(v)=u$;

where $w(u,v)$ is the assigned weight to arc (u,v). Comparison of lengths is done on symbolic ground according to the following scheme:
Let $L = n + 2 \cdot K \cdot \varepsilon + H \cdot M$ and $L' = n' + K' \cdot \varepsilon + H' \cdot M$ be two path lengths, then: if $H > H' \geq 0$ then $L > L'$, if $H = H'$ and $n > n' \geq 0$ then $L > L'$, if $H = H'$, $n = n'$ and $K > K' \geq 0$ then $L > L'$, and of course, if $H = H'$, $n = n'$ and $K = K'$ then $L = L'$.
This algorithm presents a polynomial time complexity as being a special case of a know class P algorithm. So, this algorithm can be applied to very large CSGs.

6. GENERATING SCENARIOS

The scenarios consist of the initial resources of the target passenger and the assumed operational state of the system. The initial resources can be modified by the initialization conditions: for example, at the registration bank, the possession of a true $\{(X_5 = T$ and $X_6 = T$, or (X_7=T and X_8=T)} transport ticket and a true identity / passport document $\{(X_1 = T$and $X_2 = T)$ or $(X_3 = T$ and $X_4 = T)\}$ concordant $(X_{25} = T)$ are checked and if these conditions are verified, at the exit of the registration bank, the target passenger obtains a valid boarding pass. The resources then obtained are the so-called acquired resources. It should be noted that additional resources (not shown in the resource vector) can change the initial operating state. This would be the case, for example, with the existence of an accomplice, a member of the scanner detection staff: this complicity is then comparable to a failure of the "scanner control" component (Y_6= F in the vector $\underline{Y}$). Note here that the registration is not a strictly mandatory crossing point, a person with a false boarding pass or a stolen embarcation card, can come directly to the inspection post, as shown in Figure 2.
From the 2^{27} possible scenarios for the elementar variable X_i s, 2^{17} scenarios can be constructed for the macro state variables while 2^{13} scenarios can be constructed for the sequence of controls for a target passenger. Among all these scenarios, only a few will be relevent for security analysis.

Example of application

Here it is supposed that the target passenger performs an international flight (X_{15} = T), has a boarding card to collect and a hold luggage to deliever. It is supposed that he has everything in order except a prohibited metal object under his clothes (X_{16} =T) in that case, this implies that $Z_7 = Z_9 = Z_{10} = Z_{11}$ = F. Also, X_{25} = T since no dangerous object is supposed to be in hold luggage.
The passenger control station is composed of two lines with inequal performance. The probability in both lines of performing aleatory control is taken equal to 0.10. The weights of the control variables are given in table 4.3 on a scale from 0 to 10.

Table 2 : Adopted difficulty levels for critical controls

Control variable	Y_5	$\overline{Y_5}$	Y_7	$\overline{Y_7}$	Y_8	$\overline{Y_8}$	Y_9	$\overline{Y_9}$
Line 1	∞	8	∞	7	∞	7	∞	1
Line 2	∞	9	∞	8	∞	6	∞	1

The weight of $\overline{Y_9}$ in both control lines is 1 as the result of the product of the probability of aleatory manual control (0.10) by the highest level of difficulty (10). In that case, the length of the shortest path is : 22+ 30 ε which means that 15 controls are passed with legitimate success while the difficulty of skirting the four critical controls is assessed to a scale of 22.

IV. Conclusion

In this study, a logical framework has been developed to establish the logical constraint each inspection station must satisfy to insure security in face of malicious behavior. Considering the nature of the resulting logical satisfiability problem, an approach based on a graphical representation of the control process has been adopted where the Controlled

Satisfiability Graph appears to be a powerful tool to analyze the vulnerability of a control scheme. This vulnerability is assessed here by considering minimum length paths pointing out the weakest sequences of control for each threat scenario. The proposed approach turns possible to detect the minimum number of elementary control defects that turn possible a control failure. It allows also to generate different scenarios of attack of the control system by a threat, to analyze the behavior of the system under these conditions and to evaluate their permeability with respect to different types of attacks.

It appears that the proposed approach is of interest not only to solve theoretical satisfiability problems but also for other applications such as failure diagnostics, reliability assessment and catastrophe scenarios generation, among many others.

7. REFERENCES

ICAO, Safety management manual (SMM), Doc 9859 AN/474, Third Edition, International Civil Aviation Organization. 2013.

ICAO, Simplifying passenger travel's ideal process flow (IPF). International Civil Aviation Organization Working Paper FALP/5-WP/6 (28/02/08). Available via http://www.icao.int/icao/en/atb/sgm/fal/falp/Docs/wp06_en.pdf, 2008.

GAO-Government Accountability Office, Aviation security: systematic planning needed to optimize the deployment of checked baggage screening systems," GAO-05-365, Washington, D.C., March 2005.

STEWART, J. M., Responsible policy analysis in aviation security with an evaluation of precheck., Journal of Air Transport Management 48 (2015) 13−22.

APPELT S., BATTA R., LIN L., DRURY C., Simulation of passenger check-in at a medium sized airport. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, pp.1252-1260.2007.

LEONE, K. and LIU, R. , The key design parameters of checked baggage security screening systems in airports, *Journal of Air Transport Management*, 11, 69–78.2005.

DE BARROS A. and D.D. TOMBER, Quantitative Analysis of Passenger and Baggage Security Screening at Airports, Journal of Advanced Transportation, Vol. 41, No. 2, pp. 171-193, 2007.

CHAWDHRY P.K., Risk modelling and simulation of airport Passenger departures process." In: M. D. Rossetti, R. R. Hill, et al. (eds.) Conference Proceedings of Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2009.

MAKKONEN J., L. A. MARSH, J. VIHONEN, A. JÄRVI, D. W. ARMITAGE, A. VISA, A. J. PEYTON, Improving reliability for classification of metallic objects using a WTMD portal, Measurement Science and Technology Vol. 26, N°10, pp. 1−11, 2015.

BROOKSHEAR, J. G., Theory of computation: formal languages, automata, and complexity. Redwood City, Calif.: Benjamin/Cummings Pub. Co. 1989.

BUNING, H.K.; KARPINSKI, M., FLOGEL A. , Resolution for Quantified Boolean Formulas. *Information and Computation*. Elsevier. **117** (1): 12–18.1995.

CLARKE, E., BIERE, A., RAIMI, R., ZHU, Y. , Bounded model checking using satisfiability solving. formal methods in system design. **19**: 7.2001.

LIMA P.M.V., MORVELI-ESPINOZA M.M., PEREIRA G.C. and FRANÇA, SATyrus : a SAT-based neuro-symbolic architecture for constraint processing, Proc. of HIS'05: 5th International Conference on Hybrid Intelligent Systems. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 2005. v. 1. p. 137-142.

RUSHDI A. M. A. and W. AHMAD, Finding all solutions of the Boolean satisfiability problem, if any via Boolean equation solving, JKAU, Eng.Sci., Vol.27, N°.1, pp:19-34, 2016.

HOOKER J., Logic-based methods for optimization: combining optimization and constraint satisfaction, John Wiley & sons, New York, 2000.

KOLLER D. and N. FRIEDMAN, Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2009.

BONDY J. A. and U.S. R. MURTY, *Graph Theory*. Springer.2008.

ROSEN K. H. , Discrete Mathematics and Its Applications, 5th Edition. Addison Wesley. 2003.

VISUALIZAÇÃO DE DADOS DE OTIMIZAÇÃO DE MEDIDAS ATFM

Giovanna Ono Koroishi
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo/SP, Brasil
Telefone: +55 11 3103-4600 ext. 1061, gkoroishi@atech.com.br, Fax: +55 11 3103-4601

Fábio Joás de Carvalho Oliveira
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo/SP, Brasil
Telefone: +55 11 3103-4600 ext. 1061, fcoliveira@atech.com.br, Fax: +55 11 3103-4601

José Airton Patricio
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo/SP, Brasil
Telefone: +55 11 3103-4600 ext. 1293, jpatricio@atech.com.br, Fax: +55 11 3103-4601

RESUMO

Sistemas de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo (ATFM, *Air Traffic Flow Management*) utilizam programas que ajustam a demanda de voos às capacidades dos elementos regulados. A natureza interconectada dos elementos regulados demanda uma abordagem abrangente para atingir seu uso ótimo. Uma visão de contexto do espaço aéreo permite que sejam tomadas as melhores decisões, com adoção das medidas ATFM mais eficientes disponíveis. Para tanto, foi desenvolvida uma interface web para aprimorar a compreensão do cenário ao propor uma representação temporal com informações das demandas instantâneas e médias de cada setor através de gráficos em radar, além da representação da ocupação dos aeródromos. É possível filtrar os elementos para análise e também editar o cenário alterando-se parâmetros para simulação.

Palavras-chave: Medidas ATFM, Visualização de dados, Otimização, Pesquisa operacional, Interface web.

1. INTRODUÇÃO

A organização *Airports Council International* em relatório publicado em 2016, apontou um crescimento global de 6,5% no tráfego de passageiros e 4% no transporte de carga em relação ao ano anterior, totalizando 7,7 bilhões de passageiros e 110,3 milhões de toneladas transportadas (*Airports Council International*, 2018). Estima-se que, entre o período de 2016 e 2040, haja uma taxa média anual de 4,5% de crescimento no transporte de passageiros no mundo. Esse aumento, segundo o estudo, será acompanhado por um crescimento anual de 2,5% no transporte de carga. No Brasil, a previsão é que até 2037 haja um crescimento de 84,6% nos aeroportos sistêmicos (aeroportos que atendem as capitais) e de aproximadamente 104% nos aeroportos regionais (Ministério dos Transportes, 2017).

O aumento da competição pelo uso do espaço aéreo, de capacidade limitada, leva a cenários com ainda mais saturação dos elementos regulados e fluxos mais complexos, nos quais a alteração de um único parâmetro em um voo pode impactar a demanda de vários elementos regulados do espaço aéreo. A análise de cenários desse tipo demanda o uso de ferramentas mais sofisticadas que permitam ao usuário uma noção do comportamento do problema enquanto um sistema e o apoiem para a definição de um planejamento adequado do tráfego.

O suporte ao planejamento do fluxo aéreo é parte do Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo (ATFM), que tem o objetivo de contribuir para a segurança, eficiência e sustentabilidade ambiental do tráfego aéreo levando em conta demandas e capacidades do espaço aéreo em fase pré-voo (ICAO, 2016).

Os elementos do espaço aéreo cujas capacidades são conhecidas são chamados de elementos regulados e podem ser, por exemplo, aeródromos, fixos e setores. Tais elementos podem sofrer conflitos (duas aeronaves desejando ocupar a mesma pista em um mesmo instante) e saturações (capacidade do elemento regulado excedida).

Para que a demanda seja adequada à capacidade dos elementos regulados, medidas ATFM são aplicadas aos voos. Essas medidas podem ser, por exemplo, atraso na decolagem, atraso em voo, rerroteamento e, entre outras, alteração de velocidade e são aplicadas após um processo de tomada de decisão colaborativa.

Enquanto suficiente para o estudo de demanda em um único elemento regulado, formatos de visualização como o da figura 1 dificultam a interpretação completa do problema estudado e das consequências sofridas como resultado da aplicação de alguma medida ATFM, impondo obstáculos ao planejamento eficiente do uso do espaço aéreo. Ressalta-se que, na figura 1, o gráfico exibe os dados de apenas um aeródromo, para visualizar dados de outro aeródromo, é necessário fazer outra consulta a outro gráfico.

A necessidade de se ter uma visão de contexto do espaço aéreo de modo que as decisões de gestão do tráfego aéreo tomadas signifiquem a adoção das medidas ATFM mais eficientes disponíveis foi o motivador deste trabalho.

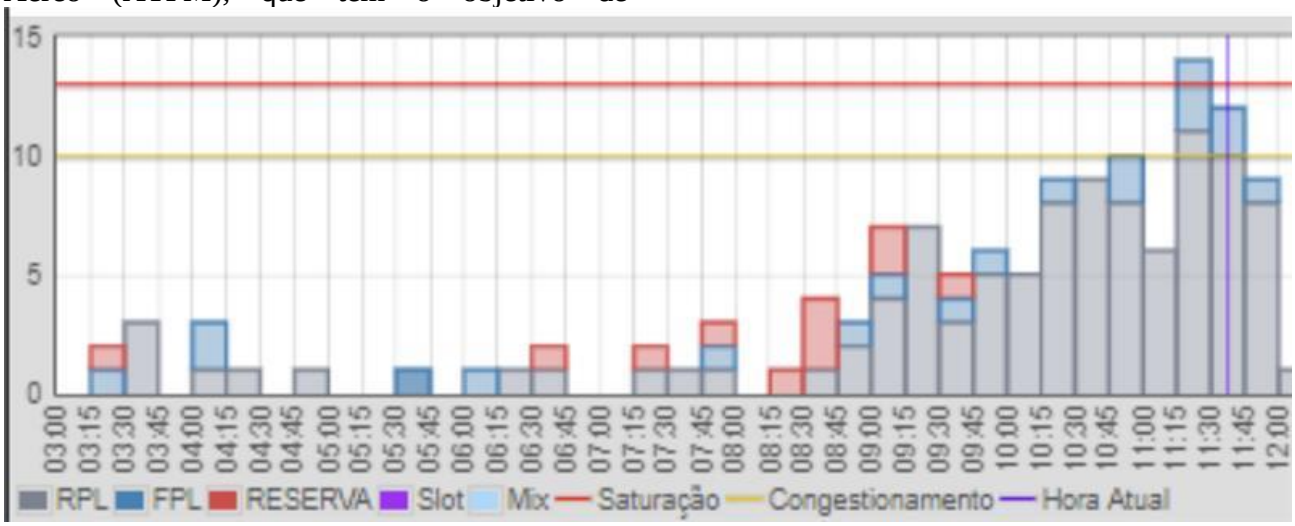


Figura 1: Visualização tradicional de ocupação de um aeródromo. Fonte: Portal CGNA (CGNA, 2019)

Em seu trabalho *"Visualization and Optimization"* (Jones, 1994), Christopher V. Jones afirma que a representação apropriada de um problema deve valorizar o processo de construção, validação e entendimento de modelos, algoritmos, dados e soluções e que ela deve ressaltar os elementos principais da solução, sendo tão importante quanto o algoritmo que resolve o problema. Além disso, afirma que pode ser necessário explorar de que maneira a solução ótima é afetada por alterações nos dados.

De fato, durante o desenvolvimento do projeto de otimização de medidas ATFM para múltiplos elementos regulados (Koroishi, G.O., Martins, T.C., Oliveira, F.J.C., 2018), que implementou uma solução de otimização global com restrições de capacidade de setores e aeródromos, a forma de visualização existente não deixava clara a natureza interconectada do problema e não viabilizava de forma prática a edição de parâmetros do problema nas soluções ótimas já existentes, o que trouxe dificuldades na interpretação e verificação dos resultados obtidos.

A necessidade de se gerar rapidamente mais dados simulados para verificar a implementação da solução de otimização, levou, portanto, ao desenvolvimento de uma interface gráfica que permitisse tanto a visualização temporal simultânea de vários elementos regulados quanto a edição de soluções ótimas. Dessa forma, a ferramenta de visualização proposta tem a vantagem de ser não somente uma ferramenta de visualização de dados, mas também uma forma rápida e intuitiva de se editar os cenários existentes e de se avaliar de que forma os resultados dessas edições contribuem na demanda de cada elemento regulado.

O uso da ferramenta como um método de entrada de dados e modelagem do problema permite que o usuário tenha uma melhor noção das consequências que algumas alterações no cenário analisado podem trazer ao contexto como um todo para que possa, então, embasar sua decisão.

Este trabalho apresenta uma solução proposta e implementada para visualização dos dados e dos resultados da ferramenta de otimização. O artigo apresenta a metodologia do trabalho no item 2, com o detalhamento do modelo, do solver e do servidor de otimização, para a apresentação da solução de visualização concebida. Os resultados obtidos são expostos no item 3 e no item 4 são discutidas as conclusões e trabalhos futuros

2. METODOLOGIA

A solução de otimização de medidas ATFM foi implementada com uma perspectiva orientada à modularização entre servidor web, modelo do problema e solver. Com foco em manter a proposta de um servidor de otimizações genérico, o processamento para visualização dos dados de resposta do serviço de otimização é implementado no módulo de visualização e sua construção depende do modelo empregado. Essa abordagem visa facilitar o reuso de componentes problemas de domínios diferentes do originalmente aplicado. Assim, cada módulo do sistema completo pôde ser implementado na linguagem mais apropriada para seu objetivo.

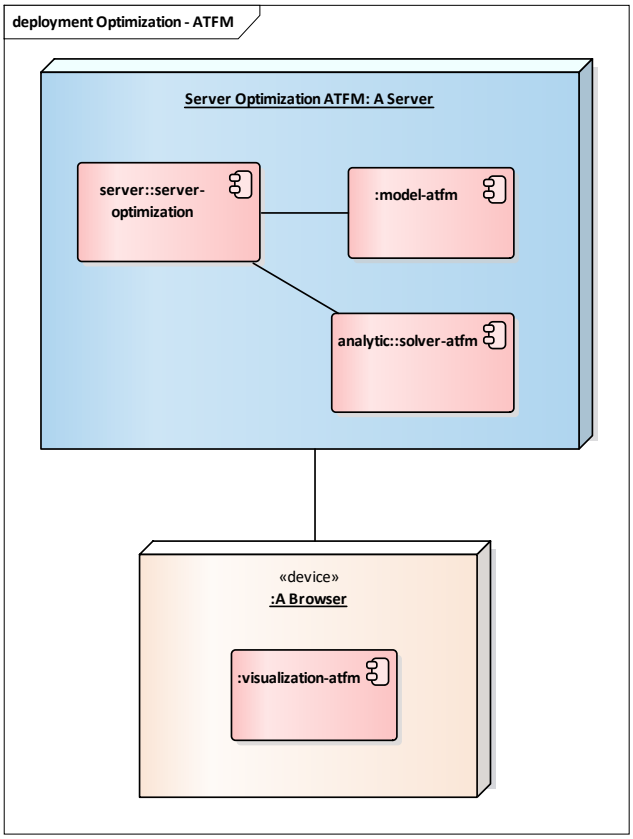


Figura 2 – Diagrama dos componentes da solução de otimização ATFM

2.1. Modelo

Para a solução do problema de otimização de medidas ATFM, foi adotado um modelo de programação linear inteira. O modelo busca minimizar os atrasos aplicados nos voos e privilegia atrasos em solo a atrasos em ar. São restrições do problema as capacidades de aeródromos e de setores de controle, máximos atrasos por voo e a existência de voos isentos (não podem sofrer atrasos) (Koroishi, G.O., Martins, T.C., Oliveira, F.J.C., 2018).

É responsabilidade da implementação do modelo a validação dos dados de entrada e as transcrições dos dados de entrada do servidor para o formato LP (*Linear Programming*) (IBM, 2018) e da saída do solver para o formato de resposta do servidor. O módulo implementado para a solução de otimização de medidas ATFM adotou linguagem Java e se comunica com o servidor através de *web-services*.

2.2. Solver

O módulo de solução do problema, implementado em C++, emprega o método *Branch and Cut* implementado pela biblioteca Cbc (*Coin-or Branch and cut*), que faz parte da suíte de pesquisa operacional COIN-OR (*Computational Infrastructure for Operations Research*) (Forrest, Lougee-Heimer, 2005).

2.3. Servidor

O servidor implementado em Java é uma solução agnóstica com capacidades de processamento assíncrono, acompanhamento e cancelamento das tarefas solicitadas. A comunicação é feita por meio de serviços REST (*Representational State Transfer*) (Fielding, 2000), sendo a descrição do problema feita por JSON (*JavaScript Object Notation*) (Json, 2019).

Os *endpoints* disponíveis no servidor permitem as seguintes operações: otimização a partir de um modelo descrito em JSON, construção de um modelo LP a partir de um modelo descrito em JSON e solução direta de um arquivo LP.

2.4. Solução de visualização ATFM

A visualização e a edição dos cenários ATFM se dá por meio de uma aplicação web implementada nas linguagens JavaScript, HTML5 e CSS3, que são recursos suportados pelos navegadores web modernos mais utilizados (W3Schools, 2019a), (W3Schools, 2019b), (W3Schools, 2019c). Para auxiliar na geração dos gráficos, foi utilizada a biblioteca Highcharts (Highsoft, 2019). Essa ferramenta foi desenvolvida em JavaScript e possibilita a geração de gráficos de diversos tipos, tais como gráficos em barras, pizza ou radar. Esses itens podem ser customizados de acordo com a necessidade da aplicação para melhor representar o tipo de dado que se deseja. Dentre as personalizações possíveis, estão propriedades como cores utilizadas, nomes dos eixos, zoom e granularidade dos dados.

A aplicação de visualização se conecta ao servidor de otimização para consumir os dados a serem processados e mostrados na interface gráfica. Os dados fornecidos pelo servidor à aplicação devem conter as informações a respeito do cenário analisado. Espera-se que sejam fornecidos, para cada caso estudado, dados dos aeródromos, dos setores e dos voos.

Para cada aeródromo, é necessário ter um nome, uma descrição e os intervalos de separação no tempo, entre duas aterrissagens, duas decolagens e aterrisagem-decolagem.

Para cada voo, são necessários: indicativo do voo (ex.: TAM1234); atraso máximo em solo; atraso máximo em voo; instante de decolagem; instante estimado de chegada; aeroporto de partida; aeroporto de chegada; custo de atraso em solo; custo de atraso em voo; setores envolvidos na trajetória do voo.

Para cada setor de um voo é necessário ter seu nome e os instantes de entrada e de saída naquele setor, além de sua capacidade declarada enquanto a aeronave estiver nele.

Como fonte de dados para a simulação de cenários de conflito e consequente validação da visualização proposta foram utilizados dados de RPL (*Repetitive Flight Plans*) publicados no portal do CGNA (Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea) (CGNA, 2018). Os dados utilizados são abertos e correspondem a voos que decolam de aeródromos brasileiros. Esses voos foram processados juntamente com dados do espaço aéreo publicados pelo AisWeb (DECEA, 2018) no formato AIXM (Eurocontrol, 2018). O servidor de otimização então gerou sugestões de medidas ATFM a serem adotadas para sanar os conflitos e saturações presentes.

A representação, na interface de visualização, dos dados de entrada e de saída do servidor permitiu uma análise comparativa entre as demandas originais e as demandas após a aplicação das medidas sugeridas. Porém, observou-se a necessidade de simulação de mais cenários tanto para validação da solução proposta pelo otimizador quanto para a análise de medidas de otimização alternativas às propostas pelo servidor. A solução encontrada foi a criação de novos cenários a partir daqueles já existentes. Diante disso, foi implementado na interface de visualização o recurso de edição de parâmetros desses cenários já carregados, permitindo então que sejam realizadas novas solicitações de otimização.

A edição de um cenário pode ser feita através da edição dos custos dos atrasos dos voos, dos horários estimados de calços fora (EOBT, *Estimated Off-Block Time*), dos máximos atrasos aceitos ou das capacidades máximas dos setores regulados.

3. RESULTADOS

Obtivemos como resultado a integração entre as soluções de otimização de medidas ATFM e de visualização e edição dos cenários estudados.

A ferramenta de visualização e edição de cenários é de fácil portabilidade, executada em um navegador web, e tem integração com o servidor de otimização via chamadas REST, permitindo uma visualização atualizada dos cenários otimizados disponíveis e também a solicitação de soluções de novos cenários a partir da edição das sugestões de medidas ATFM oferecidas pelo servidor. O funcionamento da visualização é independente de acesso à internet, sendo necessário apenas a comunicação com o servidor de otimizações, que também não depende de conexão externa.

Trata-se de uma visualização flexível quanto ao cenário representado: as configurações do cenário analisado são

carregadas em tempo de execução, no momento em que a visualização é solicitada, de maneira independente de configurações prévias da aplicação e permitem visualizar e editar, em uma mesma aplicação, dados de otimização ATFM de diferentes regiões, intervalos e quantidades de voo, sendo necessário apenas que os dados consumidos estejam formatados em uma mesma estrutura JSON.



Figura 3: Interface implementada para visualização e análise dos cenários

A figura 3 mostra a interface de visualização desenvolvida. Os detalhes de cada componente são aprofundados a seguir na figura 4. A interface é composta por três partes. A primeira é o gráfico de voos com os horários de partida, permanência em setores e chegada de cada voo, tanto para o cenário original quanto para o otimizado. A segunda parte consiste no gráfico de ocupação de aeródromo, que dado o aeródromo selecionado, apresenta os pousos e decolagens no decorrer do período, sendo possível observar conflitos decorrentes desses movimentos. Por fim, há o gráfico de ocupação de setores, que são três gráficos em radar, para três instantes de tempo, que indicam qual a ocupação dos setores selecionados nesses instantes, bem como suas capacidades e picos de demanda.

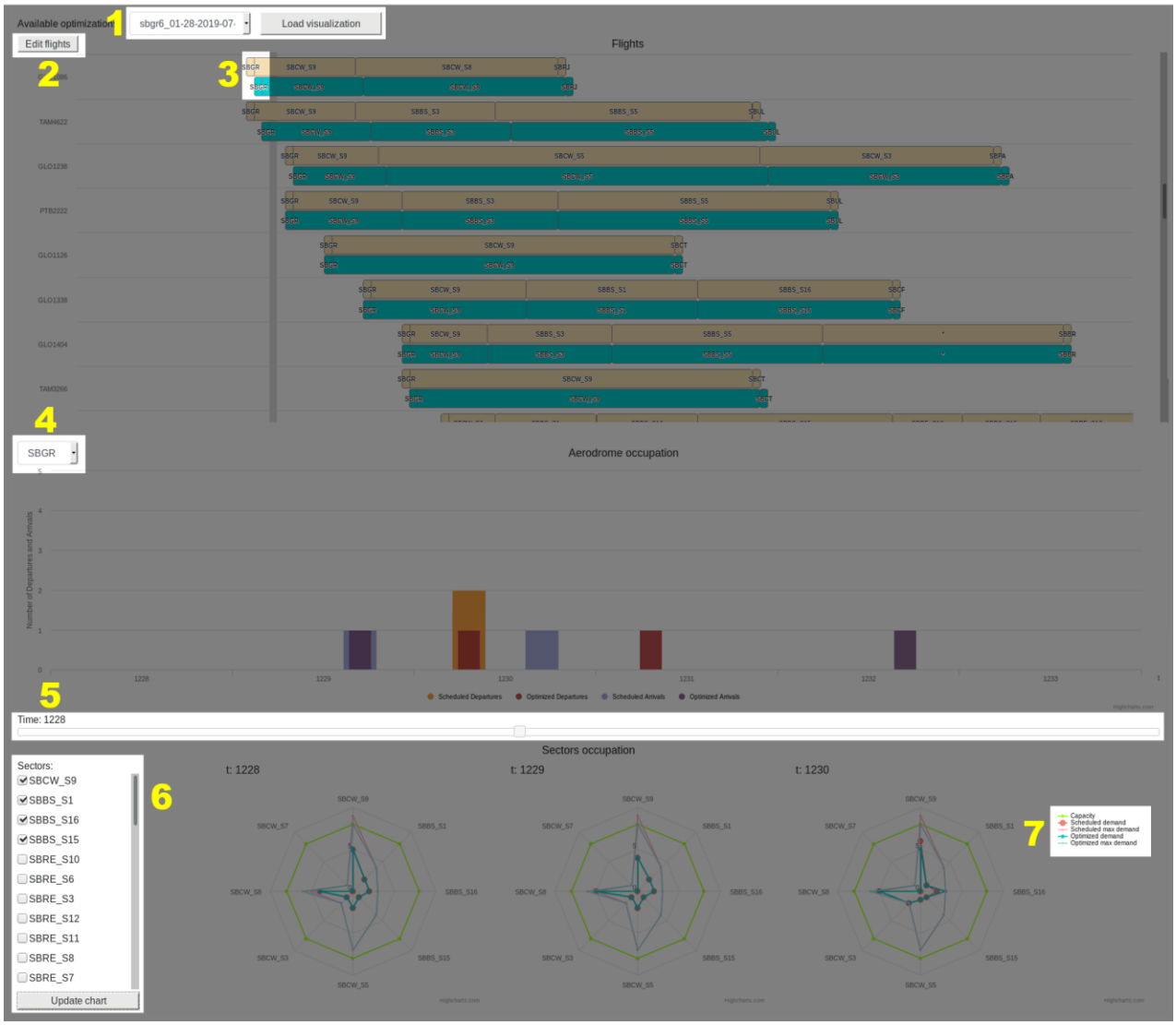


Figura 4: Detalhes da interface implementada

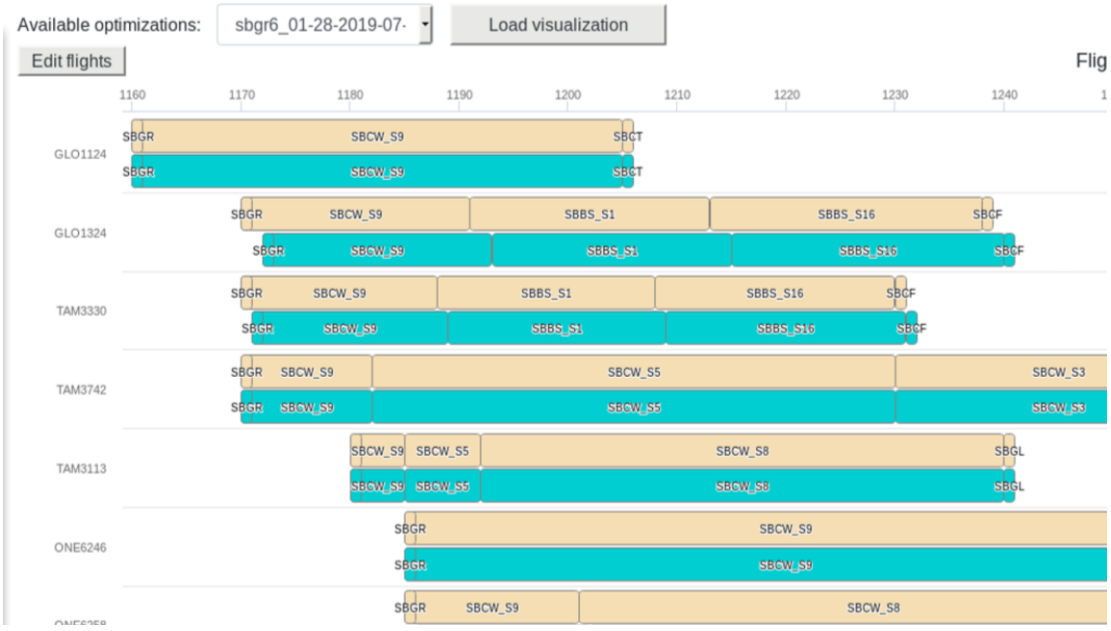


Figura 5: Gráfico dos voos alocados no cenário estudado

Na figura 4 são destacadas as seguintes funcionalidades:

1. Seleção do cenário a ser visualizado
2. Iniciar modo de edição dos voos
3. Instantes de saída originais (bege) e sugerido pela otimização (verde)
4. Seleção do aeroporto de interesse para visualização de demandas
5. Controle do instante de tempo representado nos gráficos de aeródromos e setor
6. Seleção dos setores para compor visualização em radar
7. Filtro de informações visíveis nos gráficos dos setores.

A figura 5 exemplifica o gráfico dos voos alocados.

No cenário representado na figura 5, havia conflito inicial entre os voos TAM3330, GLO1324 e TAM3742. Todos os três com saída de Guarulhos no instante 1170. No cenário otimizado sugerido, o voo TAM3742 permanece inalterado, enquanto os voos TAM3330 e GLO1324 são atrasados em um e dois minutos, respectivamente.

A figura 6 exibe o gráfico de ocupação de aeródromo. A localidade selecionada é SBGR e a separação entre cada movimento deve ser de 1 minuto. No cenário original há conflito no instante 1230, que é resolvido com aplicação de atraso em solo de um minuto para duas aeronaves.

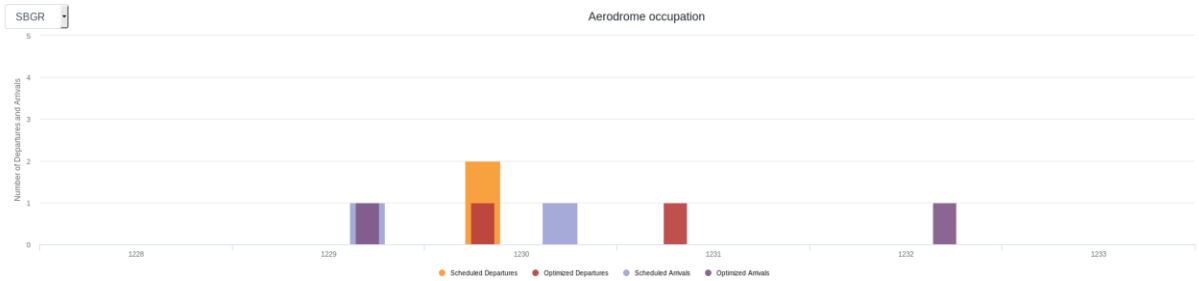


Figura 6: Gráfico de ocupação de aeródromo

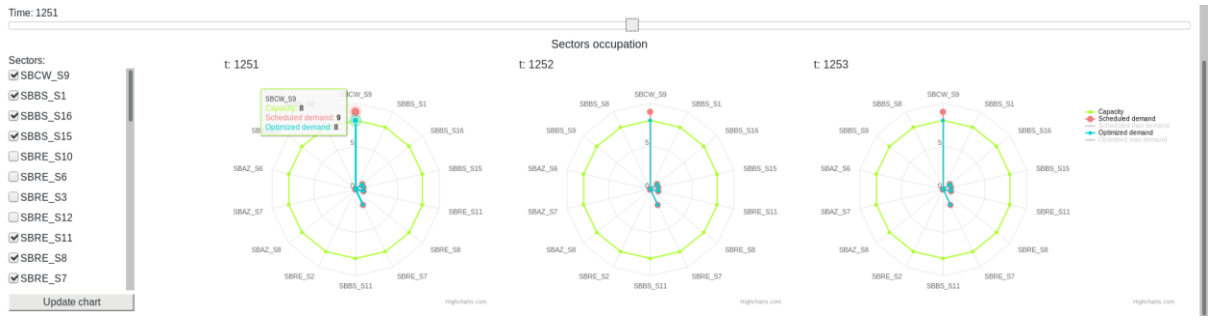


Figura 7: Gráfico de ocupação dos setores

A figura 7 apresenta a ocupação dos setores. É possível selecionar quais os setores serão incluídos nos gráficos e também quais séries ficam visíveis: capacidade, ocupação antes e depois da otimização, máxima ocupação antes e depois da otimização.

A edição de cenários para geração de novos outros é realizada na mesma aplicação de visualização e mantém uma correspondência com a mesma. A figura 8 ilustra uma operação de edição:

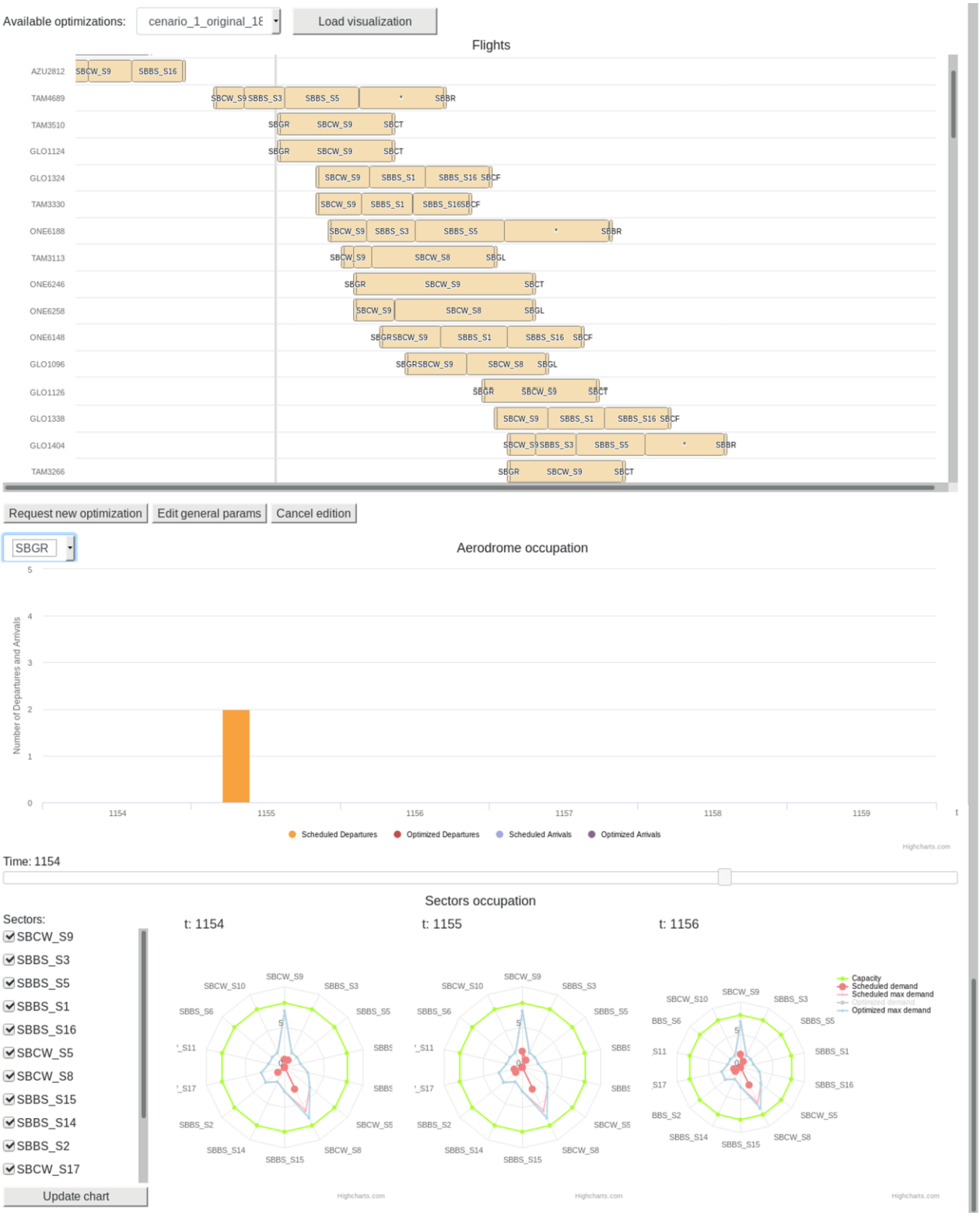


Figura 8: Modo de edição de cenários

No lugar do gráfico comparativo dos voos antes e depois da otimização, há um gráfico de barras com os voos originais que estão sendo editados.

A edição de cenários existentes pode ocorrer, para cada voo, segundo os parâmetros de atraso máximo em solo, atraso máximo em ar, custo de atraso em solo e custo de atraso em voo. É possível também antecipar ou atrasar o horário de partida de cada voo arrastando-se a barra que o representa no gráfico.

É possível personalizar as prioridades de cada voo, descritas na forma de custos de atraso em solo ou em voo e atraso máximo aplicável. Os voos podem ser definidos como isentos (atraso máximo zero) ou com valores que

reflitam políticas acordadas com as companhias aéreas ou limitações de autonomia da aeronave. Os parâmetros de custos de atraso e de atrasos máximos aplicáveis não são utilizados diretamente na visualização, mas são necessários na construção do cenário que será enviado ao servidor para otimização. Essas edições são mostradas nas figuras a seguir:

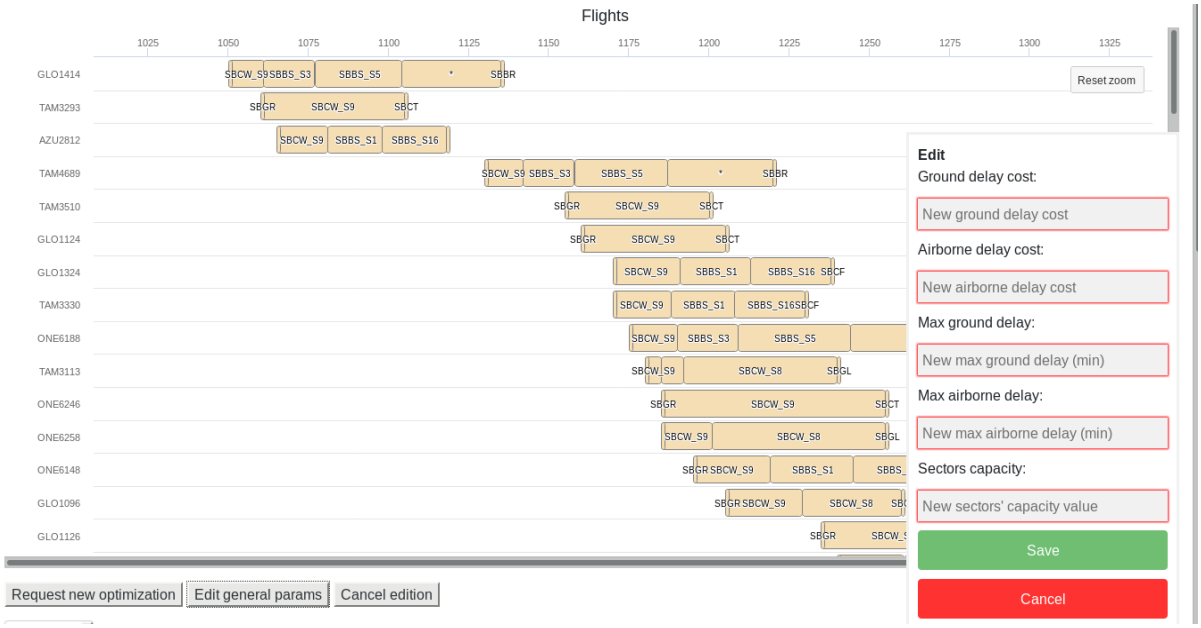


Figura 9: Edição de parâmetros do cenário

Apesar de os exemplos representados neste artigo utilizarem os parâmetros temporais em minutos, não é necessário que essa escala seja mantida. O único requisito é que as escalas sejam coerentes entre si para possibilitar uma representação gráfica e uma otimização corretas. Os parâmetros que definem instantes de entrada e saída de setores, horários de decolagem e aterrissagem, atrasos máximos em solo e em voo devem estar, portanto, todos na mesma escala.

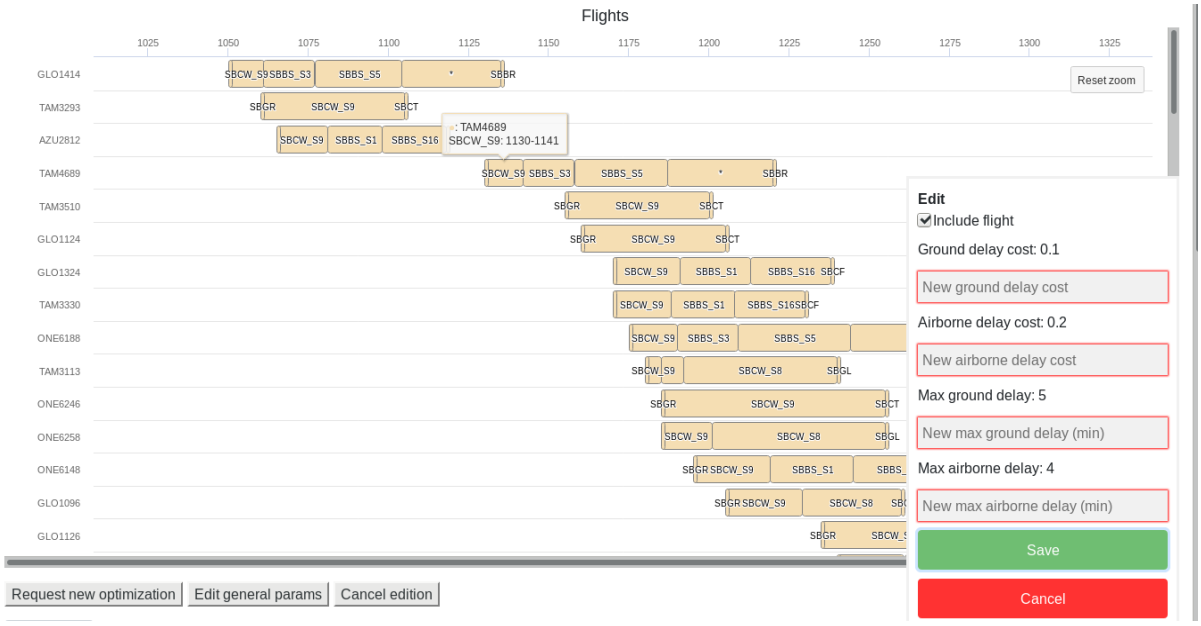


Figura 10: Edição de parâmetros de um voo

4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A otimização com restrições de mais de um elemento regulado criou a oportunidade de construir uma nova forma de apresentação de dados de otimização ATFM, dado que as ferramentas de visualização existentes anteriormente focam em apenas um elemento regulado por vez.

A ferramenta de visualização de dados de otimização de medidas ATFM proposta por este trabalho facilita a validação e simulação de diferentes cenários complexos em que as capacidades de vários elementos regulados são consideradas. A natureza interconectada desses leva a dificuldades de análise dos resultados obtidos por programas de otimização. Dessa forma, foi proposta uma visualização que não oculta tal característica do problema estudado.

A ferramenta desenvolvida possibilita uma análise contextual dos cenários estudados, através da integração de mais de um gráfico na mesma visualização e a possibilidade de interação do usuário com a escolha de filtros e dados.

A capacidade de edição desses cenários por meio de ferramentas que contem com uma visualização de contexto viabiliza uma rápida validação de diferentes sugestões de medidas ATFM, indo ao encontro das necessidades emergentes de um espaço aéreo cada vez mais complexo e competitivo. A interface gráfica produzida atingiu o objetivo inicial desejado, que era apoiar a verificação do conjunto de medidas ATFM gerado pelo otimizador.

Versões futuras da ferramenta poderiam contar com opções de edição como alterar voos que atendam a um critério de seleção (por exemplo, voos de determinada companhia aérea ou relacionados a determinado aeroporto) ou incluir novos voos ao cenário. Essas novas funcionalidades significariam um aumento na capacidade de simulação de casos da ferramenta.

5. REFERÊNCIAS

AIRPORTS COUNCIL INTERNATIONAL. Airport Statistics Infographics. (2018). Disponível em http://www.aci.aero/Data-Centre/Airport-Statistics-Infographics Acesso em 10 ago 2018

CGNA. Portal Operacional ATFM - CGNA. 2018. Disponível em: http://portal.cgna.gov.br/ . Acesso em: 11 mar. 2018

CGNA. Portal Operacional ATFM –Briefing diário ATFM. 2019. Disponível em: http://portal.cgna.gov.br/files/abas/2019-03-07/painel_brifim_diario_atfm/1239-painel_brifim_diario_atfm.pdf. Acesso em: 07 mar. 2019

DECEA. AISWEB - Informações Aeronáuticas do Brasil. 2018. Disponível em: https://www.aisweb.aer.mil.br/. Acesso em: 23 ago. 2018.

EUROCONTROL. Aeronautical Information Exchange Model. Disponível em: http://aixm.aero/. Acesso em: 23 ago. 2018.

FIELDING, R. T. Architectural styles and the design of network-basedsoftware architectures (The Representational State Transfer (REST)) Ph.D. dissertation, pp 76-85, Dept. Inf. Comput. Sci. Univ. California,Irvine, 2000. [Online]. Available: http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm.

FORREST, J.; LOUGEE-HEIMER, R. CBC User Guide. In: Emerging Theory, Methods, and Applications. [s.n.], 2005. p. 257–277. ISBN 1877640212. Disponível em: http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/educ.1053.0020.

HIGHSOFT. Interactive JavaScript charts for your web page - Highcharts. 2019. Disponível em: https://www.highcharts.com/. Acesso em: 29 jan. 2019.

IBM. IBM Knowledge Center - LP file format: algebraic representation. Disponível em: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSSA5P_12.5.0/ilog.odms.cplex.help/CPLEX/FileFormats/topics/LP.html. Acesso em: 9 ago. 2018.

ICAO. Doc 4444, Procedures for Air Navigation Service Air Traffic Management. 16th editi. ed. [S.l.], 2016.

JONES, Christopher V. Visualization and optimization. Journal of the Operational Research Society, v. 48, n. 9, p. 964-964, 1997.

JSON. JSON. 2019. Disponível em: https://www.json.org/. Acesso em: 8 mar. 2019.

KOROISHI,G.O., MARTINS, T.C., OLIVEIRA, F.J.C.. Otimização Global de Medidas ATFM em Cenários de Larga Escala. Em: SITRAER Simpósio de Transporte Aéreo, 2018, São Paulo. XVII SITRAER, 2018.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Projeções de demanda para os aeroportos brasileiros 2017-2037. 2017. Disponível em https://issuu.com/ministeriodostransportes/docs/relat__rio_-_proje____es_2017_2037_ Acesso em 10 ago 2018.

W3SCHOOLS. JavaScript Versions. 2019a. Disponível em: https://www.w3schools.com/js/js_versions.asp. Acesso em: 07 mar. 2019.

W3SCHOOLS. HTML5 Browser Support. 2019b. Disponível em: https://www.w3schools.com/html/html5_browsers.asp. Acesso em: 07 mar. 2019.

W3SCHOOLS. CSS Reference Browser Support. 2019c. Disponível em: https://www.w3schools.com/cssref/css3_browsersupport.asp. Acesso em: 07 mar. 2019.

DRONES AND RPAS' OPERATIONS' MANAGEMENT THROUGH A COLLABORATIVE PLATFORM

Beatriz da Mota Bonanno
Atech Negócios em Tecnologias S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo/SP, Brasil
Phone: +55 11 3103-4600 ext. 1261, bbonanno@atech.com.br

Vivian Chiodo Dias
Atech Negócios em Tecnologias S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo/SP, Brasil
Phone: +55 11 3103-4600 ext. 1261, vdias@atech.com.br

José Airton Patrício
Atech Negócios em Tecnologias S/A
Rua do Rócio 313, 2º andar, São Paulo/SP, Brasil
Phone: +55 11 3103-4600 ext. 1293, jpatricio@atech.com.br

Wilson Roberto Freire Rosa
Atech Negócios em Tecnologias S/A
Rua do Rócio 313, 2º andar, São Paulo/SP, Brasil
Phone: +55 11 3103-4600 ext. 1293, wrosa@atech.com.br

ABSTRACT

With the growing demand for access of the airspace by drones, RPAs and VANTs, operators have been risking the airspace safety and, according to the company DeDrone, negligent operators caused in 2018 126 incidents around the globe. In Brazil, in November 2017, one of the busiest airports of the country had to stop its operations for a couple of hours due to a sighting of a drone, causing a loss of nearly one million reais, besides inconveniences for the passengers on board. Due to these events, a worldwide awareness and discussion for implementing a new way of traffic management has been increasing. In this article, we propose and show a solution for a collaborative platform for managing drone's activities and intention of operators.

Keywords: UTM, LAANC, Drones, Collaborative Platform, RPAS.

RESUMO

Com a crescente demanda da entrada de drones, RPAs e VANTs no espaço aéreo, operadores vem colocando a segurança do espaço aéreo em risco. Segundo a empresa DeDrone, operadores negligentes causaram 126 incidentes em 2018 no mundo todo. No Brasil, em novembro de 2017, um dos aeroportos mais movimentados do país foi forçado a parar suas operações durante algumas horas devido a um avistamento de drone, causando um prejuízo de quase um milhão de reais, além de inconvenientes para os passageiros. Devido esses eventos, um movimento mundial começou para que uma consciência situacional maior seja implementada nos sistemas de controle de tráfego aéreo. Neste artigo, uma plataforma colaborativa capaz de aumentar esta consciência e trazer diversos benefícios aos usuários do espaço aéreo é apresentada.

Palavras-chaves: UTM, LAANC, Drones, Plataforma Colaborativa, RPAS.

1. INTRODUCTION

A collaborative platform is defined by the interaction between devices, people and systems to achieve a common goal. It consists on a solution of connectivity among the three parts mentioned above, as it promotes autonomous and collaborative actions from these agents in an essentially distributed ecosystem. The solution for situational awareness and monitoring of RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) presented here had been developed by the area Atech LABS from Atech S/A. The referenced platform consists in trusting that RPA pilots will plan their flights before they take place and, when their request is approved, they will comply with the flight information given to the airspace monitoring entities. RPAS' are putting at stake the safety of airspace. In 2018, 126 incidents drone-related were reported, worldwide, by the company Dedrone.

The presence of a drone in the approaching zone of Congonhas' airport cause a loss of one million reais, and an extreme waterfall of inconveniences for passengers traveling in the Brazilian airspace for a couple of hours on that November day. After the latter incident on November 2017, the same airport had to put on hold its activities twice, one on December 2018 and another on January 2019. Airports all around Brazil has had problems with RPAs, such as Salgado Filho in Porto Alegre, Santa Genoveva in Goiânia and Confins in Belo Horizonte. Brazilian airports haven't been the only one suffering with drone sightings, Gatwick airport had to withdrawal all of its activities for nearly three days, resulting in almost a thousand flight cancellations, affecting almost one hundred and forty thousand passengers worldwide, according to The Guardian (2018).

Governments all around the world have been searching for ways to achieve situational awareness of RPAS. In the year of 2016, FAA (Federal Aviation Administration) published Part 107 regulating RPAs in The United States, demanding a pre-approval for a drone operation done by an agency responsible for ATC (Air Traffic Control), allowing the pilot to access the American airspace. However, with Part 107 published, an increase of requests of drone operations sent to FAA has overwhelmed the agency and delayed their response time to those, so FAA created LAANC (Low Altitude and Authorization Notification Capability) in May of 2017.

Publishing LAANC has opened the doors for companies that want to be USSs (UAS (Unmanned Aircraft Systems) Service Supplier) and provide services to FAA. A USS company is responsible for creating and maintaining a system that will be responsible for managing RPAs operation requests as well as its flights, alongside with publishing such information to a NAS (National Airspace System), guaranteeing a safe operation to manned and unmanned aircraft.

The collaboration among the USS companies and the agencies responsible for ATC has been designed with the LAANC documentation. It determines that the company will be responsible for authorizing, but with exceptions detailed in Part 107, operations of RPA to achieve a situational awareness. With the creation of Part 107, the increase in the number of requests to FAA has showed an upturn of operators that are trying to comply with the airspace usage law.

LAANC aims automation for operations authorizations that, before, were done manually by FAA, that suggested a ninety-day-period for giving feedback to a request that was analyzed in a non-scalable way, causing delays in responses. The USS will stay in between the RPAs operators and ATC systems, and will be responsible for receiving the requests of the area it is under its attendance. LAANC lists four Concepts of Operations: *Notifications* (The USS must notify ATC about every operation or planning so the situational awareness is maintained); *Authorizations* (The USS is responsible for giving a feedback to the RPA operator about their request); *UASFMs* (These are maps that FAA will provide with information of areas that are allowed automatic approval and areas that need revision); *Further Coordination* (If a flight cannot be automatically approved due to request in forbidden area, the USS is responsible for sending the flight information to FAA and, once the FAA gives a feedback, the company is responsible for forwarding such to the operator).

The Atech LABS of Atech has used the principles of LAANC to develop its collaborative platform involving an application for operators, a monitoring system for USS and a system for NAS, assuring a complete platform for UATM.

In this article the development of the collaborative platform, divided into two parts of understanding, will be completely dissected. Next, the platform developed will be show alongside comments, conclusions and future work.

2. THE DEVELOPMENT OF THE COLLABORATIVE PLATFORM AND ITS REQUIREMENTS

The collaborative platform was developed based on the functionalities demanded on LAANC and obeying the rules the USS has to comply with the needs of UAS and NAS. To achieve the latter, the team developed a mobile application so the operators can sign up, register their drones and submit requests to enter the airspace for approval; a workstation that simulates the basic functionalities of a USS; and a workstation that simulates the basic functionalities of an ATC system.

The development occurred in two different parts: in the first the basic flow for submission, automatic approval, manually approval, feedback and monitoring of an operation; was developed. In the second part, important features to ensure the safety of the operations, as well as of those sharing the same airspace, were developed. A collision avoidance was developed on both steps of the operation: planning and execution.

The concept of Building Blocks presented in Souza et al, 2016 was applied throughout the entirety of the development process. The use of Building Blocks made the reuse of the code possible, cutting down the time of development of this platform. The reuse of existing projects and the use of fast prototyping tools assured the fast development of a prototype of this platform, anticipating its validation and tests (DIAS; BONANNO, 2018).

2.1. PART 1

During the first phase the applications to be developed were defined to perform the basic flow of submitting a request for an operation and its monitoring. The first step was to develop and also reuse different components for the servers of the application. Each server used has a specific task, making it easy and modular to fit in different systems. One of the most important reuse of this platform was a server that publishes AIXM (Aeronautical Information Exchange Model) information. This server was extensively dissected and explored in KOROISHI et al, 2017; and BONANNO et al, 2018. This server was reused to publish UASFM's information in the AIXM format, so GRID of altitudes were inserted and such server and all applications that consume and produce AIXM information now have access to this data. In a 3-mile-radius of the approximation zone of airports registered in the server, the UASFM restricts any type of automatic approval of operations. The further the GRID gets of the airports' approximation zone; the higher the automatic approval altitudes get until it finally reaches an airspace without as many restrictions. Another important server reused was one responsible for the publication and management of tracks in the data bus. This data bus ensures that both workstations will have access to the same information, maintaining data governance.

Besides the reuse of important structural servers, due to the specific application of such domain, the team developed two servers to maintain information of the USS workstation and the ATC workstation. Even though two servers were developed, they both retrieve and publish information to the same database, maintaining the compatibility of information. This database stores information about the pilots, drones and its respective flight plans.

The USS server developed was in charge of, besides maintaining information of the three entities mentioned above, verifying if a new request is compliant to the airspace rules provided by the AIXM server. The ATC server is responsible for, in case of a denied automatic approval, allowing the user of the ATC workstation to review the operation and,

afterwards, submit a feedback to the USS which will forward to the operator.

With the servers ready to be used, an HMI (Human Machine Interface) for each workstation was developed again based on reusing plugins for the interface but not limited to them. The USS workstation is equipped with a WorldWind (developed by NASA) basis for geographical visualization and plugins for tracks, visualization of airspaces published by the AIXM server, plugin for submitted plans e visualization of pilot's information. The latter two were developed for this platform.

The HMI for the ATC workstation also counts with a WorldWind basis and also has the same plugins as the USS plus one that was developed essentially for allowing the users of this workstation to visualize and update the status of a submitted operation that was not automatically approved.

The mobile application that was developed for the operator of the RPA was named SAVANT (Sistema Atech para Veículos Aéreos não Tripulados). This application enables the operator to sign up, register their drones and submit operations as well as execute them once they have been approved. The execution of the operation is the scenario where the server of tracks receives the geolocated information of the drone and populates both workstations, allowing a full situational awareness of a determined area.

The submission flow can be seen in Figure 1:

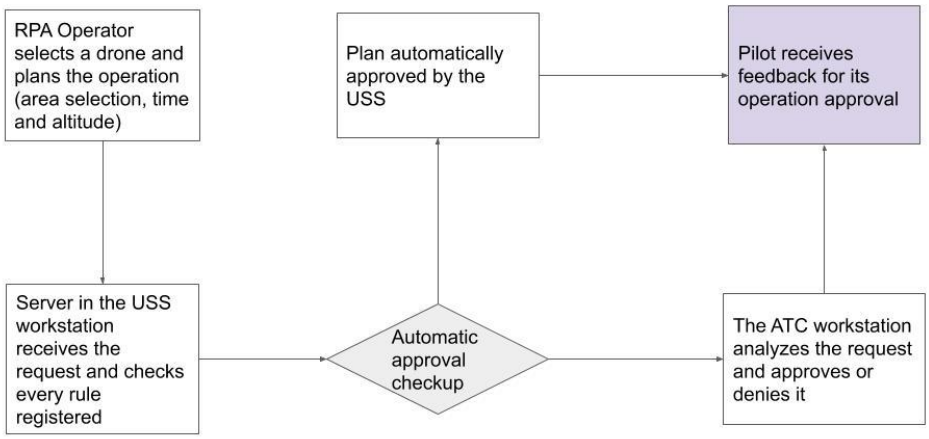


Figure 1: Submission flow of flight plan.

The flow for sharing operational location can be encountered on Figure 2. There is on Figure 3 the flow of the mobile application.

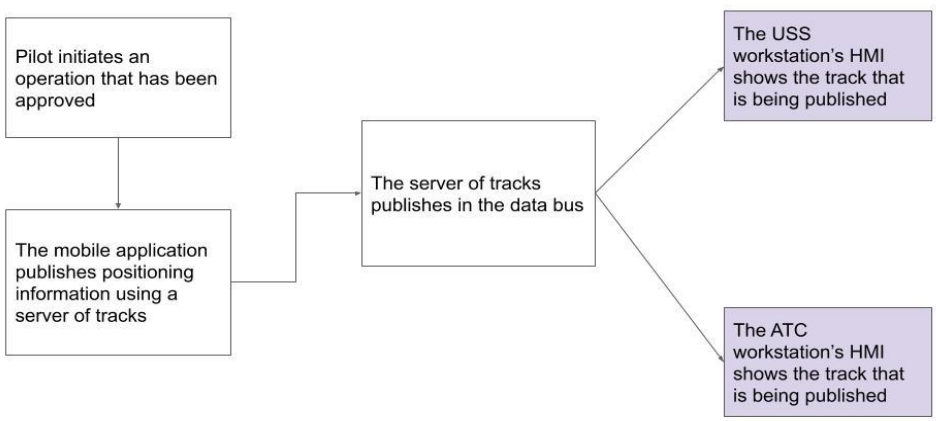


Figure 2: Startup and sharing flow of flight information.

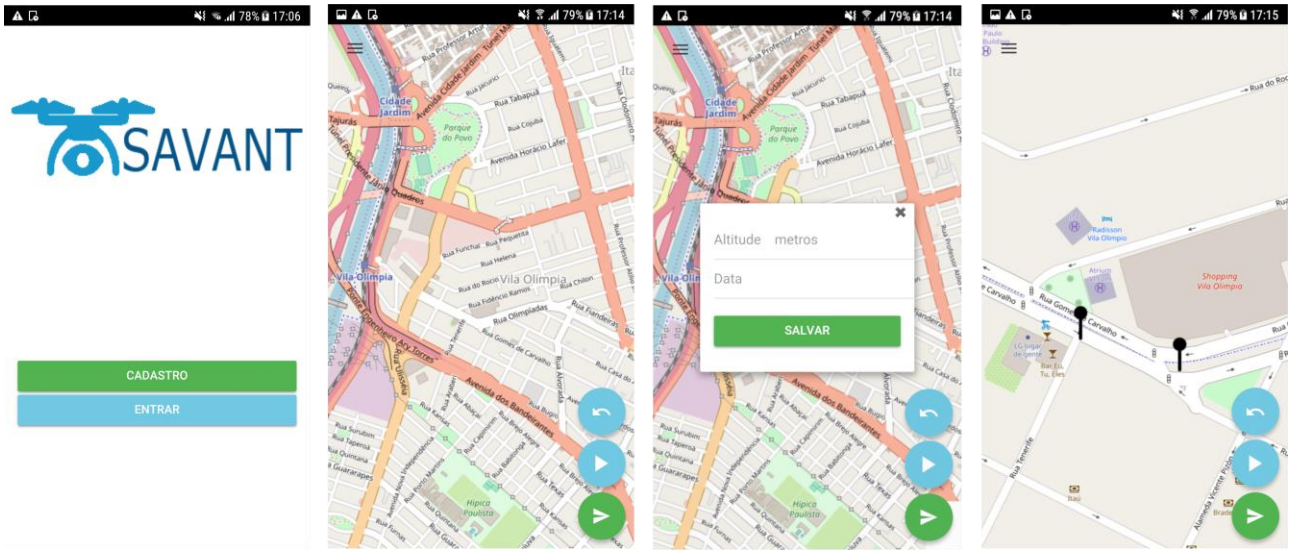


Figure 3: Mobile application images.

On Figures 4, 5 and 6 we have the architecture of the USS workstation, of the ATC workstation and of the mobile application, respectively.

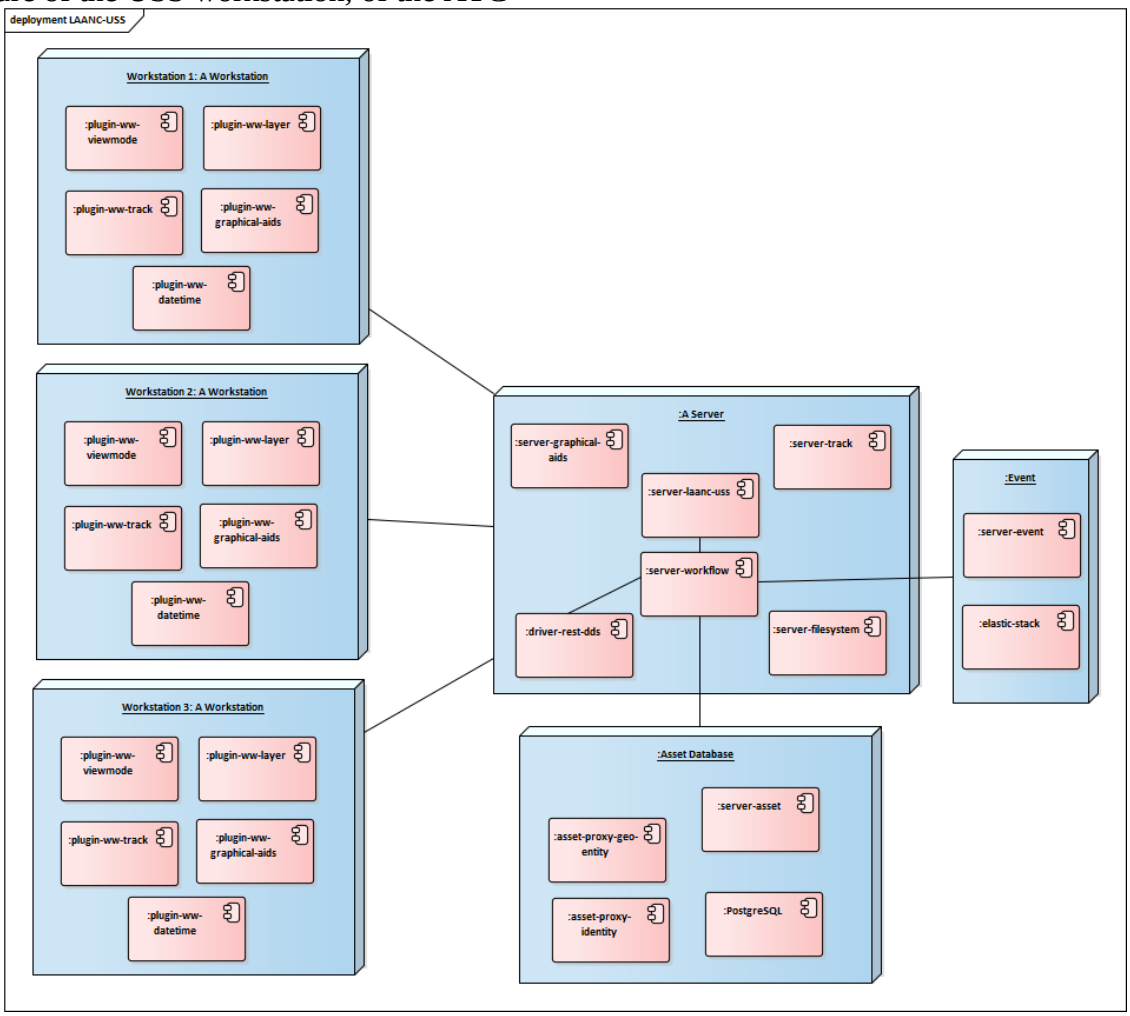


Figure 4: USS platform architecture.

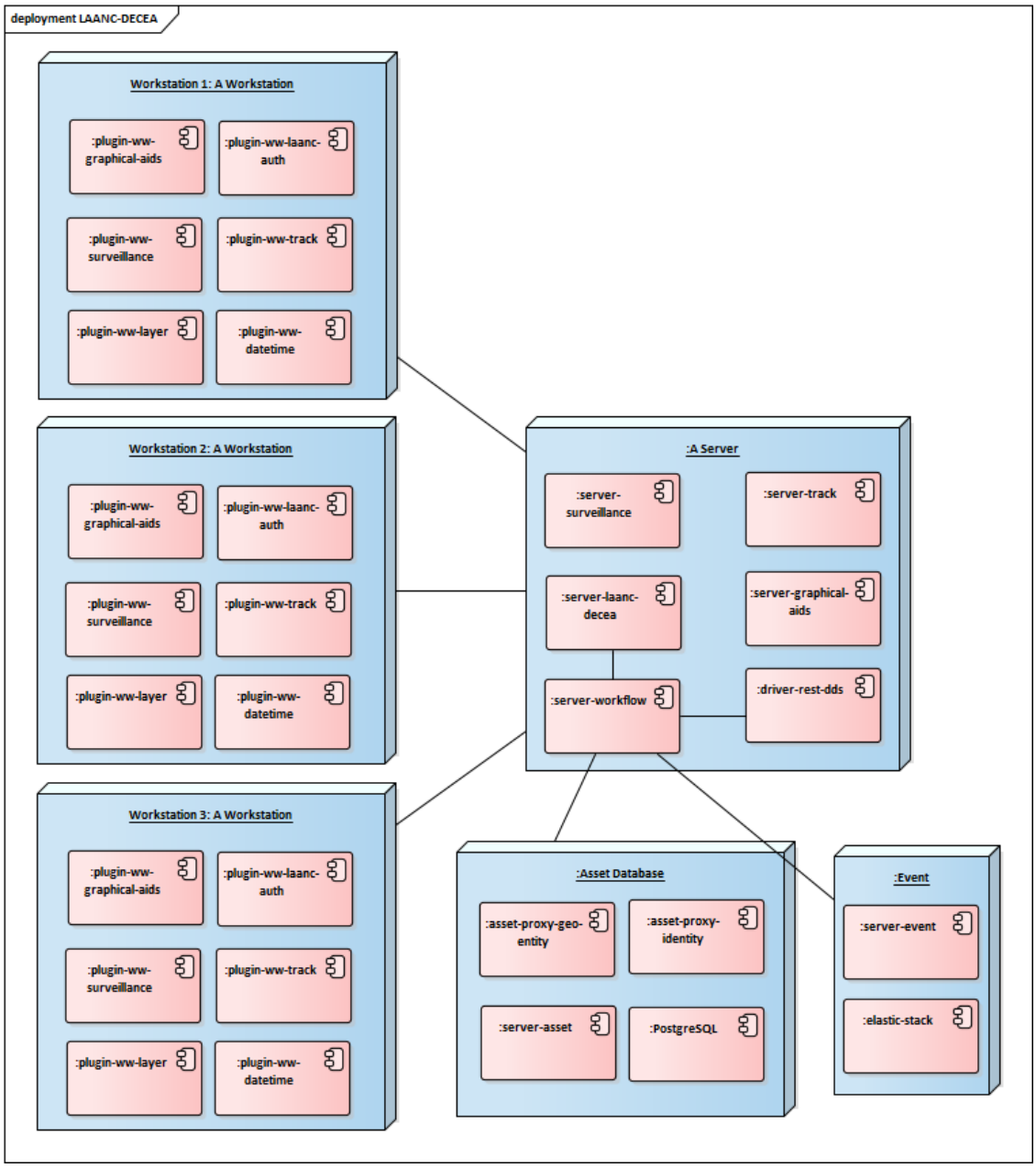


Figure 5: ATC platform architecture.

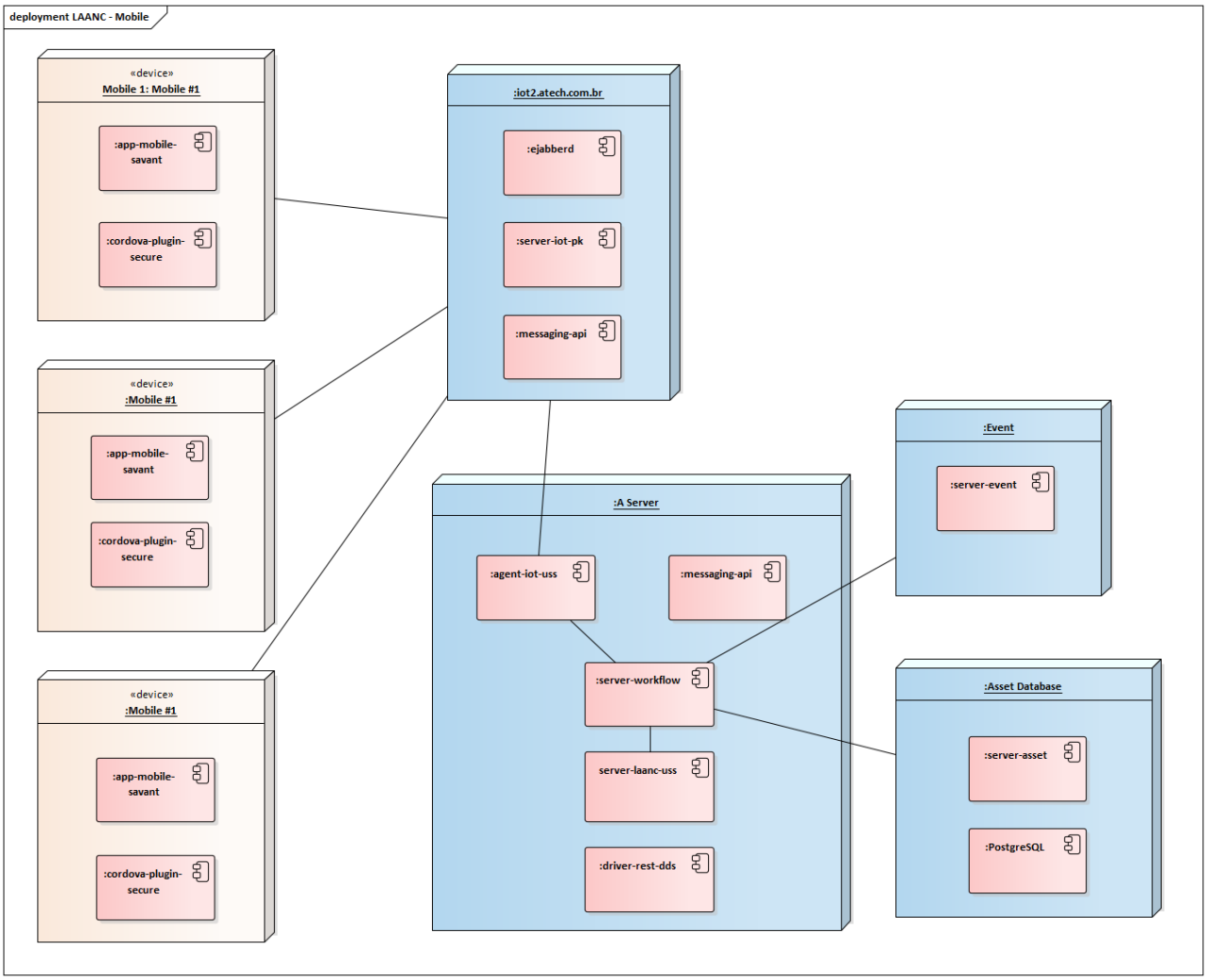


Figure 6: Mobile platform architecture.

2.2. PART 2

Following the validation of the developed workstations and other components during part 1, a new iteration of development was initiated. Although the execution of the flow in its entirety proved to be efficient, a few improvement points stood out and during the tests.

The team tackled down the following improvement points: a complete makeover of the operator's mobile application flow, resulting in a more intuitive application and also respecting the associations between the entities.

A need for other geofencings was also detected and information about school, hospital and penitentiary locations, was inserted in a server of geofencings. The reason for inserting this type of information is to ensure a higher level of safety and privacy of people on the ground. Once an operation plan invades any of these new geofencings, the plan is denied right away, without any need of going through an evaluation of the ATC entity. Both workstations and the drone operator have access to this information as well as a feedback to the operator.

Another kind of restriction implemented was to, this time, also improve the safety of drone operations. This restriction is in the planning phase of the operation as well. Once a plan is submitted, the server in the USS position is responsible for retrieving every plan, authorized or to be authorized, from the database and checking the position and time frame information. To exemplify, if an operator submits a flight on January 24th of 2019 at 12:30, the server will perform a search to retrieve every plan happening between 12:15 and 12:45 on the 24th, and based on bounding boxes calculated around the operation plan, the server will analyze if they intersect. If there is

an intersection between a plan in the database and the submitted plan, the new plan will be automatically denied and the operator will receive a feedback.

On Figure 7 there is a draft of how the new version of the mobile application.

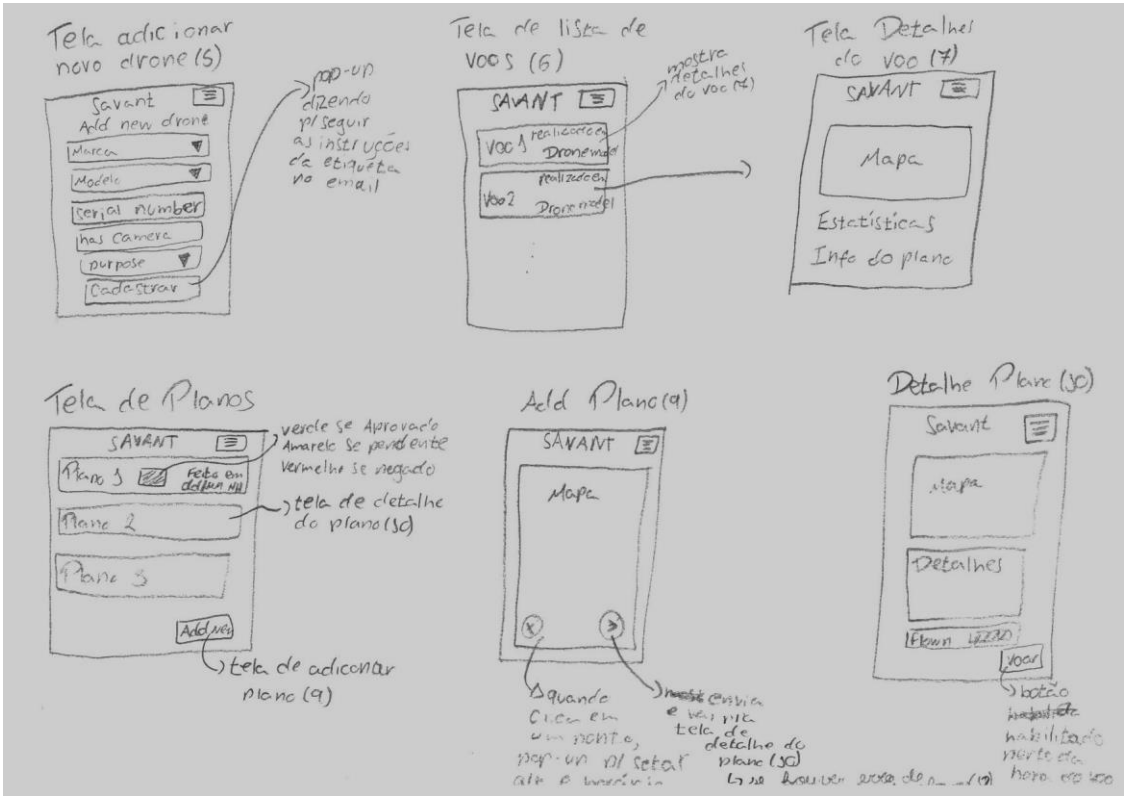


Figure 7: Example of a draft part for application restructuring.

There were also additions in the plugins used by the workstation operators. Areas of temporary restriction can be created and drone operators that have had their flights approved or are flying within the valid time and borders of the temporary area must withdraw all their activities. If a drone does not stop, alerts will be emitted to the USS and they will be in charge of taking the necessary measures. This new feature provides an easier way to ensure isolation of an area in case of shooting or a fire emergency, for example.

3. THE PLATFORM

Once the implementation and testing of the second development iteration, the platform proved to have become more robust and efficient when it comes to a collaborative monitoring of drones entering the airspace.

Besides the assurance of the safety of flights up in the air, the addition of new geofencings and the possibility to add even more has turned this platform safer for pedestrians as well. In Figure 8 there are snapshots of the new mobile application, including the visualization of new areas.

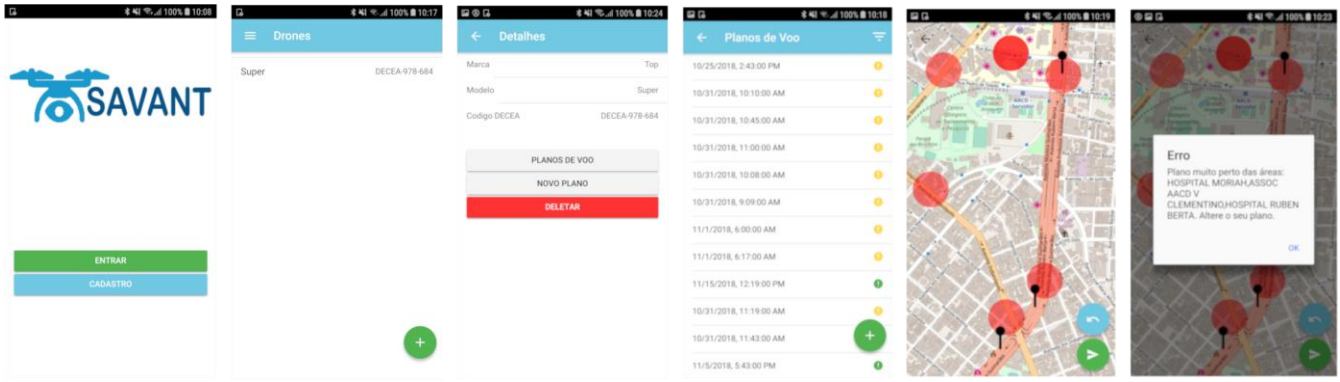


Figure 8: App images demonstrating the creation of a flight plan that infringes geofencings.

The information dissemination and data exchange between the three roles guarantees the situational awareness of RPAS' intentions in the airspace. In Figure 9 the platform is being operated in the São Paulo city area, where we can see the newly added geofencings, hospitals, and a simulation of a drone flying.

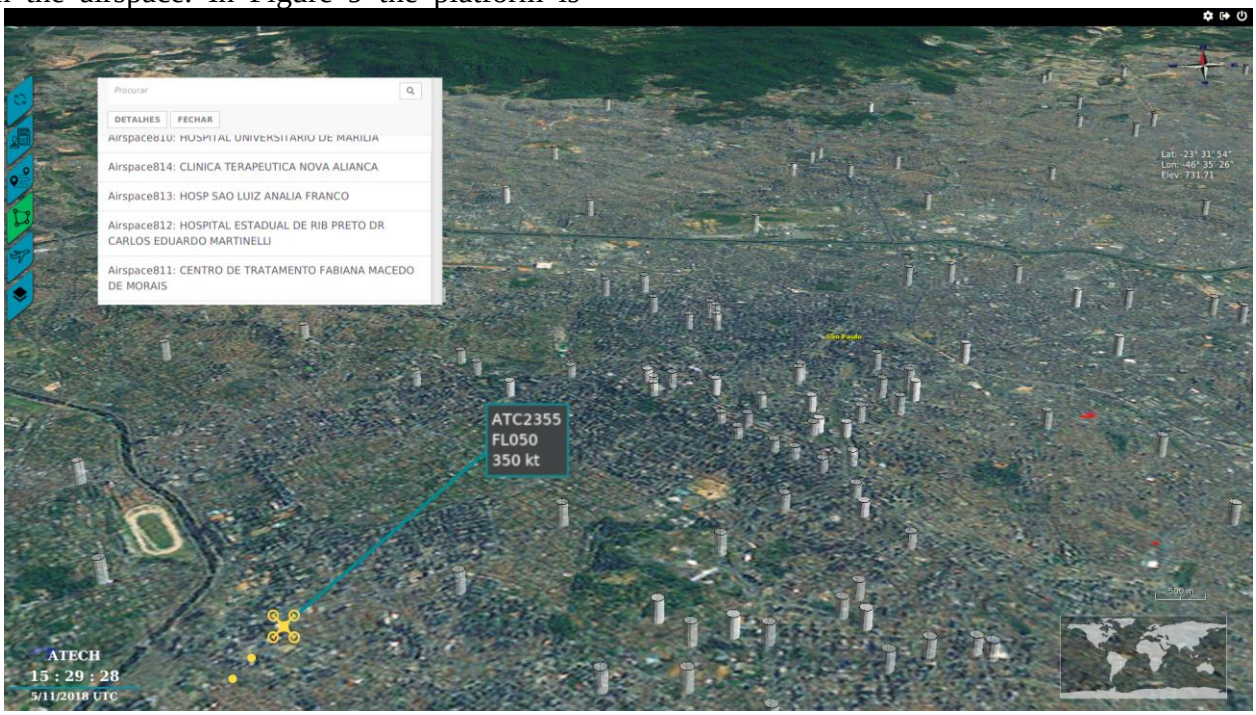


Figure 9: An ATC station image.

4. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

The growing interest to make use of the airspace to fly drones, whether as a hobby or for deliveries, as many companies have been reporting, brought along an enormous challenge to ATC systems all around the world: guarantee the safety of planes, pedestrians and drones whilst allowing the latter to enter a strictly controlled area until now. It has become extremely necessary, to guarantee a healthy UTM (UAS Traffic Management), that RPAS, ATC centers and monitoring centers enter a culture of collaboration, making a robust and safe airspace possible, thus creating an organic and collaborative system that will benefit all direct and indirect users.

In a future work, the team urges to implement solutions for weather forecasts to notify operators and USS workstations, real time alerts whenever there is a possibility of collision during the execution of an operation, along with small improvements in the flow to guarantee the compliance with Part 107 and LAANC documentation.

REFERENCES

DEDRONE. “Worldwide Drone Incidents”. Available at: <https://www.dedrone.com/resources/incidents/all> Accessed on 30 Jan 2019.

DIAS, V. C. et al. “Fast prototyping process of web based air traffic applications”. *XVIII Sitraer, 2018*, Sao Paulo, Brazil.

FAA. “Fact Sheet – Small Unmanned Aircraft Regulations (Part 107)”. Available at: <https://www.faa.gov/news/fact_sheets/news_story.cfm?newsId=20516>. Accessed on 24 Jan 2019.

FAA. “USS Onboarding. Low Altitude Authorization and Notification Capability (LAANC)”. Available at: <https://www.faa.gov/uas/programs_partnerships/data_exchange/laanc_for_industry/media/LAANC_UAS_Service_Supplier_onboarding_information.pdf> Accessed on 20 Jan 2019.

FAA ATO. “Low Altitude Authorization and Notification Capability (LAANC) Concept of Operations”, *Version 1.1*. Available at: <https://www.faa.gov/uas/programs_partnerships/data_exchange/laanc_for_industry/media/laanc_concept_of_operations.pdf>. Accessed on 24 Jan 2019.

KOROISHI, G. O. et al. “Information services for air space elements”. *XVII Sitraer, 2017*, Rio de Janeiro, Brazil.

SOUZA, E. C. et al. “Toward Systematic Software Reuse: From Concept to Modular Software Implementation”. *Transdisciplinary Engineering. 2016*.

THE GUARDIAN. “Gatwick Returns to Normality but Drone Threat Remains”. Published in 4 Jan 2019. Available at: <https://www.theguardian.com/world/2019/jan/04/gatwick-returns-to-normality-but-drone-threat-remains> Accessed in 30 Jan 2019.

LEARNING AIRLINE ROUTE CONSTRAINTS FROM FLIGHT TRAJECTORY DATA FOR AIRCRAFT DESIGN APPLICATION

Alejandro A. Rios Cruz
Aeronautics Institute of Technology
aarc.88@gmail.com

Mayara Condé Rocha Murça
Aeronautics Institute of Technology
mayara@ita.br

José Alexandre T. G. Fregnani
Airbus
Jose.fregnani@airbus.com

Gustavo Torquette
Airbus
gustavo.torquette@airbus.com

Bento Silva de Mattos
Aeronautics Institute of Technology
bento@ita.br

ABSTRACT

The aircraft design during conceptual stages include the application of optimization techniques where several disciplines are considered in order to decrease costly project changes in the following stages. In recent works, airworthiness constraints and airline network optimization have been incorporated (using simplistic models) into aircraft optimization, envisioning the reduction of the Direct Operational Cost (DOC). This paper aims to provide a methodology to obtain more realistic approximations by including airline route constraints learned from automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B). To this end, a framework is developed to deal with trajectory data in two modules comprised of unsupervised and supervised machine learning frameworks to perform clustering and classification tasks. Tests and comparisons are performed in cases of study to evaluate model reliability.

Keywords: ATM, Machine Learning, Clustering, Classification, Aircraft Design.

1. INTRODUCTION

Aircraft designers of the commercial air transportation industry are continuously concerned with exploring new and better ways to enhance the results of aircraft optimization at the early stages of the process. While most of the academic efforts on these tasks is focused on refining the aircraft design disciplines using more sophisticated models and improving computational cost, a more recent line of research has focused on incorporating airline operational constraints into the aircraft design process. In recent studies, as the one presented in (Fregnani et al., 2019), the inclusion of the operational perspective in the optimization flowchart, has demonstrated to have a great impact in the minimization of the Direct Operational Cost (DOC) due to the high degree of dependency between aircraft and the airline network.

The study presented by (Taylor and Weck, 2008) has shown the benefits of coupling a network flow optimization in the aircraft design. They considered the optimization of a an air transportation network fleet around seven U.S. cities. Simplified models of aircraft performance (Breguet Equations) and network representation (Great Circle distances) were used. Simulating Annealing was used to perform the optimization process and a 10% improvement in the operational cost over a traditional approach, where only the network analysis is considered, was reached.

An examination of the Hub-and-Spoke Network problem for an air cargo delivery fleet to determine the optimal structure is presented by (Yang and Kornfeld, 2003). This case of study shows that a pure hub-and-spoke may not represent the optimal solution always and that other parameters such as aircraft type, cargo demand, and city location can influence the outcome. Again, this research uses simplistic models considering only flight-time operating costs and direct distance between city pairs.

The problem of simultaneous aircraft-design and airline-aircraft allocation is explored by (Nusawardhana and Crossley, 2005). The problem formulation specifies that the airliner allocates ”variable” resources and aircraft manufacturer develops a new aircraft based on a set of ”variable” design specifications. The optimization is carried out by a framework that combines dynamic programming, nonlinear programming and linear integer programming. The aircraft optimization uses simplistic models of performance proposed by (Raymer, 2018).

A recent stream of literature is exploring the usage of big data and machine learning methods to create descriptive, predictive and prescriptive models for different Air Traffic Management applications.

(Wang et al., 2017) created a novel 4D trajectory prediction framework for predicting Estimated Arrival Times (ETA) and applied a test with data traffic for Beijing airport. ADS-B data was collected and passed throughout clustering and classification processes. Their study results in an accurate and robust trajectory predictor.

(Murça et al., 2016) developed a comprehensive data mining framework for the characterization of air traffic flows and applied it for the New York Metro region. In the process, trajectory clustering and classification were also implemented. The results showed that the clustering analysis helps to identify typical patterns of operation. In addition, the classification scheme was used to assign flight trajectories to the patterns identified and to detect non-conforming behaviors. Several possible applications can be derived from their study.

This paper aims to present a machine learning framework to learn airline route constraints from actual flight trajectory data that can be used to develop higher fidelity models for integrated airline network and aircraft design optimization.

2. METHODOLOGY

2.1. DATASET

In this work the information about actual airspace use is composed of data collected from the OpenSky Network, used under research scope (Schäfer et al.). This source provides Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) raw data in real time as well as stored historical data with a sampling time of one second. The main elements of the raw data are listed in table 1. Two features, latitude and longitude, were considered for the cluster analysis. The dataset includes records of 6 months from Monday, 01 January of 2018 $12:00:00$ GMT to Friday, 01 June 2018 $12:00:00$ GMT. Two origin-destination pairs were considered: Route 1 (R1) from Frankfurt to Roma-Fiumicino (IATA Code: FRA $\longleftrightarrow$ FCO)

Table 1: Variables provided by OpenSky Network.

Variables					
hit	icao24	callsign	time	**lat**	**lon**
head.	alt.	dep.	arriv.	on ground	

and Route 2 (R2) from Frankfurt to Heathrow (IATA Code: FRA $\longleftrightarrow$ LHR). Even though for this period of time more than 3500 flights were detected, only 1000 flights were considered by origin-destination pair in the analysis in order to perform a more fair comparison between routes and also because it was observed that a higher number of flights complicate the configuration tuning in the classification algorithm. The raw trajectory data is shown in figure 1.

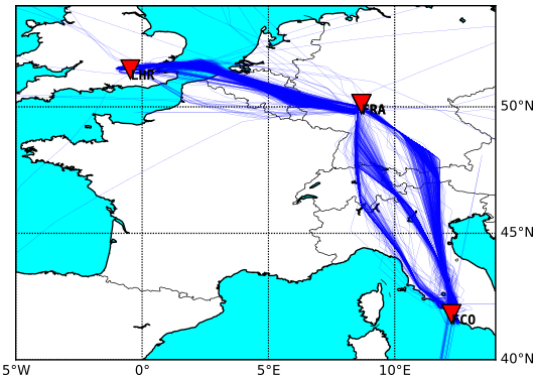


Figure 1: Raw dataset representing 2000 flight trajectories from FRA-FCO and FRA-LHR airports.

2.2. PREPROCESSING

In most of the cases, raw data may present different undesirable characteristics making a preprocessing operation mandatory before using it into machine learning algorithms. Data preprocessing increases the odds to perform a better detection of clusters and outliers.

The first step of preprocessing consisted of a filtering operation that was conducted as follows:

- Drop samples for which the latitude and longitude values extrapolate the bounds defined. Hence, all samples extrapolating $-180 \leq lat \geq 180$ and $-90 \leq lon \geq 90$ were dropped.
- Since this work is focused on the en route airspace, a circle area of 60 nautical miles radius (calculated with Euclidean distance equation) was considered as terminal area and all samples inside were removed from the dataset.

After filtering the dataset, the number of samples decrease from 280236 to 148468 for FRA-FCO pair and 1193393 to 231796 for FRA-LHR. In addition, because it is desirable to know which samples pertain to a given flight and because different flights may present different number of samples, a splitting operation was performed to separate the flights into isolated vectors. This data split was performed using the identification of two features as conditionals.

Therefore, to identify a new flight and start the storage into a vector, the algorithm should detect a shift in ICAO and Call number. Under this operation, the algorithm was able to detect a total of 3630 flights.

Once the flights are stored separately, all the trajectories are re-sampled to have the same length. A linear spline method was selected given that it showed better performance when compared with other spline methods. The number of points by trajectory was fixed to 50 samples. Figure 2 shows an example of this interpolation for the first flight.

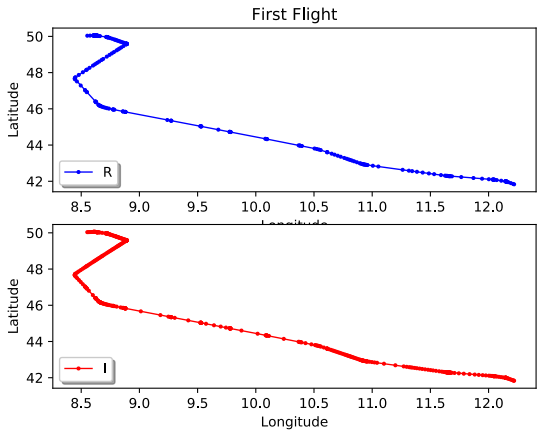


Figure 2: Comparison between real data and spline line interpolation for latitude and longitude of first flight.

2.3. CLUSTERING

As the objective of this work is to create a model that discriminates the navigable and non-navigable airspace, a flight trajectory clustering analysis is first performed to identify en route traffic patterns. We assume that these patterns represent the main navigable airspace by

which airlines may operate for the given origin-destination pair. Flight trajectories that do not conform to a given pattern are considered outliers and taken as representatives of the non-navigable airspace.

Considering the above and due to the spatial nature of the dataset, Unsupervised Density-Based Spatial Clustering of Applications With Noise (DBSCAN) was selected to perform the clustering task (Ester et al., 1996). This algorithm has been widely applied in density-based problems of similar nature and consist of an unsupervised machine learning algorithm that evaluates the density according to the number of points that lay inside a neighborhood. Hence, the main input parameters for this algorithm are ϵ, which represents the maximum distance between two samples for one to be considered as in the neighborhood of the other, and *MinPts*, that represents the number of samples (or total weight) in a neighborhood of a point for which to be considered as a core point and start a cluster (Ester et al., 1996).

The selection of ϵ and *MinPts* was driven by visual inspection and Silhouette Coefficient (equation 1) (Rousseeuw, 1987) evaluation, where higher values (from -1 to 1) are related to a model with better defined clusters.

$$s = \frac{b - a}{max(a, b)} \tag{1}$$

Where *a* is the mean distance between a sample and all other points in the same cluster, and *b* is the mean distance between a sample and all other points in the next nearest cluster.

In this work, the clustering was performed using as input data the Hausdorff distance between trajectories. This procedure is analogous to the one presented by (Laxhammar and Falkman, 2014). The Hausdorff distance is defined as the maximum of minimum distance for each element into a set of samples *A* (conforming a trajectory *A*) to a set of samples *B* (conforming trajectory *B*) as shown in equation 2 and 3.

$$H(A, B) = max(d(A, B), d(B, A)) \tag{2}$$

where:

$$d(A, B) = max_{a \in A} min_{b \in B} ||a - b|| \tag{3}$$

Consequently, ϵ considers the maximum distance between two trajectories instead of two data samples to perform the clustering.

Once the clusters are identified, the trajectory centroid of each cluster is calculated as the mean of the route vectors in the cluster. The information provided by this centroid is used in first instance to measure the Horizontal Flight Inefficiency of a route using equation 4.

$$\text{HFE} = \frac{D - d}{d} \tag{4}$$

Where *d* corresponds to the Great Circle Distance (GCD) and *D* corresponds to the actual length of the trajectory centroid. Furthermore,

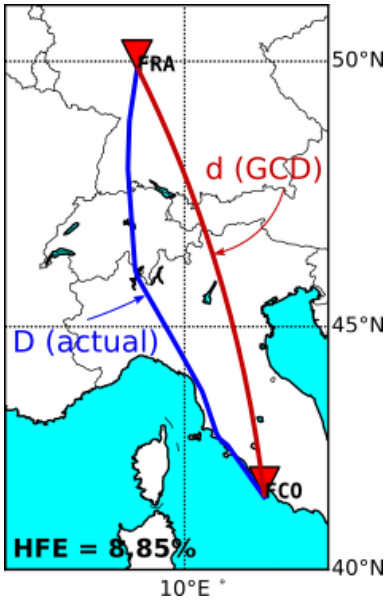


Figure 3: HFE as comparison of flight length and Great Circle Distance.

the centroid flight length is used as block distance (figure 4) into the evaluation of DOC which is calculated according to (Raymer, 2018) with equation 5.

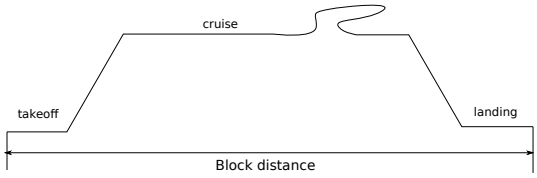


Figure 4: Definition of block distance into the mission profile.

$$\begin{aligned} DOC = DOC_{flt} + DOC_{maint} + \\ + DOC_{depr} + DOC_{lnr} + DOC_{fin} \end{aligned} \tag{5}$$

where DOC_{flt} is the direct operational cost of flying, DOC_{maint} is the cost of maintenance, DOC_{depr} is the depreciation cost, DOC_{lnr} is the

cost of landing fees and DOC_{fin} is the cost of financing. All these parameters are calculated in USD/nm.

2.4. CLASSIFICATION

After the extraction of the navigable airspace with the trajectory clustering process, a binary classification model is created using the Support Vector Machines and Gaussian Process Classification algorithms in order to classify a new route into navigable and non-navigable.

Support Vector Machines is a supervised learning method that performs classification by creating hyperplanes in a high dimensional space given knowledge extracted from a training dataset. The hyper-planes are created using the information given by the clustering analysis. In our case, it is expected that planes are created separating outliers and trajectories conforming to a pattern identified. Intuitively, a good separation is achieved by the hyper-plane that has the largest distance to the nearest training data points of any class (so-called functional margin), since in general the larger the margin the lower the generalization error of the classifier (Cortes and Vapnik, 1995).

In the other hand, Gaussian Process Classifiers (GPC) are fully statistical kernel classification models derived from Gaussian Processes for regression (Rasmussen and Williams, 2006).

In this work, the evaluation of the model is performed by calculating the accuracy of the classification, i.e., the percentage of trajectory observations that were correctly classified as navigable and non-navigable. (Wu et al., 2004).

3. RESULTS

3.1. CLUSTER IDENTIFICATION

For the cluster analysis values of $\epsilon = 3$ and *MinPts* = 50 were used after several tests based on visual inspection and silhouette coefficient evaluation. The value of $\epsilon = 3$ was selected because it was the minimum value to obtain 3 clusters (FRA-FCO route), which corresponds to the expected number of cluster considering visual inspection. On the other hand, the value of *MinPts* = 50 was selected in order to have enough outliers to let the classification perform a better detection of non-navigable airspace.

Considering these parameters, a silhouette coefficient of 0.554 and 0.574 was obtained for Route 1 and Route 2 respectively. These values corresponds to an acceptable range given a scale that goes from -1 to 1 . Figure 5 shows the identified clusters and outliers.

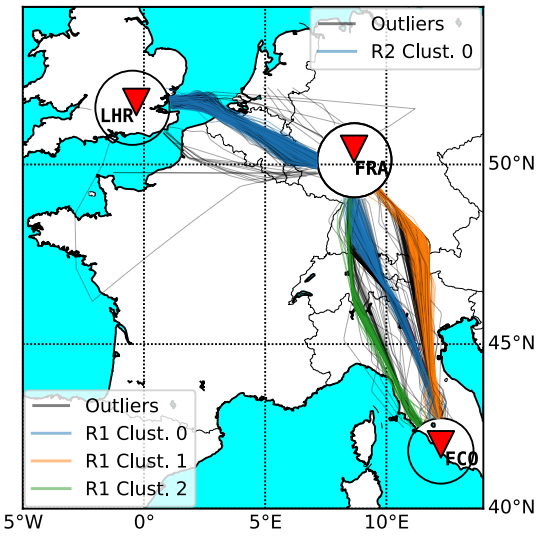


Figure 5: Cluster identification from processed data.

A total of 20.7% (R1) and 23.6% (R2) of the trajectories were detected as outliers in this configuration of DBSCAN. Although this apparently represents a large number of outliers when compared with related articles, for the purpose of this work, a large number of outliers is desirable in order to detect non recurrent flight paths. Moreover, this may result in better defined clusters and help in the training of the classifier algorithm.

3.2. CLASSIFICATION

The classification was performed considering the output data from the clustering process. The model was trained using Linear Support Vector Classification algorithm from (Pedregosa et al., 2011) and Gaussian Process Classification (Rasmussen and Williams, 2006). In order to avoid over fitting, a hold out cross validation process was performed by holding out 10% of the dataset. A comparison with DummyClassifier using strategies stratified and most frequent algorithms is shown in table 2. DummyClassifier is a classifier that make predictions using simple rules. The stratified strategy generates predictions by respecting the training set's class distribution, while the most frequent always predicts the most frequent label in the training set. This

analysis aims to compare the performance of the current classification with simpler methods.

Table 2: Accuracy results comparison between current classifier and DummyClassifier stratified and most frequent.

Technique	Result R1	Result R2
Stratified	43.90%	80.46%
Most Frequent	57.32%	88.51%
LinearSVM	92.68%	87.36%
GPC	93.90%	93.10%

As can be observed in table 2, both LinearSVM and GPC showed better performance than the simplified methods. The current method is able to predict with high accuracy if a route belongs or not to navigable airspace. GPC model was shown as the best predictor in both cases. Moreover, this method shown to be computationally cheaper.

In order to evaluate the performance of the model in other conditions, a test with four random trajectories was conducted as shown in figures 6 and 7.

Visual inspection of the classification results showed satisfactory discrimination between navigable and not navigable routes.

3.3. HORIZONTAL INEFFICIENCY

The horizontal Inefficiency is used as a performance indicator to evaluate how far from reality the great circle model is with respect to actual en-route trajectories. For this end, the centroid of each cluster was calculated as the mean of all the trajectories belonging to a given cluster. The centroids are shown in Figure 8.

The length of all three trajectory centroids was calculated and compared with the great circle distance. The results are presented in table 3.

Table 3: Comparison between GCD and real distances and Horizontal inefficiency.

Cluster	Distance [nm]	H. ineff. %
GCD R1	400.55	
Cluster 0 R1	406.86	1.57
Cluster 1 R1	413.62	3.26
Cluster 2 R1	415.29	3.68
GCD R2	236.32	
Cluster 0 R2	246.45	4.28

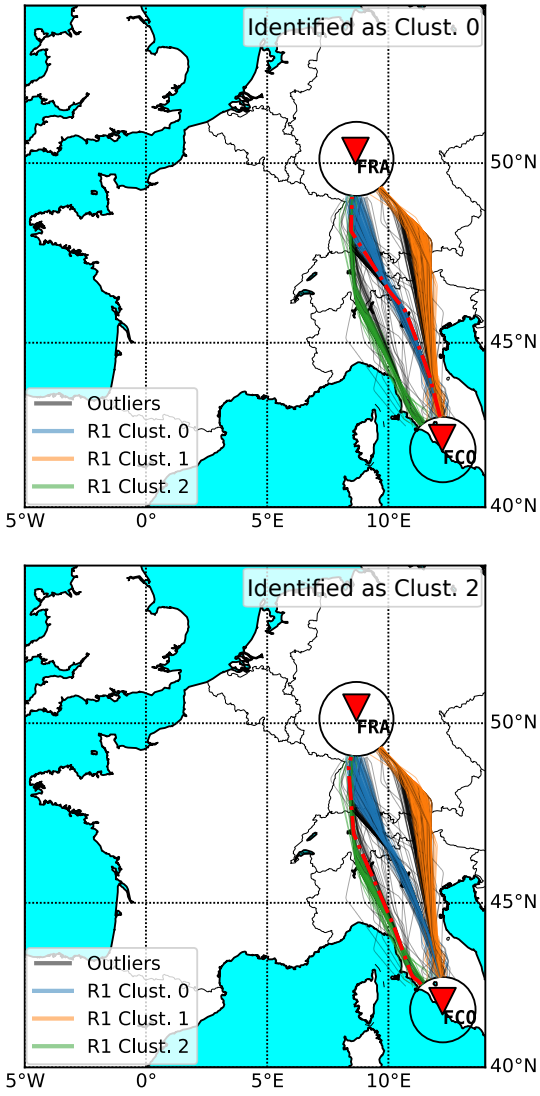


Figure 6: Classification test with first set of test trajectories.

3.4. DIRECT OPERATIONAL COST

An evaluation of the DOC was performed considering GCD and the length of trajectories represented by the centroids of each cluster.

An aircraft conceptual design framework developed at the Aeronautic Institute of Technology was selected for this task. Even though this framework allows the possibility of altering different parameters, in this work only the block distance was considered as input variable. All the other geometrical and performance parameter remained fixed.

The Fokker 100 was took as airliner aircraft reference with general characteristics and plant-form shown in table 4 and figure 9 .

The DOC was calculated using equation 5 and the results are shown in table 5.

The results in table 5 presents an interesting correlation between trajectory length and DOC.

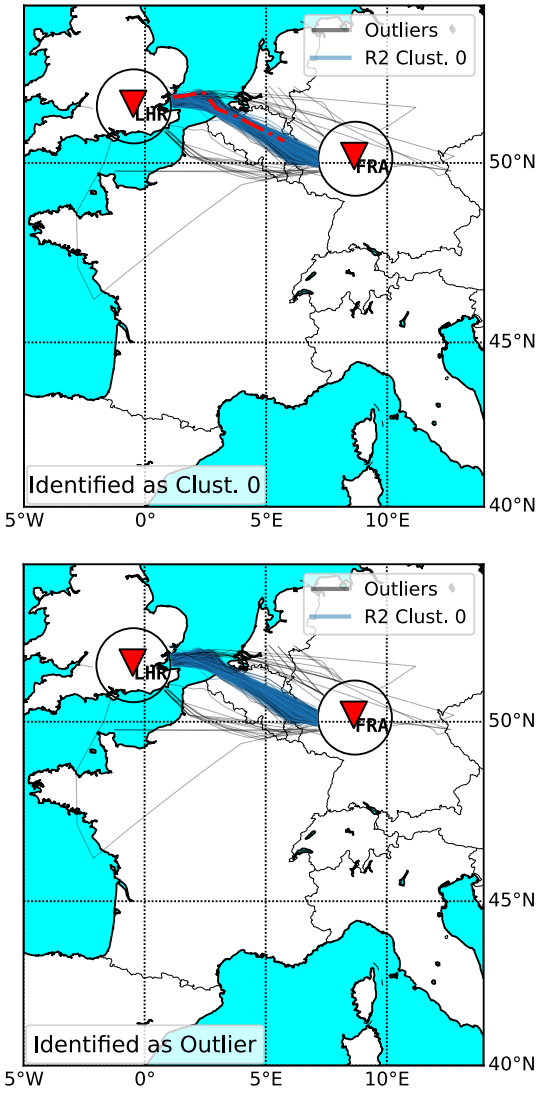


Figure 7: Classification test with second set of test trajectories.

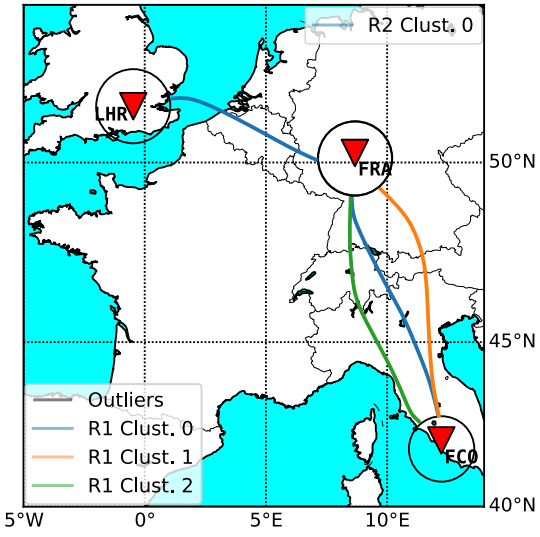


Figure 8: Centroids of each identified cluster.

Although it may be expected that the lower length obtained with the GCD model results into a lower value of DOC, the obtained results shows the opposite behavior, finding lower values of DOC for

Table 4: Fokker 100 general characteristics

Performance	
Max. operating Mach num.	0.77
Service ceiling	35000 ft
Max. range with max. payload	928 nm
Max. takeoff weight	94997 lb

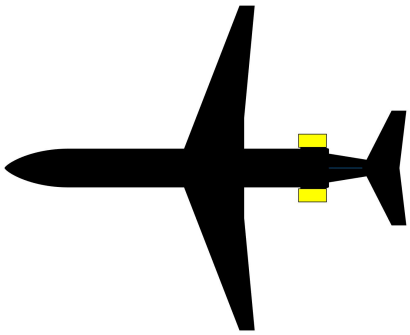


Figure 9: Fokker 100 aircraft plant-form.

Table 5: DOC related to the reference aircraft considering that it is specifically designed to fly in the trajectory range of the specified route (GCD and clusters centroids).

Cluster	DOC USD/nm
GCD R1	16.13
Cluster 0 R1	16.00
Cluster 1 R1	15.87
Cluster 2 R1	15.84
GCD R2	21.90
Cluster 0 R2	21.31

greater trajectory lengths. However, a closer inspection of the variables in the equation 5 show that the results are consistent, since in most of the subordinated equations, the distance appears as a denominator. For example, the crew cost (C_{crew}) represented by equation 7 (USD/nm units) that is considered in the Direct Operational Cost of Flying (DOC_{flt}) at equation 6.

$$DOC_{flt} = C_{crew} + C_{pol} + C_{ins} \tag{6}$$

$$C_{crew} = \sum_{n=1}^{n=4} n_{c_j} \frac{1 + K_j}{V_{bl}} \frac{SAL_j}{AH_j} + \frac{TEF_j}{V_{bl}} \tag{7}$$

where n_{c_j} is the number of crew members of each type j (capitan, co-pilot, etc.). K_j is a factor that accounts fo such items as: vacation pay, cost of training, etc. SAL_j is the annual salary paid to the crew members of type j. AH_j is the number

of flight hours per year. TEF_j is the travel expenses factor associated with each type of crew member and V_{bl} is the airplane block speed in nautical miles per hour, which is calculated as the relation between the block distance and the time to fly it.

Considering the role of the last variable into 7, it is expected that greater trajectory distances will reduce the DOC.

The V_{bl} variable always appears in the denominator part of the other subordinated equations of the DOC calculation (accounting for maintenance, depreciation and taxes cost), which explains the results obtained in table 5.

4. CONCLUSIONS

In this paper, a model to extract and predict airline route constrains in terms of navigable and non-navigable airspace using unsupervised and supervised machine learning methods is presented.

The approach was first validated using cross validation technique and tested with random generated trajectories to visualize the model performance in random situations. Both validations showed that the model is capable of performing the classification correctly and predicting whether a route belongs to navigable airspace.

The evaluation of the Horizontal Inefficiency showed that the GCD model underestimate the actual distance flown in all trajectories detected by the cluster framework. Moreover, considering the actual distance in the DOC calculation showed that the using the actual trajectory length may have a substantial long term impact in the Direct Operational Cost, that in the other hand, when included in the aircraft optimization loop may result into different feasible individuals that may present a better efficiency when compared with the current aircraft. This results may reinforce and improve the results found by (Fregnani et al., 2019).

In future works, besides of including the evaluation of more sophisticated classification algorithms, the method will be extended to a network of airports to perform network flow optimization.

5. ACKNOWLEDGMENTS

The authors of this paper would like to thank the OpenSky Network for providing the data used in this work.

CNPq Scholarship - Brazil

References

C. Cortes and V. Vapnik, "Support-vector networks," *Machine Learning*, vol. 20, no. 3, pp. 273–297, 9 1995. [Online]. Available: http://link.springer.com/10.1007/BF00994018

M. Ester, H.-P. Kriegel, J. Sander, and X. Xu, "A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise," Tech. Rep., 1996. [Online]. Available: www.aaai.org

J. A. Fregnani, B. S. Mattos, and J. A. Hernandes, "An Innovative Approach for integrated Airline Network and Aircraft Family Optimization," in *AIAA Aviation 2019 Forum*. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 6 2019. [Online]. Available: https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2019-2865

R. Laxhammar and G. Falkman, "Online Learning and Sequential Anomaly Detection in Trajectories," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 36, no. 6, pp. 1158–1173, 6 2014. [Online]. Available: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26353278http://ieeexplore.ieee.org/document/6598676/

M. C. R. Murça, R. DeLaura, R. J. Hansman, R. Jordan, T. Reynolds, and H. Balakrishnan, "Trajectory Clustering and Classification for Characterization of Air Traffic Flows," in *16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 6 2016. [Online]. Available: http://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2016-3760

A. Nusawardhana and W. Crossley, "Allocating Variable Resources over a Finite Time Horizon to Combine Aircraft Sizing and Airline Planning," in *AIAA 5th ATIO and16th Lighter-Than-Air Sys Tech. and Balloon Systems Conferences*. Reston, Virigina: American Institute of Aeronautics and

Astronautics, 9 2005. [Online]. Available: http://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2005-7415

F. Pedregosa, V. Michel, O. Grisel OLIVIER-GRISEL, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, J. Vanderplas, D. Cournapeau, F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, B. Thirion, O. Grisel, V. Dubourg, A. Passos, M. Brucher, Perrot, M. Edouardand, a. Duchesnay, and F. Duchesnay EDOUARDDUCHESNAY, "Scikit-learn: Machine Learning in Python Gaël Varoquaux Bertrand Thirion Vincent Dubourg Alexandre Passos PEDREGOSA, VAROQUAUX, GRAMFORT ET AL. Matthieu Perrot," Tech. Rep., 2011. [Online]. Available: http://scikit-learn.sourceforge.net.

C. E. Rasmussen and C. K. I. Williams, *Gaussian processes for machine learning*. MIT Press, 2006.

D. Raymer, *Aircraft Design: A Conceptual Approach, Sixth Edition*. Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 9 2018. [Online]. Available: https://arc.aiaa.org/doi/book/10.2514/4.104909

P. J. Rousseeuw, "Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 20, pp. 53–65, 11 1987. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377042787901257?via%3Dihub

M. Schäfer, M. Strohmeier, V. Lenders, I. Martinovic, M. Wilhelm, and T. U. Kaiserslautern, "Bringing up OpenSky: A Large-scale ADS-B Sensor Network for Research." [Online]. Available: http://tinyurl.com/cwsyr2r

C. Taylor and O. D. Weck, "Coupled Vehicle Design and Network Flow Optimization for Air Transportation Systems," *Journal of Aircraft*, vol. 44, no. 5, pp. 1479–1486, 2008. [Online]. Available: http://arc.aiaa.org

Z. Wang, M. Liang, D. Delahaye, Z. Wang, M. Liang, D. Delahaye, S.-t. T. Prediction, U. Machine, Z. Wang, and M. Liang, "Short-term 4D Trajectory Prediction Using Machine Learning Methods To cite this version : HAL Id : hal-01652041 Short-term 4D Trajectory Prediction Using Machine Learning Methods," 2017. [Online]. Available: https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/sid/2017/SIDs_2017_paper_11.pdf

T.-F. Wu, C.-J. Lin, and R. C. Weng, "Probability Estimates for Multi-class Classification by Pairwise Coupling," Tech. Rep., 2004. [Online]. Available: https://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/papers/svmprob/svmprob.pdf

L. Yang and R. Kornfeld, "Examination of the Hub-and-Spoke Network: A Case Example Using Overnight Package Delivery," in *41st Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*. Reston, Virigina: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1 2003. [Online]. Available: http://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2003-1334

ESTUDO PRELIMINAR SOBRE PROPOSIÇÃO DE MODELO DE PREVISÃO PARA O COEFICIENTE DE ATRITO MEDIDO EM PISTA DE POUSO E DECOLAGEM

José Breno Ferreira Quariguasi
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703 – 60440-900, Fortaleza, CE, (85) 3366-9488,
brenoquariguasi@det.ufc.br

Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703 – 60440-900. Fortaleza, CE, (85) 3366-9488
heber@det.ufc.br

Saulo Davi Soares Reis
Universidade Federal do Ceará – Departamento de Física
Campus do Pici, Bloco 922 – 60451-970. Fortaleza, CE, (85) 3366-9930
saulo@fisica.ufc.br

RESUMO

Diante do cenário de expansão do transporte aéreo, é ainda mais necessário o acompanhamento das condições superficiais das pistas de pouso e decolagem, sobretudo no que diz respeito aos parâmetros de aderência pneu-pavimento, a fim de garantir a segurança das operações. Contudo, medições demandam tempo e recursos financeiros consideráveis. Logo, modelos de previsão podem ser ferramentas úteis aos gestores e órgãos reguladores ao possibilitar estimativas desses parâmetros. Nesse sentido, este trabalho objetiva o desenvolvimento de um modelo de previsão de coeficiente de atrito para pavimentos aeroportuários através de Redes Neurais Artificiais. Os resultados indicam significativo potencial de utilização dessa ferramenta.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais, Pista de pouso e decolagem, Atrito, Segurança, Modelos, Previsão.

ABSTRACT

Given the scenario of expansion of air transport, it is even more necessary to monitor the surface conditions of the runways, especially regarding tire-pavement grip parameters, in order to ensure the safety of operations. However, measurements require considerable time and financial resources. Therefore, forecasting models can be useful tools for managers and regulators in making estimates of these parameters possible. In this sense, this work aims the development of a friction coefficient prediction model for airport pavements through Artificial Neural Networks. The results indicate significant potential use of this tool.

Keywords: Artificial Neural Network, Runway, Friction, Safety, Models, Prediction.

1. INTRODUÇÃO

A quantidade de voos cresceu 23,1% entre os anos de 2008 a 2017, no Brasil, de acordo com dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2018). Portanto, é ainda mais necessário um acompanhamento das condições superficiais dos pavimentos aeroportuários a fim de garantir a segurança das operações, principalmente no que diz respeito às pistas de pouso e decolagem (PPD), uma vez que, segundo o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), 66,7% dos acidentes entre 2008 e 2017 ocorreram durante as fases de pouso, decolagem e corrida após o pouso (SANTOS *et al.*, 2018).

O controle de veículos e a segurança dos pousos das aeronaves são fortemente dependentes das condições superficiais dos pavimentos. Normalmente, quando o pavimento está seco, o atrito gerado entre o pneu e o pavimento é alto. Contudo, na presença de contaminantes, como a água, o risco de hidroplanagem é substancialmente maior, principalmente quando a resistência à derrapagem do pavimento é baixa (SHAHIN, 2005).

A hidroplanagem ocorre quando os pneus são incapazes de manter contato com pavimento devido à presença de uma película d'água não rompida pelos pneus ou pela textura da pista. A interação pneu-pavimento é complexa e depende de fatores como a adesão entre a borracha e o pavimento e a histerese proveniente da deformação do pneu causada principalmente pelos agregados da superfície do pavimento. A macrotextura, por sua vez, é uma das características mais importantes e que afetam a aderência, pois atuam na drenagem da água na pista (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Diante da importância dos parâmetros de aderência pneu-pavimento – coeficiente de atrito e macrotextura – para a segurança das operações, a ANAC (2019) estabelece que os operadores de aeródromos devem manter a PPD em condições operacionais visando à resistência à derrapagem, ao controle direcional das aeronaves e à integridade dos equipamentos aeronáuticos. Para tanto, dentre os aspectos compreendidos nessa exigência, pode-se citar o atrito, a macrotextura e o acúmulo de borracha. Assim, são determinadas medições periódicas desses aspectos em que as frequências de monitoramentos são estabelecidas em função do número de pousos de aeronaves de asa fixa com motor à reação na PPD.

Um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos (SGP) provê um método sistemático e consistente para selecionar serviços de manutenção e reabilitação necessários, determinando prioridades e o momento oportuno de intervenção, prevendo as condições futuras do pavimento. Logo, trata-se de uma ferramenta importante para gestores, pois os alerta sobre o ponto crítico do pavimento em relação ao ciclo de vida da estrutura e, desse modo, possibilita que os recursos sejam otimizados. Os modelos de previsão da condição do pavimento são imperativos para um sistema completo de gerenciamento do pavimento (SHAHIN, 2005). No que se refere ao Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários (SGPA), a ANAC (2019) estipula que os operadores de aeródromos devem estabelecer e documentar requisitos e procedimentos de monitoramento e avaliação da condição do pavimento baseados em metodologia de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos, a fim de manter as condições estruturais e funcionais.

As condições de manutenção dos pavimentos são fortemente condicionadas por um número significativo de variáveis com vários fatores de ponderação. Essas variáveis são inter-relacionadas e afetam o seu ciclo de vida, tanto em termo funcional quanto estrutural. Portanto, essas variáveis podem ser empregadas em modelos de degradação que, por sua vez, são componentes fundamentais de um SGP. Tais modelos são baseados no estudo dos dados de desempenho e, então, são estabelecidas leis de evolução e de degradação do pavimento, estabelecendo, assim, relações entre as causas e efeitos (SANTOS *et al.*, 2014).

Em virtude da importância dos parâmetros de aderência pneu-pavimento para garantir a segurança das operações e que quanto maior o número de operações na PPD, mais medições devem ser realizadas e, consequentemente, por mais tempo a pista deve permanecer fechada ou parcialmente interditada. Isso posto, justifica-se a utilização de ferramentas capazes de estimar as condições superficiais do revestimento com a finalidade de se otimizar e determinar os momentos mais adequados para procedimentos de manutenção.

Diante do exposto, esse trabalho tem como objetivo o desenvolvimento preliminar de um modelo de previsão, por meio de Redes Neurais Artificiais (RNA), para o coeficiente de atrito medido em pista de pouso e decolagem. Para tanto, foram considerados dados de tráfego de aeronaves, da macrotextura e da seção do revestimento, e variáveis climáticas dos aeroportos internacionais de Fortaleza, Salvador e Recife.

2. MODELOS DE PREVISÃO

As informações sobre várias características da condição do pavimento são críticas para as funções de gerenciamento de desempenho. Modelos de previsão da condição do pavimento são utilizados para analisar e determinar a necessidade de manutenção ou reabilitação (SHAHIN, 2005).

Muitos estudos têm sido desenvolvidos para realizar estimativas das condições superficiais do revestimento, haja vista a vasta quantidade de métodos e dados disponíveis que podem ser empregados para tal fim. Santos *et al.* (2014) desenvolveram um modelo para estudar o comportamento do coeficiente de atrito em rodovias de Portugal através de regressão linear múltipla. Para tanto, foram considerados os efeitos do clima, da geometria da via e fatores de tráfego, concluindo-se que o coeficiente de atrito era inversamente proporcional à macrotextura e ao tráfego.

A fim de estudar os dados de atrito e determinar o melhor momento para realizar procedimentos de remoção de borracha na PPD do Aeroporto Internacional de Lamezia Terme, na Itália, De Luca *et al.* (2016) utilizaram técnicas de *Data Mining*, processo computacional para detecção de padrões em grandes conjuntos de dados, para analisar dados de medição do coeficiente de atrito e, assim, realizar estimativas deste parâmetro uma vez que estão sujeitos ao fenômeno de degradação ocasionado, principalmente, pelo acúmulo de borracha dos pneus das aeronaves. Por fim, os autores constataram que através do uso dessas técnicas é possível prever a necessidade de remoção do acúmulo de borracha na PPD com antecedência de até 6 meses comparado ao recomendado em manuais.

No que diz respeito ao uso de Redes Neurais Artificiais na Engenharia de Transportes, Hossain *et al.* (2018) elaboraram um modelo capaz de estimar o *International Roughness Index* (IRI) – Índice de Irregularidade Internacional – em rodovias norte-americanas com significativa acurácia. O IRI é um parâmetro utilizado para indicar o desempenho e o conforto do pavimento. Para tanto, os autores utilizaram uma RNA composta por quatro camadas, a saber sete neurônios na camada entrada, duas camadas ocultas com nove neurônios cada e uma camada de saída com um neurônio (7-9-9-1).

3. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As Redes Neurais Artificiais utilizam a simulação matemática de sistemas nervosos biológicos para processar informações adquiridas e derivar saídas preditivas após a rede ter sido adequadamente treinada para o reconhecimento de padrões. Uma RNA consiste em várias camadas de elementos de processamento paralelo, também chamadas de neurônios. Podem existir uma ou mais camadas ocultas entre uma camada de entrada e saída. Os neurônios nas camadas ocultas estão conectados aos neurônios de uma camada vizinha por fatores de ponderação que são ajustáveis durante o processo de treinamento do modelo. As redes são organizadas de acordo com métodos de treinamento para aplicações específicas. A Figura 1 apresenta uma estrutura típica de uma RNA de três camadas composta por quatro neurônios na camada de entrada, quatro neurônios na camada oculta e dois neurônios na camada de saída (4-4-2) além de fatores de ponderação de interconexão (W_{ij}) entre as camadas de neurônios (THUBE, 2012).

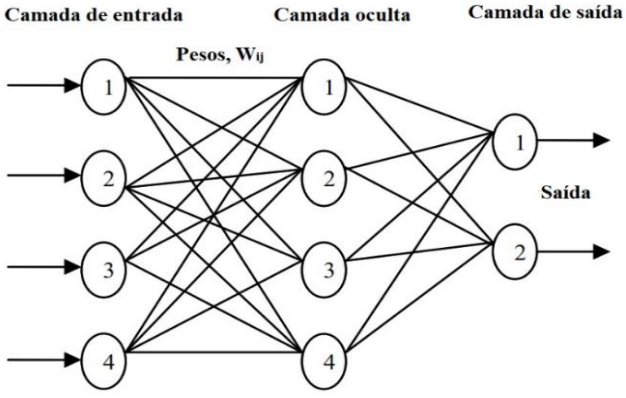


Figura 1: Rede Neural Artificial de três camadas (adaptado de THUBE, 2012).

As funções de ativação introduzem um componente não linear nas redes neurais, fazendo com que elas possam aprender mais do que relações lineares entre as variáveis dependentes e independentes. Dentre as funções mais comuns, tem-se a linear (1), sigmóide (2), tangente hiperbólica (TANH) (3) e, atualmente, também tem se empregado a linear retificada (ReLU) (4).

$$LINEAR\ (x) = x \quad (1)$$

$$SIGMÓIDE\ (x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (2)$$

$$TANH(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1 \quad (3)$$

$$ReLU\ (x) = \max\{0, x\} \quad (4)$$

No que tange ao processo de treinamento, as Redes Neurais Artificiais podem ser classificadas como supervisionadas ou não supervisionadas. No treinamento supervisionado, a RNA necessita de um par de vetores composto das variáveis de entrada e do vetor alvo (*target*) que se almeja como saída. Esses vetores, então, são chamados de par de treinamento ou vetor treinamento. Após a aplicação do vetor de entrada, a saída da rede é calculada e comparada com o correspondente vetor alvo. Assim, o erro obtido é realimentado através da rede e os pesos são atualizados de acordo com um algoritmo determinado a fim de minimizar o erro, esse procedimento é repetido até que o erro para os vetores de treinamento tenha atingido níveis baixos ou aceitáveis. Já no treinamento não supervisionado, no que lhe concerne, não requer um vetor alvo para as saídas e, portanto, não faz comparações para determinar a resposta ideal. O conjunto de treinamento modifica os pesos da rede de maneira que produza resultados consistentes tanto a apresentação de um dos vetores de treinamento, como a apresentação de um vetor que é suficientemente similar, irão produzir o mesmo padrão nas saídas (BOCANEGRA, 2002).

Dentre os tipos de RNA, destaca-se o *Multi-Layer Perceptron* (MLP), pois são muito empregadas, já que são redes muito versáteis e capazes de resolver problemas dos mais simples aos mais complexos. Nas redes MLP, é possível inserir camadas intermediárias entre as camadas de entrada e saída, portanto, pode-se ajustar o número de camadas em função da complexidade do problema e da precisão desejada. Contudo, não há estruturas predefinidas de acordo com a complexidade dos problemas, ou seja, é preciso pesquisar a melhor alternativa de estrutura para a rede (ZANETTI, 2008).

De forma sucinta, no MLP, para cada instância de treinamento, o algoritmo de retropropagação (*backpropagation*) faz uma previsão, verifica o erro e, então, segue através de cada camada em sentido reverso para medir a contribuição do erro de cada conexão e, finalmente, faz alguns ajustes dos pesos de conexão para reduzir o erro (etapa do Gradiente Descendente). O Gradiente Descendente é um algoritmo de otimização genérico capaz de encontrar soluções ótimas para uma ampla gama de problemas, a ideia geral é ajustar os parâmetros de forma iterativa, a fim de minimizar uma função de custo (GÉRON, 2017).

No tocante ao tamanho do banco de dados utilizado e a "sofisticação" do algoritmo na solução de problemas, Banko e Brill (2001) utilizaram vários tipos de algoritmos para solucionar casos de desambiguação de palavras e concluíram que à medida em que há mais dados disponíveis para treinar o algoritmo, melhor será sua acurácia. Portanto, quando possível, deve-se considerar a opção de adquirir mais dados ao invés de simplesmente dispender mais esforços em melhorar o algoritmo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração deste trabalho foram utilizados dados entre 2014 e 2018 dos aeroportos internacionais de Fortaleza, Salvador e Recife, totalizando 26 medições do coeficiente de atrito, todas realizadas com o equipamento *Griptester* a 65 km/h. A Tabela 1 apresenta um resumo dos dados utilizados. Buscou-se utilizar as medições de atrito e macrotextura com a menor diferença possível de dias e que não houvessem ocorrido procedimentos de remoção de acúmulo de borracha entre elas, uma vez que tal procedimento tende a influenciar os valores dos parâmetros citados. A média da diferença de dias entre a medição de atrito e macrotextura e a média de dias entre as medições de atrito estão representadas na coluna "1" e "2", respectivamente, da Tabela 1.

Foram utilizadas sete variáveis para estimar o coeficiente de atrito das PPD dos

aeroportos mencionados. As variáveis adotadas estão listadas na Tabela 2, bem como suas respectivas explicações. Destaca-se que os dados de coeficiente de atrito, macrotextura e o tráfego de aeronaves foram obtidos através da ANAC e as variáveis climáticas foram adquiridas por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Tabela 1: Resumo dos dados utilizados.

Aeroporto	***Medições de atrito***	***Período de medição***		***1***	***2***
		Início	***Fim***		
Fortaleza	17	08/2014	08/2018	4	86
Salvador	7	10/2015	06/2018	5	42
Recife	2	09/2015	01/2016	3	56
Total	26	-	-	-	-

Tabela 2: Variáveis utilizadas e suas explicações.

Variável	***Explicação***
Distância	Distância do ponto de medição em relação ao início da cabeceira mais solicitada
Macrotextura	Obtida pelo método da mancha de areia
Remoção de borracha	Variável binária, 0 quando não houve remoção entre a última medição e a atual e 1 quando houve
Nº de operações	Pousos e decolagens entre as medições de atrito
Temperatura compensada média	Temperatura média mensal
Amplitude	Diferença entre a temperatura máxima e a mínima
Umidade relativa	Umidade relativa do ar
Atrito	Coeficiente de atrito medido a 3 m do eixo da PPD

Destaca-se que a variável macrotextura, obtida por meio do método da mancha de areia, é medida a 3 m do eixo e a cada 100 m, alternando-se entre os lados direito e esquerdo, ou seja, são formadas algumas lacunas nas medições. Diante disso, utilizou-se as médias das leituras das seções antecessoras e sucessoras para preencher tais ausências.

Em seguida, gerou-se uma matriz (1278x8) contendo todos os dados, em que as 1278 linhas representam as observações e as 8 colunas são as variáveis. Ressalta-se que não há distinção entre os lados, pois a localização da seção pode ser obtida pelas variáveis macrotextura e distância.

O modelo foi desenvolvido em linguagem de programação *Python* e foi utilizada a função de ativação ReLU. Os dados foram aleatoriamente distribuídos entre 70% para treinamento e 30% para teste e validação. Para análise de acurácia utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2) e como critério de análise do erro usou-se o *Root Mean Square Error* (RMSE) (5). A Tabela 3 apresenta um resumo dos parâmetros do modelo. Destaque-se que os dados foram normalizados, procedimento realizado para evitar que variáveis com elevada ordem de grandeza venham a ter maior relevância em detrimento das demais.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}(h(x^{(i)}) - y^{(i)})^2} \quad (5)$$

Em que m é o número de exemplares utilizados no conjunto de dados, $h(x^{(i)})$ é a função de previsão do sistema, também chamada de hipótese, e $y^{(i)}$ é o valor observado.

Tabela 3: Parâmetros do modelo.

Parâmetros utilizados	
Função de ativação	ReLU
Camadas ocultas	2
Neurônios na 1ª camada oculta	150
Neurônios na 2ª camada oculta	200
Alpha	1
Nº máx de iterações	2000
Taxa de aprendizagem inicial	0,01

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 4 apresenta uma síntese dos resultados obtidos. As Figuras 2, 3 e 4 exibem gráficos de dispersão do coeficiente de atrito observado e o estimado.

Tabela 4: Resultados.

Fase	*R^2 (%)*	*RMSE*
Treinamento	91,17	0,291
Teste	64,06	0,626
Geral	82,30	0,421

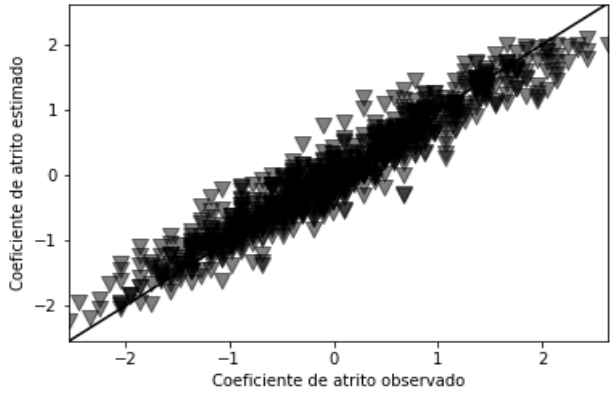


Figura 2: Resultados da fase de treinamento.

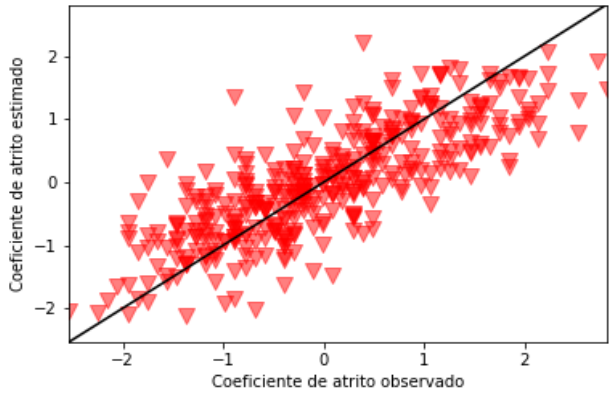


Figura 3: Resultados da fase de teste.

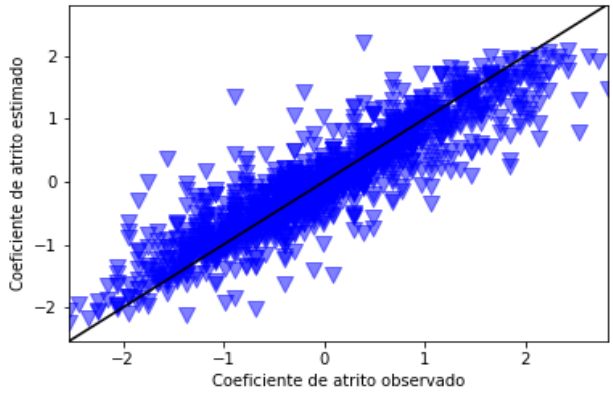


Figura 4: Resultados dos dados gerais.

De acordo com os resultados apresentados, percebe-se que a fase de treinamento apresenta uma acurácia significativa. Contudo, a fase de teste não demonstrou acurácia tão significativa quanto o treinamento, evidenciando assim a presença de viés no modelo. Portanto, é possível que ao aumentar o banco de dados isto seja solucionado.

Na tentativa de determinar a melhor estrutura para o modelo, foram verificadas algumas alternativas para os parâmetros. A Figura 5 apresenta a mudança na acurácia do modelo à medida que são alterados os valores de *alpha*, parâmetro de regularização que evita o ajuste excessivo dos pesos (W_{ij}).

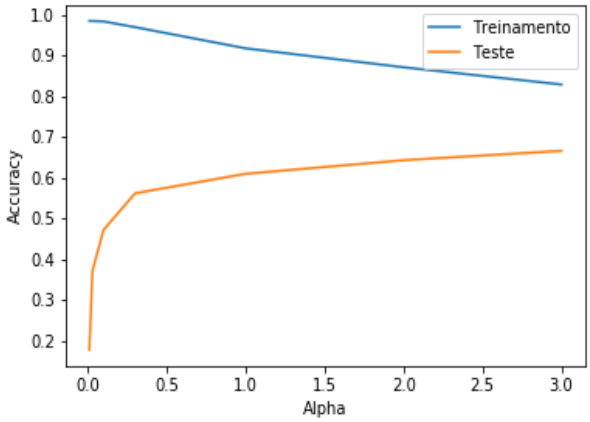


Figura 5: Acurácia x Alpha.

Porém, percebe-se que para valores de *alpha* superiores a 1,0 não há mais um ganho significativo de acurácia no Teste ao passo que o Treinamento continua a ser penalizado. Também analisou-se a quantidade de neurônios no desempenho da acurácia, conforme expresso na Figura 6 e na Tabela 5.

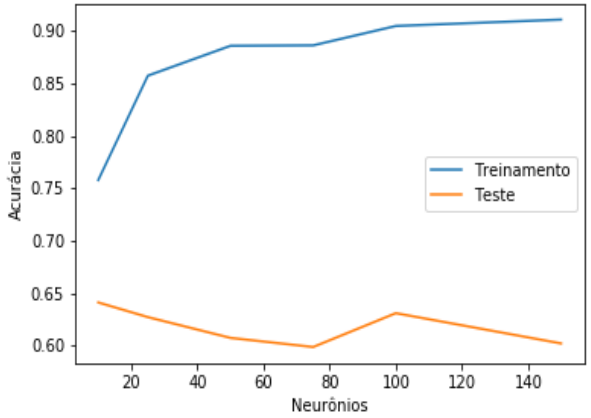


Figura 6:Acurácia x Neurônios da primeira camada oculta.

Tabela 5: Quantidade de neurônios testados.

Camada oculta	*Neurônios*					
1ª	10	25	50	75	100	150
2ª	20	50	75	100	150	200

Percebe-se, de acordo com os resultados, que à medida que se aumenta o número de neurônios a acurácia melhora significativamente, na fase de Treinamento, até o centésimo neurônio, a partir desse número a acurácia apresenta um comportamento constante. Entretanto, a fase de Teste, apresenta algumas oscilações com valores muito semelhantes de acurácia na quantidade de 10 e 100 neurônios.

Por fim, verificou-se a influência das funções de ativação na acurácia do modelo, conforme se verifica no gráfico da Figura 7.

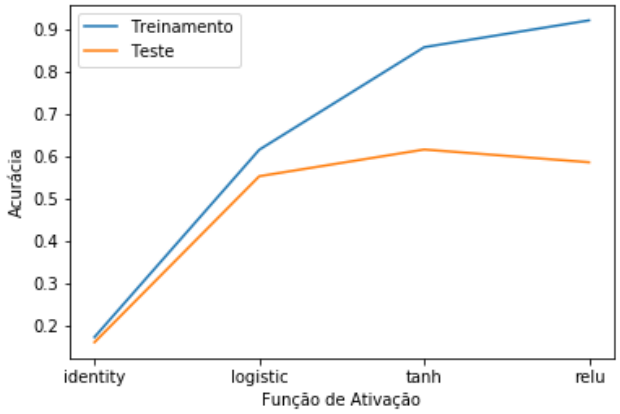


Figura 7: Acurácia x Funções de Ativação.

Analisando os resultados, percebe-se que os melhores valores de acurácia estão presentes nas funções de ativação tangente hiperbólica (TANH) e na linear retificada (ReLU). Destaca-se que a função ReLU foi superior à TANH nas fases de Treinamento e Geral apresentando uma diferença de 6,33% e 3,29%, respectivamente. Porém, na fase de Teste a função TANH foi 3,02% superior à ReLU. Contudo, optou-se pela utilização da função ReLU pelo melhor desempenho, em geral, em relação às demais.

6. CONCLUSÕES

Embora, ainda, haja necessidade de aprimoramento do modelo, os resultados apresentados demonstram que tal ferramenta tem significativo potencial de utilização para realizar estimativas de coeficiente de atrito em pista de pouso e decolagem com considerável acurácia.

Portanto, ressalta-se que tal modelo pode tornar-se uma ferramenta útil aos gestores aeroportuários a fim de garantir a segurança das operações e a tomada de decisão quanto à alocação dos recursos disponíveis para manutenção e reabilitação, contribuindo para um Sistema de Gerenciamentos de Pavimentos Aeroportuários mais eficiente. Ademais, os órgãos reguladores também podem empregar tal ferramenta como auxílio às atividades de fiscalização, bem como de acompanhamento da segurança operacional dos aeroportos brasileiros.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária da Agência Nacional de Aviação Civil (SIA/ANAC) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização dos dados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. *Anuário do Transporte Aéreo 2017*. Brasília, DF, 2018.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. *Regulamento Brasileiro Da Aviação Civil Nº 153 Emenda Nº 4. Diário Oficial da União* RBAC nº 153: 1–145. Brasília, DF, 2019.

BANKO, M., BRILL, E. "Scaling to Very Very Large Corpora for Natural Language Disambiguation". Association for Computational Linguistics, 2001, Toulouse. 0*1 Proceedings of the 39th Annual Meeting*, Toulouse, France, 2001.

BERNUCCI, L. B. et al. "Pavimentação Asfáltica*: Formação Básica Para Engenheiros*, Rio de Janeiro: Abeda, 496, 2008.

BOCANEGRA, C. W. R. Procedimentos para tornar mais efetivo o uso das Redes Neurais Artificiais em Planejamento de Transportes. 2002. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

DE LUCA, M. et al. "Preliminary Study on Runway Pavement Friction Decay Using Data Mining." *Transportation Research Procedia* 14: 3751–60, 2016.

GÉRON, A. *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn*. First Edit. O'Reilly, Sebastopol, CA, 2017.

HOSSAIN, M. I., et al. "International Roughness Index Prediction of Flexible Pavements Using Neural Networks." *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*

145(1): 1–10, 2018.
SANTOS, A. et al. “Degradation Prediction Model for Friction in Highways.” *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 8581 LNCS(PART 3): 606–14, 2014.
SANTOS, L. C. B. et al. *Aeródromos - Sumário Estatístico 2008-2017. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA)*. Brasília, DF, 2018.
SHAHIN, M. Y. *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*. Second Edi. New York, 2005.
THUBE, D. T. “Artificial Neural Network (ANN) Based Pavement Deterioration Models for Low Volume Roads in India.” *International Journal of Pavement Research and Technology* 5(2): 115–20, 2012.
ZANETTI, F. S. O uso de Redes Neurais Artificiais como ferramenta para auxiliar na determinação da vida útil de Pavimentos Flexíveis. 2008. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2008.

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DO CONHECIMENTO PARA CONTROLE DE PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO DE AERÓDROMOS E OBJETOS PROJETADOS NO ESPAÇO AÉREO: UM ESTUDO DE CASO

Cristiano Perez Garcia
Força Aérea Brasileira - Primeiro Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA I)
SHIS - QI-05 - Área Especial 12 CEP 71615-600 – Brasília, DF garciacpg@fab.mil.br

RESUMO

A área AGA do DECEA é responsável por disciplinar a ocupação do solo de modo a permitir o uso eficiente do espaço aéreo e, sobretudo, garantir a segurança das aeronaves que nele operam. As normas em vigor determinam que é necessário uma deliberação favorável do Comando da Aeronáutica para construções localizadas até 20 km de um aeródromo. O grande volume de solicitações faz com que seja necessário o emprego de um Sistema de Gestão do Conhecimento para gerenciar os processos oriundos das solicitações. Este estudo de caso analisa as opções de implantação do sistema por uma empresa contratada por meio de licitação em comparação com o desenvolvimento utilizando recursos próprios. A opção de realizar o desenvolvimento internamente apresenta-se mais vantajosa.

Keywords: Gestão, Conhecimento, Desenvolvimento, AGA, DECEA.

ABSTRACT

DECEA'S AGA is responsible for keeping in check the ground use to ensure efficient use of airspace and, overall, ensure the safety of aircraft in flight. Current rules dictate the need for a permit from Brazilian Air Force to construction work located up to 20 km away from an airfield. The large volume of requests creates the need for a Knowledge Management System to manage the processing of these requests. This case study assesses the options of hiring a private company to develop the system in comparison with in-house development. In-house development proves to be more advantageous.

Keywords: Knowledge, Management, Development, AGA, DECEA.

1. INTRODUÇÃO

A construção de sítios aeroportuários é um fator que normalmente impulsiona o desenvolvimento econômico e urbano dos municípios e, principalmente, dos bairros localizados na vizinhança do aeródromo (BUTTON; DOH; YUAN, 2010; PERCOCO, 2010). A necessidade de proteção do espaço aéreo no entorno de um aeroporto deve ser balanceada com os interesses da construção civil local (DE BARROS, 2013). De um lado existem as superfícies limitadoras de obstáculos, cuja sigla OLS vem da expressão em inglês *Obstacle Limitation Surface*, necessárias para a segurança operacional do aeroporto. De outro lado está o crescimento urbano que inclui a construção de edifícios e instalação de antenas de telefonia celular, entre outros tipos de Objetos Projetados no Espaço Aéreo (OPEA).

No Brasil, a responsabilidade sobre todos os aspectos relacionados ao espaço aéreo cabe ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). O setor do DECEA responsável por disciplinar a ocupação do solo de modo a permitir o uso eficiente do espaço aéreo e, sobretudo, garantir a segurança das aeronaves que nele operam é chamado de AGA, cuja sigla vem das iniciais do termo em inglês *Aerodromes and Ground Aids,* em português, Aeródromos e Auxílios Terrestres (KAZDA; CAVES, 2015).

A internet e as tecnologias digitais fizeram emergir um novo paradigma social, descrito por alguns autores, como sociedade da informação ou sociedade em rede alicerçada no poder da informação (CASTELLS, 2003). Nessa sociedade da informação as tecnologias assumem um papel de destaque em todos os segmentos sociais, permitindo o entendimento da nova estrutura social (CASTELLS; ESPANHA, 1999). Este uso dos sistemas computacionais expande-se cada vez mais por todas as áreas da administração pública e privada.

No Brasil existem atualmente 3.809 aeródromos e helipontos (ANAC, 2019). As OLS que compõe um Planos Básicos de Zona de Proteção de Aeródromos e Helipontos (PBZPA/H) podem impor restrições às construções a uma distância de até 20 km do aeródromo em questão. Dessa forma, os aeroportos localizados em grandes centros urbanos podem fazer com que seja necessário solicitar uma deliberação do DECEA para construções de OPEA localizados em grande parte das áreas urbanas de todos municípios.

As solicitações de construções de OPEA somadas às solicitações de inscrição ou alteração de dados cadastrais de aeródromos chegam a dezenas de milhares por ano (BASTOS, 2018). Diante de um grande número de solicitações, processos e documentos, torna-se iminente a necessidade de implantação de um sistema de gestão de informações.

Apesar da grande quantidade de dados manuseados pela AGA, durante muito tempo este setor não contava com um sistema dedicado ao gerenciamento de informações. O objetivo deste estudo de caso é a avaliação de duas possíveis soluções para a implementação de um sistema capaz de armazenar e processar os registros de solicitações para construções ou modificações em aeródromos, bem como as construções de OPEA ao redor dos aeródromos. Tal sistema, uma vez implementado, será capaz de proporcionar uma redução de prazos nas respostas do DECEA às solicitações de seus usuários e a otimização de recursos, levando a uma prestação de serviço de melhor qualidade aos cidadãos.

O restante do texto está organizado da seguinte forma: na seção 2 será apresentada revisão bibliográfica e o marco regulatório, bem como a relação que cada nova legislação possui com o assunto em tela. A seção 3 apresenta as possíveis soluções para o problema em questão juntamente aos seus respectivos prós e contras. Por fim, na seção 4 é feita uma análise das alternativas existentes e uma sugestão é apresentada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Durante a última década, a literatura tem apresentado vasto material que incita à reflexão e à discussão sobre a teoria organizacional, sendo que, nesta área, diversos autores têm demonstrado a importância do entendimento e da implementação dos conceitos, princípios, modelos e ferramentas de gestão do conhecimento como um novo paradigma para a boa gestão e o sucesso das organizações (COELHO, 2004).

O principal objetivo de um Sistema de Gestão do Conhecimento (SGC) é a utilização de conhecimentos do passado nas atividades do presente, levando a níveis mais altos de eficiência organizacional (MAIER; HADRICH, 2011). O conceito de codificação e transmissão de conhecimentos não é algo novo: programas de treinamento e desenvolvimento de estagiários, políticas organizacionais, rotinas, procedimentos, relatórios e manuais executaram essa função por anos. Ao capturar, codificar e disseminar este conhecimento, a organização reduz o nível de experiência necessário para os gerentes enquanto aumenta a eficiência e eficácia das suas operações (ALAVI; LEIDNER, 1999).

A disponibilidade de acesso à internet tem facilitado o desenvolvimento e uso dos SGC pelas instituições. Sistemas de informação tem sido cada vez mais direcionados para explorar os benefícios dessa plataforma, levando ao desenvolvimento de sistemas de gerenciamento de informações baseados na tecnologia de rede (ISAKOWITZ; BIEBER; VITALI, 1998). A internet permite que as organizações construam redes de conhecimento com custos mais baixos, mais fácies de usar e sem preocupações com a falta de padronização das redes (LEE; HONG, 2002).

Além das questões tecnológicas vistas acima, as normas nacionais e internacionais tem importância fundamental na atuação da AGA. Por isso o restante desta seção será dedicado a uma apresentação do histórico das principais normas que são aplicadas na proteção do espaço aéreo ao redor de aeródromos.

Ao torna-se signatário da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), por meio da promulgação da Convenção sobre Aviação Civil Internacional (BRASIL, 1946), o Brasil passou a ter a obrigação de aplicar as normas emitidas por aquela instituição. Entre os dispositivos que deverão ser cumpridos, estão as OLS, previstas no Anexo 14 da OACI (ICAO, 2018). As OLS são um conjunto de superfícies imaginárias definidas ao redor de um aeródromo para proteger as aeronaves em voo de obstáculos que possam trazer risco às manobras. Essas superfícies se estendem muito além da área patrimonial do aeroporto e, como consequência, certas áreas ao redor do aeródromo podem sofrer restrições para a implantação de determinados empreendimentos (SILVA; DE BARROS, 2016).

O Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA) (BRASIL, 1986) é a principal lei em âmbito nacional que rege os diversos ramos da aviação. Após a promulgação do CBA, o então Ministério da Aeronáutica publicou a Portaria nº 1.141/GM5 (BRASIL, 1987) que estabeleceu pela primeira vez na legislação nacional o conceito dos PBZPA/H. Anos depois, a Portaria nº 256/GC5, que dispoe sobre as restrições relativas as implantações que possam afetar adversamente a seguranca e a regularidade das operações aéreas (BRASIL, 2011), revogou e substituiu a Portaria nº 1.141/GM5. Por sua vez, a Portaria nº 256/GC5 foi substituída pela Portaria n° 957/GC3, que dispõe sobre as restrições aos objetos projetados no espaço aéreo que possam afetar adversamente a segurança ou a regularidade das operações aéreas (BRASIL, 2015). As Portarias 256/GC5 em 2011 e 957/GC3 em 2015 trouxeram modificações que aumentaram de modo significativo a demanda por serviços da AGA.

O conjunto de leis e portarias citado acima coloca o DECEA como responsável pelo gerenciamento do espaço aéreo Brasileiro com o objetivo de garantir a segurança e a regularidade das operações aéreas nos aeródromos e helipontos civis e militares do território nacional.

3. ANÁLISE

Diante do quadro descrito, observa-se a necessidade do desenvolvimento e implementação de um SGC para armazenar e processar os dados gerenciados pela AGA (COELHO, 2004). Considerando as necessidades existentes, as principais características do sistema a ser implementado devem ser: possibilidade de cadastro de diferentes perfis de usuários com níveis de acesso a serem definidos pelo DECEA, consulta e utilização das informações por meio da internet, preenchimento de formulários eletrônicos, possibilidade de carregamento e descarregamento de arquivos afetos a cada solicitação, emissão de documentos com verificação de autenticidade digital e facilidade na adaptação às mudanças normativas.

Uma vez definida a necessidade de implementação de um sistema de gerenciamento de informações, o próximo passo é a escolha de um caminho a ser seguido para a aplicação dessa solução. Serão analisadas duas alternativas: a contratação de uma empresa para prestação do serviço ou o desenvolvimento utilizando recursos próprios.

A contratação de uma empresa prestadora de serviço deve ser feita, obrigatoriamente, por meio de processo licitatório em caso de órgãos públicos (BRASIL, 1993). Depois de finalizada a licitação, a empresa escolhida iniciará o desenvolvimento de acordo com as especificações constantes no contrato de prestação de serviço. Quando o desenvolvimento estiver finalizado, uma comissão de recebimento será instalada para garantir que todos os termos do contrato foram atendidos e que o produto entregue está de acordo com as especificações.

O desenvolvimento de uma solução própria envolve a utilização de mão de obra capacitada que faça parte do efetivo à disposição do DECEA. As etapas de desenvolvimento e entrega seguem caminhos semelhantes àquele que ocorre quando uma empresa é contratada, porém não há necessidade de licitação e assinatura de contrato, visto que todos os envolvidos fazem parte da mesma instituição.

Esta segunda opção garante o custo mais baixo possível, visto que não será necessário nenhuma contratação adicional e os custos com recursos humanos não serão alterados. Porém esta opção depende da existência de pessoal capacitado e que possa ser direcionado para a execução desta tarefa. Entre os diversos fatores que podem influenciar no sucesso de um *software* desenvolvido internamente, a escolha de um gerente de projetos capacitado e com larga experiência é um dos itens que possui maior correlação com projetos que obtiveram êxito (VERNER; EVANCO, 2005). Assim, é necessário verificar se há disponibilidade, nos quadros de pessoal do DECEA, de um gerente de projetos com a experiência desejada.

Os custos de treinamento e suporte frequentemente são subestimados, podendo alcançar valores muitas vezes superiores ao que foi inicialmente previsto. A implementação de uma arquitetura cliente-servidor frequentemente traz surpresas em relação ao custo, devido aos gastos com servidores descentralizados, software para integração de sistema, atualizações e controle de versões (SUMNER, 1999). Portanto é necessário que estes custos sejam levados em conta para a tomada de decisão, visto que o sistema possivelmente permanecerá em uso por um longo período de tempo.

4. CONCLUSÃO

Depois de apresentadas as possíveis soluções para o problema em questão, serão analisados os pontos positivos e negativos de cada uma das alternativas.

As condições de contratação por licitação garantem que a empresa escolhida será capacitada que o preço pago será o menor possível. Entretanto a seleção preço mais baixo não significa um custo necessariamente baixo, visto que os contratos celebrados pelo Governo Federal para desenvolvimento de software normalmente são superiores ao valor de um milhão de Reais (BRASIL, 2019).

O mercado de software no Brasil é bastante expressivo em termos mundiais e, nos últimos anos, passou por um processo de expansão e amadurecimento significativo (DE ARAÚJO; DE LEMOS MEIRA, 2004) assim, a contratação de uma empresa especializada na atividade ajudará a fomentar o setor e implicará o recebimento de um produto de alta qualidade, desde que as especificações tenham sido feitas de forma correta.

Muitas das melhores ideias para novos produtos ou melhorias em produtos existentes vem dos usuários de um sistema. A criação de protótipos que possam ser aprimorados a partir da interação com os usuários tem sido utilizada nos estágios iniciais do desenvolvimento para permitir uma melhor definição de requisitos. Além disso, já existe o reconhecimento a muito tempo de que uma boa relação entre os usuários e os desenvolvedores associada à participação dos usuários no desenvolvimento são fatores importantes para uma boa implementação de sistemas (KEIL; CARMEL, 1995). Este contato entre usuários e desenvolvedores pode ser proporcionado pelos dois modelos de desenvolvimento em análise. Porém, no caso do

desenvolvimento interno, o contato inicial pode ser facilitado pelo convívio institucional.

Um fato adicional que deverá ser levado em consideração é o fato de os militares possuirem estabilidade na carreira (PEREIRA, 1995). Tal estabilidade faz com que a rotatividade de profissionais em um determinado setor seja muito menor do que aquela que se observa na iniciativa privada. Sendo assim, caso o sistema seja desenvolvido internamente, a manutenção no longo prazo tende a ser beneficiada. Um benefício adicional será obtido caso existam profissionais que possam atuar no desenvolvimento e que tenham conhecimento do domínio onde o sistema será empregado. Pode-se destacar também o prazo que será reduzido, uma vez que não será necessário um processo licitatório.

Considerando o suporte no longo prazo, esse serviço poderá ser prestado por uma empresa contratada por meio de pagamento adicional. Nesse caso, o desenvolvimento interno apresenta-se como melhor opção,, visto que não haverá a necessidade de incluir essa prestação de serviço em contrato e, portanto, não haverá custo adicional pelo serviço.

Considerando os aspectos como menor custo, menor prazo de entrega e facilidade na manutenção a longo prazo, o desenvolvimento de uma solução própria possui mais vantagens em relação à alternativa. Assim este trabalho recomenda o desenvolvimento de uma solução própria e a busca de profissionais capacitados para atuação na equipe.

REFERÊNCIAS

ALAVI, M.; LEIDNER, D. Knowledge management systems: issues, challenges, and benefits. Communications of the Association for Information systems, v. 1, n. 1, p. 7, 1999.

ANAC. Cadastro de Aeródromos Civis. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/cadastro-de-aerodromos-civis>. Acesso em: 10 ago. 2019.

BASTOS, G. Proteção de aeródromos: do virtual para o real. Aerovisão - A Revista da Força Aérea Brasileira, p. 45–47, 2018.

BRASIL. Decreto nº 21.713 - Promulga a Convenção sôbre Aviação Civil Internacional, concluída em Chicago a 7 de dezembro de 1944 e firmado pelo Brasil, em Washington, a 29 de maio de 1945. Diário Oficial da União, n. 1, p. 12715, 1946.

BRASIL. Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986. Código Brasileiro de Aeronáutica, 1986.

BRASIL. Portaria nº 1141/GM5 - Dispõe sobre Zonas de Proteção e Aprova o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos, o Plano Básico de Zoneamento de Ruído, o Plano Básico de Zona de Proteção de Helipontos e o Plano de Zona de Proteção de Auxílios à Navegação . Diário Oficial da União, n. 1, 1987.

BRASIL. Lei 8.666 - Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Diário Oficial da União, n. 1, p. 8269, 1993.

BRASIL. Portaria nº 256/GC5 - Dispõe sobre as restrições relativas às implantacoes que possam afetar adversamente a segurança e a regularidade das operações aeréas, e dá outras providencias. Diário Oficial da União, n. 1, p. 11, 2011.

BRASIL. Portaria nº 957/GC3 - Dispõe sobre as restrições aos objetos projetados no espaço aéreo que possam afetar adversamente a segurança ou a regularidade das operações aéreas, e dá outras providências. Diário Oficial da União, p. 1–119, 2015.

BRASIL. Painel de Compras de Governo. Disponível em: <https://www.comprasgovernamentais.gov.br/index.php/painel-de-compras-de-governo>. Acesso em: 10 ago. 2019.

BUTTON, K.; DOH, S.; YUAN, J. The role of small airports in economic development. Journal of airport management, v. 4, n. 2, p. 125–136, 2010.

CASTELLS, M. A Galáxia Internet: reflexões sobre a Internet, negócios e a sociedade. [s.l.] Zahar, 2003.

CASTELLS, M.; ESPANHA, R. A era da informação: economia, sociedade e cultura. [s.l.] Paz e terra, 1999. v. 1

COELHO, E. M. Gestão do conhecimento como sistema de gestão para o setor público. Revista do serviço público, v. 55, n. 1–2, p. 89–115, 2004.

DE ARAÚJO, E. E. R.; DE LEMOS MEIRA, S. R. Inserção competitiva do Brasil no mercado internacional de software. O futuro da indústria de software, p. 81, 2004.

DE BARROS, A. G. Sustainable integration of airports into urban planning--a review. International Journal of Urban Sciences, v. 17, n. 2, p. 226–238, 2013.

ICAO. Annex 14 - Aerodromes. Montreal, v. 1, 2018.

ISAKOWITZ, T.; BIEBER, M.; VITALI, F. Web information systems. Communications of the ACM, v. 41, n. 7, p. 78–80, 1998.

KAZDA, A.; CAVES, R. E. Airport design and operation. [s.l.] Emerald Group Publishing Limited, 2015.

KEIL, M.; CARMEL, E. Customer-developer links in software development. Communications of the ACM, v. 38, n. 5, p. 33–44, 1995.

LEE, S. M.; HONG, S. An enterprise-wide knowledge management system infrastructure. Industrial Management & Data Systems, v. 102, n. 1, p. 17–25, 2002.

MAIER, R.; HADRICH, T. Knowledge management systems. In: Encyclopedia of Knowledge Management, Second Edition. [s.l.] IGI Global, 2011. p. 779–790.

PERCOCO, M. Airport activity and local development: evidence from Italy. Urban studies, v. 47, n. 11, p. 2427–2443, 2010.

PEREIRA, L. C. B. A estabilidade desejada. Jornal do Brasil, 1995.

SILVA, A.; DE BARROS, A. G. Quantitative risk evaluation of obstacle limitation surfaces for final approaches at airports. Journal of Aviation Technology and Engineering, v. 5, n. 2, p. 5, 2016.

SUMNER, M. Critical success factors in enterprise wide information management systems projects. AMCIS 1999 Proceedings, p. 83, 1999.

VERNER, J. M.; EVANCO, W. M. In-house software development: what project management practices lead to success? IEEE software, v. 22, n. 1, p. 86–93, 2005.

GERENCIAMENTO DO FLUXO E DA CAPACIDADE DO TRÁFEGO AÉREO E SEUS BENEFÍCIOS PARA O ESPAÇO AÉREO E PARA O AEROPORTO

Joaquim Lobo Junior
Força Aérea Brasileira – Centro de Gerenciamento de Controle do Espaço Aéreo (CGNA)
Av. General Justo, 876 – Centro, Rio de Janeiro - RJ

Marcelo Carvalho Cabral de Vasconcellos
Aeroporto Internacional de Guarulhos – GRU Airport
Rod. Hélio Smidt, s/n° - Aeroporto, Guarulhos – SP

Maria Filomena Fontes Ricco
Universidade da Força Aérea - Unifa
filricco@gmail.com

RESUMO

O Gerenciamento do fluxo implica na capacidade de tráfego aéreo, a qual permite ao Brasil cumprir acordos internacionais dos quais é signatário e projetar-se no cenário mundial, sendo essenciais para manutenção da qualidade de serviço atual e projetada. O desenvolvimento de novos procedimentos de tráfego aéreo, associado à gestão de pátio oferecem fluidez e segurança para os usuários e passageiros. Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo apresentar os principais benefícios projetados para o fluxo do tráfego aéreo e para a capacidade do aeroporto a partir da implantação dos procedimentos de aproximação simultâneas e independentes em uma região de múltiplos aeroportos localizada na Área Terminal de São Paulo. Os resultados, embora não conclusivos, mostram que a partir das ações propostas, o tráfego aéreo poderá apresentar maior fluidez, proporcionando o aumento das capacidades dos setores na aproximação final do Aeroporto Internacional de Guarulhos, garantindo a segurança das operações e possibilidade de redução de esperas e medidas de gerenciamento de tráfego aéreo para os aeronavegadores, além de ganhos para o sistema de pistas do aeroporto com o aumento da capacidade, atendendo a demanda projetada para os próximos anos, minimizando atrasos de solo e possibilitando a redução de consumo de combustível e emissão de gases atmosféricos.

ABSTRACT

The Flow management entails on the air traffic capacity, which allows Brazil to comply with international agreements and projects itself to the worldwide scenario, being essential to the maintenance of the quality of the service currently and projected. The development of new air traffic procedures associated to the ramp management offer flow efficiency e safety for the users and passengers. Based on this matter, this work aims at presenting the main benefits projected for the air traffic flow and for the airport capacity from the implementation of procedures for simultaneous independent parallel approaches at a region comprised by multiple airports located within the São Paulo Terminal Area. The results, though not conclusive, show that starting with the proposed actions, the air traffic will possibly present a better flow, enabling the increase of the airspace sector capacity in the final sectors of Guarulhos airport, granting the safety of the operations and turning possible the reduction of holdings and ATFM measures. Besides it brings about considerable gains for the airport runway system by increasing the runway capacity. It will fit the traffic demand for the next ten years and consequently will reduce the delays on the ground, the fuel burn and pollutant air emissions.

Key Words: Air Traffic Flow and Capacity Management, Capacity, Defense, Air Traffic, Airport Infrastructure, Simultaneous and Independent Parallel Operations.

1. INTRODUÇÃO

A Área de Controle Terminal de São Paulo (TMA São Paulo ou Terminal São Paulo) é considerada uma região de múltiplos aeroportos e processa cerca de 34,0% dos passageiros processados no Brasil (HORUS, 2019). Seus três principais aeroportos: Congonhas (SBSP), Guarulhos (SBGR) e Campinas (SBKP) atendem uma região formada por 291 municípios, sendo projetados ainda cerca de cerca de 73 milhões de passageiros em 2019 (PAN, 2018).

Ainda de acordo com o Plano Aeroviário Nacional de 2018 (PAN, 2018), a demanda nesses aeroportos deverá ultrapassar 180 milhões de passageiros no ano de 2038.

E de acordo com o Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo 2018 (DECEA, 2018), a TMA São Paulo movimentou em 2018 o total de 660.843 voos, sendo a área com maior representatividade no Brasil, sendo cerca de 83% do total provenientes da Aviação Comercial regular.

Considerando que o gerenciamento do fluxo implica na capacidade de tráfego aéreo, e projeta o país no cenário mundial, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) iniciou a reconfiguração da TMA São Paulo, no projeto denominado TMA SP Neo, cujo objetivo é aumentar a capacidade de processamento, garantir fluidez, eficiência e segurança operacional nos três aeroportos.

Em paralelo, em 2018 foi realizado o lançamento do Projeto Agile GRU, resultado da parceria entre DECEA, a GRU Airport, a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero), a Associação Brasileira das Empresas Aéreas (ABEAR) e a *International Air Transport Association* (IATA). A primeira fase foi iniciada com o desenvolvimento de novos procedimentos, seguido do início das operações segregadas sob Condições Meteorológicas Visuais (VMC) em dezembro de 2018.

Consequentemente, e buscando boas práticas internacionais, o Centro de Gerenciamento de Controle do Espaço Aéreo (CGNA) desenvolveu para o Aeroporto de Guarulhos a aproximação e decolagem simultânea paralela em aeroportos com sistema de pistas próximas (distantes menos de 760 m), a qual foram implementados com sucesso em diversos outros aeroportos do mundo, tais como, Chicago/O'Hare International Airport, Dallas-Fort Worth International Airport, Copenhagen Airport, Amsterdam Airport Schiphol, Delhi/Indira Gandhi International (IGI) Airport, Kastrup, Hong Kong International Airport, Abu Dhabi International Airport – para citar alguns – sendo a principal referência o Aeroporto Internacional de São Francisco.

De acordo com Haines e Swedish (1981); Houck et al (1999) e Bone et al (2001), a operação de aproximação em pistas paralelas próximas é o processo no qual duas aeronaves fazem aproximações para pouso, já no seguimento de aproximação final, em pistas separadas por distâncias dos eixos centrais de menos de 4.300 pés (1310,6 m). Para Ogata (2003), aterrissagens durante boas condições meteorológicas ou VMC (Visual Meteorological Conditions) podem ser conduzidas por meio do critério "*see and be seen*", isto é, sob regras VFR (Visual Flight Rules).

Almeida (2012) atrela a viabilidade de absorção de uma maior demanda de tráfego aéreo, ao longo dos anos, ao sistema de pistas disponível em cada aeródromo e, com isso, a aproximação paralela aparece como sendo um meio de otimização desses sistemas de pistas proporcionando o aumento da capacidade aeroportuária dos aeródromos que possuírem tais sistemas ótimos de pistas.

Assumindo que a avaliação da capacidade do Sistema de Pistas de Pouso e Decolagens no e do Gerenciamento do Fluxo de Tráfego aéreo permite entender o potencial de crescimento do espaço aéreo no entorno do principal aeroporto da América do Sul, por meio de pesquisa documental, o presente estudo tem por objetivo apresentar os principais impactos no gerenciamento do fluxo e da capacidade tráfego aéreo (ATFCM) na Área Terminal São Paulo e os benefícios para o Aeroporto Internacional de Guarulhos (SBGR), a partir da mudança nos procedimentos de aproximação.

2. PROJEÇÕES ECONÔMICAS E DO MERCADO DA AVIAÇÃO

A Política Nacional de Aviação Civil – PNAC, aprovada por meio do Decreto nº 6.780, de 18 de fevereiro de 2009, tem como diretriz

assegurar um serviço aéreo amplo, seguro, eficiente e sustentável. Nesse sentido, a otimização do uso do espaço aéreo e da infraestrutura aeroportuária civil e a melhoria dos processos e práticas de gestão devem ser continuamente buscadas.

A Figura 1 apresenta o histórico e a projeção de demanda entre 2018 e 2038 para os aeroportos brasileiros, tendo um crescimento médio de 4,6% ao ano, nos próximos 20 anos (PAN, 2018). O crescimento projetado leva em consideração aspectos econômicos e utilizada como base o crescimento do PIB, sendo possível observar ainda outra elasticidade a partir da alteração deste indicador. De acordo com o boletim Focus publicado em dezembro de 2018, o crescimento previsto para o PIB poderá chegar a até 2,53% para 2019 comparado a 1,3% do ano anterior.

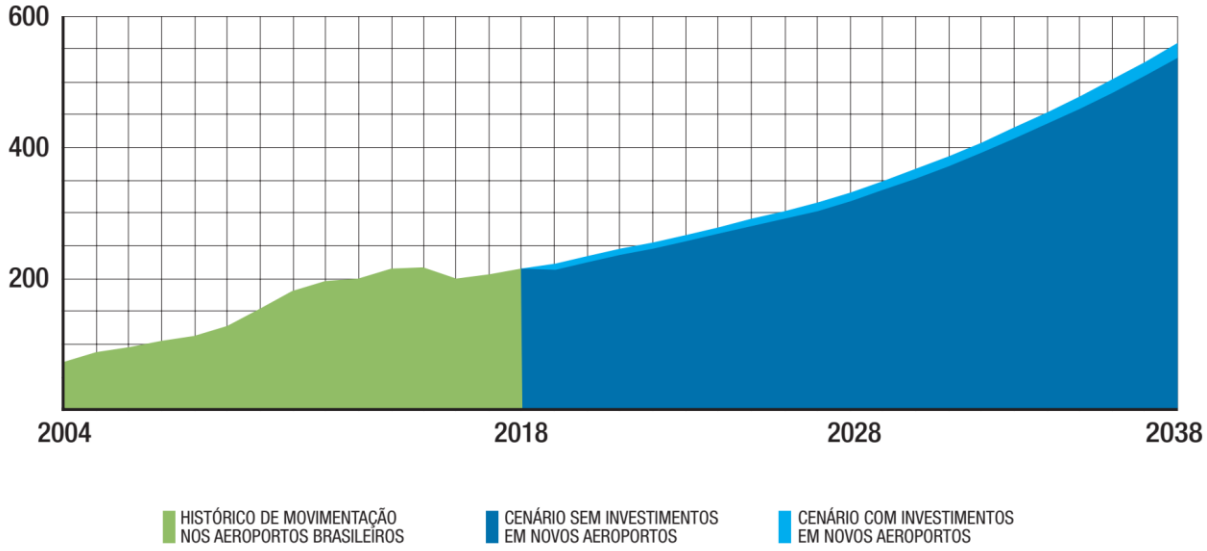


Figura 1: Projeção de movimentação de passageiros no Brasil (Fonte: PAN, 2018)

Ainda de acordo com o Plano Aeroviário (PAN, 2018), a previsão para os três maiores aeroportos de São Paulo se aproxima de 1,3 milhão de movimentos em 2038, sendo apenas o Aeroporto Internacional de Guarulhos responsável por quase 45% desse total.

Em 2018 apenas o Aeroporto de Guarulhos foi responsável pelo processamento de, aproximadamente, 19,5% do tráfego aéreo nacional – sendo 61,7% do movimento internacional e 14,1% do doméstico nacional. Dadas suas características físicas e geográficas – localizado no centro da cidade de Guarulhos, região metropolitana de São Paulo, o desenvolvimento de novos procedimentos de tráfego aéreo capazes de aumentar a capacidade e a flexibilidade das operações aparece como principal alternativa para o tráfego aéreo nacional.

Responsável pelo maior volume de passageiros transportados no Brasil, o Aeroporto Internacional de Guarulhos é a principal porta de entrada e de saída de voos internacionais e é responsável pelo ajuste de malha das principais empresas aéreas domésticas.

Com base nas estimativas apresentadas, evidencia-se a necessidade de se desenvolver, sob a perspectiva do espaço aéreo, metodologias e procedimentos que viabilizem uma melhor vazão do fluxo de tráfego aéreo nas regiões de aproximações para o Aeroportos.

Um dos maiores impactos da falta de ação preventiva no sentido de absorver a demanda são os atrasos no espaço aéreo ao redor dos aeroportos nos horários de maior demanda, os horários de pico. Os atrasos geram desgastes para os setores gerenciadores de fluxo de tráfego, para os órgãos de controle de tráfego aéreo, para as companhias aéreas e para os administradores aeroportuários.

Conforme apontado por Irvine et al (2016), além dos elevados custos atrelados aos atrasos, o aumento significativo de emissões de

gases poluentes na atmosfera, dentre eles CO2 e NOx, foram observados principalmente em horários de pico e em decorrência de atrasos no solo.

Nesse cenário, o gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo (ATFM) aparece como o facilitador da eficiência e eficácia do gerenciamento de tráfego aéreo (ATM). O ATFM contribui para a segurança, custo benefício e sustentabilidade ambiental do sistema ATM como um todo. Ele também é o maior potencializador da interoperabilidade global da indústria do transporte aéreo.

Logo, reconhece-se que, ao longo do tempo, duas linhas de ação surgiram simultaneamente, quais sejam, as implementações a nível local de atividades ATFM globais e processos ATFM padronizados a serem implementados por todos os países signatários da Organização Internacional da Aviação Civil (OACI) ou *International Civil Aviation Organization* (ICAO), buscando uma uniformização do Tráfego Aéreo mundial.

3. CAPACIDADES DE SETORES E DO SISTEMA DE PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM

Dentro da perspectiva do gerenciamento de fluxo do tráfego aéreo, surge a máxima que define de forma pragmática o ATFM: o equilíbrio entre a capacidade e a demanda. Atualmente, o órgão responsável pela medição e definição da capacidade dos aeroportos brasileiros é o CGNA. Há dois tipos de capacidades que são medidas para atender o fluxo aéreo que são: (i) a Capacidade de Setores de Espaço Aéreo; e (ii) a Capacidade do sistema de Pistas.

A capacidade dos setores do espaço aéreo tem como base de sua metodologia analítica as variáveis de carga de trabalho do Controlador de tráfego aéreo e o tempo de permanência no setor, no caso do Aeroporto de Guarulhos, o setor de aproximação final. O valor encontrado de capacidade, denominado Número de Referência (Nref) possui influência direta no número de aeronaves controladas no setor da aproximação final (DECEA, 2014). Quando este número é ultrapassado, são observadas esperas que podem resultar em atrasos, aumento no consumo de combustível e emissões atmosféricas.

Já a capacidade do sistema de pistas é definida como a quantidade de movimentos por intervalo de hora. As configurações das pistas, o *mix* de aeronaves, os tempos médios de ocupação de pistas nas operações e o *modus operandi* são variáveis que incidirão na capacidade declarada do aeródromo (DECEA, 2015). Destaca-se ainda que as principais configurações de pistas estão relacionadas à disposição das pistas de pouso e decolagem, sendo: (i) simples: quando existe apenas uma; (ii) paralelas: quando existem duas ou mais pistas e as cabeceiras possuem as mesmas orientações; (iii) quase paralelas: quando não possuem interseção e os prolongamentos de centros de pistas divergem ou convergem em 15° ou menos; e (iv) cruzadas ou convergentes: quando possuem intersecção ou divergem ou convergem por mais de 15° (ALMEIDA, 2012).

Ademais, dentre as pistas paralelas existem a seguintes classificações: as próximas, com espaçamento entre eixos menor do que 760 m (2.500 ft); intermediárias, com espaçamento entre eixos de 760 m a 1.310 m (2.500 – 4.300 ft); e distantes, com espaçamento entre eixos maior do que 1.310 m (4.300 ft) (WALD; FAY; GLEICH, 2010; NASA, s.d.).

As pistas cruzadas podem impossibilitar aproximações e decolagens simultâneas para as diferentes pistas, enquanto que pistas paralelas reduzem a quantidade de conflito nas trajetórias dos procedimentos de pouso e decolagem, possibilitando assim um fluxo mais eficiente das aeronaves. Na situação de pistas quase paralelas não há uma regra definida, varia de caso a caso. Por esse motivo pistas paralelas são largamente utilizadas nos principais aeroportos do mundo (ICAO, 2004).

No caso do Aeroporto de Guarulhos, o sistema de pistas conta com duas pistas paralelas e próximas, que são a 09R/27L e a outra 09L/27R. A distância entre eixos de pista é de 375 m, caracterizando-a como pistas paralelas e próximas, apresentando ainda decalagem de 580 m entre as cabeceiras 09R e 09L, conforme Figura 2.



Figura 2: Configuração do Sistema de pistas de pouso e decolagens do Aeroporto Internacional de Guarulhos (Fonte: Google Earth, 2019)

4. APROXIMAÇÕES PARALELAS E BENEFÍCIOS PARA O SETOR

O principal objetivo do administrador aeroportuário é disponibilizar infraestrutura e segurança operacional para atender a demanda projetada e manter o nível de serviço recomendado, de modo a garantir que os horários programados pelas empresas aéreas não apresentem atrasos na partida ou na chegada

Visando analisar as melhores opções para absorver a crescente demanda projetada para o Aeroporto de Guarulhos e otimizar a capacidade do sistema de pistas e dos setores finais do espaço aéreo da Terminal de Controle de São Paulo foi criado o AGILE GRU. Os profissionais responsáveis pelo projeto consideraram a implementação gradual de operações simultâneas no aeródromo em questão.

A primeira fase do AGILE GRU consistiu no desenvolvimento de novos procedimentos e cartas para operações de pousos em pistas paralelas. A segunda fase, por sua vez, foi iniciada em Dezembro de 2018, permitiu operações segregadas independentes em pistas dedicados, ou seja, usadas apenas para operações de pouso ou de decolagens. Nessa fase critérios de meteorologia são utilizados, sendo realizadas apenas em condições visuais (VMC), além de regras de controle de trafego aéreo e procedimentos expressos nas cartas de aproximações (IAC) e decolagens (SID).

Os resultados da segunda fase mostraram redução significativa no tempo de taxiamento das aeronaves para decolagem – observando a diferença entre o horário de decolagem e o horário de início de taxiamento após a saída da posição de estacionamento – após a implantação da Fase II do AGILE, como pode apresentado na Figura 3. Esse aumento proporciona redução nos atrasos e no consumo de combustível por parte das empresas aéreas, além do menor número de aeronaves nos pátios e taxiways, garantindo maior fluidez e reduzindo riscos operacionais com equipamentos e veículos de solo.

Ainda na Figura 3 é possível observar a redução do tempo de taxi durante o horário-pico da manhã (entre 06:00 e 11:00) – horário em que há maior utilização do AGILE devido às condições meteorológicas – nas decolagens da cabeceira 09L, onde são realizadas cerca de 80% destas operações no Aeroporto de Guarulhos.

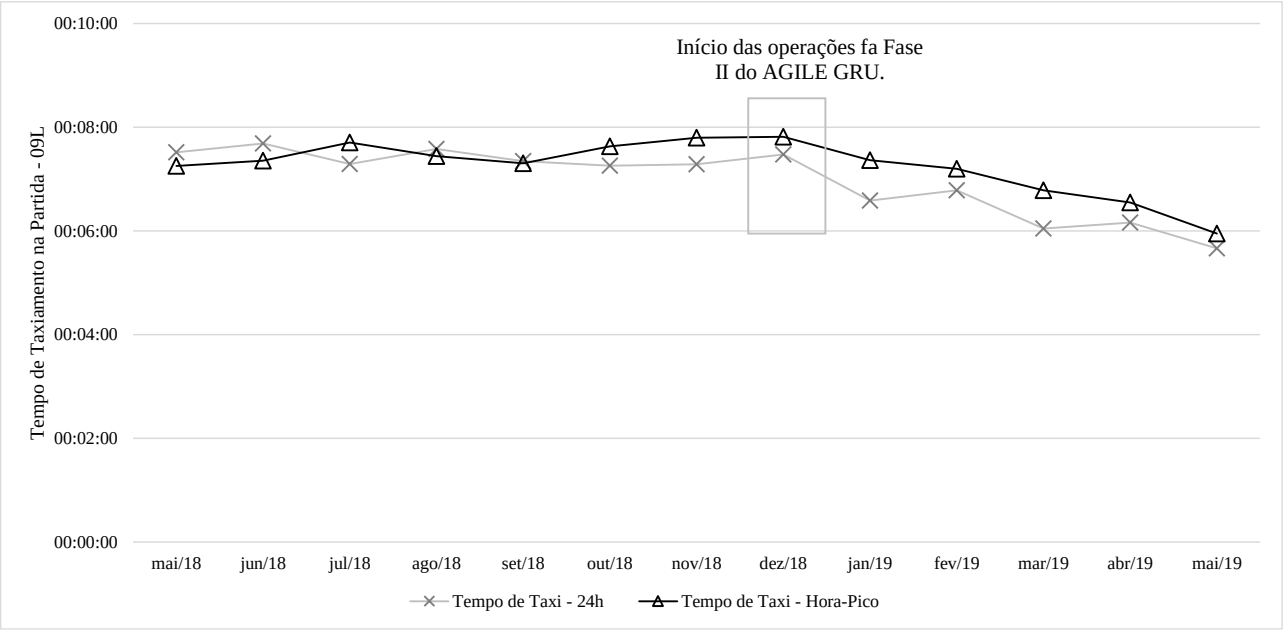


Figura 3: redução no tempo de taxi observado na primeira fase do Agile (Fonte: adaptado de GRU Airport, 2019)

Para o ano de 2020 são projetadas ainda as Operações Paralelas Simultâneas e Independentes, com operações de pousos e decolagens simultâneas nas duas pistas. A proposta é a implementação desta operação apenas em Condições Meteorológicas Visuais (VMC), procedimento no qual o piloto prossegue com manutenção da própria separação no seguimento final da aproximação, no caso do pouso (Figura 4). O Aeroporto Internacional de São Francisco, na Califórnia, é a principal referência do setor para este tipo de operação, utilizando aproximações paralelas por instrumento.

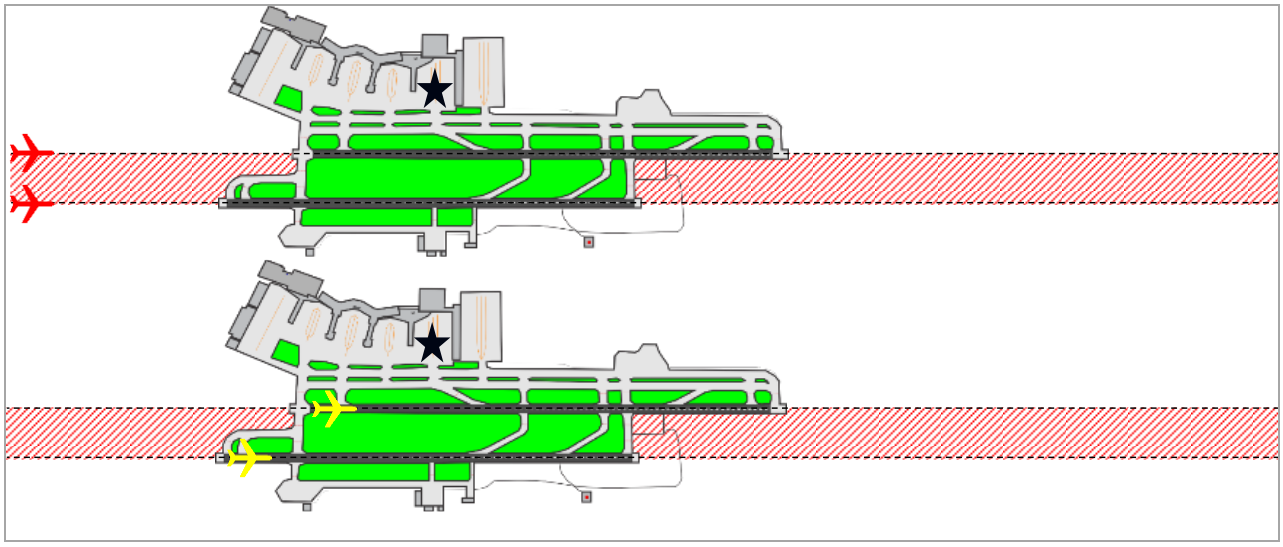


Figura 4: Aproximações e decolagens simultâneas e independentes (Fonte: CGNA)

O principal objetivo em se implementar o uso de pistas paralelas ou paralelas próximas é o de maximizar a capacidade do sistema de pistas do aeródromo e do espaço aéreo. O Anexo 14, em seu volume I, capítulo 3 (ICAO, 2013), recomenda que *em locais onde as pistas paralelas forem apropriadas para operações simultâneas sob condições meteorológicas*

visuais (VMC) apenas, a distância mínima deve ser de 210 m (690 ft) quando o mix de aeronaves for de categorias médias e pesadas (ICAO, 2018). Por outro lado, sob as regras de voo por instrumentos (IFR), a segurança das operações paralelas é afetada por vários fatores tais como acurácia do sistema de monitoramento de vigilância radar, a habilidade dos controladores de voo de intervir quando houver desvios de aeronaves no segmento de aproximação final do sistema de pouso por instrumentos (ILS), do curso do localizador ou do sistema de pouso por micro-ondas (MLS), ou seja, desviar-se do sistema de aproximação de precisão do aeroporto.

A necessidade de se considerar operações simultâneas em pistas próximas de modo geral se dá por conta do aumento das operações previstas.

Assim, as operações simultâneas paralelas e independentes vem ao encontro da otimização da capacidade do aeroporto e dos setores da final. Em primeiro lugar nos setores finais do espaço aéreo de São Paulo, pois em havendo uma pista a mais para o escoamento do tráfego, a variável de permanência no setor é otimizada, ou seja, as aeronaves permanecerão menos tempo no setor pela possibilidade da aproximação de duas aeronaves ao invés de uma. Este fato traz impacto positivo importante para o fluxo de tráfego aéreo nos horários de maior demanda.

Em horários que atualmente medidas de gerenciamento de fluxo são implementadas a utilização das operações paralelas simultâneas e independentes trariam uma redução significativa a estas restrições.

A capacidade de pista, por sua vez, também sofre uma grande otimização por poder absorver em horários específicos uma quantidade maior de tráfego por operações. Naturalmente haverá aumento da capacidade do sistema de pistas nos horários que a demanda maior for de pousos ou de decolagens, conforme pode ser observado na Figura 5.

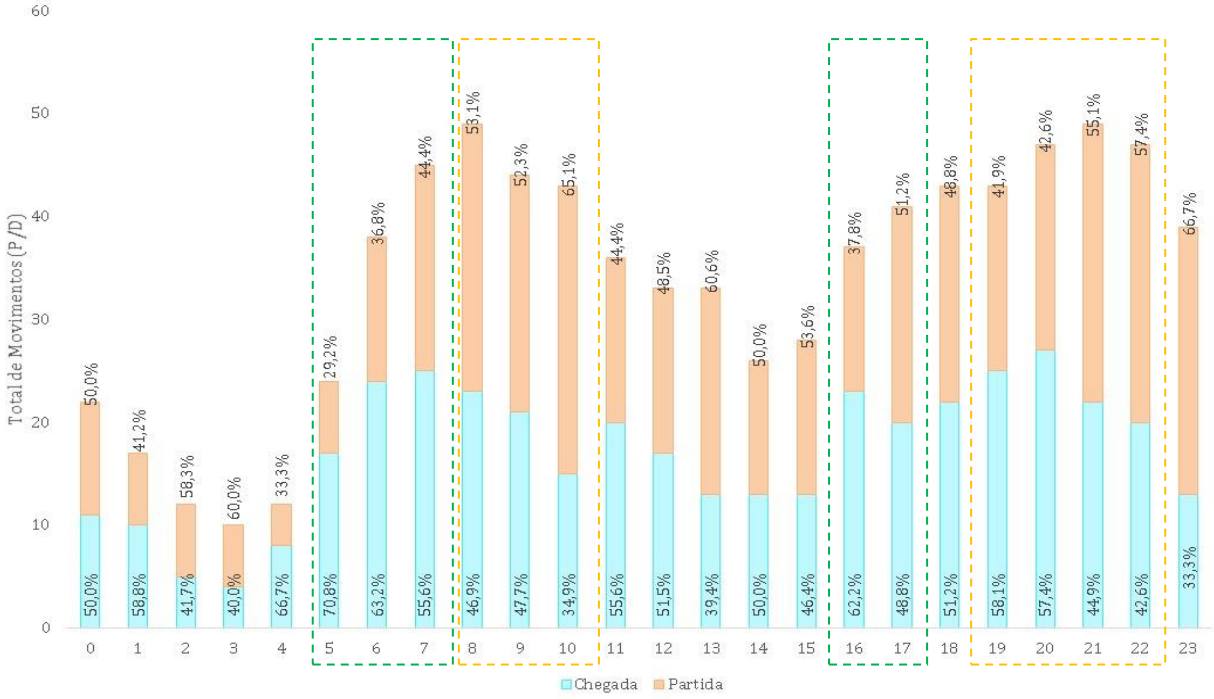


Figura 5: distribuição horário de pousos e decolagens (adaptado de GRU Airport)

Percebe-se que há um natural desbalanceamento das operações de chegada e partida ao longo do dia, decorrente, principalmente, dos horários pré-estabelecidos de chegada e partida de voos internacionais, que são "alimentados" ou servem de "alimentação" para voos domésticos.

A aplicação de aproximações e decolagens paralelas e simultâneas possibilitará maior fluidez nos intervalos

horários em que há maior proporção de pousos ou de decolagens, aumentando a movimentação de aeronaves em solo, além do aumento de fluxo de chegada e o aumento das posições de paradas.

Atrasos durante os intervalos de hora mais movimentadas são aceitáveis, entretanto a dissipação nas horas seguintes deve ser observada a fim de mitigar a probabilidade de cancelamentos de voos. Isso também poderá ser observado como benefício para o Aeroporto de Guarulhos.

Tais ações estão de acordo com o Plano Global de Navegação Aérea, o GANP (Doc 9750), e o Conceito Operacional do Gerenciamento de Tráfego Aéreo Global, o GATMOC (Doc 9854), os quais buscam uma harmonização da aviação mundial.

Como resultado foram observados benefícios para os usuários da aviação como um todo, reduzindo custos, aumentando demandas, potencializando economias, aumentando a sustentabilidade, além de ter colocado o aeroporto de Guarulhos como um dos mais dinâmicos do mundo e de ter projetado o Brasil como um país pioneiro nos avanços da aviação, especialmente na América Latina.

5. CONCLUSÕES

A implementação dos procedimentos de aproximação paralela simultânea e independentes em aeroportos com pistas de pousos e decolagens paralelas e próximas aparece como uma alternativa para atender a demanda projetada para os próximos anos. Os benefícios esperados vão desde melhorias operacionais para os operadores aéreos e do aeródromo, a redução de custos com combustível e a necessidade de expansão da infraestrutura dos aeroportos, além de maior fluidez no gerenciamento do fluxo aéreo.

Para o Operador Aeroportuário observará o aumento de capacidade do sistema de pistas de pousos e decolagens, além da melhor utilização da infraestrutura instalada – pistas próximas, reduzindo investimentos em expansões e possíveis impactos operacionais durante períodos de obras.

Os procedimentos apresentados e já parcialmente implementados no Aeroporto Internacional de Guarulhos possibilitaram a redução do tempo de taxiamento durante as partidas e chegadas das aeronaves nas posições de estacionamento e movimentação de pátio, possibilitando maior pontualidade das empresas aéreas, menor número de aeronaves no ponto de espera, reduzindo riscos operacionais durante a movimentação das aeronaves.

Ademais, também são esperados aumentos nos fluxos de aeronaves nos horários em que há desbalanceamento das operações de pousos e decolagens, ou seja, nos períodos em que há maior número de pousos frente às decolagens, ou vice-versa, típico de aeroportos caracterizados como *Hubs*, bancos de chegadas e partidas bem definidos.

Dentre os ganhos previstos para o órgão ATC e para o espaço aéreo, o aumento da capacidade dos setores aparece como o principal deles, reduzindo medidas de gerenciamento de tráfego aéreo e possíveis esperas na Terminal São Paulo. O novo procedimento permitirá maior número de pousos em horários críticos – principalmente após a presença de condições meteorológicas adversas – reduzindo possíveis esperas (ou orbitas) e a carga de trabalho para os controladores de tráfego aéreo.

Por fim, com a redução do tempo de taxi para a decolagem ou após o pouso e o menor número de órbitas no espaço aéreo, as empresas aéreas apresentarão redução no consumo de combustível, reduzindo custos operacionais no principal insumo. Emissões atmosféricas responsáveis pelo efeito estufa e responsáveis pela poluição em regiões próximas aos aeroportos também serão reduzidas.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. D. A. **Análise de alternativas para aumento da capacidade operacional do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos. 2012.

Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo 2018. Centro de Controle do Espaço Aéreo (CGNA) - Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Rio de Janeiro, 2019.

BONE, Randall S.; OLMOS, B. Oscar; MUNDRA, Anand: **Paired Approach - A Closely Spaced Parallel Runway**

Approach Concept. MITRE Corporation's Center for Advanced Aviation System Development, 2001.
DECEA, Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **MCA 100-17: Capacidade de Setor ATC.** Rio de Janeiro, 2014.
DECEA, Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **MCA 100-14: Capacidade do Sistema de Pistas.** Rio de Janeiro, 2015.
HAINES, A. L.; SWEDISH, W. J.: **Requirements for Independent and Dependent Parallel Instrument Approaches at Reduced Runway Spacing**. The Mitre Corporation. MTR-81W15, May 1981.
ICAO, INTERNACIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Doc 9643 - ICAO, **Manual on Simultaneous Operations on Parallel or Near Parallel Instrument Runways** (SOIR). 1th. ed., 2004.
ICAO, INTERNACIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Annex 14 -Aerodromes**. 5th. ed. [S.l.]: [s.n.], v. I - Aerodrome Design and Operations, 2013.
ICAO, INTERNACIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Doc 8168 - ICAO, **Procedimentos para o Serviço de Navegação Aérea**. V.02. 6th. ed., 2018.
FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION ORDER JO 7110.308C – U.S Department of Transportation: Jan 2018.
IRVINE, Daniel; BODD, Lucy; ISON, Stephen; KITCHING, Gareth. **The environmental effects of peak hour air traffic congestion: The case of London Heathrow Airport**. Research in Transportation Economics, Elsevier, v. 55, p. 67-73, June 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.retrec.2016.04.012. Acesso em: 28 jul. 2019.
OGATA, Paulo Hideshi: **Avaliação do perigo de colisão entre aeronaves em operação de aproximação em pistas de aterrissagem paralelas**. Escola politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 2003.
Plano Aeroviário Nacional 2018-2038 - PAN 2018. Objetivos, estratégias e Investimentos. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Brasília 2018.
Houck, S.; Barrows, A.; Parkinson, B.; Enge, P. e Powell J.D **Flight Testing WAAS for Use in Closely Spaced Parallel Approaches**, ION GPS, Nashville, Tennessee (USA), 1999.
WALD, A., FAY, C., & GLEICH, R. (2010). **Introduction to aviation management**. Berlin, Lit.

UMA REFLEXÃO SOBRE A AVALIAÇÃO DA ESCOLHA AEROPORTUÁRIA EM REGIÕES DE MÚLTIPLOS AEROPORTOS USANDO MÉTODO DE REVISÃO SISTEMÁTICA

Guilherme dos Santos Zapola
Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM
Av. Randolfo Borges Júnior, 1250 – Univerdecidade, 38064-200 - Uberaba/MG - Brasil
(34)998839317/ guilherme_zapola@hotmail.com

Viviane Adriano Falcão, Professora Doutora
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária. Recife – PE,
(85)99900-8559/ viviane.falcao@yahoo.com.br

RESUMO

Buscar entender os fatores que influenciam a escolha entre aeroportos por parte dos passageiros, pode auxiliar os operadores a tomar decisões e planejar melhor o que o mercado espera. Na literatura não há estudos de revisão sistemática que analisam a área de escolha aeroportuária em regiões de múltiplos aeroportos. Este estudo vem contribuir a preencher a lacuna na literatura, onde objetivou-se a revisão sistemática dos trabalhos sobre a escolha aeroportuária em regiões de múltiplos aeroportos. Pode-se perceber que os fatores que mais influenciam na escolha aeroportuária são às frequências de voos, tempo de acesso ao aeroporto e custo/tarifa média para viagem.

ABSTRACT

Understanding the factors that influence passenger's choice of airports can help operators to make decisions and plan better what the market expects. In the literature, there are no systematic review studies that analyze the area of airport choice in multiple airport regions. This study contributes to fill the gap in the literature, in which it aimed to systematically review the work on airport choice in multiple airport regions. It can be seen that the factors that most influence airport selection are flight frequencies, airport access time and average travel cost / fare.

Palavras-chave: Multiple Airport Regions, Airport Choice, Airport Competition, Transport Engineering, Airport Management.

1. INTRODUCÃO

Durante anos o transporte aéreo vem crescendo no Brasil e no mundo. A concorrência aeroportuária é um fenômeno sentido a alguns anos e afeta diretamente a maneira que se observa a gestão aeroportuária. Além de influenciar na gestão direta, a concorrência tem influências significativas de como as pessoas e cargas se deslocam por esse modal, impactando diretamente as economias locais e globais.

De forma geral, o estudo da concorrência em regiões de múltiplos aeroportos busca entender o comportamento do passageiro frente a opção de escolha entre aeroportos. Com isso, a gestão aeroportuária pode tomar decisões e planejar melhor o que o mercado espera, atendendo as necessidades básicas e reduzindo custos gerais.

O avanço da globalização aumenta a complexidade da gestão aeroportuária e da tomada de decisão pelos administradores, concessionários e governo. Esse fato se traduz tornando as instalações aeroportuárias não suficientes e ineficientes quanto a sua demanda. Sendo por vezes impossível sua expansão, pode-se regiões de concorrência aeroportuária. Logo, quais serão as variáveis que mais influenciarão na captura de passageiros pelos aeroportos?

Paliska, Drobne, et al.(2016) realizaram estudos em regiões de múltiplos aeroportos em condições de fronteira de países, citando que até 2016 a quantidade de trabalhos na área era baixa, incluindo a ausência de trabalho nas condições como as estabelecidas por eles.

Segundo Hess e Polak (2005), um dos primeiros estudos de escolha de aeroportos foi conduzido por Skinner Jr (1976), que usou um modelo Multinomial Logit (MNL) para escolha de aeroportos na área de Baltimore-Washington DC (três aeroportos). Os resultados revelaram efeitos significativos da frequência de voo e acessibilidade do solo, com os viajantes sendo mais sensíveis a este último.

Hess e Polak (2005) enfatizaram em seguida, outro trabalho relevante para a literatura, que foram os estudos de escolha de aeroportos no Reino Unido. Ashford e Bencheman (1987) usaram um modelo MNL para a escolha do aeroporto em cinco aeroportos na Inglaterra (Heathrow, Manchester, Birmingham, East Midlands e Luton), e acharam que o tempo de acesso e frequência de voôo são fatores significativos para todos os tipos de passageiros, enquanto a tarifa é significativa para todos os passageiros, exceto para viajantes de negócios internacionais.

Abreu (2017), realizou levantamentos da escolha aeroportuária de passageiros da região de múltiplos aeroportos de São Paulo, considerando os três principais aeroportos que a compõe, Guarulhos, Congonhas e Viracopos, apontando também a ausência de estudos na literatura sobre as concorrências aeroportuárias no Brasil.

Com as concessões dos aeroportos brasileiros, o fato citado acima mostra a necessidade de estudos sobre regiões de múltiplos aeroportos.

O tema de concorrência aeroportuária em regiões de múltiplos aeroportos não é um tema novo, porém uma revisão de literatura, por meio do método da revisão sistemática, mostrou ser uma lacuna existente na literatura. Portanto, o objetivo do trabalho é analisar quais são as variáveis mais importantes para a escolha de um aeroporto em uma região de múltiplos aeroportos, àquelas que foram mais consideradas na literatura, e quais são os fatores primordiais nessa escolha pelo passageiro.

As contribuições do estudo levam a um preenchimento da lacuna da literatura e também, podem auxiliar operadores aeroportuários em regiões de múltiplos aeroportos a focarem nos fatores que atraem mais passageiros. Sendo assim, a idéia central foi realizar o levantamento sistemático dos resultados e apontar como os pesquisadores primários responderam perguntas como a citada acima. As análises das pesquisas primárias podem dar embasamento teórico para que se observe o direcionamento dos estudos e métodos estatísticos mais utilizados para inferir as variáveis que influenciarão na escolha aeroportuária.

Diante de um mercado altamente competitivo, assim como nos mais diversos ramos, o passageiro prezará cada vez mais por credibilidade e confiabilidade, e a gestão aeroportuária deverá estar apta para se adaptar e oferecer melhores serviços ao usuário.

Durante o desenvolvimento do presente trabalho, utilizou-se de pesquisas bibliográficas.

A revisão de literatura baseou-se nas principais publicações relacionadas ao tema e levando em consideração os padrões definidos na estrutura de revisão sistemática. O método é claro na busca de trabalhos relevantes ao meio acadêmico, buscando contextualizar o tema, de preferência em trabalhos mais atuais, podendo, por vezes, analisar trabalhos com anos de publicação.

Este trabalho estruturou-se em seis capítulos, apresentando-se nos primeiros as definições acerca do conceito de região de múltiplos aeroportos, gestão aeroportuária e conceito de concorrência aeroportuária nas regiões de múltiplos aeroportos. Nos demais capítulos estipula-se o método usado, estruturando conforme o modelo de revisão sistemática os principais critérios que serão adotados no levantamento de trabalhos na literatura. Logo são realizadas as devidas considerações a fim de identificar os trabalhos mais importantes na área e explanar a partir dos trabalhos primários as possíveis variáveis importantes que influenciam de forma direta ou indireta a concorrência e a escolha em regiões de múltiplos aeroportos.

2. REGULAÇÃO AEROPORTUÁRIA NACIONAL

Segundo a CNT (2015), deve-se entender por regulação o conjunto de normas e regras que provêm incentivos ou restrições econômicas com a finalidade de equilibrar os interesses privados, por meio da garantia de lucratividade e viabilidade de investimentos, levando ao bem-estar dos consumidores, por meio de um serviço disponível em qualidade, quantidade e condições adequadas de preços. Na maioria dos casos, a regulação econômica está ligada as regras que definem preços, à qualidade e/ou a entrada e saída de empresas no mercado.

A regulação no Brasil se tornou mais significativa com o Decreto nº76.590 de 1975, onde foi estabelecido um mercado altamente regulado, sendo que o governo teria autonomia sobre o número de empresas no mercado e as tarifas cobradas, bem como o manejo dos recursos financeiros para financiar a aviação regional (CNT, 2015).

Na atualidade, o mercado aéreo brasileiro é menos regulamentado e o mercado no Brasil possui uma organização institucional dedicada a aviação civil

Sendo a ANAC o órgão que centraliza as normas referentes a regulação, desde sua criação, é de sua competência disciplinar regras de entrada e saída do mercado e o regime de liberdade tarifária, que permitem que as concessionárias ou permissionárias no setor determinem suas próprias tarifas.

Em 2009 o Brasil contava com pouco mais de setecentos aeródromos públicos, dos quais 67 são administrados pela INFRAERO, empresa de capital fechado e 100% da união, vinculada ao Ministério da Defesa (FIUZA, 2009). Hoje os dados são diferentes, como mostra na Tabela 1.

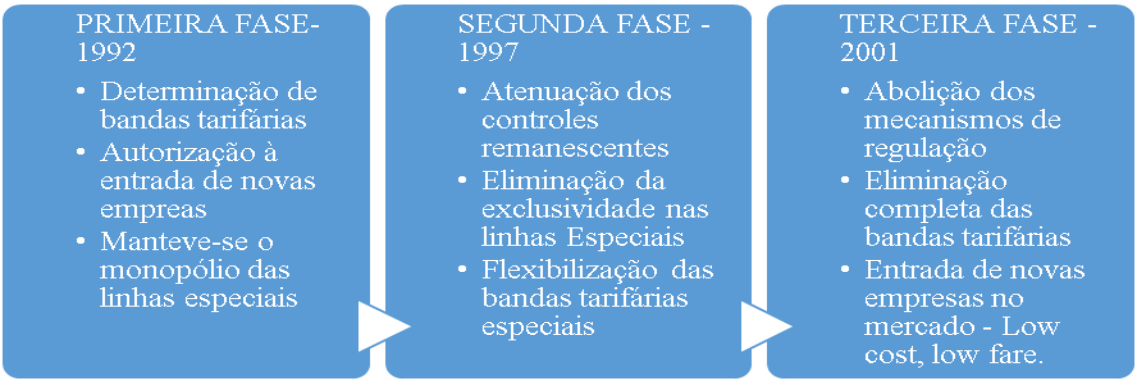
Tabela 1 - Infraestrutura Aeroportuária Brasileira

Sistema Aeroportuário	**Privado**	**2.078**
	Público	578
	Total de aeródromos	2.656

Fonte: Do autor, 2019. (Dados da ANAC)

A liberdade tarifária foi uma das maiores sustentações da concorrência no segmento de transporte aéreo brasileiro, sendo no início da década de 1990 o começo da gradual flexibilização das regras da aviação civil. Tal medida foi tomada para estimular a competição e um processo de desconcentração do mercado no país, permitindo as empresas aéreas a diversificação de serviços e acesso a novos mercados consumidores, viabilizando um crescimento sustentado nos últimos anos, como expresso pela CNT (2015), na Figura 2.

Figura 1 - Etapas de flexibilização da aviação civil no Brasil



Fonte: Elaborado pela CNT e adaptado pelo AUTOR (2015-2019).

Segundo a CNT (2015), a remoção dos controles de preços permite que as empresas se adequem ao nível de oferta considerado eficiente por elas mesmas, tendo assim maior flexibilização das tarifas a serem cobradas.

A liberdade tarifária permite que seja instaurado mecanismos necessários para o uso das técnicas de gerenciamento de receitas, em especial o de discriminação de preços.

A inclusão social no transporte aéreo é resultado dessas medidas, pois promoveram menores preços nas passagens aéreas e a possibilidade de cobranças de diferentes preços de tarifas.

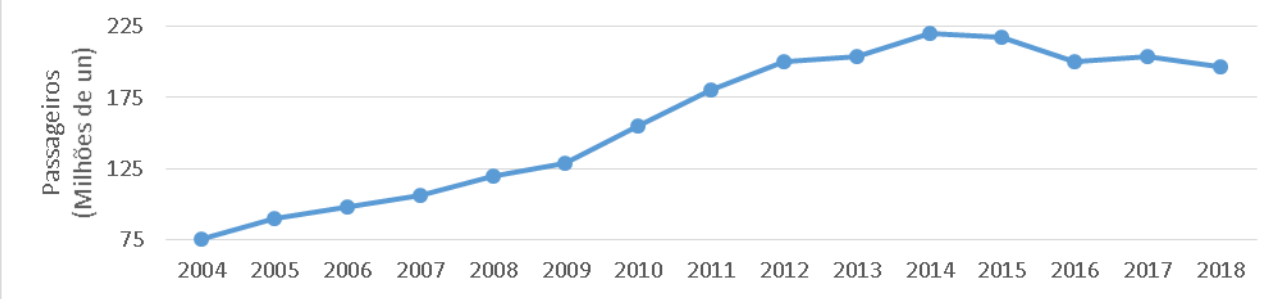
Para as companhias aéreas, as medidas tomadas na gestão aeroportuária, trouxeram benefícios como maior eficiência gerencial e o crescimento da demanda pelo serviço, que proporcionam melhorias nos indicadores de ocupação de aeronaves, que segundo a CNT (2015), contribuiu para a redução do custo médio operacional de cada voo e, consequentemente, para uma situação financeira mais sustentável.

A flexibilização e liberdade tarifária, em paralelo ao crescimento econômico do país nas décadas anteriores, trouxeram um crescimento significativo na utilização desse modal por parte da população.

A Figura 3 representa os dados da ANAC entre os anos de 2004 e 2018, sendo possível notar dois pontos importantes na curva.

O primeiro ponto retrata a crise financeira mundial, resultado da quebra do grande banco tradicional estadunidense Lehman Brothers, também conhecida como *"crise dos subprimes"* e o segundo, retrata a crise política enfrentada pelo Brasil, gerando uma recessão econômica que culminou no impeachment da então presidente Dilma Rousseff.

Figura 2 - Número de passageiros em embarque e desembarque no Brasil entre 2004 e 2018



Fonte: Do autor (2019).

Percebe-se que em 2015, as empresas brasileiras transportaram 108,51 milhões de passageiros, é como se aproximadamente metade da população brasileira tivesse voado uma vez por ano em números absolutos.

Segundo Mello e Prazeres (2013), o Brasil enfrenta uma extrema falta de capacidade aeroportuária que pode ser reduzida por meio de políticas públicas que utilizem a opção prevista na legislação brasileira por meio de concessões

para permitir a exploração de aeroportos em qual o interesse prevalecente é privado.

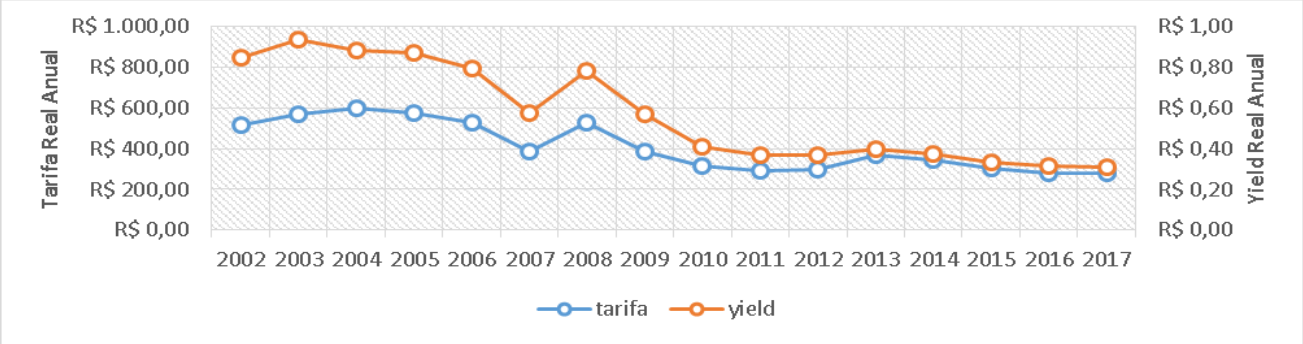
Na Tabela 2, pode-se ver com maiores detalhes o avanço de cada um dos dois grupos existentes, sendo notória a variação de 166,01% nos voos domésticos, resultado da ascensão financeira da classe mais baixa da sociedade, do fortalecimento do turismo nacional e principalmente da queda do valor da tarifa aérea média, que pode ser vista na Figura 4.

Tabela 2 - Passageiros pagantes em empresas brasileiras entre 2000 e 2018

Tipo de transporte	Número de passageiros pagantes		Variação 2004/2018
	2004	2018	
TOTAL	37.302.316	97.592.301	161,62%
Internacional	4.599.376	10.598.524	130.43%
Doméstico	32.702.940	86.993.777	166.01%

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da ANAC (2019).

Figura 3 - Evolução da tarifa aérea média real e *yield* médio no Brasil entre 2002 e 2014 (valores em R$)



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da ANAC (2019).

Com o declínio da tarifa aérea média e a inserção de classes que antes não faziam uso do modal aéreo, fez com que a demanda crescesse, bem como visto anteriormente na Figura 3 e assim, mesmo não sendo o único fator de escolha por um passageiro mediante de qual aeroporto sair, a tarifa fez mais gente viajar.

Um efeito concreto de mais pessoas viajando teve um reflexo direto na concorrência aeroportuária, mas quais fatores são fundamentais na escolha de um aeroporto por parte do usuário? Em sequência será analisada de forma minuciosa as várias variáveis que influenciam nessa escolha.

3. REGIÕES DE MULTIPLOS AEROPORTOS

Pode-se imaginar regiões de múltiplos aeroportos como um sistema definido por um conjunto de dois ou mais aeroportos que atendem uma determinada região, chamando-se assim de Região de Múltiplos aeroportos - RMA. Segundo Abreu (2017), existe uma necessidade especial de atenção a esses grupos de aeroportos, pois a competição interna representa uma dificuldade singular para os operadores e planejadores de aeroportos.

É de suma importância a análise da competição entre aeroporto para o planejamento e para os administradores de empresas aéreas.

Pode-se dizer que o estudo das RMA são de extrema importância para o entendimento da dinâmica de concorrência aeroportuária. O autor deixa claro que várias regiões ao longo do mundo devam ser estudas, a fim de que se entenda a dinâmica de escolha aeroportuária nas RMA.

Segundo Salomão Filho (2013), os aeroportos concentram muito do transporte de passageiros no território nacional e internacional, portanto, melhorando o nível de serviço e de infraestrutura, o efeito é positivo para diversos setores da economia. Os aeroportos não são mais considerados exemplos de monopólios naturais e sim como entidades também sujeitas ao regime de concorrência apelando pela intervenção do estado em seu controle.

Se as causas de monopólios são de origem econômica, prevalecendo os custos fixos sobre as variáveis, obtendo grandes economias

de escala com o aumento da produção, somadas a grandes custos irrecuperáveis, a entrada de competidores no mercado se torna absolutamente inviável. Trata-se inegavelmente do surgimento de monopólios naturais, devendo-se então controlar os gigantes econômicos, para que não seja praticado preços abusivos. Seria um erro, porém, atribuir o controle a empresas privadas, sendo segundo o autor, sendo essa função devidamente do estado (SALOMÃO FILHO, 2013).

Assim, reveste-se de particular importância de um controle necessário, pois seguindo a teoria exposta, o comportamento natural e racional de tal tipo de estrutura será aumentar os preços a níveis acima dos competitivos. Sob essa ótica, conforme citado, o estudo dessas regiões ganha particular relevância.

Pode-se dizer que será inevitável a concorrência aeroportuária em RMA. Neste contexto, fica claro que aparecerão diversas formas dos aeroportos concorrerem entre si. O mais preocupante, contudo, é constatar a ausência de estudos na área. Não é exagero afirmar que o Brasil é um país com poucas publicações na área, sendo importante verificar que algumas regiões apresentam perfil de concorrência em potencial.

Existe sim a concorrência entre aeroportos, principalmente devido ao fato de que os aeroportos fazem parte de diversos mercados relevantes, nos quais a infraestrutura aeroportuária é um ponto importante a ser considerado. Sendo, portanto, possível ressaltar alguns mercados relevantes de concorrência, como: mercado local, ponto de conexão de voos, transporte de carga, oferta de destinos e serviços não relacionados à aviação, como oferta de lojas e praças de alimentação nos aeroportos (TRETHEWA e KINCAID, 2005).

Dessa forma, deve-se aumentar os estudos na área de concorrência aeroportuária. Caso contrário, as RMAs nacionais ficarão à mercê dos grandes aeroportos e controladoras de aeroportos sem a intervenção e controle estatal. É importante considerar que o fator de impacto financeiro e social dessas regiões é alto, seja porque fazem parte de diversos mercados relevantes, ou mediante o grande fluxo de pessoas e/ou mercadorias.

Pode-se notar a existência de RMA nacional de forma mais significativa nas grandes capitais de estado, como é o caso de São Paulo (Congonhas, Guarulhos e Viracopos), Rio de Janeiro (Santos Dumont e Galeão) e Belo Horizonte (Confins e Pampulha). Nota-se também RMA regionais, como exemplo o triângulo mineiro (Uberaba e Uberlândia).

Parece óbvio que deve-se intensificar o entendimento de como funcionam as regiões de múltiplos aeroportos, mas não deve-se atentar apenas a essa lógica, aumentando os estudos de forma a verificar como as escolhas acontecem. Sob o ponto de vista matemático, pode-se definir parâmetros de modo que o entendimento da dinâmica seja de forma significativa. Afinal, trata-se de uma área de grande importância econômica. Conforme explicado acima, o que estaria acontecendo na verdade seria uma dinâmica entre oferta e demanda, que por vezes poderá ser estudada sob a ótica do monopólio na região ou a concorrência entre os aeroportos de uma RMA.

3.1. ESCOLHA AEROPORTUÁRIA

A concorrência nos aeroportos se deu quando eles deixaram de ser vistos como monopólio, acontecendo de maneira tardia no Brasil. Porém, o fenômeno de desregulamentação aeroportuária teve seu início nos anos de 1980, em locais como Reino Unido, Austrália, Nova Zelândia e Canadá.

No âmbito das RMA, os passageiros aéreos podem, no entanto, escolher entre diferentes aeroportos, não apenas com base na vizinhança, mas também numa série de outros atributos do nível de serviço do aeroporto (LOO, 2008).

Segundo Renzetti (2015), se um passageiro deseja viajar de Londres a Paris, ele poderá optar por todos os cinco terminais e essa escolha dependerá do seu perfil. Se ele visar localização como um viajante de negócios, poderá sair via London City, já se o viajante for turista, ele poderá optar por Luton, que possui uma maior quantidade de linhas *low-cost.*

De fato, a escolha dos aeroportos para iniciar ou terminar uma viagem aérea pode ser considerada incomum, já que os aeroportos geralmente não competem uns com os outros com padrões de serviço sobrepostos oferecidos

aos mesmos consumidores. Um tipo básico de situação de escolha de aeroportos pode ser encontrado na cidade de Nova York, onde uma grande área metropolitana é servida por mais de um aeroporto, com algumas sobreposições quanto à disponibilidade de voos. Assim, o usuário pode ter que decidir qual aeroporto usar e pesaria fatores como a distância até o aeroporto, cronograma, disponibilidade de voos, tipo de aeronave e outros problemas de nível de serviço (INNES e DOUCET, 1990).

Pode-se perceber que, embora essas situações urbanas e rurais sejam bastante diferentes, o processo de decisão é notavelmente similar. O indivíduo deve fazer sua escolha de aeroportos com base nos serviços disponíveis em relação à proximidade dos aeroportos.

Desde o fim da década de 1970, as questões relacionadas às decisões de preferência aeroportuária vêm sendo foco de pesquisa acadêmica. Após anos, alguns modelos foram elaborados no intuito de compreender a distribuição de demanda e os fatores que influenciam o processo de escolha dos usuários do transporte aéreo nas mais diversas metrópoles do planeta.

Um dos trabalhos pioneiros na análise da escolha aeroportuária com base na opinião dos passageiros foi desenvolvido por Skinner Jr (1976), que utilizou o modelo Multinomial Logit (MNL) para estudar a região de Baltimore-Washington DC, nos EUA. O autor fez uso da Técnica de Preferência Revelada (TPR) e identificou evidências de relevância estatística dos fatores de frequência e acessibilidade ao aeroporto na escolha dos passageiros, sendo o último o fator de maior impacto aos viajantes. (ABREU, 2017).

Pode-se inferir que são notáveis as semelhanças encontradas no comportamento de escolha pelos passageiros de diferentes regiões do mundo, entretanto, muitas divergências também são percebidas. Abreu (2017), afirma que, conforme explicado anteriormente, as diversificações das populações de uma região para outra faz com que os resultados variem muito entre os estudos. Logo, não se deve dispensar que mais pesquisas devam ser desenvolvidas sempre que sistemas aeroportuários não explorados pela literatura precisem ser caracterizados, logo, evita-se a replicação de resultados de outros trabalhos. Tornando assim possível identificar as especificidades do local de interesse e o comportamento particular da sua população.

Innes e Doucet (1990), afirmam que em grandes áreas, uma decisão de escolha de aeroporto é comumente feita por indivíduos que vivem em áreas rurais onde baixas densidades populacionais e padrões de demanda resultantes baixos podem exigir que o indivíduo tenha uma viagem terrestre relativamente longa para o aeroporto. Esse indivíduo também pode ter mais de um aeroporto disponível e uma decisão com relação à escolha do aeroporto deve ser tomada.

Nota-se fatores importantes, também como: o tipo de variável de aeronave desempenha um papel significativo na decisão de escolha do aeroporto. A análise do autor mostra claramente que esta foi a variável mais importante na decisão de escolha do aeroporto para os residentes da área rural de estudo. Viajantes aéreos da área de estudo estavam dispostos a percorrer distâncias terrestres significativas para chegar a um aeroporto onde o serviço de jato era oferecido. (INNES e DOUCET, 1990).

Sendo assim, a escolha aeroportuária apresenta diversas variáveis, que pode influenciar diretamente ou indiretamente na tomada de ação do passageiro. Pode-se perceber que esse quadro remete a um fenômeno de concorrência, onde diversas variáveis podem ser consideradas. Não é exagero afirmar que esse tema é de suma importância para o desenvolvimento do setor aeroviário no Brasil e no mundo.

4. METODOLOGIA

A revisão sistemática tem o objetivo de montar um sumário das evidências que a linha de pesquisa acadêmica segue. Tem-se a função de identificar, selecionar, avaliar, sumarizar e interpretar os estudos mais importantes para o tópico de pesquisa ou fenômeno de interesse. A revisão sistemática é um estudo secundário, onde os estudos individuais são chamados de estudos primários. De forma mais ampla, ela evidencia os principais trabalhos de um dado tópico, sendo um processo mais detalhado, onde se discute confiabilidade, vantagens, desvantagens e limitações dos artigos na literatura (NAKAGAWA, 2017).

A forma de pesquisa objetiva foca-se na revisão sistemática da literatura dos tópicos em escolha aeroportuária em regiões de múltiplos aeroportos. Dando-se atenção em disponibilizar um resumo das evidências relacionadas a uma possível estratégia de intervenção, aplicando métodos explícitos e sistemáticos de busca de referências (SAMPAIO, 2006).

A análise busca um conhecimento amplo e levantamento de informações que poderão levar o pesquisador a conhecer mais a respeito da concorrência aeroportuária. Logo, segundo Sampaio (2006), deve-se definir as bases de dados a serem consultadas, bem como definir palavras-chave e maneiras estratégicas de se realizar a busca.

A pesquisa foi desenvolvida e classificada de forma que fosse possível atingir o objetivo da revisão bibliográfica de forma mais eficiente. Para melhor exploração desta pesquisa, observou-se que ela é classificada como pesquisa exploratória bibliográfica devido ao fato do uso de fontes bibliográficas como livros, artigos científicos, publicações em anais, e realizada para que fosse possível entender a escolha aeroportuária em regiões de múltiplos aeroportos.

Para Sampaio (2006), as principais fontes de uma revisão bibliográfica sistemática devem estar em artigos, revistas e livros de alto impacto para o meio cientifico de modo que se possa analisar criticamente e avaliar todos os estudos incluídos na revisão.

Desse modo, foram selecionados conforme critérios explanados posteriormente os principais artigos nacionais e internacionais que decorrem sobre o tema, de forma a encontrar os principiais pontos que influem na tomada de decisão do passageiro para a escolha de um aeroporto, conforme a literatura. A pesquisa foi feita por meio dos artigos publicados e mais citados em revistas de alto impacto.

A coleta de dados utilizou como instrumento resumos através de fichamentos. Tendo como base os artigos de maior relevância sobre o assunto, com a finalidade de se obter uma melhor apreciação do conteúdo apresentado no trabalho. Com esse método é possível levantar as informações mais importantes sobre o tema que servirá como fonte de dados para a revisão de literatura.

Devido a pesquisa e coleta de informações bibliográficas pautadas no assunto objeto de estudo, seguiu-se o critério de seleção por qualidade e proximidade do resumo comum entre todos, dando convergência para a análise das principais tomadas de decisão mediante um cenário de escolha entre aeroportos.

Em um segundo momento, foi feita a análise dos resumos e conclusões dos artigos, chegando-se ao afunilamento dos artigos que mereciam uma análise mais minuciosa, devido as suas conclusões mais concretas e alguns artigos especiais com conclusões mais excêntricas.

Finalmente, foi feita a análise descritiva de todos os trabalhos escolhidos da literatura de tal forma a encontrar os principais critérios definidos em estudo pelos próprios artigos e determinada a relação entre eles, gerando assim subsídios para a finalização do trabalho.

Utilizando-se o critério de seleção de artigos, buscou-se com relação ao tema de concorrência aeroportuária (escolha aeroportuária) e regiões de múltiplos aeroportos e indicadores, no título, no resumo e/ou nas palavras-chave das publicações nacionais e internacionais em Revistas da base de dados da Scielo e Qualis A1, A2, B1 e B2 para as ENGENHARIAS I. Os gatilhos e strings utilizados foram Multiple Airport Regions, Airport Competition, Airport Choice.

Foram encontrados, no total, 15 artigos sobre a temática na base da Scielo. Nas pesquisas nota-se que nem todos tratam o assunto como foco principal ou com a devida ênfase necessária; assim, o universo de artigos diferentes encontrados nas outras bases de dados se mostraram mais relevantes e trazendo o universo para um total de 15 artigos que se enquadram nos critérios metodológicos pré definidos. Assim, os artigos foram fichados e analisado os objetivos primários e as respectivas conclusões.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Deu-se maior interesse as buscas mais recentes, todavia, não se restringiu o trabalho a apenas publicações recentes, trabalhos interessantes e com grande número de citação no ramo acadêmico também foram

levados em consideração, mesmo possuindo datas de publicação relativamente antigas. Notou-se que os trabalhos primários se objetivaram da seguinte forma:

Tabela 3 – Artigos analisados

Palavra-chave	Revista	Qualis	Autor	Área de estudo	**Variáveis que influenciaram na escolha aeroportuária**
Multiple Airport Regions	J. of Transport Geography	A1	(LOO, 2008)	Hong Kong. China.	Tempo de acesso, frequência de vôo e tarifa.
Multiple Airport Regions	J. Regional Studies	A1	(THOMPSON e CAVES, 1992)	Sheffield, Inglaterra.	Tempo de acesso.
Airport Choice	J. of Transport Geography	A1	(MARCUCCI e GATTA, 2011)	Região entre Bolonha e Ancona. Itália.	Tempo de espera.
Airport Choice	J. of Transport Geography	A1	(LUCA, 2012)	Região entre Roma e Nápoles. Itália	Tarifa (passageiros mais jovens). Frequência de vôo (passageiros mais velhos.
Multiple Airport Regions	J. of Airline and Airport Management	A1	(MUÑOZ, CORDOBA e SARMIENTO, 2017)	Colômbia.	Tempo de acesso, frequência de vôo e tarifa.
Multiple Airport Regions	J. of Air Transport Management	A1	(HESS e POLAK, 2005)	Baia de San Francisco. EUA.	Tempo de acesso, frequência de vôo e tarifa.
Airport Choice	Transportation Research	A1	(HESS e POLAK, 2006)	Baia de San Francisco. EUA.	Tempo de acesso, frequência de vôo e tarifa (Incluiu um coeficiente de risco de perda do voo).
Multiple Airport Regions	J. Of Transportation Engineering	A2	(HANSEN, 1995)	Oakland, San Francisco e San Jose. EUA.	Tempo de acesso e tarifa.
Airport Choice	J. Of Transportation Engineering	A2	(INNES e DOUCET, 1990)	New Brunswick. Canada.	Avião a jato e voo direto.
Airport Choice	J. Of Transportation Engineering	A2	(SUZUKI, CRUM e AUDINO, 2003)	Nova Iorque, Nova Jersey, Washington. USA.	Efeito Leakage.
Airport Choice	Transportation Research Record	B1	(ASHFORD e BENCHEMAN, 1987)	Londres, Inglaterra.	Frequência de vôo e tarifa para passageiros em turismo.
Multiple Airport Regions	J. of Air Transport Management	B1	(PALISKA , DROBNE, et al., 2016)	Liubliana, Eslovênia. Veneza, Itália. Gorizia, Itália.	Tempo de acesso, frequência de vôo e tarifa. Regiões de fronteiras nacionais
Airport Choice	Procedia - Social and Behavioral Sciences	B1	(LUCA e PACE, 2012)	Roma e Nápoles. Itália.	Frequência de vôo e tarifa.
Airport Choice	Atlantic Economic Journal	B2	(BLACKSTONE, BUCK e HAKIM, 2006)	Baltimore, estado de Maryland. EUA.	Facilidade de estacionamento, distância de acesso ao aeroporto, disponibilidade de tarifas baixas e vôos internacionais
Multiple Airport Regions	Journal of Transport Literature	B2	(MURÇA e CORREIA, 2013)	Base de dados de outros artigos primários.	Tempo de acesso e frequência de voo.

Fonte: Do autor (2019).

Acrescenta-se que grande parte dos trabalhos estão publicados na Journal of Air Transport, revista com maior número de artigos da área, seguida pelas revistas *Atlantic Econonomic Journal, Transportation Research Record, Journal of Airline e Airport Management.*

Como se provou pela busca das palavras-chaves, *strings* e pelo tema concorrência e escolha aeroportuária, ficando notório que o tema se apresenta como atual, todavia escasso na literatura, mostrando a grande lacuna possível a ser explorada.

Foi analisado também, em especial um artigo, de Suzuki, Crum e Audino (2003), que propõe a importância do fenômeno *Leakage*, que é o fenômeno onde um único aeroporto regional não oferece o nível de serviço ou rotas que sejam diretas ou em conexão direta para o usuário, fazendo com que o mesmo prefira se deslocar para regiões metropolitanas de grandes aeroportos.

Dado o volume substancial de tráfego aéreo, existe um forte incentivo para entender como as RMA – Região de muitos aeroportos funcionam. Em segundo lugar, o surgimento de RMA desafia o conceito tradicional de uma área de captação de aeroportos clara e imutável (ASHFORD e BENCHEMAN, 1987).

Geograficamente, um país ou região é primeiramente dividido em zonas de tráfego aéreo mutuamente exclusivas e exaustivas (ou outras unidades administrativas). Em seguida, todos os passageiros aéreos na mesma zona de tráfego aéreo (ou na unidade administrativa) são atribuídos ao aeroporto mais próximo com base no princípio do vencedor (AUGUSTINES e DEMAKOPOULOS, 1978).

No âmbito das RMA, os passageiros aéreos podem, no entanto, escolher entre diferentes aeroportos, não apenas com base na vizinhança, mas também numa série de outros atributos do nível de serviço do aeroporto. Geralmente, a tarifa é o fator mais importante.

Outros fatores também podem ser analisados, segundo Loo (2008) tem-se às características de voo, frequência de voos, tempo de viagem em voo, número de paradas, acordos de transferência, congestionamento ou pontualidade dos voos, companhias aéreas que servem a rota e tipo de aeronave.

Segundo Ashford e Bencheman (1987), um modelo que descreve o mecanismo de escolha permitirá que sistemas de aeroportos sejam planejados com uma base mais confiável, sendo adotado pelo autor que para negócios e viagem de excursão, as variáveis mais importantes de escolha foram o tempo de deslocamento ao aeroporto e a frequência para o destino escolhido. Para viagens domésticas e de lazer foram três fatores: tarifa aérea, tempo de deslocamento e a frequência de voos disponíveis, nesta ordem de importância. O modelo calibrado mostrou alta concordância entre a fatia de mercado observada e a prevista.

Pode-se reafirmar que a literatura disponível deixa claro que pouco trabalho tem sido feito na área de escolhas de aeroportos, apesar das importantes implicações que a escolha do passageiro tem para demanda e para a consequente necessidade por instalações. Como o tráfego aéreo continua a crescer, há uma necessidade para um entendimento muito mais amplo a respeito de como a demanda é compartilhada entre os componentes de um sistema de múltiplos aeroportos e que fatores são mais propensos a serem os mais efetivos para provocar mudanças nas ações de demanda entre os aeroportos em tal sistema.

Segundo o trabalho realizado, melhorias no acesso ao aeroporto podem ser uma ferramenta política eficiente para mudar a escolha do aeroporto pelos passageiros, independentemente da finalidade da viagem. Obviamente, é improvável que os gestores de aeroportos e planejadores de aeroportos tenham muita influência sobre a escala do sistema de transporte rodoviário regional e, portanto, muitas vezes têm pouco controle direto sobre essa variável. No entanto, uma grande mudança no sistema de acesso rodoviário, independentemente das necessidades aeroportuárias, pode ter efeitos grandes e anteriormente imprevisíveis na escolha do aeroporto e, portanto, na demanda por aeroportos.

Pode-se também analisar características relativas ao aeroporto, como tempo de acesso ao aeroporto, custo de

acesso, modo de acesso, facilidades de estacionamento, instalações de *check-in*, *lounge*, restaurante e lojas, instalações de transferência, bagagem, alfândega e instalações de imigração carga de passageiro (BRADLEY, 1998).

Na análise de Loo (2008), duas observações importantes podem ser feitas. Em primeiro lugar, enquanto a tarifa aérea, o tempo de acesso e a frequência do serviço foram considerados importantes fatores de permanência no aeroporto, sua importância relativa variou substancialmente sob diferentes circunstâncias geográficas. Em segundo lugar, é necessário reforçar a compreensão da escolha do aeroporto pelos passageiros num contexto asiático. Até o momento, não está claro se a escolha do aeroporto dos passageiros nos RMA asiáticos é moldada pelo mesmo conjunto de atributos de aeroportos do que no Ocidente.

Loo (2008) chegou à conclusão que, em resumo, os resultados mostraram um primeiro vislumbre do comportamento de escolha dos passageiros aéreos na China. Essas descobertas sobre o mercado de transporte aéreo chinês são consistentes com as descobertas de pesquisas anteriores em diferentes partes do mundo. Em particular, o tempo de acesso ao aeroporto, a frequência de voo e a tarifa aérea são os atributos mais importantes do nível de serviço em aeroportos que afetam a escolha de passageiros aéreos. No entanto, existem também muitas diferenças interessantes. Mais notavelmente, constatou-se que os passageiros estavam valorizando o número de companhias aéreas em sua seleção de aeroportos.

Foi notório também para Loo (2008) que em particular, havia alguma evidência que sugeria que os passageiros aéreos de negócios atribuíam maior importância ao tempo de acesso ao aeroporto e à frequência de voo, enquanto os passageiros aéreos de lazer apresentavam uma avaliação negativa mais elevada da tarifa aérea. Em segundo lugar, os passageiros aéreos que tomam voos de diferentes distâncias também têm preferências diferentes em relação a vários atributos do nível de serviço dos aeroportos. Geralmente, os passageiros aéreos de longa distância deram uma ênfase relativamente maior ao número de companhias aéreas disponíveis em um aeroporto. Os passageiros aéreos de médio curso deram maior importância ao espaço comercial de varejo do aeroporto. Passageiros aéreos de curta distância foram os mais preocupados com os diferentes aspectos do acesso terrestre ao aeroporto. A tarifa aérea, o tempo de acesso ao aeroporto e a frequência de voo foram os três atributos comuns em relação ao nível de serviço de aeroportos de para todos os grupos de passageiros que tomam diferentes distâncias de voo. Em terceiro lugar, os passageiros do sexo masculino colocam mais ênfase no tempo de check-in; e os passageiros aéreos da classe executiva podem ter um conjunto, diferente de critérios de escolha do aeroporto.

Sendo assim, os trabalhos apontaram sugestivamente que as variáveis como, acesso ao solo, frequência de voos e tarifa são fatores importantes a serem considerados, mediante o cenário de concorrência aeroportuária.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concepção inicial desse trabalho foi contribuir para a área de pesquisa em aeroportos, mediantes análise dos principais trabalhos realizados na área de concorrência aeroportuária, de forma a compreender os fatores que possuem influência mais significativa nas tomadas de decisões dos usuários dos serviços de aviação civil.

O método escolhido para realização do trabalho foi a revisão sistemática, onde foram elencados os principais trabalhos sobre concorrência aeroportuária a nível nacional e internacional, dando preferência a trabalhos com maior fator de impacto na literatura, sendo a revista Journal of Air Transport Management a maior fonte de trabalhos publicados. Totalizaram para o estudo de revisão sistemática 15 artigos, possibilitando a compreensão da preferência tanto nos vários continentes do globo.

A análise minuciosa dos trabalhos demonstra que os fatores que mais influenciaram a escolha aeroportuária por meio do usuário, são: frequências de voos, tempo de acesso ao aeroporto e custo/tarifa média para viagem, sendo que outros fatores

que podem influenciar a escolha são serviços ofertados pelo aeroporto, voos diretos e experiências boas ou ruins em viagens passadas.

Em casos de divisas entre países, deve-se levar em conta a relação entre as nações, todavia esse é um fator que desestimula a escolha, sendo preferido pelo usuário a utilização de um aeroporto nacional para partida.

Dada à importância do tema, torna se necessário o desenvolvimento de projetos que visem um aumento no número de amostras, que possam agregar conhecimento de comportamento próximo ao real, que entendam as diferentes variáveis na concorrência em regiões de múltiplos aeroportos.

Nesse sentido, a compreensão do comportamento dos passageiros contribui para o planejamento e abertura de novas linhas aéreas, bem como uma melhor gestão da rede aérea já em uso.

REFERÊNCIAS

ABREU, T. P. **Análise de escolha aeroportuária em uma região de multiplos aeroportos:** Um estudo de caso considerando um novo aeroporto para São Paulo. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2017.

ASHFORD, N.; BENCHEMAN, M. Passengers' choice of airport: an application of the Multinomial Logit model. **Transportation Research Record**, p. 1–5, 1987.

AUGUSTINES, J. G.; DEMAKOPOULOS, S. A. Air passenger distribution model for a multiterminal airport system. **Transp. Res. Rec**, p. 176-180, 1978.

BLACKSTONE, E.; BUCK, A.; HAKIM, S. Determinants of Airport Choice in a Multi-Airport Region. **Atlantic Economic Journal**, p. 313-326, 2006.

BRADLEY, M. Behavioral models of airport choice and air route choice. **Travel Behaviour Research: Updating the State of Play**, Amsterdam, p. 141-145, 1998.

CNT. **Transporte aéreo de passageiros**. Transporte e economia. Brasília: [s.n.]. 2015.

FIUZA, E. P. S. Estudo Econômico sobre Regulação e Concorrência no Setor de Aeroportos. **ANAC ER-01**, Rio de Janeiro, maio 2009.

HANSEN, M. POSITIVE FEEDBACK MODEL OF MULTIPLE-AIRPORT SYSTEMS. **Journal of Tranport Eng.**, p. 453-460, 1995.

HESS, S.; POLAK, J. Airport, airline and access-mode choice in the san francisco bay area airports. **Papers in Regional Science**, 2006.

HESS, S.; POLAK, J. W. Mixed logit modelling of airport choice in multi-airport regions. **Journal of Air Transport Management**, v. 11, p. 59–68, 2005.

INNES, J. D.; DOUCET, D. H. EFFECTS OF ACCESS DISTANCE AND LEVEL OF SERVICE ON AIRPORT CHOICE. **Journal of Transportatin Eng.**, p. 507-516, 1990.

LOO, B. P. Y. Passengers' airport choice within multi-airport regions (MARs): some insights from a stated preference survey at Hong Kong International Airport. **Journal of Transport Geography**, n. 16, p. 117-125, 2008.

LUCA, S. D. Modelling airport choice behaviour for direct flights, connecting flights and different travel plans. **Journal of Transport Geography**, p. 148-163, 2012.

LUCA, S. D.; PACE, R. D. Modelling passenger departure airport choice: implicit vs. explicit approaches. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, p. 875 – 885, 2012.

MARCUCCI, E.; GATTA, V. Regional airport choice: Consumer behaviour and policy implications. **Journal of Transport Geography**, p. 70-84, 2011.

MELLO, F. P. D.; PRAZERES, D. L. D. The exploitation of public Brazilian airports under private regime. **Journal of Transport Literature**, v. 7, p. 65-82, Jan 2013.

MUÑOZ, C.; CORDOBA, J.; SARMIENTO, I. Airport Choice Model in Multiple Airport Regions. **Journal of Airline an Airport Management**, p. 1-12, 2017.

MURÇA, M. C. R.; CORREIA, A. R. Analysis of airport choice modeling in multi-airport regions. **Journal of Transport Literature**, v. 7, p. 130-146, 2013.

NAKAGAWA, E. Y. **Revisão Sistemática da Literatura em Engenharia de Software:** Teoria e Prática. [S.l.]: Elsevier Academic, 2017.

PALISKA , D. et al. Passengers' airport choice and airports' catchment area analysis in cross-border Upper Adriatic multi-airport region. **Journal of Air Transport Management**, v. 57, p. 143-159, 2016.

RENZETTI, B. P. Concessões e concorrência nos aeroportos brasileiros. **Revista de defesa da concorrência**, v. 3, p. 133-155, Novembro 2015.

SALOMÃO FILHO, C. **Direito Concorrencial**. São Paulo: Malheiros, 2013.

SAMPAIO, R. F. **ESTUDOS DE REVISÃO SISTEMÁTICA:** UM GUIA PARA SÍNTESE. Belo Horizonte: Revista Brasileira de Fisioterapia, 2006.

SKINNER JR, R. E. Airport choice: an empirical study. **Transportation Engineering Journal**, p. 871–883., 1976.

SUZUKI, Y.; CRUM, M. R.; AUDINO, M. Airport Choice, Leakage, and Experience in Single-Airport Regions. **Journal of Transport Eng.**, v. 2, n. 129, p. 212-218, 2003.

THOMPSON, A.; CAVES, R. The Projected Market Share for a New Small Airport in the North of England. **Regional Studies**, p. 137-147, 1992.

TRETHEWA, M.; KINCAID, I. **Comperirion between airports in the New Millenium:** what works, what doesn't work and why. Hamburg Aviation Conference. [S.l.]: [s.n.]. 2005.

THE INCREASING DISTANCE OF AIRPORTS FROM CITY CENTERS: AN EXPLORATORY ANALYSIS OF AIRPORT REPLACEMENT AND MULTIPLE AIRPORT SYSTEMS' CASES

Luiz Henrique Werneck de Oliveira
Ph.D. Candidate, Territory Planning and Management Department – Federal University of ABC (UFABC)
R. Prof. Oswaldo Teixeira, 183 – 05617-020 – São Paulo – SP, Brazil
Phones: + 55-11-98193-3691 / 55-11-99507-3503
E-mail: luizwerneck64@gmail.com

ABSTRACT

Urban sprawl renders many airports unable to expand. While many urban-surrounded airports were closed to commercial traffic, other in such condition remain open and busy, thus forming multiple airport systems with new, larger airports, located far from cities' centers. This paper explores and analyses the historical trend of increasing distances of newer, larger airports from city centers as compared to the original ones. Despite widely spread distance ratios, evidence shows that new airports tend to be farther away from the center of the cities they serve when replacing original ones more often than when forming multiple airport systems.

Keywords: Airports, Urban Sprawl, Distance from City Center, Airport Replacement, Multiple Airport Systems.

1. INTRODUCTION

Along time, many airports serving large cities became cramped and unable to grow due to urban sprawl around them. Due to this land use conflict affecting safety and increasing the nuisance of aircraft noise, many original airports were closed to commercial traffic and converted to general aviation or military use. Whenever demolished, these former airport sites rendered urban land use redevelopment. In other cases, the cities and their airport authorities chose not to close their original, growth-hampered airports but kept them operational for commercial traffic together with the newer airport, built in more remote urban fringes.

The objective of this article is to develop an exploratory analysis of the apparent eviction of airports by the cities they serve, comparing the distances of their original airports, either closed or still commercially operational, with newer airports (replacement or system forming ones). It identifies several original, old airports that were closed to commercial traffic and replaced by new airports, as well as various cases in which such original (then central) airports remain open to commercial traffic and are complemented by the newer and farther airport, thus forming multiple airport systems serving the same city or metropolitan area.

The hypothesis that cities evict their airports to farther urban fringes is partially confirmed by plotting the increasing distances of airports from the cities' centers along time. This is true in the case of airports replacing closed ones, but the ratio of distances between new airports and those remaining open show a less defined distribution along time, rendering poorer mathematical trends (correlation R^2) of increasing distances over time. Even so, the farther distance of replacement and system forming airports since 1960 (the dawn of the jet age) is remarkable. This imposes new challenges for urban planners and airport authorities, as airport sites tend to be located farther away, with fewer cases of airports located as close to city centers as they used to be before the 1960's.

The article presents a literature review on cities that have evicted their airports (driven by obsolescence, safety, and urban insertion), either replacing original airports or forming airport systems. It then describes the methods employed (data survey, study of distance ratios and their statistics). The results are briefly described (summarized in Tables and Figures) and discussed, leading to the conclusions.

2. CITIES EVICTING THEIR AIRPORTS

Early airports used to have very simple structures and their landing strips used to be circular grass fields (Blankenship, 1974; Szurovy, 2003). They handled pioneer aircraft made of wood and metal, with capability limited to 10-20 passengers (Komons, 1989). Soon after, heavier, all-metal and profitable aircraft (e.g.: the Douglas DC-3) appeared in commercial routes (Kofman, 2004). With increased overall power and weight, airports' runways started to be paved with cinder, asphalt, concrete and even metal plates, oriented against dominant wind directions, with multiple alignments (Munera, 1970).

Urban utopias presented a view of approaching cities (Fishman, 2016), depicting aircraft landing strips amid high-rise buildings, such as the "Ville Radieuse" by Le Corbusier, in 1925 (Anthony, 1966), or meshed into low density suburbs, like the "Broad Acre City" of Frank Lloyd Wright, in 1935 (Nash, 1996).

Airports soon began to have dedicated passenger terminal buildings, such as Floyd Bennett Field (New York), Croydon (London) and Le Bourget (Paris, soon replaced by Orly for commercial aviation services). At the golden age of seaplane for overseas long-haul travel, seaplane stations had a sea-side harbor and at times a land-side set of runways, such as Singapore's Kallang airport. Current Miami City Hall building used to be former Pan Am seaplane base Passengers Terminal, while fully land-based airports such as Chicago Midway, Dallas Love Field and Los Angeles Mines Field (current Los Angeles International) were soon developed (Szurovy, 2003).

Airports started to worry urban planners from the beginning. Framing frame them within typical urban zoning (RAU Jr., 1930), trying to create compatibility of surrounding land uses (Opperman, 1938; Albers, 1940) targeted preventing functional and safety conflicts.

With the end of World War II, thousands of former military transport aircrafts became available to expand civil aviation. Several military air bases became redundant by peace-time, allowing the development of new civilian airports, such as London-Heathrow.

The availability of heavier and more powerful aircraft rendered some pre-War airfields obsolete, leading to their early closure. This was the fate of New York's Floyd Bennett Field, Paris-Le Bourget, London-Croydon and Singapore-Kallang airports. In the aftermath of World War II, aviation improvements' optimist views also considered potential conflicts with urban development (Ogburn, 1946).

In 1948, airports became a geopolitical asset when a Soviet-driven road, rail and waterway blockade curtailed all surface access to West Berlin. The solution came through the Berlin Airlift, which supplied the city with everything it needed, surpassing 1 million tons of cargo in less than a year. This included rebar and cement to build Tegel airport's runway to relief congestion of Tempelhof, then the sole airport serving West Berlin (Giangreco and Griffin, 1988).

In the early 1950's a series of three aircraft accidents took place in the environs of Newark's Liberty Airport in the United States. On December 16, 1951, a Curtiss C-46 crashed 4 km from its runway, killing 56 aboard and badly hurting people on the ground. On January 22, 1952, a Convair CV-240 crashed 5.5 km from the same airport, killing all 27 on board, plus 7 on the ground, in the city of Elizabeth, New Jersey. On February 11, a Douglas DC-6 crashed 2.5 km from Newark's runway (in the same city), killing 29 of the 53 aboard, plus 4 people on the ground (ASN, 2019). These events made the headline covers of *Life* and *Newsweek* magazines, giving safety around airports a large visibility (Gordon, 2004).

United States' president Harry Truman quickly addressed the issue, calling the Presidential Airports Commission on February 20, 1952. In 90 days, the three-membered group interviewed 75 municipal government mayors and managers and visited 30 airport sites, developing a report called "*The Airport and Its Neighbors*". Although they recognized the

anxiety caused by accidents involving ground casualties, they clearly indicated that the airports *versus* cities conflict would soon transfer from safety around airports to the noise nuisance, as the emerging generation of civil jet aircraft would require much longer runways, and much flatter approach glides and take-off paths (Doolitlle *et al*., 1952).

These were soon to be new challenges to urban planners, as the construction of new, much larger, and remotely located airports was imminent (Dinning, 1953). Furthermore, in 1957 for the first time the total transport production of civil aviation (passenger X miles) in the United States surpassed the output of buses and trains (Cherington, 1958).

Hence, at the dawn of the jet-age, newly-needed jetports triggered an array of airports as typical "megaprojects" (Altshuler and Luberoff, 2003), built in less densely occupied fringes of large cities but soon attracting urban growth towards them. Virtually a decade later, the conflict between urban sprawl and busier airports processing noisier jet aircraft was evident (Hammarskjöld, 1967). But city-cramped airports were not necessarily closed down: many cities decided to keep their original airports handling regional flights, and dedicated their new airports for international, long-distance flights (Blankenship, 1974), thus creating "airport systems" (De Neufville and Odoni, 2003).

This had implications on air carriers' structures, as national "flag-carrier" companies were first challenged by "charter airlines" and more recently by Low Cost Carriers (LCC) (Calder, 2003). Such phenomena further increased the formation of airport systems, as some LCC could not secure access to busier airports and soon started to explore smaller regional airports in the vicinities of larger cities, at times much farther away than the original airports (De Neufville, 2006; Derubber *et al*., 2010; Warnock-Smith and Potter, 2005).

In the meantime, urban population grew more than ever (there are now more people living in cities than in rural areas), with anticipated further growth of urban population (and decrease of rural population from 2025 onwards) worldwide, mostly concentrated in poorer regions' cities (United Nations, 2015).

It is intuitive that new airports are located farther away from city centers, but evidence showing such trend is worth checking, as it might impose new restrictions on airports' operations (Upham *et al*., 2004; Suau-Sanchez *et al*., 2011) and new challenges to urban planners (Stephens *et al*., 2010; Ryerson, 2016).

3. METHODS

A survey of large airports (processing more than 1 million passengers per year) was conducted in statistical records of countries' and airport's authorities' websites as well as on specific airport databases (Airports Base, 2019), focusing on metropolitan areas with more than one commercial airport along time. These airports' historical development was analyzed, identifying their opening and closure dates.

Two groups of information were produced. The first yielded a table with airports that were closed to commercial traffic and their distance to their cities' centers, the year of the transition to the new airports, and the predominant reason of their closure. It includes information regarding the new use of their sites (which can be still an aerodrome for general aviation or military bases, or different urban development after the original structures were demolished), the replacement (new) airport name, their respective distances to the same city center, and their recent patronage in terms of millions of passengers per year (MPax/year).

The second group includes the cases of original airports that remain open for commercial air traffic despite the opening of newer, farther away airports in more distant urban fringes of the same metropolitan area. This second table includes the year of opening of the original airport and of the newer one, their names and the distance between them and the main city they serve.

A spreadsheet with airports' opening dates and distances was prepared. Airports were grouped in four different categories: (1) original airports that were closed to commercial traffic; (2) airports replacing those original upon their closure; (3) original airports that, despite cramped by urban sprawl, remain open to commercial traffic to-date; and (4) additional, new airports forming the airport systems, either driven by airport capacity limits or by market

opportunities where LCC unable to operate from more dynamic and larger metropolitan airports exploring them, thus forming systems with smaller, regional and once idle ones.

A graph of these four categories' pairs of dates and distances was developed, identifying the categories from the two tables showing the four sets of data. Eventually, some airports of category 2 replacing closed airports of category 1 became central airports on category 3 dully complemented by multiple systems' newer and larger airports of category 4.

An additional graph shows the dispersion of the distance ratio (km from city center to the new airports divided by km from city center to the original airports): the first graph is for replacement airports *versus* closed early airports; the second graph is for airports forming multiple airport systems, as the original airports remain in commercial operations while the newer airports handle most of the international and long-distance flights.

4. RESULTS

Table 1 shows the list of original airports which were closed for commercial traffic and replaced by newer airports, with their respective transition dates, distances from city centers, main motive or reason for their closure, current land use of the former commercial airport site, replacement airports' names, and their distances from their respective city centers.

Table 2 shows the list of original airports that despite becoming too central and surrounded by urban sprawl, are still operational for commercial traffic, even though they are complemented by larger, newer and more remotely located airports. It shows the year of opening of both the original and the newer airport (the leading column in chronology) and their distances from their respective city centers. It also shows recent yearly patronage data (MPax/year) of both airports in order to identify how many of these central airports remain busy and important for their cities' airport system, taking a significant part of their markets.

In the sequence, Figure 1 shows the graph of the four airports' categories opening dates (regardless of their eventual closure dates) and the distances of all such airports from their respective city centers. The graph does not include airports closed due to wars (Nicosia, in Cyprus, in 1974, Sana'a in Yemen, and Donetsk, Ukraine, both in 2014) as these airports were not actually replaced by new ones (although nearby cities opened airports after the Cypriot civil war was over). Former Gaza Strip's Yasser Arafat Airport was destroyed by Israeli forces during the 2011 Intifada, but it was not included in the survey as there are no records of its patronage.

Groupings of the four categories were formed as follows: (a) Closed Airports and Replacement Airports; (b) Central Original Airports and System Forming Airports. Both had their distances from their respective city centers computed in relative ratios (km/km).

The former (a) grouping ratios are plotted as blue dots in Figure 2, ranging from zero to 20 times the distance (Replacement/ Closed Airports), and cover from 1940 to 2020 (as airports' replacement ranges from 1940 to 2019). The latter (b) grouping ratios are shown as red dots, with values ranging from zero to 16 times the distance (System Forming/Original Central Airports), and chronologically from 1946 to 2012.

The number of airports which were closed down is quite high (39). Due to three of them having been destroyed at wars and only one being replaced so far, the number of replacement airports is slightly lower (37). The average distance of closed airports is 10.9 km from the city center (ranging from 2 to 40 km), while the average distance of replacement airports is 29.4 km (ranging from 11 to 63 km).

The number of central airports which still have commercial traffic and operate together with larger, newer airports thus forming airport systems is the lowest among the four categories of analysis (32). The number of new airports forming airport systems with them is higher (42), as there are metropolitan areas which have their airport systems with more than two airports (e.g.: London, Milan and Moscow). The original and now central airports are in average located 9.9 km from their city centers (with distances ranging from 1 to 25 km), while the average distance from city centers to newer and larger system forming airports is much larger (36.8 km), ranging from 5 to 100 km.

Table 1: Closed and Replacement Airports' Data

City, Country	Closed Airport	Dist. (km)	Year Closed	Motive / Reason	New Land Use	Replacement Airport	Dist. (km)
New York, USA	Floyd Bennett Field	18	1939	O	Park	La Guardia	13
London, UK	Croydon	16	1952	O	Of; LI	Heathrow	24
Singapore	Kallang	2	1955	O	UD	Paya Lebar	15
Maracaibo, Venezuela	Grano de Oro	5	1969	A	UnC	La Chinita	11
Dallas, USA	Greater Southwestern	12	1974	O	Airport	Dallas-Fort Worth	27
Nicosia, Cyprus	Nicosia International	8	1974	W	Derelict	Ercan (Turkish Cyprus)	13
Singapore, Singapore	Paya Lebar	15	1980	C; UI	AirB	Changi	20
Jakarta, Indonesia	Kemayoran	10	1985	C; UI	UD	Suekarno Hatta	25
Chongqing, China PRC	Baishiyi	15	1990	C; UI	AirB	Jiangbei	20
Munich, Germany	Riem	6	1992	C; UI	UD; Expo	F. J. Strauss	28
Denver, USA	Stapleton	5	1995	C; S	UD	Denver International	37
Hong Kong, China SAR	Kai Tak	2	1998	C; S; N	UD; CST	Chek Lap Kok	34
Oslo, Norway	Fornebu	7	1998	C; N	Of; UD; AR	Gardermoen	48
Austin, USA	Robert Mueller	6	1999	C; UI	UD	Austin-Bergstrom	13
Damman, Saudi Arabia	Dharhan	20	1999	Unknown	Unknown	King Fahad	15
Athens, Greece	Ellinikon	9	2001	C; O	Derelict	Eleftherios Venizelos	30
Montreal, Canada	Mirabel	40	2004	EF	AM	Dorval - P. E. Trudeau (a)	15
Guangzhou, China PRC	Bayun	5	2004	C; UI	UD; SM	Guangzhou Bayun	25
Changchun, China PRC	Dafangshen	10	2005	C; UI	AirB	Longjia	32
Hyderabad, India	Begumpet	5	2008	C; UI	AirB	Rajiv Ghandi	22
Berlin, Germany	Tempelhof	4	2008	N; UI	Park	Brandenburg (b)	18
Bangalore, India	Hindustan	6	2008	C; UI	AM; AirB; GA	Kempegowda	40
Durban, South Africa	Durban	19	2010	C; UI	AirB	King Shaka	60
Moscow, Russia	Bykovo	31	2010	UI	AM	Vnukovo	28
Mataram, Indonesia	Selaparang	2	2011	UI	Unknown	Lombok	40
Heifei, China PRC	Waisha	9	2011	C; UI	AirB	Jiayang Chaoshan	28
Kunming, China PRC	Wujiaba	4	2012	C; UI	UD	Changshui	24
Bucharest, Romania	Baneasa - Aurel Blaicu	8	2012	C; UI	GA	Henri Coanda - Otepeni	16
Cagayan de Oro, The Philippines	Lumbia	4	2013	C; UI	AirB	Langhindingan	46
Ishigaki, Japan	Ishigaki	2	2013	C	Unknown	Painushima	11
Hefei, China PRC	Lougang	9	2013	C; UI	AirB	Xinqiao	32
Quito, Ecuador	Mariscal Sucre	18	2013	S; UI	Park	Nuevo Mariscal Sucre	40
Medan, Indonesia	Polonia	3	2013	A; UI	AirB	Kualanamu	20
Doha, Qatar	Doha International	6	2014	C	Unknown	Hamad International	12
Natal, Brazil	Augusto Severo	15	2014	C; M	Air Base	S. Gonçalo Amarante	40
Sana'a, Yemen	Sana'a	13	2014	W	Destroyed	N.A.	N.A.
Donetsk, Ukraine	Sergei Prokofiev	10	2014	W	Destroyed	N.A.	N.A.
Yantai, China PRC	Laishan	7	2015	C; UI	AirB	Penglai	42
Dakar, Senegal	Yoff-Léopold Sédar Senghor	5	2017	C	Unknown	Blaise Diagne	40
Islamabad, Pakistan	Benazir Bhutto	8	2018	C; UI	AirB	Islamabad International	20
Istanbul, Turkey	Atatürk	24	2019	C	Unknown	Istanbul International	63

Motive / Reason: A = Accident; C = Capacity Restriction; EF = Economic Feasibility; M = Conflict with Military Use; N = Noise; O = Obsolescence; S = Safety Issues; UI = Urban Insertion; W = War.

New Land Use: AirB = Air Base (Military); AM = Aircraft Manufacturing; AR = Events (Sports, Music) Arena; CST = Cruise Ship Terminal; Expo = Exposition Center; GA = General Aviation; LI = Light Industry; Of = Offices; UD = Urban Development; UnC = University Campus; SM = Shopping Mall.

Other Notes: (a) Montreal Dorval / P. E. Trudeau pre-existed Mirabel Airport; (b) Berlin Brandenburg not opened yet; N.A. = Not Applicable. Abbreviated country names: USA = United States of America; UK = United Kingdom; SAR = Special Autonomous Region (of China); China PRC = People's Republic of China.

Table 2: Central Original and System Forming Airports' Data

City	Name	Year	MPax/ year	Dist. (km)	Name	Year	MPax/ year	Dist. (km)
Buenos Aires	Aeroparque Jorge Newberry	1925	13.3	2	Ezeiza - Ministro Pistarani	1946	9.7	22
New York	La Guardia	1939	30.1	13	John F. Kennedy	1948	61.3	24
Milan	Linate	1930	9.2	5	Malpensa	1948	24.7	45
Rio de Janeiro	Santos Dumont	1935	9.2	1	Galeão - Antonio Carlos Jobim	1952	15.0	15
London	Heathrow	1946	80.1	24	Gatwick	1953	46.1	47
Chicago	Midway	1927	21.4	13	O'Hare	1955	79.9	24
Paris	Orly	1932	33.1	14	Beauvais-Tillé	1956	3.8	85
Moscow	Vnukovo	1941	21.5	28	Sheremetyevo	1957	45.3	29
Toronto	Billy Bishop	1939	2.8	5	Pearson	1958	49.5	27
Beijing	Nanyuan	1915	6.5	13	Capital	1958	101.0	28
Kiev	Zhuliany - Igor Sykorski	1923	2.8	6	Boryspil	1959	12.6	34
Rome	Ciampino	1916	5.8	12	Fiumicino - Leonardo Da Vinci	1961	43.0	35
Stockholm	Bromma	1936	2.5	7	Arlanda	1962	26.8	45
Moscow	Vnukovo	1941	21.5	28	Domodedovo	1964	29.4	22
London	Heathrow	1946	80.1	24	Luton	1965	16.8	45
London	Heathrow	1946	80.1	24	Stansted	1966	28.0	68
Houston	William P. Hobby	1927	14.1	11	George Bush Intercontinental	1969	42.3	35
Milan	Linate	1930	9.2	5	Bergamo Orio Al Serio	1972	12.9	45
Dallas	Love Field	1927	15.6	10	Dallas-Fort Worth	1974	65.6	27
Paris	Orly	1932	33.1	14	Roissy-Charles De Gaulle	1974	72.2	27
Johannesburg	O.R. Tambo	1952	21.2	25	Lanseria	1975	2.0	24
Tokyo	Haneda	1931	85.0	12	Narita	1976	40.7	65
Taipei	Songshan	1936	5.9	3	Taoyuan	1979	44.9	40
Belfast	Belfast International	1922	6.3	21	Belfast City - George Best	1983	2.5	5
Belo Horizonte	Pampulha	1936	0.2	8	Confins - Pres. Tancredo Neves	1984	10.6	42
São Paulo	Congonhas	1936	22.0	9	Guarulhos - Gov. A. F. Montoro	1985	42.2	25
Medellin	Enrique Olaya Herrera	1932	1.2	3	José Maria Cordova - Etioquia	1985	8.0	20
Jakarta	Halim Pernadakusuma	1925	7.4	11	Soekarno Hatta	1985	65.9	25
London	Heathrow	1946	80.1	24	City	1987	4.8	10
Osaka	Itami	1939	15.6	10	Kansai	1994	28.0	38
Stockholm	Bromma	1936	2.5	7	Skavsta	1996	2.2	100
Brussels	Zaventen	1948	25.7	12	Brussels South - Charleroi	1997	8.0	55
Kuala Lumpur	Sultan Abul Aziz Shah	1965	2.0	22	Kuala Lumpur - Sepang	1998	58.5	45
Shanghai	Hong Qiao	1923	43.6	13	Pudong	1999	74.0	34
Oslo	Gardermoen	1998	28.5	48	Torp – Sandfjord	1999	2.8	100
Seoul	Gimpo	1942	25.1	17	Incheon	2001	62.1	50
Tehran	Mehrabad	1958	17.4	5	Iman Komeini	2004	8.8	30
Nagoya	Komaki	1946	0.9	12	Chubu Centrair	2005	11.4	35
Mexico	Benito Juarez	1928	47.7	5	Toluca - Lic. Adolfo L. Mateos	2006	0.7	40
Bangkok	Don Mueang	1924	38.3	22	Suvarnabhumi	2006	60.9	25
Orlando	Orlando International	1974	46.5	9	Orlando Sanford	2007	2.9	29
Istanbul	Atatürk	1918	64.1	24	Sabiha Gökçen	2007	31.4	35
Dubai	Dubai International	1960	88.2	4	Dubai Central Al Maktoum	2008	0.9	37
Phoenix	Sky Harbor	1935	43.3	5	Phoenix-Mesa Gateway	2009	1.5	10
Warsaw	Frederic Chopin	1934	17.8	10	Modlin Mazovia	2012	2.9	40
Istanbul	Atatürk	1918	64.1	24	New Istanbul Airport	2018	1st year	63

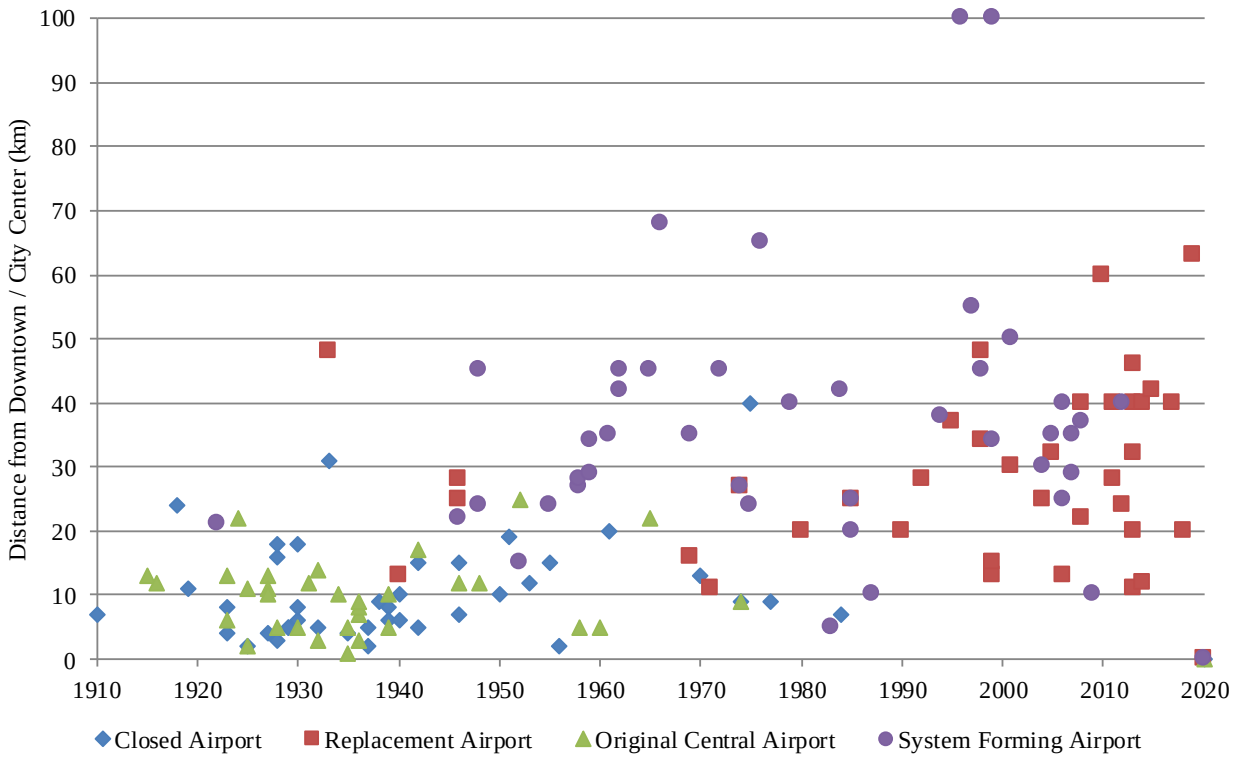


Figure 1: Distance from City Center of Closed, Replacement, Original Central, and Systems Forming Airports

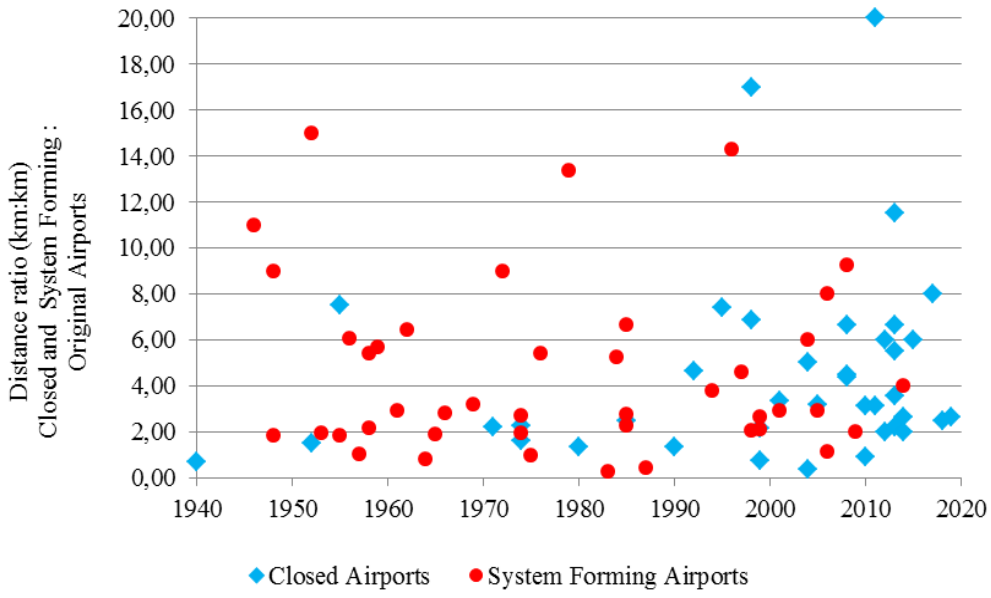


Figure 2: Distance Ratio: Replacement x Closed Airports and System Forming x Original Central Airports

5. DISCUSSION

Most early airports of the sample that closed did so due to the lack of ability to expand their capacity because of their urban insertion (a result of urban sprawl). Most were operational since the 1930's and were mostly located less than 10 km from the city center. Few of these closed airports were either farther than 20 km from the city center and/or became operational since the 1960's (coinciding with the jet age). Exceptions include Mirabel Airport, in Montreal, and some airports in China that were relatively young and even so were recently replaced.

Airports that were closed are replaced by new ones which are typically located more than 20 km from city centers and were mostly opened to commercial traffic in the past 20 years (25 of 37 opened since 1998). Most of these were "greenfield" airports, built with the clear objective of replacing older, original and urban sprawl-cramped airports that had been active for decades, since the cities they served also expanded physically and surrounded them with urban development.

Of the 32 airports that became central to multiple airport systems (eventually unable to expand their physical capacity – especially in terms of runway length), 24 (75%) process more than 10 MPax/year. Of these, 11 are the major airport within their metropolitan area and 10 are busy central airports within systems where the newer, farther airport is the major one in the metropolitan airport system. The number of somewhat smaller airports operating LCC services makes such computing challenging. In terms of distance, while the system forming airports are typically much farther from city centers, some LCC-activated former downtown or central airports make the distribution of distances and the range between system forming and original central airports quite random.

This is particularly affected by the fact that some airport systems have both their original, central airport and their newer one relatively close to the city center. Rio de Janeiro's Santos Dumont, for instance, is 1 km from downtown, while Galeão (the system forming airport of that metropolitan area) is 15 km away. The 1:15 ratio is quite high (against an average ratio of [1:]4.45 among 45 cases, with a standard deviation of [1:]3.68), but an international airport as large as Galeão being located only 15 km from the city center is rather unusual (of the 45 airports' sample, only Belfast City, London City and Phoenix-Mesa Gateway are the only ones closer to downtown – the average distance is 37.5 km, with a standard deviation of 20.3 km).

Hence, the use of distance ratios may not be as good an indicator as it is for the case of replacement *versus* closed airports, especially when considering the cases of LCC activating formerly small, remote and regional airports such as Paris' Beauvais-Tillé or Oslo-Sandefjord (Torp) or Stockholm-Skavsta (Nyköping). This is even more complex when they activate formerly idle central airports such as Milan-Linate and Rome-Ciampino, which were investment-starved since the opening of their respective system forming counterparts Milan-Malpensa and Rome-Fiumicio-Leonardo Da Vinci.

When considering solely the distance along time (graph of Figure 1), although the ample dispersion of points, subgroupings of closed airports and original central ones are clearly older and closer to city centers than subgrouping of replacement and system forming airports.

A critical factor of the methodology employed is the dependence on statements of distance from city centers. The existing, operational airports have such distance credited in websites such as AirportsBase.com (Airports Base, 2019), but in some cases, uncertainty regarding the actual city center is worth noting. Downtown Rio de Janeiro is mostly a central quartier rather than a central point. Should the center be considered slightly elsewhere, the distance to Santos Dumont airport could double from only 1 km to still a quite near 2 km, decreasing the distance ratio to Galeão airport to 7.5:1 instead of 15:1.

Furthermore, information on airports that closed many years ago is not easily found, but they allow locating their position (or the position of their remains) most of the time. A few structures of former, closed airports such as former control towers, parts of terminal buildings, and even sections of demolished runways can be traced in the internet using Google Maps and Street View tools (Google Maps, 2019), but their actual center as a reference point is long gone.

Even so, visual aspects of the ratios of replacement *versus* closed airports (blue dots in Figure 2) indicate a trend of growing distance within time, while the same does not happen in the systems forming *versus* original, central airports (red dots in Figure 2).

Further analysis on the typology of airport systems can be an interesting future step of this research. Further subgroupings could shed some light on what could become "taxonomy" of airport systems, with different

challenges to urban planners, who certainly must deal with very different situations in all these subgroupings.

A subgroup formed by central airports complemented by a much larger newer and farther airport (e.g.: Chicago Midway and O'Hare; Houston William P. Hobby and George Bush Intercontinental, and Dallas Love Field and Dallas Fort Worth) is very different from a subgroup of opportunistic regional airports being leveraged into metropolitan systems by LCC (e.g. Brussels Zaventen *versus* Brussels South-Charleroi). The first subgroup above typically involves airports quite like the subgroup of airports that have been closed and replaced in terms of urban encroachment and surrounding development by urban sprawl.

The reason why some of these airports were closed and some were not is not clear. What are the leading issues driving opportunities such as keeping central airports open (despite being unable to expand their runway lengths)? Why did Denver replace Stapleton airport with Denver International while Chicago, Dallas and Houston (among others) kept their downtown airports open and busy in terms of their airport systems? Could individual case analysis shed some light in airport systems' "taxonomy" in order to help urban planners and decision-makers to conduct better decision-making in the future? Or are all these cases so local-specific that any such attempt to define this "taxonomy" becomes a rhapsody rather than a guide to best practices for urban and airport planners?

On an entirely different path, analyzing the case of busy central airports *versus* even busier newer and farther ones within the same metropolitan areas can be quite interesting in terms of urban planning challenges (e.g.: Shanghai's Hong Qiao *versus* Pudong, Seoul Gimpo *versus* Incheon, Kuala Lumpur Subang (Sultan Abdul Aziz Shah) *versus* Sepang (Kuala Lumpur International), Taipei Songshan *versus* Taoyuan, Bangkok's Don Mueang *versus* Suvarnabhumi, New York's La Guardia *versus* John F. Kennedy, and São Paulo's Congonhas *versus* Guarulhos airports – all listed on Table 2).

Finally, it should be highlighted that no tendency or trend curve adjusted well to the groupings' ratios dispersions (systematically low R^2 were found at all cases), although the replacement *versus* closed airports (blue dots in Figure 2 graph resulted maximum R^2 of 0.0968 for potency trend, quite similar to 0.0967 for exponential trend) shows a ratio of distance increase tendency that is visually more acceptable than that of the system forming *versus* original, central airports grouping (red dots in Figure 2 graph, which resulted R^2 of 0.0141 for logarithm trend and 0.0139 for linear adjustment).

Also, computing transport production values (number of million passengers per year multiplied by the distance in km) was checked but it did not provide any better type of statistical and/or mathematical correlation (R^2 ranging from 0.0022 to 0.0973, depending on the adjustment trend; no Figure shown).

6. CONCLUSIONS

Airports' distances from city centers increase as earlier original airports are replaced by newer ones, but not necessarily when new airports become operational for commercial aviation thus forming airport systems. The former situation shows an acceptable visual trend (despite not a good statistical correlation of any trend curve), while the latter situation shows widely spread data (the ratio of the two subgroupings do not show an apparent tendency of increase along time). On the other hand, when disregarding the ratio of distances and considering only the actual distances along time (purple *versus* green and red *versus* blue dots of Figure 1), the replacement and the system forming airports are clearly more distant from city centers than the closed and original central airports they respectively complement.

This is probably due to the fact that recent new airport systems are being formed by the mobilization of regional, smaller airports by LCC. While in many cases LCC operates in airports as far as 100 km away from the center of the cities they allegedly serve (such as Stockholm-Skavsta and Oslo-Torp airports), in some cases they do otherwise, triggering operations in older, more central, investment starved and less sophisticated airports such as Kiev-Zhuliany,

Milan-Linate, and Rome-Ciampino airports, all respectively more central than Kiev-Boryspil, Milan-Malpensa, and Rome-Fiumicino.

However intuitive it may be, not all cases of newer commercial airports compared to older ones imply increasing distances from city centers along time. The cases of airports being closed and replaced show such trend, while the cases of system forming and original, central airports not always do. This could justify further research and considerations on developing "taxonomy" of airport systems to shed lights of best practices for both urban and airport planners, as well as to decision-makers.

7. ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thank the inputs provided by the peer reviewers, rendering a (hopefully) clearer and more consistent analysis, content and discussion. The responsibility for any remaining shortcomings and eventual mistakes is solely of the author.

8. REFERENCES

AIRPORTS BASE (2019). Available at: www.airportsbase.com. Viewed from March to June 2019.

ALBERS, J. (1940). "Progress in County Zoning: Marathon County, Wisconsin". *The Journal of Land Use and Public Utility Economics*, 16(4): 393-402.

ALTSHULER, A. and LUBEROFF, D. (2003). *Megaprojects: the changing politics of urban public investment.* Washington: The Brookings Institution; Cambridge (MA): Lincoln Institute of Land policy.

ANTHONY, H. A. (1966). "Le Corbusier: his ideas for cities". *Journal of the American Institute of Planners.* 32(5): 279-288.

ASN – AVIATION SAFETY NETWORK. (2019). Available at: https://aviation-safety.net/database. Viewed from April to June 2019.

BLANKENSHIP. E.G. (1974). *Der flughafen – architektur, urbane integration, ökologie.* Stuttgart: Verlag Gerd-Hatje.

CALDER, S. (2003). *No frills: the truth behind the low-cost revolution in the skies.* London: Virgin Books.

CHERINGTON, P. W. (1958). *Airline pricing policy: a study of domestic passenger fares.* Boston: Harvard University; New York: Pergamon Press. (1970 reprint).

DE NEUFVILLE, R. (2006). "Planning airport access in an era of low-cost airlines". *Journal of the American Planning Association*, 72(3): 347-356.

DE NEUFVILLE, R. and ODONI, A. (2003). *Airport systems: planning, design and management*. New York: McGraw-Hill.

DERUBBER, B., L. DEVRIENDT, F. WILTOX. (2010). "A spatial analysis of multiple airport cities". *Journal of Transport Geography*, 18: 345-353.

DINNING, R.G. (1953). "Integration of airport and municipal planning". *Journal of the American Institute of Planners*, 19(3): 124-130.

DOOLITTLE, J. H., C. F. HORNE, J. C. HUNSAKER (1952). *The airport and its neighbors – the report of the President's Airport Commission*. Washington: U.S. Government Printing Office.

FISHMAN, R. (2016). "Urban Utopias in the Twentieth Century: Ebenezer Howard, Frank Lloyd Wright and Le Corbusier". In: FAISNTEIN, S. and DEFILIPPIS, J. Eds. *Readings in Planning Theory*. 4th ed. Chichester (UK): Wiley-Blackwell, Chapter 1: 23-50).

GIANGRECO, D. M. and R. E. GRIFFIN (1988). *Airbridge to Berlin; The Berlin crisis of 1948, its origins and aftermath*. Novato (CA): Presidio Press.

GOOGLE MAPS (2019). Available at www.googlemaps.com. Viewed from January to April 2019.

GORDON, A. (2004). *Naked airport: a cultural history of the world's most revolutionary structure*. New York: Metropolitan Books.

HAMMARSKJÖLD, K. (1967). "The Future – Closure Address". In: The Airports for the Future. London: The Institution of Civil Engineers.

KOFMAN, F. (2004). *Metamanagement: sucesso além do sucesso*. São Paulo: Elsevier.

KOMONS, N. (1989). *Bonfires to beacons: Federal Civil Aviation Policy under the Air Commerce Act, 1926-1938.* Washington (DC): Smithsonian Institution Press.

MUNERA, F. L-P. (1970). *Aeropuertos.* Tercera edición corregida y aumentada. Madrid: Paraninfo.

NASH, E. P. (1996). *Frank Lloyd Wright: force of nature.* New York: Smithmark.

OGBURN, W. F. (1946). *The social effects of aviation*. Boston: Houghton Mifflin; Cambridge (MA): The Riverside Press.

OPPERMAN, P. P. (1938). "Transportation by air". *Journal of the American Institute of Planners*, 4(3): 81-87.

RAU Jr., J. W. (1930). "Airports and subdivisions". *The Journal of Land and Public Utility Economics*, 6(2): 205-208.

RYERSON, M. (2016). "Planners take flight: integrating air transportation into planning education". *Journal of Planning Education and Research*, 36(4): 427-439.

STEVENS, N., D. BAKER and R. FIRESTONE. (2010). "Airports and their urban setting: towards a conceptual model of interfaces in the Australian context". *Journal of Transport Geography*, 18: 276-284.

SUAU-SANCHEZ, P., M. PALLARES-BARBERA, V. PAÜL. (2011). "Incorporating annoyance in airport environmental policy: noise, societal response and community participation". *Journal of Transport Geography*, 19: 275-284.

SZUROVY, G. (2003). *The American airport.* St. Paul: MBI.

UNITED NATIONS – Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2015). *World Urbanization Prospects: the 2014 revision.* (MS Excel® Spreadsheets downloaded from https://esa.un.org/undp/wup/CD-ROM/ in January 2018.

UPHAM, M, D. RAPER, C. THOMAS, M. McLELLAN, M. LEVER and A. LIEWEN (2004). "Environmental capacity and European air transport: stakeholder opinion and implications for modeling". *Journal of Air Transport Management*, 10: 199-205.

WARNOCK-SMITH, D. and POTTER, A. (2005). "An exploratory study into airport choice factors for European low-cost carriers. *Journal of Transport Management*, 11:388-392.

GANHOS OBTIDOS COM O PROJETO FAUNA EM AEROPORTOS – UMA PARCERIA ENTRE A INFRAERO E A FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA POR MEIO DO CENTRO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO – CDT – UNB

Márcia Carvalho da Cunha Mendes
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO
Setor Comercial Sul Quadra 04, Bloco A nº 58, CEP: 70312-970, Brasília – DF,
Telefone (61) 3312-2478; marcia_carvalho@infraero.gov.br

Luis Eduardo Paris
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO
Setor Comercial Sul Quadra 04, Bloco A nº 58, CEP: 70312-970, Brasília – DF,
Telefone (61) 3312-3634; leparis@infraero.gov.br

RESUMO

A presença de fauna nos aeroportos gera risco as operações de pouso e decolagem, podendo causar acidentes ou incidentes, resultando em danos materiais significativos, colocando em perigo vidas humanas. Com o intuito de minimizar o problema, a Infraero em 2009 celebrou convênio com a Universidade de Brasília, por meio do CDT – UnB, visando reduzir e/ou eliminar os acidentes aeronáuticos decorrentes de problemas com a fauna, por meio de ações internas e externas aos sítios aeroportuários, o presente artigo tem como objetivo apresentar, de forma resumida, os produtos resultantes do convênio e os ganhos obtidos após 10 (dez) anos da parceria.

Palavras-chave: Risco da fauna, Acidentes, Manejo, Convênio, Infraero.

ABSTRACT

The wildlife at airports poses a risk to landing and takeoff operations, which can cause accidents or incidents, resulting in significant material damage, endangering human life. In order to minimize the problem the Infraero in 2009 made a partnership with the University of Brasilia, through the CDT - UnB, aimed at reducing and eliminating aeronautical accidents resulting from fauna problems, through internal and external actions to the airports sites. Thus, this article shows the summary of the products of the agreement. It also presents the benefits of the agreement after 10 years of the partnership between Infraero and the University of Brasilia.

Keyword: Risk of Wildlife, Accidents, Management, Infraero.

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes aeroportuários exercem forte atração para vários grupos de animais, isso se explica pela existência de ambientes naturais e antrópicos, os quais são apropriados para a alimentação, descanso, refúgio contra predadores, dessedentação ou mesmo reprodução (Infraero; CDT-UnB, 2008).

Colisões com fauna representam risco significativo à aviação e estão entre as ocorrências mais reportadas em todo o mundo (CENIPA), causando apreensão em pilotos, tripulação e usuários. Assim, geram problemas econômicos e cada vez mais preocupação quanto à segurança em todo o mundo (Doppler et al., 2015).

A colisão do Airbus 320 com um bando de gansos, na cidade de Nova York, onde o piloto teve que aterrissar no rio Hudson é um marco importante que alertou o mundo sobre o risco de colisão de aeronaves com fauna. Após o acidente vários segmentos da sociedade começaram a questionar quais ações eram executadas para prevenir esse tipo de ocorrência.

Nesse sentido o plano de manejo é um instrumento poderoso, utilizado para controle e manejo da fauna dentro e fora dos sítios aeroportuários. O Plano de Manejo é um documento técnico que especifica detalhadamente as intervenções necessárias no meio ambiente, natural ou antrópico, de um aeródromo, ou diretamente nas populações de aves ou de outros animais, com o objetivo de reduzir o risco de colisões (IBAMA, 2005).

A eliminação de fontes de alimentos, água e abrigo para os animais silvestres é um dos alicerces do manejo indireto da fauna. Esta ação, se conduzida de forma sustentada, resulta na eliminação proporcional de animais em sítios aeroportuários.

Em 2009 a Estatal INFRAERO- Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária e a Universidade de Brasília, por meio do Centro de Desenvolvimento Tecnológico – CDT/UnB, firmaram um Convênio, cujo proposito foi o desenvolvimento de projeto com colaboração mútua para o controle e manejo da fauna no interior dos sítios aeroportuários. A atuação do projeto abrangeu 12 (doze) aeroportos.

A implementação do projeto teve como objetivo reduzir e, quando possível, eliminar os fatores que poderiam causar acidentes aeronáuticos decorrentes de problemas com a fauna, por meio de ações internas e externas aos sítios aeroportuários.

Assim, o objetivo deste artigo é o de apresentar, de forma resumida, os produtos resultantes do convênio e os ganhos obtidos após 10 (dez) anos da parceria entre a Universidade de Brasília e a Infraero.

2. PROGRAMA FAUNA EM AEROPORTOS

A preocupação com a segurança operacional na Infraero é um tema constante, principalmente no que diz respeito às colisões entre aeronaves e diversas espécies de animais.

Em meados de 2007 a Estatal iniciou um processo para ampliar o seu conhecimento científico sobre o comportamento e atratividade da fauna nos aeroportos sob sua administração. A partir daquele momento, iniciou-se um processo para aperfeiçoar o programa fauna corporativo com a Universidade de Brasília, resultando na elaboração do Projeto de Implantação do Programa Fauna nos Aeroportos Brasileiros.

Esse projeto serviu para nortear os procedimentos documentais que resultou na assinatura do convênio em meados de 2009.

A Infraero já tinha um conhecimento sedimentado acerca do risco e realizava ações de controle e afugentamento de fauna em seus aeroportos, no entanto, buscava-se algo cientifico, baseado em pesquisa e formação de profissionais, para difundir o conhecimento no setor aéreo brasileiro, ampliar a segurança.

2.1 Convênio com a Universidade de Brasília

O convênio assinado com o CDT/UnB, cujo objetivo geral foi o desenvolvimento tecnológico e a implementação do Programa Fauna foi implementado nos seguintes aeroportos: Aeroporto Internacional de Brasília; Aeroporto Internacional Marechal Rondon/Cuiabá; Aeroporto Internacional de Salvador; Aeroporto Internacional do Recife; Aeroporto Internacional de Maceió; Aeroporto Internacional de Belém; Aeroporto Internacional Eduardo Gomes/Manaus; Aeroporto

Internacional Salgado Filho/Porto Alegre; Aeroporto Internacional Pinto Martins/Fortaleza; Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos; e posteriormente no Aeroporto Internacional Santa Maria – Aracaju/SE e Aeroporto de São Paulo/Congonhas.

A escolha dos aeroportos teve como base os estudos realizados pela equipe de Meio Ambiente da Infraero que indicou os aeroportos com maior grau de inconformidade, ou seja, aqueles com maior probabilidade de registro de incidentes com a fauna.

A implantação do programa vislumbrou a redução e/ou eliminação dos acidentes/incidentes aeronáuticos decorrentes de problemas com a fauna, através de ações internas aos sítios aeroportuários que buscassem a redução dos fatores atrativos, bem como através de articulações externas (governo e municípios) que visassem a melhoria das condições de ocupação do solo e infraestrutura do entorno dos aeroportos (Infraero; CDT-UnB, 2008).

Para execução do convênio, foram disponibilizados, em cada aeroporto, espaço para construção de centros de manejo da fauna, que foram equipados para possíveis intervenções e manipulação dos animais. Cada centro contou com uma equipe específica e dedicada, com a presença em tempo integral de um Biólogo e um Veterinário e, em tempo parcial, quatro estagiários de graduação. O projeto contou com uma coordenação geral, sediada em Brasília, que, além das atividades regulares da função administrativa, também executou atividades de campo.

O convênio ao todo durou 5 (cinco) anos, de 2009 a 2014. A Infraero investiu cerca de R$ 15 milhões e a Universidade aproximadamente R$ 1,4 milhões em recursos não financeiros.

Os produtos resultantes do convênio foram:

1. Diagnóstico da fauna existente nos aeroportos e seu entorno e avaliação do risco desta para segurança operacional. O Diagnóstico foi realizado por meio de avaliação das fichas Cenipa 15, censos faunísticos e identificação de focos atrativos, no aeroporto e na Área de Segurança Aeroportuária – ASA.

As figuras 1 e 2 exemplificam o mapeamento de atrativos de fauna na área de segurança aeroportuária.



Figura 1: Presença de lixo dentro da área da ASA Fonte: Diagnóstico ambiental, 2010.



Figura 2: Lixão localizado na ASA. Fonte: Arquivo de imagens do projeto.

2. Campanhas de sensibilização e orientações para o preenchimento da Ficha Cenipa 15 (realizado em conjunto com os biólogos da Infraero)
3. Planos de Manejo de Fauna para os 12 (doze) aeroportos, cujo objetivo foi de apresentar um conjunto de medidas corretivas, reparadoras e/ou preventivas para redução dos acidentes/incidentes com a fauna;



Figura 3: Atividade de manejo de fauna. Fonte: Arquivo de imagens do projeto



Figura 4: Armadilhas instaladas no Aeroporto Internacional de Manaus. Fonte: Relatório de Manejo da Fauna, 2014.

Na etapa de execução dos planos de manejo da fauna várias atividades foram realizadas, com intuito de aumentar a segurança operacional, tais como: feiras de adoção de animais domésticos, instalação de fios de nylon em estruturas como antenas e torres, colocação de espículas (para evitar o empoleiramento de aves), coleta de ninhos, captura e translocação de animais, dentre outras atividades.



Figura 5: Coleta dos ovos de quero-quero. Fonte: Relatório Final de Manejo da Fauna, 2014.



Figura 6: Feira de adoção de animais domésticos. Fonte: Relatório final de manejo, 2014

4. Licenças Ambientais/autorizações para implementação e execução dos Planos de Manejo de Fauna;
5. Criação dos Centros de Manejo de Fauna com infraestrutura e logística no interior dos aeroportos;
6. Relatórios de Operação, avaliação, monitoramento e controle das ações implementadas (internas e externas), para redução dos incidentes/acidentes com a fauna;
7. Produtos de divulgação institucional, serviram como base para as campanhas de educação ambiental, tanto internas como externas;
8. Sensibilização da comunidade aeroportuária e do entorno em relação ao perigo que representa a fauna silvestre e doméstica à segurança operacional dos aeródromos



Figura 7: Campanha educativa para funcionários do aeroporto. Fonte: Relatório de Manejo da Fauna, 2014.

9. Estudos com Gramíneas, foram avaliadas as principais coberturas vegetais dos aeroportos;
10. Estudos com Invertebrados, foram identificadas as espécies mais comuns nas áreas verdes dos sistemas de pista.
11. Estudos com Mamíferos, foram avaliadas as principais espécies de mamíferos que ocorrem nos aeroportos estudados.
12. Estudos com DNA, o objetivo destes estudos foi o de melhorar a identificação dos animais colididos e a partir de então melhorar a qualidade do registro de colisões.
13. Foram realizados testes com falcão robô e com aparelhos que emitem sons para afugentar as aves;

14. Testes com repelentes químicos, e fogos de artificio;

As atividades desenvolvidas durante a execução do convênio mostraram-se eficazes e tornaram os sítios aeroportuários menos atrativos para as espécies, constatou-se que para o sucesso do manejo da fauna é necessária a execução contínua de diversas ações simultâneas, uma vez que ações descontínuas e isoladas possuem pouco ou quase nenhum efeito sobre fauna.

O monitoramento da fauna possibilitou determinar o risco de incidentes por espécie, facilitando as ações de controle.

Com os trabalhos desenvolvidos, constatou-se que a maioria das colisões com aves ocorre nas proximidades dos aeroportos, na fase de aproximação para pouso ou durante a decolagem, portanto as atividades de educação ambiental desenvolvidas com as comunidades próximas aos aeroportos e a aproximação com a comunidade e os órgãos públicos foram extremamente necessárias e devem ser continuadas.

Para controle do risco de fauna no interior e no entorno dos aeroportos, além das ações diretas do administrador aeroportuário, é necessária uma integração sólida entre União, estados, municípios e sociedade.

Além dos produtos previstos para serem entregues e desenvolvidos pelo convênio, foram constatados outros ganhos, em nível nacional, tais como:

1. Aproximação dos setores da aviação com a comunidade cientifica e os administradores aeroportuários;
2. Estreitamento da relação com o CENIPA – Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, inclusive em discussões para melhoramento da Ficha Cenipa 15;
3. Participação ativa da Infraero e do CDT/UnB no Grupo de Trabalho que elaborou a Resolução CONAMA nº466 de 2015;
4. Criação e fortalecimento das comissões de Gerenciamento do Risco da Fauna;
5. Formação de profissionais capacitados que hoje estão atuando em vários segmentos da sociedade;
6. Capacitação dos profissionais da Infraero.
7. Aumento de pesquisa cientifica na área de fauna;
8. Avanço do conhecimento de técnicas de manejo nos aeroportos do Brasil.

3. CONCLUSÃO

De forma geral, a universidade tem um papel fundamental no processo de inovação e, não apenas na pesquisa básica, mas como importante ator institucional nos sistemas de inovação (Garcia et al.,2018). Portanto, unir a indústria, em especial o setor aéreo, com a academia proporciona a redução do empirismo. A ampliação da pesquisa cientifica resulta no aprimoramento das técnicas e isso se traduz em procedimentos seguros e melhores resultados.

A parceria com a Universidade comprovou como é relevante para o conhecimento a troca de experiências entre a indústria e a academia. Se a Infraero ganhou aplicando as técnicas nos aeroportos que ficaram mais seguros, a Academia ganhou com a capacitação de profissionais em uma área específica e até então pouco explorada e, sobretudo houve ganho para a segurança da aviação.

Após 10 (dez) anos, concluiu-se que esse convênio foi de extrema importância, podendo ser considerado um marco no País, visto que por meio dele foi disseminado o conhecimento, realizada pesquisa e capacitação em gerenciamento do risco da fauna.

Os estudos desenvolvidos e as práticas executadas por meio do Projeto Fauna em Aeroportos Brasileiros fortaleceram a área com a conscientização de vários segmentos da sociedade que hoje entendem a necessidade de parcerias para minimizar a questão do Risco da Fauna.

4. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 164: Gerenciamento do Risco da Fauna nos Aeródromos Públicos 2014. Disponível em: < https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-164> . Acesso em 24 jul. 2019.

BRASIL, Lei nº 12725, de 16 de outubro de 2012. Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12725.htm>. Acesso em: 25 jul.2019.

CDT/UnB. Diagnóstico Ambiental do Sítio Aeroportuário do Aeroporto Internacional de Belém, 2010.

CDT/UnB. Plano de Manejo de Fauna Diagnóstico Ambiental do Sítio Aeroportuário do Aeroporto Internacional de Belém, 2010.

CDT/UnB. Relatório Final de Manejo da Fauna do Aeroporto de São Paulo/ Congonhas, 2014.

CDT/UnB. Relatório Final de Manejo da Fauna do Aeroporto de Internacional Eduardo Gomes, Manaus, 2014.

CENIPA. Colisões com fauna são risco para aviação. Disponível em: < http://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/ultimas-noticias/1052-o-risco-das-colisoes-com-fauna>. Acesso em 20 jul.2019.

CENIPA. Manual de Gerenciamento de Risco da Fauna. Disponível em: < file:///G:/MCA%203-8%20Manual%20de%20Gerenciamento%20de%20Risco%20de%20Fauna.pdf>. Acesso em: 25 jul.2019.

CENIPA. Plano Básico de Gerenciamento de Risco de Fauna. Disponível em: <http://sistema.cenipa.aer.mil.br/cenipa/paginas/arquivos/PCA3-3_2018.pdf>. Acesso em: 15 jul.2019.

DOPPLER, M.S. et al. Respostas de aves a aviões com luzes afinadas em seus olhos: implicações para colisões entre pássaros e aeronaves. The Condor, v. 117, 2 ed. p. 165-177, 2015. Disponível em: <https://academic.oup.com/condor/article/117/2/165/5153159>. Acesso em: 25 jul.2019.

GARCIA, R. et al. Estudos de caso da interação universidade-empresa no Brasil Belo Horizonte: FACE/UFMG, 2018. 483p. ISBN 978-85-60500-07-9. Disponível em: <file:///G:/Estudos%20de%20caso%20da%20interacao%20universidade-empresa%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em: 26 jul.2019.

INFRAERO; CDT/UnB. Projeto de Implantação do Programa Fauna nos Aeroportos Brasileiros. Brasília, 2008.

IBAMA, Instrução Normativa do IBAMA nº 72 de 18/08/2005.

LUIGI, G. Manual de Controle do Perigo Aviário para Aeroportos da Rede Infraero. Centro de Pesquisa em Avifauna de Aeroportos, Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente, 2006.Coppe/UFRJ. 213pp.

Melhores Práticas do IBSC. Disponível em: <http://sistema.cenipa.aer.mil.br/cenipa/Anexos/article/222/Melhores%20Pr%C3%A1ticas%20Recomendadas%20IBSC%20n%201%20-%20Controle%20de%20Fauna%20em%20Aer%C3%B3dromos.pdf >. Acesso em 15 jul.2019.

QUANTIFICAÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS ORIUNDOS DA OPERAÇÃO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE CUIABÁ – MARECHAL RONDON POR MEIO DE MODELAGEM MATEMÁTICA

ATMOSPHERIC POLLUTANTS QUANTIFICATION FROM THE OPERATION OF THE CUIABÁ INTERNATIONAL AIRPORT - MARECHAL RONDON BY MATHEMATICAL MODELING

Arthur Neiva Fernandes
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO
SCS Q. 04 Bl. A nº 58, CEP: 70312-970, Brasília – DF, (61) 3312-3094, arthur_fernandes@infraero.gov.br

Gabriel da Cunha Cotrim
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO
SCS Q. 04 Bl. A nº 58, CEP: 70312-970, Brasília – DF, (61) 3312-3364, gccotrim@infraero.gov.br

José Carlos Aravéchia Júnior
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO
SCS Q. 04 Bl. A nº 58, CEP: 70312-970, Brasília – DF, (61) 3312-3215, jcajunior@infraero.gov.br

Júlia Espíndula Araújo Prado
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO
SCS Q. 04 Bl. A nº 58, CEP: 70312-970, Brasília – DF, (61) 3312-3428, jeprado@infraero.gov.br

RESUMO

A qualidade do ar de uma região está relacionada com os níveis de poluição atmosférica. Desta forma, o objetivo do estudo foi quantificar por meio de modelagem matemática os poluentes atmosféricos emitidos no Aeroporto Internacional de Cuiabá. Utilizou-se o EDMS, *software* de modelagem matemática das emissões de poluentes atmosféricos em aeroportos, por meio da combinação das funções de inventários e estudo de dispersão de poluentes. O estudo apontou que as aeronaves são os maiores contribuintes da emissão de poluentes atmosféricos e que as emissões de responsabilidade da INFRAERO são baixas quando comparadas com as emissões das outras empresas do Aeroporto.

Palavras-chave: Aeroporto, Modelagem Matemática, Poluentes Atmosféricos, Qualidade do Ar, Impactos.

ABSTRACT

The air quality of a region is related to air pollution levels. The objective of the study was to quantify the atmospheric pollutants emitted at Cuiabá International Airport by mathematical modeling. EDMS is a software for air pollutant emissions in airports and it was used through the combination of inventory functions and pollutant dispersion study. The study pointed out that aircraft are the major contributors to air pollutant emissions and that INFRAERO's responsible emissions are low compared to emissions from other airport companies.

Palavras-chave: Airport, Mathematical Modeling, Atmospheric Pollutants, Air Quality, Impacts.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ar de uma determinada região está relacionada com os níveis de poluição atmosférica. As fontes de poluição podem ser pontuais (indústrias, emissões naturais, queima de resíduos) ou difusas (aviões, veículos, trens), sendo o transporte e a diluição do poluente na atmosfera que determinarão o grau de poluição de uma determinada área. A relação entre a geomorfologia e a meteorologia são fatores decisivos na qualidade do ar, sendo que a alta concentração de gases na atmosfera pode vir a acarretar sérios problemas respiratórios para a população.

A preocupação da comunidade científica mundial e da sociedade, em geral, com relação aos impactos ambientais gerados pela atividade aérea, iniciou-se com o objetivo de minimizar os problemas ambientais de abrangência local (Coelho, 2006).

Em 1998, em consequência do Protocolo de Kyoto, a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) – ou "OACI" em português – e o *International Panel on Climate Change* (IPCC) prepararam um estudo sobre os efeitos mundiais das atividades aeroportuárias na atmosfera. Publicado em 1999, o estudo *Aviation and the Global Atmosphere*, considerou o ano de 1990 como base, e estimou que o crescimento do transporte aéreo fosse mais rápido que a economia global, com o valor provável de 5% ao ano até 2050 (Benito, 2005). Como consequência do aumento do tráfego aéreo tem-se a degradação da qualidade do ar, uma vez que o crescimento do transporte aéreo leva a um aumento no consumo de combustíveis, elevando assim as emissões de gases poluentes na atmosfera. Com os avanços tecnológicos observados nas últimas décadas, houve uma melhoria na eficiência dos motores das aeronaves, acarretando na redução do consumo de combustível e emissão de gases poluentes.

No Brasil não existe uma legislação específica para emissões atmosféricas provenientes de aeroportos. O documento que norteia o controle de emissão de gases pela Aviação Civil é o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – RBAC nº 34 – Requisitos para Drenagem de Combustível e Emissões de Escapamento de Aviões com Motores a Turbina, que adota o Volume II do Anexo 16 da OACI e o regulamento *Title 14 Code of Federal Regulations Part 34*, Emenda 34-4, em vigor desde 29 de junho de 2009, da Administração Federal da Aviação Americana (FAA).

Os impactos causados pela aviação são maiores do que as concentrações de emissões originadas ao nível do solo. Tal fato ocorre porque as emissões em alta altitudes desencadeiam uma série de processos químicos e físicos diferenciados quando comparados com os efeitos em baixas altitudes (Jardine, 2005).

As principais atividades realizadas nos sítios aeroportuários, relacionadas com emissões de poluentes atmosféricos são:

- Incineradores de lixo;
- Geradores termoelétricos;
- Manipulação de grandes volumes de combustíveis;
- Veículos de serviço em terra (equipamentos de operação de rampa);
- Tráfego interno de acesso ao aeroporto;
- Teste de motores das aeronaves;
- Atividades que envolvem medidas operacionais de emergência (atividades de treinamento de incêndio).

O controle da poluição atmosférica em escala local ou regional é realizado, de forma usual, através de rede de monitoramento da qualidade do ar. Esta rede constitui um instrumento útil para a segurança da saúde humana e do ambiente, e permite analisar o benefício de ações de saneamento e predispor intervenções específicas no caso de superação dos níveis limites estabelecidos pela legislação (Moreira; Tirabassi, 2004a).

Por motivos de caráter econômico e administrativo, o número de pontos de medida de uma rede é limitado e, acima de tudo, a disposição espacial delas pode não ter sido estudada cuidadosamente, podendo estar posicionada em um local pouco representativo ou até em locais de difícil acesso. Por este motivo, os modelos matemáticos constituem uma ferramenta importante para auxiliar as medidas de concentrações e saber a evolução das mesmas. Uma vez acertada a modelagem do cenário, pode-se obter qualidade na resposta

fornecida por um modelo. Isto permite analisar a contribuição das diversas fontes para a poluição geral, e então endereçar corretamente eventuais ações de mitigação das emissões.

Somente com modelos matemáticos é possível fazer previsões ou simular campos de concentração em conexão com políticas de controle de poluentes em concordância com planos de melhoria da qualidade de vida da população e dos trabalhadores expostos aos ambientes com grande geração de gases. A introdução da modelagem matemática produz um salto de qualidade na gestão da poluição atmosférica (Moreira *et al*., 2008).

Na literatura há duas principais abordagens para o desenvolvimento de inventários de emissões por aeronaves. Uma está em base global, relacionada à determinação do impacto sobre as mudanças climáticas, e a outra está em base local, que trata do nível de qualidade do ar nas proximidades dos aeroportos, que é o ponto focal deste estudo.

Desta forma, o objetivo do estudo é quantificar por meio de modelagem matemática os poluentes atmosféricos emitidos no Aeroporto Internacional de Cuiabá – Marechal Rondon, a saber: Óxidos de Nitrogênio (NO_X), Monóxido de Carbono (CO), Compostos Orgânicos Voláteis (COV), Dióxido de Carbono (CO_2), Óxidos de Enxofre (SO_X), Material Particulado (MP_{10} e $MP_{2.5}$) e os Hidrocarbonetos Totais (HCT). Os objetivos específicos do estudo são:

- Comparar os poluentes atmosféricos emitidos pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO) – administradora do Aeroporto de Cuiabá – com os emitidos pelas concessionárias (companhias aéreas, empresas de apoio e de abastecimento); e
- Sugerir medidas para mitigação dos impactos provenientes da emissão dos poluentes atmosféricos.

O Aeroporto escopo deste trabalho foi definido em razão de ser o maior do Estado do Mato Grosso e por ser o único que contempla voos nacionais e internacionais, contribuindo de modo mais expressivo, em relação as emissões de poluentes atmosféricos, no contexto regional.

2. ASPECTOS OPERACIONAIS DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE CUIABÁ – MARECHAL RONDON

O Aeroporto Internacional de Cuiabá – Marechal Rondon possui uma pista de pousos e decolagens com 2.300 metros de comprimento e 45 metros de largura e suas cabeceiras possuem a denominação 17 e 35. Além disso, possui pistas de táxi aéreo paralelas, pistas intermediárias perpendiculares e saídas ortogonais ao final da pista (Figura 1).



Figura 1: Identificação de Pistas e Pátios do Aeroporto Internacional de Cuiabá

Os percursos de taxiamento utilizados no Aeroporto Internacional de Cuiabá estão listados nas Tabelas 1 e 2:

Tabela 1: Taxiamento de decolagem

Pátio de Partida	*Cabeceira de Decolagem*	*Percurso de Taxiamento utilizado*
TPS	17	TWY Echo / TWY Alfa
Hangares	17	TWY Echo / TWY Alfa
Pátio 1	17	TWY Echo / TWY Alfa
TPS	17	TWY Echo / TWY Delta

Hangares	17	TWY Echo / TWY Delta
Pátio 1	17	TWY Echo / TWY Delta

Tabela 2: Taxiamento de pouso

Pátio de Partida	***Cabeceira de Decolagem***	***Percurso de Taxiamento utilizado***
TPS	17	TWY Delta / TWY Echo
Hangares	17	TWY Delta / TWY Echo
Pátio 1	17	TWY Delta / TWY Echo
TPS	35	TWY Alfa / TWY Echo
Hangares	35	TWY Alfa / TWY Echo
Pátio 1	35	TWY Alfa / TWY Echo
TPS	35	TWY Bravo / TWY Echo
Hangares	35	TWY Bravo / TWY Echo
Pátio 1	35	TWY Bravo / TWY Echo

Com relação às operações da pista de pousos e decolagens, o Aeroporto teve, no ano de 2017, cerca de 29,79% de suas operações na cabeceira 17 e 70,21% na cabeceira 35. Atualmente, o estacionamento de veículos do aeroporto conta com 420 vagas e cerca de 87.600 automóveis utilizaram o serviço em 2017.

Para abastecimento das aeronaves o Aeroporto conta com 3 (três) empresas de distribuição de combustíveis de aviação, os quais são armazenados em 11 (onze) tanques horizontais. O Aeroporto possui, ainda, 6 (seis) geradores de energia abastecidos por um tanque de armazenamento de óleo diesel para situações emergenciais de falta de energia da rede pública.

3. METODOLOGIA

Para realizar a modelagem e a quantificação dos poluentes atmosféricos gerados pelas operações do Aeroporto Internacional de Cuiabá, utilizou-se o *software Emissions and Dispersion Modeling System* (EDMS), na versão 5.1.4 que adota a abordagem setorial, identificando onde e como ocorrem as emissões. O estudo foi dividido em três etapas: levantamento de dados, realização dos cálculos e análise de resultados.

O EDMS é um *software* de modelagem matemática das emissões de poluentes atmosféricos em aeroportos, por meio da combinação das funções de inventários e estudo de dispersão de poluentes. O *software* foi desenvolvido pela *Federal Aviation Administration* (FAA) em cooperação com a *United States Air Force* (USAF) e é um dos modelos listados nas preferências da *Environmental Protection Agency* (EPA). Atualmente, também é usado por diversos países na elaboração dos estudos de inventário de seus aeroportos.

3.1. Levantamento de Dados

Para o levantamento de dados, foi requisitado junto ao Aeroporto, companhias aéreas, empresas prestadoras de serviços de apoio e concessionários informações operacionais como movimento de aeronaves, inventário de equipamentos, frota de veículos e informações adicionais requisitadas pelo *software*. Após análise dos dados, foi realizado tratamento das informações consideradas inconsistentes por meio de estimativas fundamentadas em bibliografia.

3.2. Identificação das Fontes

Foi realizada a identificação das fontes emissoras do sítio aeroportuário, as quais, em sua grande maioria, são provenientes do movimento das aeronaves (Ciclo LTO, taxiamento e testes de motores) e de seus equipamentos de apoio (APU's, GSE, GPU's e LPU's). Também foram consideradas fontes operacionais do Aeroporto como veículos (estacionamento e vias de acesso), geradores

de emergência, tanques de combustível e treinamento com fogo.

Após a identificação das fontes, as mesmas foram devidamente caracterizadas. De forma sintetizada, a Tabela 3 apresenta informações e características das fontes de emissão.

Tabela 3: Informações e características das fontes de emissão

Fonte	***Descrição***	***Tipo de Dado***
Ciclo LTO (*Landing and Taking off*)	Inclui todos os procedimentos de pouso e decolagem próximos ao Aeroporto que ocorrem abaixo da altitude de 3.000 ft (914,4 m).	Movimento anual de aeronaves, tipo de aeronave, motor e combustível.
Taxiamento	Tempo médio de taxiamento.	Distâncias percorridas, trajetos possíveis.
APU (*Auxiliary Power Unit*)	Pequena turbina auxiliar que permite que a aeronave funcione durante o tempo de solo sem a necessidade de equipamentos de apoio externos.	Tipo de APU's, tempo de funcionamento e combustível.
GSE (*Ground Support Equipments*)	Equipamentos de apoio à operação do aeródromo.	Tipo de GSE, modelo de referência, combustível, potência e tempo de uso.
GPU (*Ground Support Unit*)	Equipamento de fornecimento de energia para a aeronave durante o tempo em solo.	Modelo, potência, combustível e tempo de uso.
LPU (*Low Pressure Unit*)	Tanque de ar comprimido que serve para dar a partida na turbina das aeronaves.	Potencia, combustível e tempo de uso.
Estacionamento	Emissões referentes à utilização do estacionamento de veículos.	Tempo de permanência, procura de vaga, distância percorrida e *mix* de veículos padrão do *software*.
Vias de Acesso	Emissões referentes ao trajeto nas vias de acesso ao aeroporto.	Distância percorrida, velocidade média e *mix* de veículos padrão do *software*.
Geradores de Emergência	Geradores de energia para caso de emergência (falta de fornecimento de energia).	Modelo do equipamento, potência, tempo de uso e combustível.
Tanque de Combustível	Tanques de armazenagem de combustíveis	Tipo de tanque, quantidade, dimensões, combustível armazenado e volume comercializado no intervalo de tempo.
Treinamento com Fogo	Treinamento com fogo realizado pela equipe de combate a incêndio para atender normas de segurança.	Periodicidade, quantidade de combustível queimado e tipo de combustível.

3.3. Realização dos Cálculos

O EDMS é composto de várias camadas de interação como mostrado na Figura 2. Esta Figura é uma representação do alto nível de interação entre os diferentes programas que compõem o *software*, num ambiente único e integrado.

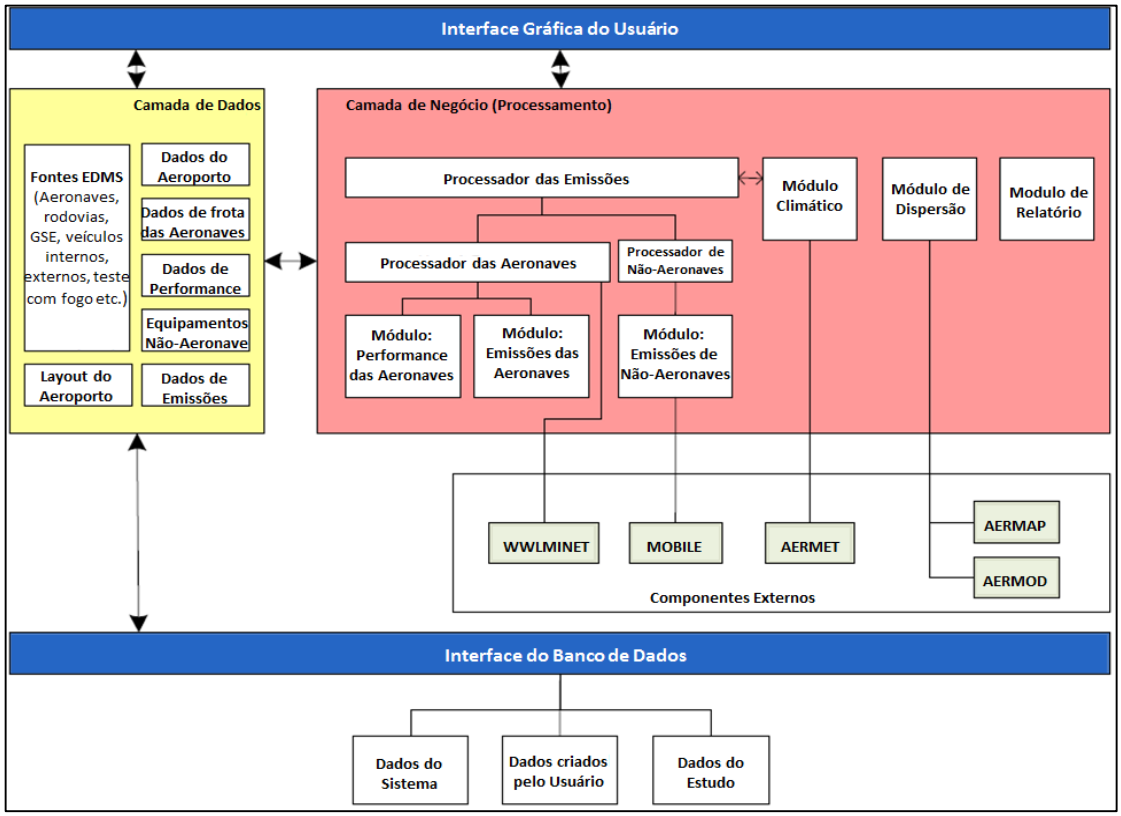


Figura 2 – Representação das interações do *software* EDMS

Sendo o objetivo principal deste estudo a quantificação dos poluentes e não a modelagem de dispersão, os módulos referentes a este segundo tópico não foram utilizados durante a realização dos cálculos.

A programação do *software* (*back-end*) para o inventário de emissões e modelagem de dispersão é o banco de dados que inclui dados do sistema e fontes criadas pelo usuário. Já o chamado *front-end* é a interface gráfica do usuário, que permite o mesmo a interagir com o modelo e o banco de dados.

Os algoritmos de processamento das emissões são, então, combinações dos modelos da Agência Americana de Proteção Ambiental citados na Figura 2 para calcular as emissões de aeronaves, APU's, GSE, veículos rodoviários e fontes fixas. Os algoritmos APM (*Aircraft Performance*) e a AEM (*Aircraft Emissions*) são os componentes utilizados na modelagem das emissões de aeronaves e foram desenvolvidos, respectivamente, pela *Airborne Tactical Advantage Company* (ATAC) e pelo *John A. Volpe National Transportation Systems Center*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores encontrados pela modelagem das emissões atmosféricas, considerando as aeronaves em operação durante o ano de 2017 e as demais fontes são apresentados na Tabela 4. Os valores são mostrados por fonte de emissão considerada.

Tabela 4: Sumário das emissões do Aeroporto Internacional de Cuiabá (em toneladas)

Fonte	*CO_2*	*CO*	*HCT*	*VOC*	*NO_X*	*SO_X*	*MP_{10}*	*$MP_{2.5}$*
Aeronaves	37.768,139	143,961	13,823	15,899	114,616	14,020	0,675	0,675
GSE	N/A	13,381	N/A	1,956	23,685	0,483	2,585	2,507
APU's	N/A	3,004	0,251	0,288	4,961	0,687	0,532	0,532
Estacionamentos	N/A	0,000	N/A	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Vias de Acesso	N/A	0,000	N/A	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fontes Estacionárias	N/A	1,346	N/A	2,212	6,219	0,413	0,443	0,443
Treinamento com Fogo	N/A	0,000	N/A	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	**37.768,139**	**161,693**	**14,073**	**20,356**	**149,481**	**15,604**	**4,236**	**4,157**

O valor obtido para o Dióxido de Carbono (CO_2) se destaca dentre os demais devido à combustão do querosene de aviação, necessário à energização dos motores das aeronaves. Nesse cenário, resta claro que os maiores contribuintes para as emissões atmosféricas do CO_2 do Aeroporto são as aeronaves das companhias aéreas, principalmente as aeronaves de grande porte da aviação civil comercial regular (modelos Airbus 320 e Boeing 737).

O valor para Óxido de Nitrogênio (NO_X) condiz com poluentes emitidos pelo motor das aeronaves, uma vez que, em ordem decrescente, os poluentes emitidos pelas turbinas das aeronaves são: CO_2, H_2O, NO_X, NO_2, VOC, CO, HC e MP (Environment, 2005 *apud* Coelho, 2006).

O Gráfico 1 apresenta, em porcentagem, o quanto cada fonte de emissão contribui para cada poluente avaliado pelo estudo.

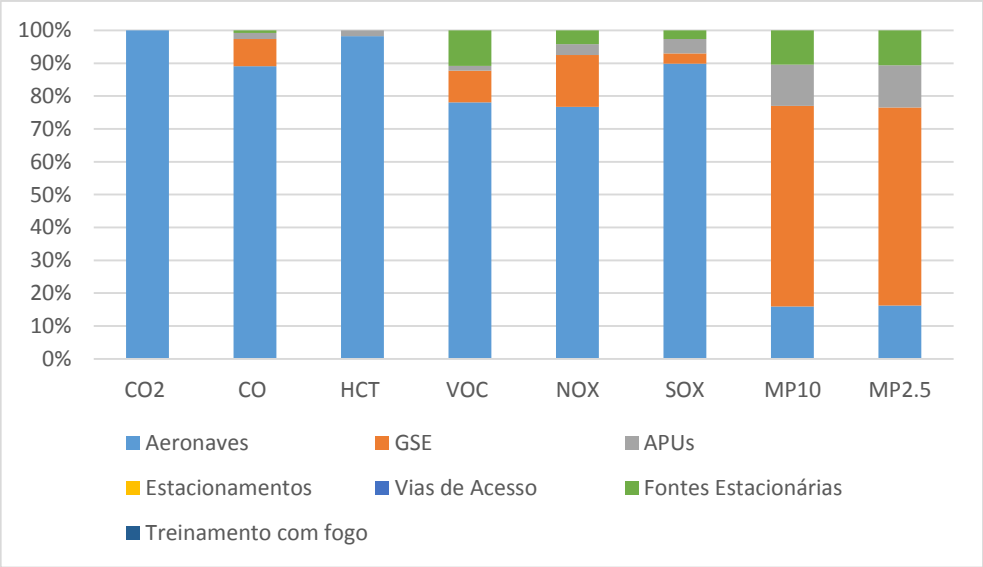


Gráfico 1: Contribuição (%) das emissões de poluentes por fonte

Nota-se que o CO_2 é praticamente todo emitido pelas aeronaves e que pouco mais de 90% das emissões dos Hidrocarbonetos Totais (HCT) são igualmente oriundos das aeronaves, tornando-os os poluentes mais emitidos pelas mesmas. Os HCT são maiores para as aeronaves em função da queima incompleta do combustível, tendo baixa emissão por outras fontes. Para todos os poluentes inventariados com exceção do Material Particulado (MP), mais da metade das emissões de cada um deles foram causadas pelas aeronaves em comparação com as demais fontes de emissão.

No geral, o percentual de emissão por parte dos GSE se deve ao fato de que a operação de tais equipamentos está diretamente relacionada à movimentação de aeronaves no Aeroporto, enquanto que o uso de grupos geradores é apenas emergencial e esporádico (fontes estacionárias).

O Monóxido de Carbono (CO) emitido está relacionado com a queima incompleta do combustível. No que diz respeito à atividade realizada, 89% das emissões correspondem ao Ciclo LTO das aeronaves, 8% aos equipamentos de solo e 2% estão relacionadas ao uso das APU's. Devido à combustão de motores a diesel e aos regimes de operação desses motores, os GSE apresentam emissões em níveis consideráveis. As vias de acesso do Aeroporto, devido ao trânsito de veículos, também figuram entre um dos contribuintes das emissões do CO.

Com relação aos Compostos Orgânicos Voláteis (COV) emitidos, nota-se que cerca de 78% de suas emissões estão relacionadas à operação das aeronaves ao passo que aproximadamente 10% foram oriundas dos equipamentos de solo (GSE). As emissões de COV relacionadas com aeronaves são apenas aquelas emitidas durante as combustões, mas também resultado de perdas evaporativas dos tanques de combustível da aeronave, durante seu reabastecimento. As emissões evaporativas de COV dos tanques de combustível (fontes estacionárias) são consideráveis, figurando como o terceiro maior contribuinte dentre as fontes de COV do Aeroporto.

A maior parte dos Óxidos de Nitrogênio (NO_X) formado no processo de combustão é devido à combinação do nitrogênio e oxigênio presentes no ar com altas temperaturas, condições mais eficientes para a reação de combustão. A sua formação é uma função da temperatura, pressão e tempo em altas temperaturas. Como resultado, as emissões de NO_X variam significativamente ao longo do ciclo de voo. Nas estimativas modeladas no presente estudo, as maiores emissões de NO_X por aeronaves foram geradas na fase de decolagem (60%), momento em que o ar que entra na câmara de combustão tem a mais alta pressão e temperatura e as temperaturas de pico de combustão são mais altas. Na fase de subida (*climb out*), fase seguinte à decolagem, as emissões de NO_X também são consideráveis, sendo a segunda maior fase contribuinte com 19% das emissões do Ciclo LTO. Além das aeronaves, os veículos e equipamentos de apoio em terra também são fontes significativas, contribuindo com cerca de 16% das emissões totais desse poluente. Já as APU's e as fontes estacionárias são contribuintes de menor expressão, responsáveis por 3% e 4% das emissões respectivamente.

Um dos produtos da queima ideal do QAV é o Dióxido de Enxofre (SO_2), que, combinado com outros elementos formados durante a queima, formam os Óxidos de Enxofre (SO_X). Mais uma vez, as aeronaves figuram como as maiores fontes de emissão, seguidas das APU's e dos GSE. O teor de Enxofre no combustível utilizado (QAV) é diretamente proporcional às emissões de SO_X.

As emissões de Material Particulado estão fortemente associadas aos equipamentos de solo, APU's e aeronaves. Os GSE são majoritariamente movidos a óleo diesel (tratores de bagagem, caminhonetes, etc.) o que explica ser a terceira maior fonte precedida pelas APU's. Foi estimada uma emissão de 4,236 toneladas de MP_{10} no ano de 2017, sendo destas, 4,157 toneladas classificadas como $MP_{2.5}$. O teor de Enxofre do combustível também influencia nas propriedades dos MP voláteis primários uma vez que as concentrações de MP voláteis tendem a aumentar com o maior teor de Enxofre do combustível. Dessa forma, o maior teor de Enxofre no Diesel em comparação com o QAV (Querosene de Aviação) favorece as emissões pelos veículos de rampa com relação às aeronaves.

Conforme abordado em itens anteriores, a INFRAERO detém responsabilidade direta somente de parte das fontes de emissões atmosféricas. A fim de quantificar a responsabilidade da Empresa, o Gráfico 2 mostra a comparação com demais empresas atuantes no sítio aeroportuário.

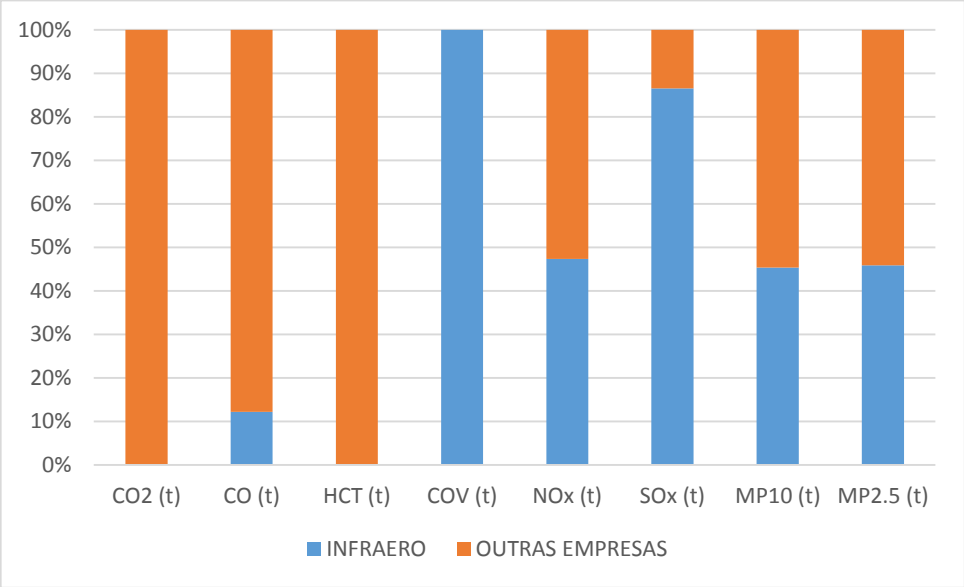


Gráfico 2: Comparação das emissões da INFRAERO com outras empresas

Observa-se que a INFRAERO é responsável pela emissão de 100% dos COV e da maior parte dos SO_x (aproximadamente 85%). Já as demais empresas (companhias aéreas, empresas de apoio e de abastecimento) emitem 100% dos CO_2 e, consequentemente, HCT. Elas também contribuem com a maior parte dos CO, NO_x e MP's emitidos. Desta forma, verifica-se que as emissões oriundas das empresas são consideravelmente maiores que as da INFRAERO.

Para a mitigação dos impactos, as ações de mitigação podem ser tanto de ordem operacional quanto de ordem tecnológica. As de ordem operacional são de responsabilidade dos órgãos de regulação, como a Agência de Aviação Civil (ANAC) e o Destacamento de Controle do Espaço Aéreo (DTCEA), podendo ser:

- Orientar o taxiamento das aeronaves em rotas de menor consumo de combustível;
- Promover discussão visando redefinição de procedimentos de aproximação de aeronaves para redução de consumo de combustível;
- Promover a distribuição dos voos ao longo do dia, para evitar esperas em pista de taxi para decolagens e esperas no ar por pousos em horários de pico (gerenciamento de tráfego);
- Realizar operações em velocidades mais eficientes;
- Maximizar a capacidade de carga das aeronaves em conjunto com o aproveitamento e compatibilidade da infraestrutura dos pátios e pistas para tal.

Já as ações de ordem tecnológica, podem ser de responsabilidade tanto dos órgãos reguladores como da INFRAERO, companhias aéreas e demais concessionários:

- Adequar a capacidade e disponibilidade de pistas de pousos e decolagens e pistas de taxiamento, para operações de aeronaves com carga máxima;
- Realizar a manutenção periódica dos equipamentos auxiliares;
- Incentivar a atualização dos equipamentos das companhias aéreas;
- Adotar, quando possível, equipamentos com combustíveis mais eficientes ou com outras fontes de energia, como equipamentos elétricos ou que utilizem biocombustíveis;
- Adotar equipamentos de climatização mais eficientes e utilização de energias renováveis; e
- Implantação de indicação eletrônica.

5. CONCLUSÕES

O resultado final do estudo está diretamente relacionado com a qualidade dos dados de entrada, sendo de extrema

importância o cuidado na coleta e orientação das fontes dos dados.

O estudo apontou que as aeronaves são os maiores contribuintes da emissão de poluentes atmosféricos. No sítio aeroportuário, os equipamentos de solo (GSE) também possuem significativa contribuição, assim como a utilização das APU's das aeronaves e demais equipamentos de apoio em solo.

As emissões identificadas como sendo de responsabilidade da INFRAERO pouco influenciam o ambiente externo do Aeroporto, mostrando que o quantitativo das emissões por parte da mesma é baixo quando comparado com as emissões das outras empresas.

Com relação às medidas mitigadoras, as mesmas podem ser tanto de ordem operacional quanto de ordem tecnológica, sendo de competência da INFRAERO, órgãos reguladores, companhias aéreas e demais concessionários. Desta forma, é necessária a integração e colaboração de todas as partes para mitigação dos impactos provocados pelo sítio aeroportuário.

Por fim, as emissões oriundas do Aeroporto Internacional de Cuiabá – Marechal Rondon não são desprezíveis. Este estudo foi limitado às estimativas de emissões como forma de avaliar o quantitativo de emissões geradas e suas respectivas fontes. A qualidade do ar na área de influência do Aeroporto e o impacto que os poluentes acarretam na atmosfera dependem de outras fontes não escopo deste estudo como, por exemplo, tráfego de veículos nos bairros de entorno, presença de indústrias e outras atividades com potencial emissão de poluentes atmosféricos.

Não esgotadas as possibilidades de análises a partir dos dados apresentados, fica a oportunidade de desenvolvimento de outros trabalhos correlacionando os dados deste estudo com as variáveis externas ao Aeroporto de Cuiabá.

6. REFERÊNCIAS

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 34. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2009/24/rbac-34/view>. Acesso em 04 Jul. 2019.

BENITO, A. Developing a national aviation emission inventory for emissions trading application. IX Air Transport Research Society World Conference, 2005, Rio de Janeiro.

COELHO, P. I. S. A Importância da Localização de um Aeroporto na Qualidade do Ar – O Caso da Expansão do Aeroporto Santos Dumont na Cidade do Rio de Janeiro. 2006. Tese pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro. 2006.

IPPC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Aviation and the Global Atmosphere. Disponível em: <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/index.php?idp=0>. Acesso em 04 Jul. 2019.

JARDINE, C. Environmental Impact of Aviation Emissions – Environmental Change Institute, Oxford University Centre for the Environment, Oxford, 2005.

MOREIRA, D. M.; TIRABASSI, T. Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. Ambiente & Sociedade. São Paulo: Revista, 2004a. v. 7. n. 2. p. 159-171.

MOREIRA, D. M.; VILHENA M. T.; BUSKE, D.; TIRABASSI, T.; MORAES, M. The state-of-the-art of the GILTT method to simulate pollutant dispersion in the atmosphere. Atmospheric Research. Espanha: Revista, 2008. n. 92. p. 1-17.

A INFLUÊNCIA DO GERENCIAMENTO INTELIGENTE NO EMBARQUE DE PASSAGEIROS EM TERMINAIS AEROPORTUÁRIOS COM A MUDANÇA NO PORTÃO DE EMBARQUE

Diogo José Vieira
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias,
São José dos Campos/SP - Brasil
+55 (41) 99980 1848, diogojvieira@gmail.com

Evandro José da Silva
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias,
São José dos Campos/SP - Brasil
+55 (12) 3947 6837, evandro@ita.br

Cláudio Jorge Pinto Alves
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias,
São José dos Campos/SP - Brasil
+55 (12) 3947 6818, claudioj@ita.br

Mauro Caetano
Universidade Federal de Goiás / Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Av. Esperança, Campus Samambaia, Goiânia/GO - Brasil
+55 (62) 3209 6551, maurocaetano1912@gmail.com

RESUMO

O aumento de passageiros e voos exige que as companhias aéreas e operadores de aeroportos invistam na melhoria do conforto para os usuários. A este respeito, as distâncias caminhadas dentro do terminal entre uma operação e outra deve ser reduzida assim como o tempo entre operações. Uma dessas melhorias pode ser a disponibilização de informações aos passageiros em tempo real. Este artigo tem como objetivo avaliar, através da simulação baseada em agentes, como a troca de portão pode impactar o passageiro que faz uso de alguma tecnologia de capaz de fornecer informação instantânea sobre o portão de embarque em relação aquele que não faz tal uso. O estudo foi conduzido com os dados do Aeroporto Internacional de Guarulhos, Terminal 2, no ano de 2019. Foram criados dois cenários a partir de dados coletados de 65 voos domésticos. Os resultados indicam que os passageiros que fazem uso de algum tipo de tecnologia caminham menos e gastam menos tempo na troca de portões de embarque por possuírem a informação em tempo real.

Palavras-chave: Simulação, Fluxo de Pedestres, Sala de Embarque, Anylogic, Aeroporto.

THE INFLUENCE OF INTELLIGENT MANAGEMENT IN THE PASSENGER BOARDING IN AIRPORTS WITH THE CHANGE IN BOARDING GATE

ABSTRACT

The increase of passenger and flights requires that airlines and airport operators to invest in improving comfort for passengers. In this regard, the distances walked within the terminal between one operation and another should be decreased as well as the time between operations. One of these improvements could be the availability of information to passengers in real time. This article aims to evaluate through agent-based simulation how the gate change can impact the passenger who makes use of some technology like the smartphone, for example, and takes the instant information about the gate change and other passengers who do not have the information. The study was conducted with data from Guarulhos International Airport, Terminal 2, in 2019. Two scenarios were created through collected data from 65 domestic flights. As expected, the results indicate that passengers who use some kind of technology walk less and spend less time in the event of boarding gate reassignments.

Keywords: Simulation, Pedestrian Flow, Departure Lounge, Anylogic, Airport.

1. INTRODUÇÃO

O uso de novas tecnologias de informação, como proposto por Kalakou, Psaraki-Kalouptsidi e Moura (2015), visa prover informações específicas aos usuários através de um dispositivo individual como uma credencial personalizada (token) ou aplicativo de *smartphone*. Essas tecnologias dentro de um terminal aeroportuário permitem, por exemplo, o acesso a informações atualizadas sobre os voos.

Segundo Xovis (2019), aeroportos como Copenhague (CPH), Gatwick (LGW) e Schiphol (AMS) utilizam tecnologias automatizadas de coleta, tratamento e disseminação de dados operacionais. Esses dados permitem que o passageiro tenha acesso individual e em tempo real do seu portão de embarque e localização das filas no terminal.

A mudança na alocação de portões de embarque em aeroportos é uma prática usual por parte dos operadores aeroportuários, seja para gerenciar o fluxo de passageiros, restrições de conectividade, limitações técnicas, serviços obrigatórios de manutenção, entre outros.

A distância caminhada nos aeroportos é influenciada pela área projetada do terminal de passageiros, ou seja, quanto maior o terminal, maior tende a ser a distância caminhada pelos passageiros até o portão de embarque e, por consequência, maior o seu tempo.

Nesse estudo busca-se, com o uso da simulação, identificar como os padrões de fluxo de passageiros e qualidade de serviço na área de embarque de um terminal podem ser alterados pela mudança no portão de embarque e como isso afeta o passageiro que possui a informação em tempo real através de algum dispositivo e quando comparado a outro que não possui tal equipamento.

O presente artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 trata da revisão de literatura; a seção 3 apresenta a modelagem da simulação; na seção 4 são apresentados os resultados e discussões; e as conclusões são apresentadas na Seção 5.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Nível de Serviço

Para atender aos novos requisitos operacionais, os principais terminais aeroportuários de passageiros vêm passando por grandes ampliações, o que resultou no aumento das distâncias caminhadas pelos passageiros dentro do terminal, do meio fio até o embarque na aeronave (e vice-versa).

De acordo com Müller e Gosling (1990), nível de serviço expressa a qualidade percebida pelos passageiros em relação ao terminal aeroportuário. Já para Price e Forrest (2016), a percepção do usuário em relação à qualidade dos serviços oferecida pelo aeroporto é afetada pelas longas distâncias caminhadas no terminal de passageiros. Quanto maior o volume de passageiros a serem atendidos e quanto maior a envergadura das aeronaves, maior tende a ser o deslocamento entre os componentes operacionais do terminal, afetando o nível de serviço.

Em termos de distância caminhada, a *International Air Transport Association* (IATA) recomenda distâncias entre 250 a 300 metros do meio fio até a aeronave. Acima disso recomenda-se instalar esteiras rolantes (IATA, 2017).

2.2. Fluxo de Passageiros

O fluxo de passageiros, seja no acesso, seja internamente ao terminal aeroportuário, precisa ser gerenciado pelos operadores de modo a evitar possíveis transtornos como gargalos e fluxos cruzados, o que afeta diretamente as operações.

Gupta e Pundir (2015) apresentam uma revisão de literatura onde abordam o fluxo de pedestres em diversas condições de instalações e tráfego. A revisão compara os parâmetros de velocidade-densidade; fatores importantes para qualquer modelagem de pedestres.

De Lange et al (2013) fazem uso de simulação para criar filas virtuais no processo de segurança em um aeroporto como uma forma de agendamento. Este processo visa reduzir custos, tornar o processo mais eficiente e gerenciar o fluxo de passageiros, reduzindo

picos de chegada e o tempo médio de espera em filas pelos passageiros.

O movimento de passageiros se relaciona com a configuração física do terminal. Para Neufville e Odoni (2003), a gestão aeroportuária pode ser prejudicada dependendo da configuração do terminal de passageiros.

Segundo Tošić (1992) minimizar a distância caminhada entre as áreas de check-in e os portões de embarque de passageiros seria o ideal, assim como a distância caminhada entre portões.

2.3. Simulação

A simulação tem por objetivo entender como um sistema real funciona. Esse modelo normalmente toma uma forma matemática ou lógica e é simples quando envolve álgebra, probabilidade ou cálculo. Já alguns sistemas do mundo real por serem complexos, exigem soluções como a simulação (PEGAS, 2017).

A Modelagem Baseada em Agentes (ABM – *Agent Based Mode*l) é um método relativamente novo se comparado à modelagem baseada em eventos discretos e dinâmica dos sistemas. O modelo permite ao modelador ter noção de como os agentes se comportam. Além disso, como eles podem interagir entre si e povoar um ambiente que tenha sua própria dinâmica (ANYLOGIC, 2019).

Em aeroportos, a simulação está presente nos mais diversos estudos. Em sua grande maioria ela se aplica às operações de check-in, segurança e embarque de passageiros nas aeronaves.

Lee et al. (2014) avaliam no aeroporto de Cingapura através da simulação, como as filas e o processamento são afetados pela introdução do autoatendimento no check-in. Já Perboli et al. (2014) fazem uso do *software* de simulação para analisar o sistema geral de segurança do Aeroporto de Bolonha. O resultado obtido nesse estudo foi o aumento no nível de serviço com o uso do *software AirSIM* tanto em termos de redução do tempo de espera no processamento de segurança quanto na redução de filas.

Liu et al. (2019) fazem uso do *software Anylogic* para simular como a densidade de passageiros afeta o consumo de energia em um aeroporto chinês. Comparam as densidades reais com as de projeto e chegam a conclusão que a energia real para resfriar ou aquecer o aeroporto é menor que a prevista em projeto.

3. METODOLOGIA

O presente estudo é baseado na simulação baseada em agentes e usa o *software Anylogic* como ferramenta de modelagem. Através da Figura 1 é possível ver as etapas que compõem o sistema. A seguir, são mostrados os próximos passos detalhadamente.

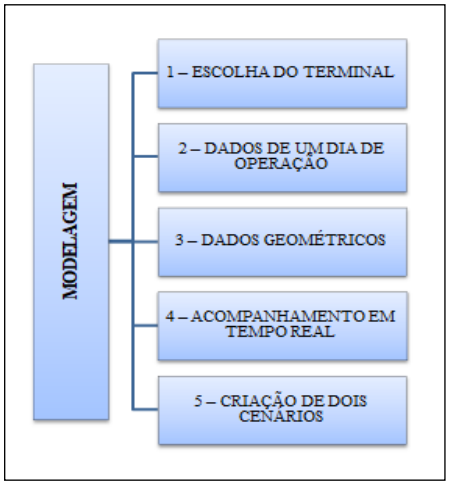


Figura 1 – Etapas da Modelagem (O Autor, 2019)

O aeroporto adotado neste estudo foi o Aeroporto Internacional de Guarulhos, por se tratar de um aeroporto internacional com o maior movimento de passageiros por ano no Brasil. De acordo com a SAC (2019), o aeroporto processou mais de 40 milhões de passageiros em 2018. Aeroportos com alta movimentação de passageiros são mais complexos e merecem a atenção desta modelagem.

O terminal escolhido foi o Terminal 2. Ele possui 41 portões de embarque e opera voos domésticos e internacionais diariamente. Para esta simulação, o escopo foi restringido apenas aos voos domésticos.

A planta baixa apresentada na Figura 2 foi usada na modelagem. Ela fornece informações como localização dos portões, banheiros, lojas entre outras informações úteis à modelagem.

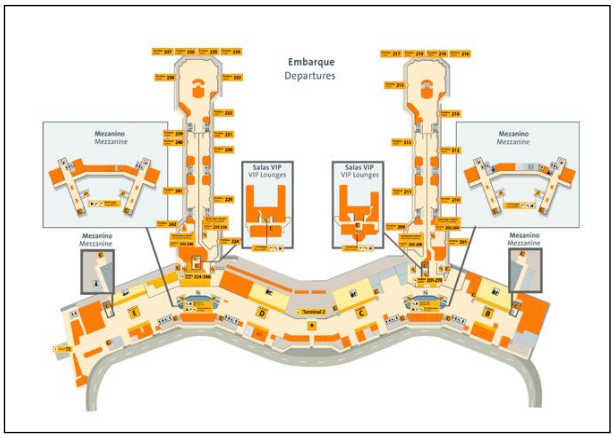


Figura 2 - Planta Baixa do Aeroporto Internacional de Guarulhos - Terminal 2 (GRU Airport, 2019)

O planejamento da coleta de dados se deu pela consulta à plataforma SIROS (ANAC, 2019). Nesta plataforma é possível fazer consulta de voos planejados, realizados e históricos de voos registrados.

Antes de partir para o acompanhamento dos voos, na plataforma SIROS consultamos os voos que estavam previstos para o dia 31 de maio de 2019. Os dados extraídos da plataforma supracitada foram: (i) número de voos, (ii) destinos e (iii) aeronaves para voos entre 17h35 e 23h55. Este dia e período de análise e coleta foi escolhido como uma forma de representar o funcionamento do aeroporto em termos de fluxo de passageiros.

A partir dos referidos dados coletados foi feito um acompanhamento dos voos em tempo real no site do próprio aeroporto em média 3 horas antes do embarque (a cada 15 minutos) para ver a ocorrência na mudança nos portões de embarque.

O mapeamento do fluxo de passageiros de acordo com Liu et al. (2019), Liu et al. (2018) e Ye, Chen e Jian (2012) é dado com as possíveis rotas dentro do terminal de passageiros e distâncias entre as principais áreas.

Uma vez realizada a coleta de dados sobre a mudança de portão, criou-se uma planilha excel a qual foi usada, posteriormente, para alimentar o modelo de simulação. Já para a velocidade de caminhada de passageiros, foi utilizada a velocidade compreendida entre 0.6 a 1.0 m/s, sugerida por Gupta e Pundir (2015).

Dos 65 voos analisados no período, o voo escolhido para a simulação foi o voo 1090 (SP-RJ) com 180 passageiros. Durante o acompanhamento em tempo real, este voo passou por três mudanças no portão de embarque antes do embarque de passageiros.

Com todas essas informações de entrada (*inputs*) foi possível criar um fluxograma correspondente aos processos e os cenários propostos neste estudo (passageiro com e sem tecnologia), conforme mostrados na Figura 3.

O primeiro cenário é caracterizado pelo passageiro que faz uso de alguma tecnologia chamado aqui de passageiro com tecnologia. O segundo cenário é simulado com o passageiro que não faz uso de smartphone, por exemplo, chamado de passageiro sem tecnologia.

Após executada a simulação foram extraídas métricas de desempenho como **tempo de caminhada, distância caminhada e a densidade** de passageiros ao logo do percurso. O processo de simulação está representado na Figura 4.

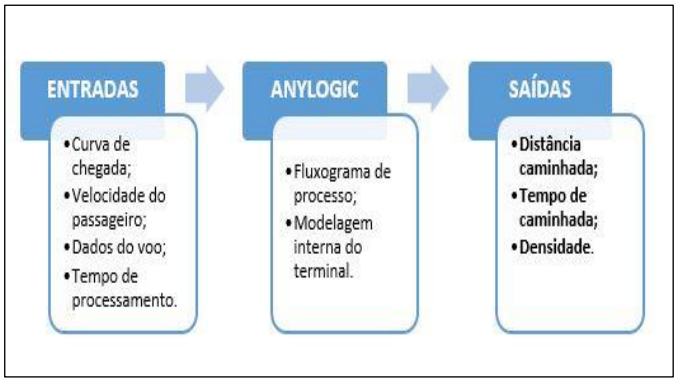


Figura 4 - Processo de Simulação do Fluxo de Passageiro no Terminal 2 com Anylogic (O Autor, 2019)

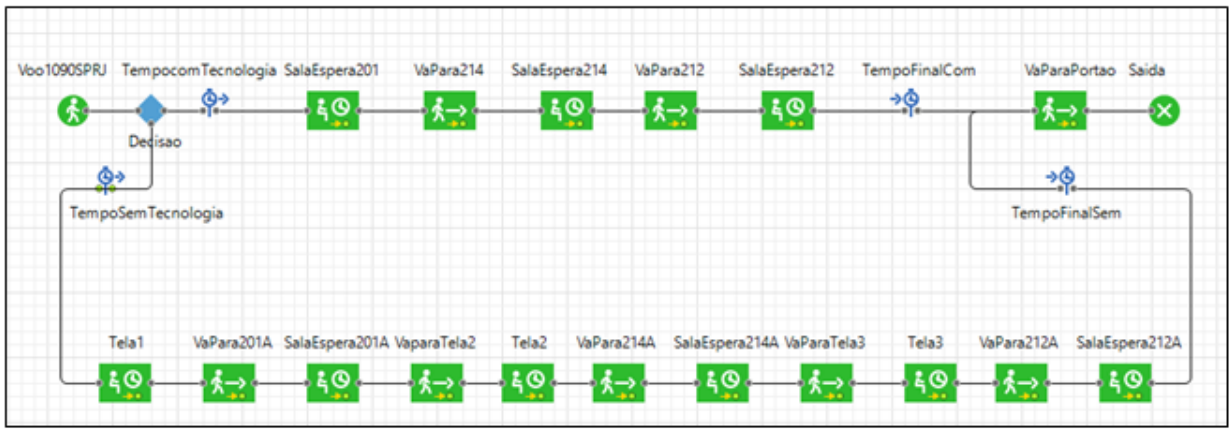


Figura 3 - Fluxograma de Modelagem dos Dois Cenários - voo 1090 (O Autor, 2019)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 mostra a correlação entre o tempo e a distância para ambos os cenários. É possível antes mesmo de analisar os cenários separadamente, dizer que há uma redução significativa na distância caminhada quando o passageiro faz uso de alguma tecnologia de informação.

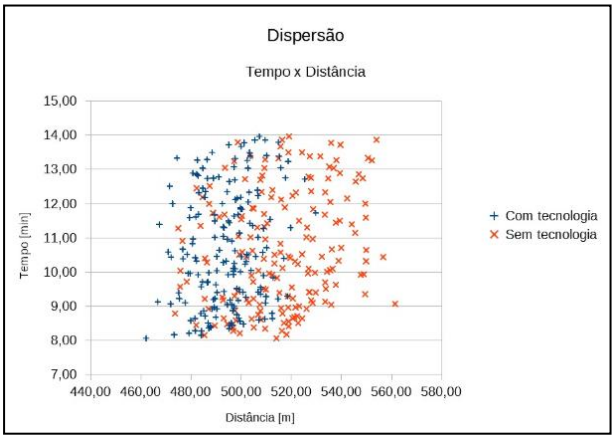


Figura 5 - Correlação entre Tempo e Distância em Ambos Cenários (O Autor, 2019)

Quando se analisa o **tempo de caminhada**, percebe-se através da Figura 6 que o passageiro sem tecnologia caminha uma média de 11 minutos entre os portões de embarque desde a hora que passa pela segurança até o momento do embarque. Já o tempo máximo caminhado por esse passageiro é de 16 minutos. Interessante ressaltar que o passageiro com tecnologia tem um tempo médio de caminhada de 10,5 minutos, bem próximo ao passageiro sem tecnologia.

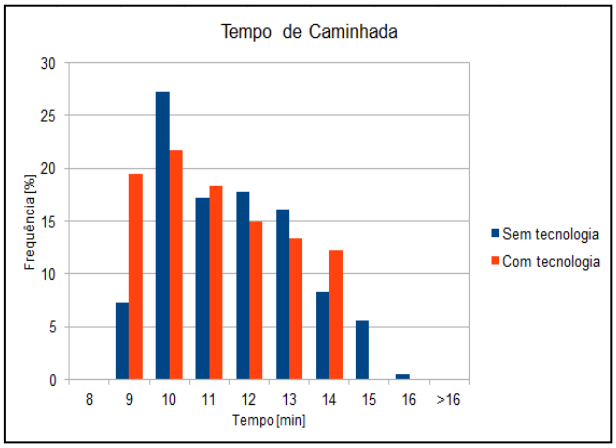


Figura 6 – Tempo de Caminhada em Ambos Cenários (O Autor, 2019)

É possível analisar em termos de **distância caminhada**, através da Figura 7, que o passageiro portando um smartphone caminhou em média 25 metros a menos do passageiro sem smartphone e uma distância máxima de 35 metros.

A distribuição do passageiro sem tecnologia mostrou-se simétrica. Sua distância caminhada varia de 473 a 562 metros. Já para o passageiro com tecnologia, esta distância varia de 462 a 530 metros.

Importante observar que os passageiros em ambos os casos (com e sem tecnologia) estão caminhando mais do que recomenda a IATA (2017) em termos de nível de serviço recomenda como distância caminhada aceitável (250 a 300 metros).

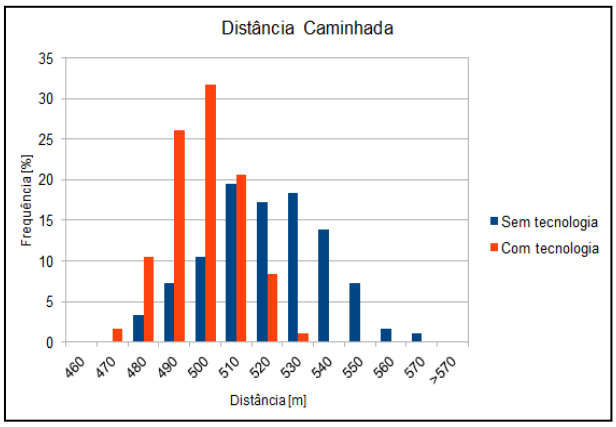


Figura 7 – Distância Caminhada em Ambos Cenários (O Autor, 2019)

O *software* ainda permite coletar estatísticas sobre **densidade** de passageiros. Por meio do modelo simulado e com base no mapa do aeroporto de estudo, é possível concluir que em ambos os cenários, a densidade média encontrada foi de 0,30 passageiros/m². A cor azul, predominante durante toda a simulação, compreende a faixa de 0 a 0,25 passageiros/m², de acordo com a escala da Figura 8.

Este resultado está abaixo do limite recomendado pela IATA (2019), que compreende o intervalo de 1,2 a 1,5 passageiros/m² na sala de embarque (passageiros em pé). Este resultado se assemelha com o encontrado por Liu et al. (2019), que foi de 0,31 passageiros/m².

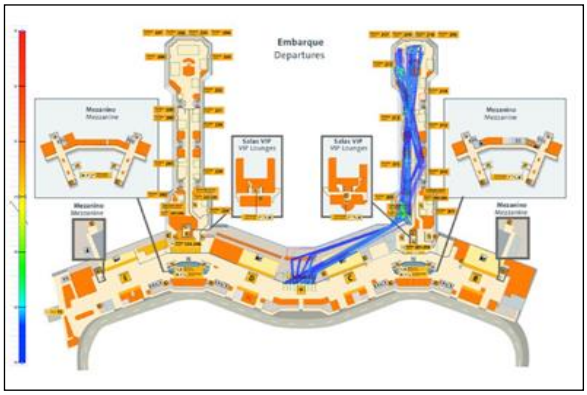


Figura 8 – Mapa de Densidade de Ocupação (Anylogic, 2019)

5. CONCLUSÕES

A **distância caminhada, tempo de caminhada e a densidade** de passageiros no terminal são fatores importantes para o conforto e satisfação dos passageiros. A troca de portão de embarque se bem administrada pode ajudar nas operações aeroportuárias, porém se mal aplicada limita a capacidade e fluxo de passageiros, seja ele portador de alguma tecnologia ou não.

Percebe-se então, que o passageiro que faz uso de tecnologia de informação é beneficiado em termos de distância caminhada do que tempo de processamento. Para atingir um nível de serviço aceitável, recomendado pela IATA e a satisfação dos passageiros, seria necessário fazer uso de esteiras rolantes em alguns pontos do terminal.

Fica como sugestão para estudos futuros:

- Fazer a utilização de *softwares* que não restrinjam o número de agentes e/ou bibliotecas;
- Estender a análise para horários de pico como em feriados, eventos etc.;
- Considerar os casos que com a mudança de portão haja também a mudança de nível (escadas, elevadores);
- Considerar na análise um número mais expressivo de voos;
- Efetuar a coleta de dados da forma mais automatizada possível (*web scraping*);
- Considerar na análise passageiros em conexão.

6. REFERÊNCIAS

ANAC – AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Consultas de voos planejados – SIROS. Disponível em: < https://sistemas.anac.gov.br/sas/siros/(S(u0m4uzbxzf2ve4c0lw1uz4bi))/view/registro/frmConsultaVoos > Acesso em: 31 de Maio de 2019.

AnyLogic 8.4.0. Material de Aprendizado em Português. Disponível em: <https://www.anylogic.com/resources/books/material-de-aprendizado-em-portugues/> Acesso em: 15 de Abril de 2019.

DE LANGE, R.; SAMOILOVICH, I.; VAN DER RHEE, B. Virtual queuing at airport security lanes. European Journal of Operational Research, Holanda, v. 225, n. 1, p. 153-165, Fevereiro 2013.

GUPTA, A.; PUNDIR, N. Pedestrian flow characteristics studies: A Review. Transport Reviews 35 (4), p. 445-465, 2015.

IATA - INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. Economic Performance of the Airline Industry. Disponivel em: <https://www.iata.org/publications/economics/Reports/Industry-Econ-Performance/IATA-Economic-Performance-of-the-Industry-end-year-2017-report.pdf > Acesso em: 18 de Junho de 2019

KALAKOU, S.; PSARAKI-KALOUPTSIDI, V.; MOURA, F. Future airport terminals: New technologies promise capacity gains. Journal of Air Transport Management 42, p. 203-212, 2015.

LEE, C.; NG, Y.; LV, Y.; TAEZOON, P. Empirical analysis of a self-service check-in implementation in Singapore Changi airport. International Journal of Engineering Business Management, Hong Kong, p. 33-44, 2014.

LIU, X.; LI, L.; LIU, X.; ZHANG, T.; RONG, X.; YANG, L.; XIONG, D. Field investigation on characteristics of passenger flow in a Chinese hub airport terminal. Building and Environment, v. 133, p. 51-61, 2018.

LIU, X.; LI, L.; LIU, X.; ZHANG, T. Analysis of passenger flow and its influences on HVAC systems: An agent based simulation in a Chinese hub airport terminal. Building and Environment, v. 154, p. 55-67, 2019.

MULLER, C.; GOSLING, G. D. Framework for evaluating level of service for airport terminals. Transportation Planning and Technology, v.16, p. 45-61, 1990.

NEUFVILLE, R.D. & ODONI, A.R. Airport systems-Planning, design and management. McGraw-Hill Professional, 2003.

PEGAS, P. H. Simulação baseada em agentes para uma cadeia de suprimentos com impressão 3D: uma análise comparativa utilizando anylogic. 63 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

PERBOLI, G.; MUSSO, S.; PERFETTI, F.; TRAPANI, P. Simulation of new policies for the baggage check in the security gates of the airports: the logiscan case study. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Italia, v. 111, p. 58-67, 2014.

PRICE,J.; FORREST,J. Practical Aviation Security: Predictingand Preventing Future Threats, 2016.

SAC - SECRETARIA NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL. Relatório de desempenho operacional dos aeroportos. Ministérios dos Transportes, Portos e Aviação Civil. [S.l.], p. 46, 2019.

TOŠIĆ, V. A review of airport passenger terminal operations analysis and modelling. Transportation Research, 26 (1), p. 3-26, 2019.

XOVIS AG. Case Studies, 2019. Disponivel em: <https://www.xovis.com/case-studies/>. Acesso em: 07 abr 2019.

YE, J.; CHEN, X.; JIAN, N. Impact analysis of human factors on pedestrian traffic characteristics. Fire Safety Journal 52, p. 46-54, 2012.

ANÁLISE DA LITERATURA SOBRE *VALUATION* DE CONCESSÕES AEROPORTUÁRIAS

Eduardo da Silva Pereira
Programa de Pós-graduação em Transportes, Universidade de Brasília - UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF, + 55 61 3107-0977, edufeliz.ep@gmail.com

Pastor Willy Gonzales Taco
Programa de Pós-graduação em Transportes, Universidade de Brasília - UnB
Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes – Ceftru/UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF, + 55 61 3107-0977, pwgtaco@gmail.com

ABSTRACT

The value assignment of an airport concession can be made through valuation, a technique used to determine the fair value of an enterprise or any asset. This paper aims to perform a systematized literature review through the Consolidated Analytical Target Theory. We used the following constructs: airport, valuation and concession. The investigation bases were: Web of Science, Scopus and Science Direct. The scientific production profile was obtained between 2002 and 2018. The results points out to a group of six relevant authors and twelve main works. The Brazilian scientific literature on valuation of airport concessions is narrowed, indicating the need for more studies.

Keywords: Systematic literature review, TEMAC, airport concessions, valuation, infrastructure concessions.

RESUMO

A atribuição de valor de uma concessão aeroportuária pode ser feita com *valuation*, técnica usada para determinar o valor justo de uma empresa ou ativo. Objetiva-se a realização de uma revisão sistemática da literatura através da Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado. Utilizou-se os *construtos: airport, valuation* e *concession*. As bases investigadas foram: *Web of Science, Scopus* e *Science* Direct. O perfil da produção científica foi obtido entre 2002 e 2018. Os resultados apontam para um grupo de seis autores relevantes e doze trabalhos principais. A literatura brasileira sobre *valuation*, de concessões aeroportuárias é reduzida, indicando a necessidade de estudos.

Palavras chaves: Revisão sistemática de Literatura, TEMAC, concessões aeroportuárias, *valuation.*

1. INTRODUÇÃO

Desde inaugurado o processo de concessões aeroportuárias no mundo tem se produzido literatura para se tratar de tais assuntos. Para Gillen & Martin (2014), a mudança da governança pública dos aeroportos para a privada no formato de empresas se iniciou em 1987 no Reino Unido. Nos vinte anos seguintes, em formatos diversos de privatização, países como a Austrália, Canadá, Nova Zelândia, Estados membros da União Europeia, México, Chile, Índia e outros, realizaram a transferência de governança.

Tais modelos diferem na sua abordagem desde a regulação dos preços, a livre concorrência, a propriedade do aeroporto e a forma de operação. O Reino Unido por exemplo, optou pela não regulação dos preços do setor aeroportuário só em 2014, quando atingira quase a totalidade das privatizações da rede aeroportuária o governo inglês iniciou o processo de regulamentação tarifária. As privatizações aeroportuárias nos Estados Unidos iniciaram-se em 2007 com a concessão do aeroporto de Chicago Midway. O modelo norte americano consiste na propriedade governamental do ativo e a operação privada (Gillen, 2011).

Além do modelo de exploração da infraestrutura aeroportuária outro tema central é a formação dos preços dos bilhetes aéreos, das tarifas operacionais e não operacionais. Estes são influenciados principalmente, pela regulamentação governamental, pelos custos operacionais, pela oferta e demanda dos aeroportos. Assim como em uma empresa comum as tarifas e as receitas operacionais e não operacionais, fazem parte dos ativos do balanço contábil, são estas que irão custear a operação, a manutenção e os investimentos na infraestrutura aeroportuária (Alves & Caetano, 2016).

De acordo com Jones & Dunse, (2015) os aeroportos são considerados empresas, logo pode-se utilizar padrões contábeis na avaliação de seus ativos. As normas contábeis contribuem na solução do problema de valoração, fornecendo uma estrutura de como avaliar os ativos de uma empresa considerando no seu escopo os alugueis de áreas, taxas de serviço, receitas acessórias e o fluxo de caixa.

Para Neto (2005) e Braga *et al.* (2004), uma empresa detém uma boa situação econômico-financeira quando demonstra equilíbrio entre sua liquidez e sua rentabilidade. Por meio de análise das demonstrações financeiras e dos índices de resultados pode-se avaliar a saúde financeira das empresas.

A saúde financeira das empresas é definida como a capacidade de solvência e cumprimento com suas obrigações, dívidas e pagamentos a fornecedores e pessoal. Para análise desta utiliza-se índices financeiros, de rentabilidade, análise do fluxo de caixa e avaliação de demonstração de resultados anuais. Tais premissas podem ser adotas como diretrizes para definir o modo de avaliar a saúde financeira aeroportuária. Esta avaliação permite inferir quanto a oportunidade de investimento de capital, ou seja, se for melhor investir na bolsa de valores ou em concessões (Jones & Dunse, 2015)

Uma forma de se avaliar a saúde financeira das concessões aeroportuárias (*valuation)* é a aplicação da base teórica do modelo Fleuriet, bastante conhecido nos meios acadêmicos devido aos seus sólidos fundamentos teóricos e à objetividade dos seus resultados (Braga *et al*., 2004).

Para Damodaran (2005), na busca de um justo valor para os ativos utiliza-se os modelos de *valuation* no qual o investidor apoia-se no seu processo decisório. Para tanto, as técnicas de *valuation* incluem a projeção dos fluxos de caixa, da taxa de risco e dos retornos sobre os investimentos realizados.

Segundo Vogel & Graham, (2010) dentre os problemas de valorização de ativos aeroportuários apresenta-se a departamentalização e consequente avaliação parcial. Uma forma alternativa de avaliação de ativos pode se dar por meio dos principais *drivers* de valor do negócio aeroportuário, evitando-se a segmentação da avaliação por setores, seja ela econômica ou operacional, focando-se na análise do fator da produtividade total e das métricas financeiras.

Nesse contexto, o artigo objetiva o levantamento e analise da produção científica sobre *valuation* de concessões de aeroportos. Para tanto, utilizou-se de busca em base de dados especializadas de produção científica, da seleção e da análise da literatura a partir de critérios como ano de publicação, país e fonte de financiamento.

Após a seção de introdução o presente artigo se divide em uma seção sobre materiais e

métodos onde se descreve o processo de elaboração da pesquisa, seguida da seção de resultados e analises na qual se realiza o tratamento dos dados e analises dos resultados obtidos, finalizando com a seção de conclusão onde se efetua as considerações finais e recomendações de novos trabalhos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Mariano & Santos (2017) apresentam um método de revisão sistemática integrador denominado de Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado – TEMAC. Esta elenca a importância da preparação da pesquisa desde a escolha do banco de dados pesquisado, o tipo de pesquisa adotado e suas etapas de preparação.

Complementado o método de investigação, Jessani & Reid (2011) abordam a necessidade de um exame cuidadoso de todos os aspectos dos estudos selecionados para inclusão na revisão sistemática. Propõe-se as seguintes etapas de pesquisa: a) realizar a Revisão Sistemática de Literatura - RSL com uma pergunta problema; b) pesquisar em bases de dados referenciadas, incluindo os principais estudos e trabalhos em outros idiomas; c) avaliar a qualidade e o valor científico dos trabalhos resgatados, buscando identificar erros metodológicos e consistência dos dados; d) sintetizar e resumir os resultados dos estudos; e, e) interpretar os resultados, com a sintetização e identificação das limitações da revisão e dos estudos, quanto as implicações práticas e a aplicabilidade das evidências.

No presente trabalho adotou-se as seguintes etapas metodológicas: a) preparação da pesquisa, implica a seleção das palavras chaves (*airport, valuation e concession)*, as bases *on line* e as áreas do conhecimento; b) apresentação e interrelação de dados, para identificar as revistas com mais publicações, a evolução anual quanto à produção cientifica, os trabalhos e autores mais citados, os países que mais publicaram, as universidades que mais contribuíram, as áreas que mais publicam e a frequência de palavras chave; c) detalhamento, modelo integrador e validação por evidências, no qual utilizou-se índices bibliométricos como co-citação, *coupling* e co-autoria.

Realizou-se a pesquisa nas bases de busca de produção cientifica *on line* da *Web of Science-WoS*, *Scopus* e *Science Direct-SD*, com acesso disponibilizado pelo portal da Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal do Ensino Superior - CAPES, cobrindo o período de 2002 á novembro de 2018. Utilizaram-se os *termos* "*airport AND valuation*", "*airport AND concession"* e "*airport AND valuation AND concession*", sendo as premissas de ano de produção e temática abordada tomadas como filtros para fins de refinamento da pesquisa. A partir da pesquisa realizada, obteve-se o número de publicações por base e, com o auxílio de critérios de eliminação de ferramentas de analise como *TagCrowd® e o Viewvision®,* pode-se analisar os índices bibliométricos das bases estudadas. Os resultados da pesquisa encontram-se na seção de analise e resultados a seguir.

3. RESULTADOS E ANALISES

Os resultados provenientes das bases de pesquisa encontram-se listados na Tabela 1, na qual os primeiros apontam para um número relevante de publicações utilizando-se o *cosntructo* "*airport AND valuation*", totalizando-se um número de 82 registros na base *WoS*, 92 na base *Scopus* e 2.478 na *SD*. Para "*airport AND concession*" a base *Scopus* atingiu o total de 152 registros e a base *SD* 1.992 registros, enquanto que para "*airport AND valuation AND concession"* foram encontrados 230 artigos na base *SD*.

Tabela 1: Relação dos estudos identificados (elaborado a partir de *Web of Science,* 2018; *Scopus,* 2018 e *Science Direct,* 2018)

Termo de busca	Base de Dados		
	Web of Science	*Scopus*	*Science Direct*
airport AND valuation	82	92	2.478
airport AND concession	64	152	1.992
airport AND valuation AND concession	3	2	230

O início da produção científica sobre a temática estudada na base *Scopus* é de 1996, na *SD* data de 1997 e na base *WoS* data de 2009, mas o número de produções significativas só desponta a partir do ano de 2002. Registra-se um crescimento em todas as bases de produção a partir dos anos de 2002, obtendo-se pico máximo registrado entre os anos de 2016 e 2017 na

produção cientifica sobre o tema *valuation* de concessões de aeroportos, como observado na Figura 1 a seguir:

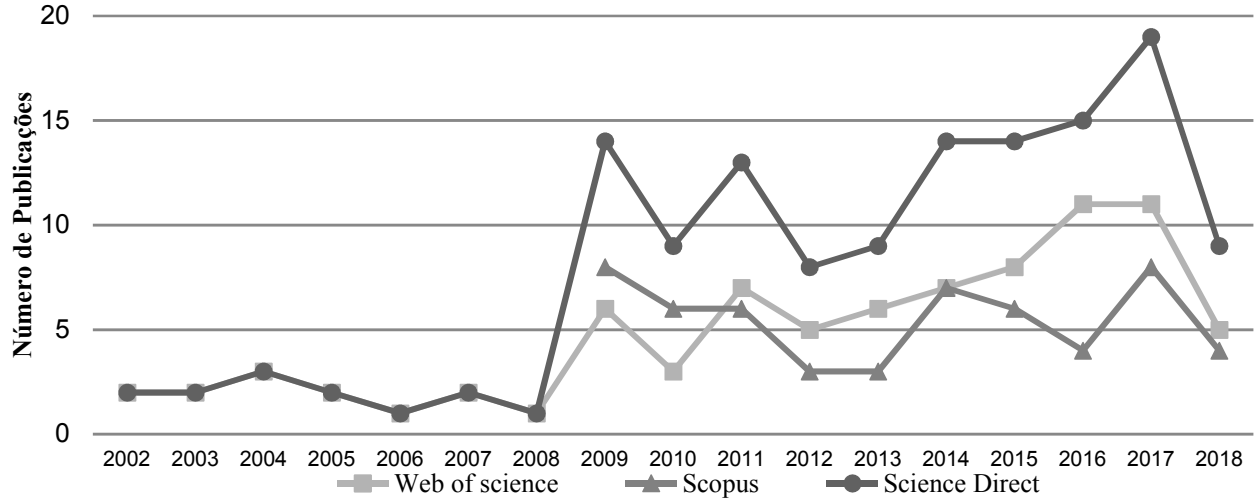


Figura 1: Evolução da produção cientifica sobre *valuation* de concessões de aeroportos (elaborado a partir de *Web of Science,* 2018; *Scopus*, 2018 e *Science Direct,* 2018)

Quando se analisa os países com maior contribuição para a produção cientifica, os Estados Unidos destacam-se como principal responsável pela produção, seguido do Reino Unido, Holanda e Alemanha como se observa na Figura 2. Estes países se apresentam como líderes em quantitativo, associados a universidades e institutos de pesquisa na produção cientifica do setor.

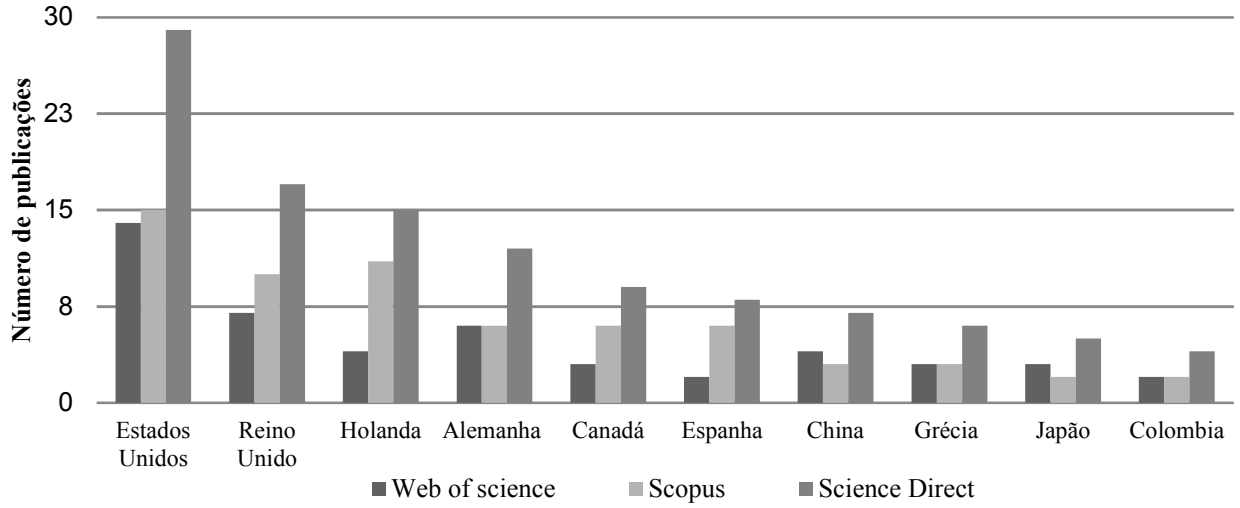


Figura 2: Países que mais contribuem em produção cientifica sobre *valuation* de aeroportos (elaborado a partir de *Web of Science,* 2018; *Scopus*, 2018 e *Science Direct,* 2018)

Utilizando-se de índices bibliométricos pode-se realizar analises quanto ao enfoque meta-analítico. Dentre eles citam-se os veículos de divulgação cientifica com maior frequência de publicação, a qualidade dos mesmos e o grau de importância das fontes de publicação, conforme descritos na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Fontes de Publicação registradas nas bases *Web of Science, Science Direct* e *Scopus* (elaborado a partir de *Web of Science,* 2018; *Scopus*, 2018 e *Science Direct,* 2018)

Fonte de publicação	Web of Science	Science Direct	Scopus	JCR/ SJR/

	NR	CIT	D%	NR	CIT	D%	NR	CIT	D%	Qualis
Transportation Research Part A-Policy And Practice	5	35	19%	1	0	3%	1	0	11%	4.081
Transportation Research Part B-Methodological	4	111	15%	2	42	6%	2	42	22%	4.081
Transportation Research Part D-Transport And Environment	10	156	37%							4.081
Transportation Research Part E-Logistics And Transportation Review	4	30	15%	3	63	9%	3	63	33%	3.289
Journal of Property Investment & Finance	2	0	7%				2	0	22%	0.42
Journal of Urban Economics	2	77	7%	1	35	3%				2.292
Economics of Transportation				2	11	6%				1.438
Journal of Air Transport Management				19	78	58%				A2
Transportation Research Procedia				1	11	3%				B4
Transport Policy				4	0	12%				A1
AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference – Proceedings							1	2	11%	B4
Total	27	409	100%	33	240	100%	9	1 07	100%	

NR- Número de registros ; CIT – Número de Citações ; D% - Percentual de publicações em relação ao total;
JCR -*Journal Citation Reports*; SJR - *SCImago Journal & Country Rank* .

Dentre as fontes que mais publicam sobre a temática estudada tem-se o *Journal of Air Transport Management*, com classificação Qualis A2 e 78 citações indexadas. Em relação à fonte com maior número de publicações citadas, verifica-se que o *Transportation Research Part D-Transport And Environment* possuí 156 citações, por se tratar de uma revista bem avaliada com fator de impacto de 4.081 suas publicações possuem maior aceitação pelos pesquisadores. Em termos de base com maior número de publicações relevantes a *WoS* e a *SD* possuem quantitativos similares embora, quando medido o número de citações e maior grau de impacto das revistas e artigos os mesmos pertencem a base da *WoS*. Verificando os artigos mais citados nesta base, pode-se sintetizar os dados na Tabela 3, 4 e 5 a seguir.

Tabela 3: Principais artigos encontrados na base *Web of Science* (elaborado a partir de *Web of Science,* 2018)

Autor	Titulo	Ano	Citações
Vreeker, R.; Nijkamp, P.; Ter Welle, C.	*A multicriteria decision support methodology for evaluating airport expansion plans*	2002	48
Behrens, C.; Pels, E.	*Intermodal competition in the London-Paris passenger market: High-Speed Rail and air transport*	2012	48
Koster, P.; Kroes, E.; Verhoef, E.	*Travel time variability and airport accessibility*	2011	19
Czerny, A. I.; Zhang, A.	*Airport congestion pricing when airlines price discriminate*	2014	12
Allroggen, F.; Wittman, M. D.; Malina, R.	*How air transport connects the world - A new metric of air connectivity and its evolution between 1990 and 2012*	2015	12
Keumi, C.; Murakami, H.	*The role of schedule delays on passengers' choice of access modes: A case study of Japan's international hub airports*	2012	8
Czerny, A. I.; Zhang, A.	*How to mix per-flight and per-passenger based airport charges*	2015	7
Lin, M. H.	*Airport privatization in congested hub-spoke networks*	2013	7

Gillen, D.; Mantin, B.	*The importance of concession revenues in the privatization of airports*	2014	6
Merkert, R.; Beck, M.	*Value of travel time savings and willingness to pay for regional Aviation*	2017	4
Malighetti, P.; Meoli, M.; Paleari, S.; Redondi, R.	*Value determinants in the aviation industry*	2011	4
Baarsma, B.E.; Lambooy, J.G.	*Valuation of externalities through neo-classical methods by including institutional variables*	2005	3

A base *WoS* apresenta 12 artigos sobre a temática e com 3 ou mais citações indexadas. Deste conjunto de artigos destacam-se as contribuições de Vreeker *et al*.(2002) e Behrens *et al*.(2012) com tema relacionado a metodologia para determinação de expansão do sítio aeroportuário e a competição intermodal entre o trem e o modo aéreo de transporte entre Paris e Londres, respectivamente, estes dois trabalhos registram 48 citações. Segue-se com as contribuições de Koster *et al*. (2011) com 19 citações, Czerny *et al*. (2014) com 12, Allroggen *et al*. (2015) também com 12 citações. Independente do número de citações registradas, os demais artigos constantes na Tabela 3 trazem importantes contribuições para o setor, sejam elas estudos de caso, histórico de concessões no mundo e técnicas de *valuation.*

Tabela 4 - Principais artigos encontrados na base *Science Direct* (elaborado a partir de *Science Direct,* 2018)

Autor	Titulo	Ano	Citações
Zhang, A.; Zhang, Y.	*Concession revenue and optimal airport pricing*	1997	63
Zhang, A. ; Zhang, Y.	*Airport capacity and congestion pricing with both aeronautical and commercial operations*	2010	42
Starkie, D.	*European airports and airlines: Evolving relationships and the regulatory implications*	2012	29
Adler, N.; Ülkü, T.; Yazhemsky, E.	*Small regional airport sustainability: Lessons from benchmarking*	2013	15
Rico, G.; Oscar, A.	*The privatization of Mexican airports*	2008	6
Ballis, A.; Stathopoulos, A,; Sfakianaki, E.	*Sizing of processing and holding air terminal facilities for charter passengers using simulation tools*	2002	6
Regan, M.; Smith, J,; Love, P.	*Financing of public private partnerships: Transactional evidence from Australian toll roads*	2017	4
Golaszewski, R.	*Location rents and the experience of US airports - Lessons learned from off-airport entities*	2004	3
Andrew, D.	*Institutional policy innovation in aviation*	2012	2

Na base do *SD* destaca-se a produção de Zhang, A. & Zhang, Y. (1997, 2010), seguido de Starkie (2012) e Adler *et al.* (2013). Tais autores além de serem os mais citados trazem novos subsídios ao estudo de *valuation* de aeroportos concessionados. Semelhante ao verificado na base *WoS*, o artigo produzido por Zhang, A. & Zhang, Y. (1997) destaca-se como importante contribuição ao estudo do setor aeroportuário sendo, o mais antigo neste recorte de pesquisa.

Tabela 5 - Principais artigos encontrados na base *Scopus* (elaborado a partir de *Scopus,* 2018)

Autor	Titulo	Ano	Citações
Burgain, P.; Pinon, O. J. ; Feron, E.; Clarke , J.-P.; Mavris, D. N.	*On the value of information within a collaborative decision making framework for airport departure operations*	2009	2
Tajani, F.; Morano, P.; Ntalianis, K.	*Automated valuation models for real estate portfolios A method for the value updates of the property assets*	2018	0
Jones, C.; Dunse, N.	*The valuation of an airport as a commercial enterprise*	2015	0

A base *Scopus* resgatou três importantes artigos para temática em estudo (Tabela 5), os trabalhos em questão apesar do baixo ou inexistente número de citações ainda, possuem base teórica e prática da temática de estudo. Destaca-se o trabalho de Tajani *et al*. (2018), recém-publicado e que aborda um importante tema sobre *valuation* para o setor.

Cabe ressaltar que apesar do número expressivo de artigos encontrados na pesquisa com os três *constructos "airport AND valuation AND concession",* verificou-se que a maioria destes artigos não abarcava a temática em si estudada, tendo como base os impactos sócio ambientais dos aeroportos na malha urbana, como barulho e o impacto no valor de imóveis próximos ao sítio aeroportuário.

Uma ferramenta que permite verificar tal discrepância é o mapa de frequência de palavras (Figura 3), produzido por meio do TagCrowd®.

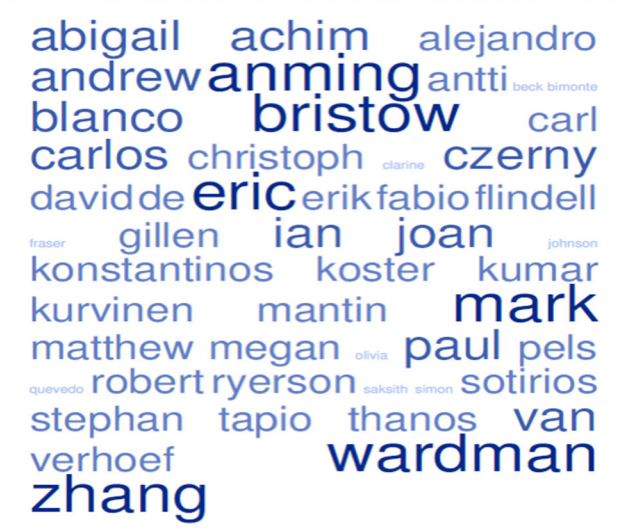


Figura 3: Mapa de frequência de nomes de autores

O referido mapa representa a frequência de autores das produções cientificas, no qual verifica-se que alguns autores, apesar de muito citados, tinham produções relacionadas aos impactos do barulho e ruído das operações aeroportuárias, como o caso de Bristow & Wardman, com os seguintes trabalhos; a) *International meta-analysis of stated preference studies of transportation noise nuisance*; *b*) *Valuing Aircraft Noise: Stated Choice Experiments Reflecting Inter-Temporal Noise Changes from Airport Relocation*; e, c) *Valuation of aircraft noise by time of day*: *A comparison of two approaches.*

Adicionalmente, o mapa de frequência de palavras chaves abordadas nos trabalhos pesquisados (Figura 4), permitiu a identificação de artigos não adequados ao tema em estudo. Apesar de possuírem a temática *valuation* e *airport,* os mesmos se tratavam do impacto do barulho produzido pela atividade aeroportuária na população e na avaliação de imóveis lindeiros aos aeroportos, temas divergentes do objetivo deste trabalho. Para tanto utilizou-se critérios de exclusão de termos como "*noise", urban plain", "housing"* e *"residential*". Isto justifica o afunilamento entre o grande número de produções resultantes das pesquisas e a seleção de um número restrito de produções relevantes, destacando-se tal efeito, principalmente, nas produções da base *Scopus* conforme Tabelas 1 e 5.

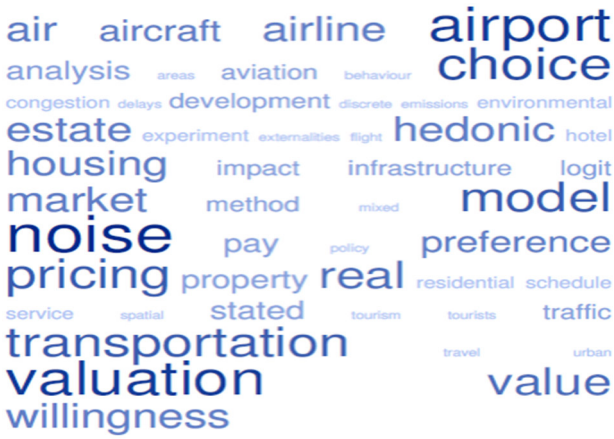


Figura 4: Mapa de frequência de palavras chaves

No setor de concessões aeroportuárias os nomes de Zhang, A. & Zhang, Y. apresentam-se como os mais frequentes na titulação de tais publicações como pode ser observada na Figura 3. Tal informação é corroborada com os mapas de calor das correlações entre autores e coautores em analise a seguir.

Para auxiliar as análises produziu-se mapas de calor com demonstrativos e correlações de atributos dos artigos científicos. Os principais autores da base *WoS* que possuem relação de coautoria encontram-se dispostos em dois grupos, como se observa na Figura 5. O grupo de Czerny, autor associado a *WHU/ Otto Beisheim School of Management*, Alemanha é composto por Zhang, A. da *University of British Columbia*, Canada, Simon Cowan do *Department of Economics, University of Oxford, UK*. O grupo formado por Koster, autor do Department *of Spatial Economics, VU University Amsterdam, The Netherlands*, tem como coautores Kroes e Verhoef da mesma instituição.

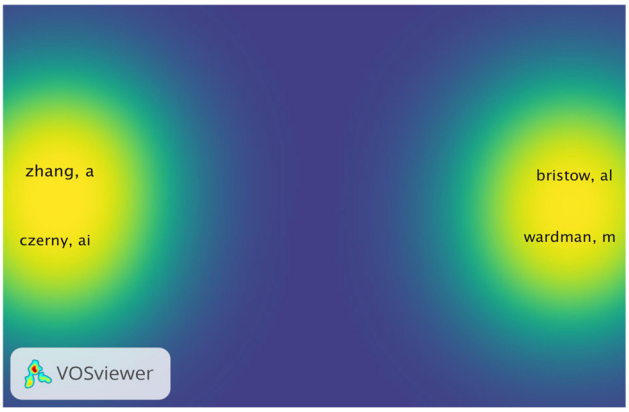


Figura 5: Mapa de calor entre os autores e co-autores na base *Web of Science*

Para a base *SD*, correlacionando os autores e coautores verifica-se uma maior gravitação entorno dos autores Zhang, A. e Fu em um grupo de autores associados que produzem sob a temática de *valuation* de aeroportos, conforme Figura 6. Quando se verifica a produção por grupo encontramos Zhang, A. associado aos autores Czeny e Zhang,Y.

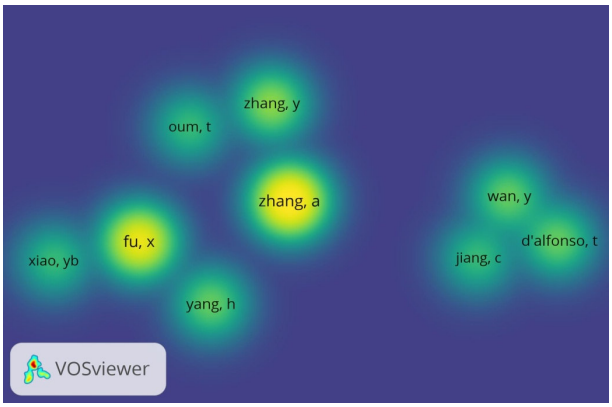


Figura 6: Mapa de calor entre os autores e co-autores na base *Science Direct*

O segundo grupo que se destaca na base *SD* é o centralizado por D´Alfonso da *University of Bergamo*, Dalmine, Italy, que possui interrelação de produção com Jiang e Wan da *University of British Columbia*, Vancouver, Canada. A produção associada destes autores refere-se a análise econômica do setor aeroportuário.

Investigando o teor dos trabalhos mais relevantes e suas contribuições para a temática estudada, produziu-se a Tabela 6, com o perfil das principais produção de interesse.

Destaca-se a cronologia das produções, iniciada por Zhang, A. e Zhang, Y. (1997), que por meio de modelagem econômica busca maximizar as recitas não aeroportuárias com fins de aumentar a sustentabilidade dos aeroportos. Os mesmos autores no ano de 2010 publicaram novo artigo buscando demonstrar a relação entre investimento em infraestrutura e regulação por meio da criação de um modelo teórico.

Tabela 6. Publicações relevantes em *valuation* de aeroportos

Autores	Local área de atuação	Resumo dos objetivos da pesquisa	Base teórica utilizada na pesquisa	Método de coleta de dados	Variáveis	Amostra (N)	Método de Análise
Zhang, A. & Zhang, Y. (1997)	Economia e Finanças (Canadá)	Maximizar as operações não aeroportuárias dos aeroportos tornando-os autosuficientes. Os autores apontam sobre a necessidade de um subsídio cruzado para sustentabilidade das operações.	Microeconomia. Fluxo de caixa descontado	Revisão de literatura	Receitas não tarifárias	N=26 artigos	Análise correlacional

Vreeker al.(2002)	Economia (Holanda)	Estudo sobre os critérios para crescimento e ampliação de aeroportos em cidades e seus impactos no meio urbano. Utiliza-se na pesquisa teorias econômicas neoclássicas, institucional e tradicionais para análise multicritério	Microeconomia	Revisão de literatura	Níveis de emissão de ruídos, níveis de emissão de poluentes. Preço/custo	N=54 (artigos e trabalhos)	Análise-multicritério
Zhang, A. & Zhang, Y. (2010)	Economia e Finanças (Canadá)	Demonstrar que o investimento em infraestrutura aeroportuária é limitada pela capacidade regulatória. Os benefícios sociais do investimento ficam condicionados as restrições regulamentares, bem como o custo marginal da capacidade instalada.	Microeconomia - custo marginal	Revisão de literatura e criação de modelo téorico	Demanda, preço, investimento	N=123 artigos	Análise correlacional
Koster (2011)	Economia (Holanda)	. O estudo cria um modelo para calcular o custo de tempos de viagem e busca aferir quanto o consumidor está disposto a pagar para otimizar sua viagem desde o ponto de origem até o aeroporto. Os resultados apontam que os custos dos viajantes a negócio estão entre 0% a 30% e os não executivos entre 0% a 25%	Modelo de escalonamento de Noland Small (1995)	Aplicação de questionário e dados da Directorate General for Public Works and Water Managment	Tempo de partida de casa, horário de chegada, tempo de check-in	N=1440	Análise estatística quantitativa
Behrens & Pels (2012)	Economia (Holanda)	Estudo sobre a concorrência intermodal entre o modal aéreo e o ferroviário na rota Londres-Paris, o enfoque é a reação comportamental do usuário quanto a retirada do modal aero e significação quanto as variáveis tempo de viagem e conforto. Os resultados apontam para uma elasticidade acima de 1 para participação de mercado do modal aero	Competição em oligopólios com política monopolística	Coleta de dados públicos do International Passenger Survey (IPS)	Nº de passageiros, nº de viagens, origem x destino	Dados de 2003 a 2009 do IPS	Análise estatística quantitativa
Starkie (2012)	Economia e Administração	Análise sobre a necessidade de regulamentação do setor de concessões aeroportuárias. Relacionando a competitividade, margem de lucro auferida e investimentos realizados	Teoria da Regulação de serviços públicos	Revisão de literatura	N° de concessões no mundo, margem de lucro, custos operacionais	N= 42 artigos	Análise crítica e correlacional
Gillen & Mantin (2014)	Economia e Administração (Canadá)	O trabalho estuda as duas principais fontes de receitas aeroportuárias, as tarifas das empresas aéreas e o volume de voos e as receitas oriundas dos gastos dos passageiros nos terminais aeroportuários. A decisão do concessionário em aumentar o fluxo de voos e por conseguinte a geração de atrasos. (impacto negativo com congestionamentos versus benefício das concessões)	Função Utilidade	Revisão de literatura	Frequência de voos, demanda, custos de congestionamento	Modelo téorico	Análise correlacional
Allroggen et al. (2015)	Aviação Comercial EUA	Estudo sobre a conexão de mercados via o modal aéreo, cria-se um panorama de conexões global e avalia-se a qualidade dos serviços prestados. Os resultados apontam crescimento de rotas com conectividade heterogêneas em relação a tempo e localização	Pesquisa operacional, utilizando modelo do Global Connectivity Index	Dados primários do IATA	Frequência de voos, Itinerário, destinos	N=2061 vôos	Análise estatística quantitativa
Czerny et al. (2017)	Logística, economia e negócios (Hong Kong, UK, Canadá)	O estudo busca relacionar a importância das taxas e receitas não tarifárias geradas por passageiros nos aeroportos e como tais taxas contribuem para mitigar os custos operacionais e aumento da margem de lucro	Microeconomia: teoria da formação de custos	Revisão de literatura	Taxa aeroportuárias, taxa de embarque, taxa de permanência de aeronaves	N=32 artigos	Análise correlacional

Pode se observar ainda a evolução das publicações sobre *valuation* ao longo dos anos buscando estudar temáticas relacionadas a aumento de receitas, sustentabilidade dos aeroportos, aumento de lucro e competitividade entre modos.

No Brasil, após a realização de cinco rodadas de concessões aeroportuárias, o país vem ajustando e buscando o formato mais adequado a sua realidade de mercado e serviços. Ao passo em que no mundo tal processo já se dá a mais de duas décadas. Destas rodadas de leilão, quatro foram com formato regulatório e forma de valoração diferentes entre si. Logo, conhecer as boas práticas já testadas no mundo contribuem para o melhoramento da formação do modelo brasileiro de concessões de aeroportos.

4-CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do método TEMAC pode-se criar um perfil da produção cientifica acerca do tema *valuation* de concessões aeroportuárias. Utilizando–se três bases de publicações cientificas robustas resgatou-se as mais relevantes produções cientificas produzidas até o período pesquisado. Acrescenta-se os registros dos Estados Unidos e o Reino Unido como países

de maior contribuição e os anos de 2016 e 2017 como os picos de produção cientifica nas bases estudadas.

Pode-se constatar quais foram os principais autores do tema, destacando-se pelo número de citações e grau de importância quanto ao conteúdo trazido: Vreeker *et al.(*2002), Behrens *et al.(*2012), Koster *et al.(*2011), Czerny *et al.(*2014), Allroggen *et al.(*2015), Zhang A. & Zhang Y. (1997, 2010) e Adler *et al.* (2013).

Como referência adicional, apesar de não possuir ainda nenhuma citação, acolhe-se o trabalho de Tajani *et al*. (2018), recém-publicado e que aborda a temática de avaliação e atualização de valores de ativos, relevante para o setor aeroportuário. Tais referências foram publicadas em revistas com classificação Qualis A2 e fator alto de impacto como se verificou no trabalho.

As ferramentas de espacialização e análise de índices bibliométricos como o mapa de palavras e o mapa de calor mostraram-se bastante intuitivos e úteis na análise e seleção dos trabalhos a serem considerados importantes para o estudo de *valuation* de concessões de aeroportos.

Verificou-se que dentre os artigos selecionados como relevantes para a pesquisa desenvolvida, não havia produções nacionais em grau de relevância e em volume de produção. Logo, a referida revisão sistemática de literatura apontou para a necessidade de preenchimento da lacuna de trabalhos sobre a *valuation* de concessões aeroportuárias brasileiras na produção cientifica nacional, visto que desde 2011 o Brasil encontra-se no seu processo de concessões da infraestrutura aeroportuária, já caminhando para mais de sete anos desta atividade e necessitando de aferições quanto ao real valor dos ativos concedidos e os resultados obtidos

REFERÊNCIAS

ALLROGGEN, F.; WITTMAN, M. D.; MALINA, R. (2015). How air transport connects the world - A new metric of air connectivity and its evolution between 1990 and 2012.

ALVES, U.; CAETANO, M. (2016) Analysis of ticket price in the airline industry from the perspective of operating costs, supply and demand. Aviation in Focus, 7(2):21-28. http://dx.doi.org/10.15448/2179-703X.2016.2.23185

BAARSMA, B.E.; LAMBOOY, J. G. (2005) Valuation of externalities through neo-classical methods by including institutional variables. http://login.webofknowledge.com/. Acesso em agosto de 2018

BRAGA, R.; NOSSA, V.; MARQUES, J. A.V.C. (2004) Uma Proposta para a Análise Integrada da Liquidez e Rentabilidade das Empresas. Revista Contabilidade & Finanças - USP, São Paulo, Edição Especial, p. 51 - 64, 30 junho 2004.

BEHRENS, C.; PELS, E. (2012) Intermodal competition in the London-Paris passenger market: High-Speed Rail and air transport. http://login.webofknowledge.com/. Acesso em agosto de 2018

CZERNY, A. I.; ZHANG, A. (2014) Airport congestion pricing when airlines price discriminat,. http://login.webofknowledge.com/. Acesso em agosto de 2018

CZERNY, A. I.; ZHANG, A. (2015) How to mix per-flight and per-passenger based airport charges, http://login.webofknowledge.com/. Acesso em agosto de 2018

GILLEN, D. (2011). The evolution of airport ownership and governance. Journal of Air Transport Management, v. 17, n. 1, p. 3–13.

GILLEN, D.; MANTIN, B. (2014) The importance of concession revenues in the privatization of airports. Transportation Research Part E, nº 68, pag. 164-177.

JONES, C. A.; DUNSE, N. (2015) The valuation of an airport as a commercial enterprise. Journal of Property. Investment and Finance, 33(6), 574-585. DOI: 10.1108/JPIF-07-2015-0048.

JESSANI, N.; REID, G. (2011) The RM Knowledge Translation Toolkit: A Resource for Researchers- Chapter 9: Systematic Reviews, Research Matters. www.research-matters.net.

KOSTER, P.; KROES, E.; VERHOEF, E. (2011) Travel time variability and airport accessibility.

KEUMI, C.; MURAKAMI, H. (2012) The role of schedule delays on passengers' choice of access modes: A case study of Japan's international hub airports. http://login.webofknowledge.com/. Acesso em agosto de 2018

LIN, M. H. (2013) Airport privatization in congested hub-spoke networks, http://login.webofknowledge.com/. Acesso em agosto de 2018.

MERKERT, R.; BECK, M. (2017) Value of travel time savings and willingness to pay for regional aviation. http://login.webofknowledge.com/. Acesso em agosto de 2018

MALIGHETTI, P.; MEOLI, M.; PALEARI, S.; REDONDI, R. (2011) Value determinants in the aviation industry. http://login.webofknowledge.com/.

NETO, A. A. (2005) Finanças Corporativas e Valor. Editora Atlas S.A. São Paulo, SP, 824 p.

VREEKER, R.; NIJKAMP, P.; TER WELLE, C. (2002). A multicriteria decision support methodology for evaluating airport expansion plans, http://login.webofknowledge.com/. Acesso em agosto de 2018.

STARKIE, D. (2012) European airports and airlines: Evolving relationships and the regulatory implications. https://www.sciencedirect.com/.

ZHANG, A.; ZHANG, Y. (1997) Concession revenue and optimal airport pricing. https://www.sciencedirect.com/.

ZHANG, A.; ZHANG, Y. (2010) Airport capacity and congestion pricing with both aeronautical and commercial operations. https://www.sciencedirect.com/.

REVISÃO SISTEMÁTICA DE CONCESSÕES AEROPORTUÁRIAS E O CASO BRASILEIRO

Larissa dos Santos Veronez Galdiano
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba/MG
larissa.galdiano@hotmail.com

Viviane Adriano Falcão
Universidade Federal de Pernambuco
viviane.afalcao@ufpe.br

Francisco Gildemir Ferreira da Silva.
Universidade Federal do Ceará – FEAAC – CAEN
gildemir@ufc.br

RESUMO

A expansão do uso do transporte aéreo no Brasil fez com que aumentasse a pressão pela melhoria da infraestrutura aeroportuária e com isso, iniciaram-se os processos concessionários em 2011 tendo como um dos objetivos melhorar a eficiência dos serviços aeroportuários. Há muitos artigos sobre a temática concessões aeroportuárias, mas poucos com foco nas concessões brasileiras e nenhuma revisão de literatura sobre os principais trabalhos. Sendo assim, este artigo preenche uma lacuna, além de realizar também uma revisão sistemática dos trabalhos de concessões no mundo. Pode-se observar que o Brasil seguiu o fluxo das privatizações aeroportuárias mundiais, adaptando os leilões e contratos à realidade brasileira.

Palavras-chave: concessões aeroportuárias, privatização aeroportuária, administração aeroportuária, concessões brasileiras, gestão aeroportuária.

ABSTRACT

The expansion of the use of air transport in Brazil has increased the pressure to improve airport infrastructure and, as a result, concessionary processes began in 2011 with one of the objectives of improving the efficiency of airport services. There are many paper about subject airport concessions, but few focusing on Brazilian concessions and no literature review. As such, this article fills a gap and also conducts a systematic review of concession airport in the world. It can be observed that Brazil followed the flow of worldwide airport privatization, adapting the auctions and contracts to the Brazilian reality.

Key-words: airport concessions, airport privatization, airport administration, Brazilian concessions, airport management.

1. INTRODUÇÃO

O serviço de transporte aéreo mundial ampliou a oferta após a segunda guerra mundial, desde então, e principalmente, na década de 60, houve uma intensa expansão e desenvolvimento do modal (CASTRO, 2012).

No Brasil, os serviços de transporte aéreo comercial de passageiros iniciaram operação em 1927. No final do século XX com as políticas de flexibilização houve maior autonomia na precificação das companhias áreas, o que gerou maior competitividade (CNT, 2015). Em seguida, aconteceram os processos de expansão de empresas *Low Cost* no Brasil, aumentando a demanda de passageiros em viagens nacionais e internacionais devido à redução de 43,5% no preço das passagens entre os anos de 2000 e 2014, popularizando o transporte aéreo.

O crescimento do número de passageiros de acordo com a CNT (2015) foi gradual ao longo de 15 anos, chegando a quase 320% após 15 anos de análises, isto devido à economia brasileira, que estava em franca ascensão, crescendo o poder aquisitivo da população em paralelo à diminuição do preço das passagens aéreas. Em 2000, foram transportados aproximadamente 32 milhões de

passageiros, chegando, em 2014, a 102 milhões (CNT,2015).

Segundo Graham (2011) a primeira privatização no setor aeroportuário mundial ocorreu há 30 anos no Reino Unido. Desde então, muitos países concederam ou privatizaram seus aeroportos de várias formas: parcialmente, totalmente, com participação de lucros, entre outras formas. E após estudos do autor, este concluiu que na maioria dos casos, as privatizações acontecem para fornecer investimento e aumentar a eficiência e desempenho dos aeroportos, com melhoria na qualidade do modal e na gestão deste.

A privatização e concessão aeroportuária é um fenômeno catalogado na literatura internacional, mas ainda pouco explorado no Brasil, pois as concessões nacionais são recentes, tendo opiniões controversas nos artigos encontrados.

De acordo com Bettini e Oliveira (2016) as concessões implicaram em um aumento da demanda aeroportuária, mas sugere que tal fenômeno pode estar atrelado aos eventos esportivos da Copa do Mundo e Olimpíadas que aconteceram no Brasil.

A projeção mostra que em 20 anos o setor de aviação civil brasileiro irá praticamente dobrar em relação ao número de passageiros, a movimentação de aeronaves nos aeroportos chegará a quase 4,9 milhões por ano e no geral, em cada região, os índices de utilização do serviço aéreo aumentarão. (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL – SECRETARIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

Silveira e Quintilhano (2019) citam que houve baixo investimento em infraestrutura no setor aeroportuário do Brasil, em contrapartida, houve crescimento do PIB, fazendo com que aumentasse o número de passageiros e houvesse melhoria do mercado, porém a infraestrutura dos aeroportos não acompanhou esse crescimento. A rápida expansão do uso do transporte aéreo no Brasil fez com que aumentasse a pressão pela melhoria da infraestrutura aeroportuária e aeronáutica, resultando posteriormente no "*Apagão Aéreo"*.

Pode-se analisar na Tabela 1 a evolução da demanda no período de 1995 a 2009. É possível ver a porcentagem de investimento na infraestrutura aeroportuária, assim como a demanda doméstica do período e o crescimento do PIB.

Tabela 1: Evolução da demanda de passageiros no Brasil

Ano	Investimentos em infraestrutura aeroportuária (1995 = 100%)	Demanda doméstica* (1995 = 100%)	CRESCIMENTO DO PIB (1995 = 100%)
1995	100,0%	100,0%	100,0%
1996	156,3%	102,4%	2,2%
1997	103,3%	104,5%	3,4%
1998	121,5%	139,1%	0,3%
1999	85,8%	123,8%	0,5%
2000	18,6%	156,4%	4,4%
2001	88,1%	176,3%	1,4%
2002	37,8%	176,8%	3,1%
2003	68,7%	166,3%	1,1%
2004	75,1%	180,6%	5,8%
2005	166,5%	227,3%	3,2%
2006	176,3%	259,3%	4,0%
2007	136,4%	292,3%	6,1%
2008	116,8%	317,7%	5,1%
2009	127,0%	363,4%	-0,1%

Fonte: Silveira e Quintilhano (2019).

De acordo com o Plano Aeroviário Nacional (PAN, 2018) há necessidade de cobertura em polos mais afastados de regiões centrais no Brasil, devido a isso, foi instituído o Programa de Investimento à Logística, visando integrar diferentes aeroportos e expandir a construção de novos. Esse novo conceito de expansão reflete nos atuais modelos de concessões, que foram realizados por blocos, fazendo com que desenvolvesse as regiões inteiras concedidas.

O objetivo do trabalho é estabelecer uma revisão sistemática sobre concessões e privatizações aeroportuárias, um tema atual e que ainda será muito explorado. Além de traçar paralelos entre as políticas brasileiras e as que ocorreram no mundo. As contribuições do estudo levam a um preenchimento da lacuna da literatura e também, podem auxiliar o poder público na busca das melhores práticas de administração e regulação aeroportuária.

2. ADMINISTRAÇÃO AEROPORTUÁRIA NO BRASIL

No Brasil, a ANAC regula e fiscaliza o setor e está institucionalmente vinculada à Secretaria de Aviação Civil (SAC), essa por sua vez, rege o planejamento em geral da aviação civil (CNT, 2015). Outro órgão importante é a Infraero, que é subordinada à SAC e têm função de implantar, administrar, explorar e operar a infraestrutura dos aeroportos, sendo responsável pela gestão de 54 aeroportos, 61 Estações Prestadoras de

Serviços de Telecomunicações e de Tráfego Aéreo e 21 terminais de logística de carga no Brasil (INFRAERO, 2017).

Uma retrospectiva na história da aviação brasileira mostra, de acordo com informações da INFRAERO (2017), que somente em 2011 criou-se a SAC que possui *status* de ministério e é vinculada à presidência da república. Sendo assim, a Infraero passou a desenvolver ainda mais tecnologias e foi ao longo dos anos assumindo controle de aeroportos muito importantes no país.

Após as privatizações, a Infraero passou a administrar 56 aeroportos somando cerca de 60% do movimento aéreo, com mais de 100 milhões de passageiros por ano (INFRAERO, 2017).

De acordo com o PAN (2018) a capacidade de passageiros do setor aéreo brasileiro suportará a demanda até 2025, após isso, a infraestrutura deverá ser remodelada, principalmente em grandes centros, realizando ampliações e mudança de funcionamento para aeroportos secundários.

Além dessa informação, é importante lembrar que as concessões aeroportuárias no Brasil iniciaram em 2011, tendo até o momento 23 aeroportos concedidos. As concessões são importantes para transferir o poder e administração dos aeroportos para a iniciativa privada, fazendo com que o governo possa concentrar atenção em outros setores (BETTINI e OLIVEIRA, 2016).

3. ADMINISTRAÇÃO AEROPORTUÁRIA NO MUNDO

Betancor e Rendeiro (1999) cita que aeroportos são complexos empresariais de diversos segmentos. De acordo com Pena (2011) o mais tradicional na administração de aeroportos é que sejam feitas por Departamentos do Governo, como o Ministério, Departamento do Transporte ou Defesa. Geralmente estes são responsáveis pelo controle, tráfego aéreo, operação e regulação em geral. Entretanto, essa forma de administração traz sérias consequências, já que normalmente os aeroportos e as políticas de melhoria de infraestrutura não estão presentes nas agendas governamentais, causando sérios problemas de superlotação, falta de estrutura nos terminais e de manutenção em aeronaves, pistas e outros (PENA, 2011).

Além dos aeroportos administrados por ministérios, há a administração por empresas sem fins lucrativos, estas realizam a descentralização do poder, realizando um controle mais direto e melhores gestões administrativas, esse modelo permite uma maior estabilidade e maiores lucros para o aeroporto, podendo investir em infraestrutura (PENA, 2011).

As companhias aéreas e os aeroportos são integrados sendo parte do sistema de transporte aéreo. As operações decorrentes dos aeroportos no geral movimentam pessoas e dinheiro, com isso, as atividades operacionais são consideradas essenciais, enquanto que as atividades comerciais são consideradas atividades secundárias. Porém, isso tem mudado, uma vez que os aeroportos estão deixando de estarem sob administração pública, sendo assim, o foco do comercio é expandido quando os aeroportos são administrados por empresas concessionadas (BETANCOR, RENDEIRO, 1999).

A primeira principal privatização de aeroportos aconteceu em 1987 no reino Unido (GRAHAM, 2011). Desde então o número de privatizações em todo o mundo não parou, tanto em países desenvolvidos quantos nos países em desenvolvimento.

Para entender melhor sobre os movimentos aeroportuários atuais, é importante diferenciar concessões de privatizações, de acordo com Xavier (2015). As privatizações acarretam na venda de algo para a iniciativa privada, já as concessões ocorrem a partir de transferências temporais para a iniciativa privada, havendo regimento por regras e não podendo haver renovação. Na história de vários países essa prática é muito comum, visto que a parceria com a iniciativa privada pode auxiliar no desenvolvimento de diversos setores do país. Há alguns casos de privatização no modal aéreo pelo mundo, sendo que em cada um houve sua peculiaridade.

Segundo Costa (2017) na Argentina ocorreu a privatização total, onde a partir do crescimento exponencial do setor aéreo houve início da precarização da infraestrutura. Com isso houve concessão de 33 aeroportos e o grupo

vencedor não teve como arcar com o ágio de quase 120% do lance, acarretando a volta de monopolização do governo, corrupção e mudança de cronograma acionário.

No México ocorreu a privatização em grupo após a crise econômica do país, dividindo os aeroportos em viáveis, que foram privatizados e cresceram de forma regular e os não viáveis, que ficaram sob responsabilidade do governo e apresentaram crescimento irregular e com baixa infraestrutura (COSTA, 2017). Já na Índia, segundo Costa (2017), ocorreu a privatização individual de 5 aeroportos que detém o controle de 60% do tráfego aéreo do país.

Em países como a Alemanha, Nova Zelândia e Holanda, de acordo com Costa (2017), houve abertura de capital, que é um modelo com poucos riscos, já que há abertura dos aeroportos para a compra de ações destes no mercado financeiro. Em contrapartida, nos Estados Unidos da América, os aeroportos estão sob a administração do governo (COSTA, 2017).

Um dado interessante é que em países de baixa e média renda, cerca de 50% dos aeroportos pertencem às iniciativas público-privadas, ou seja, pertencem a investidores (FARRELL, VANELSLANDER; 2015).

Há prós e contras da privatização conforme Pena (2011), sendo assim, ainda é contraditória a aprovação ou não do público em relação às concessões. De acordo com o autor, o setor de transporte aéreo é a maior indústria do mundo em desenvolvimento, sendo assim, avaliar os resultados finais das privatizações e os possíveis abusos de mercado são tarefas que não devem ser negligenciadas, podemos avaliar os prós e contras na Tabela 2.

Genericamente, a concessão/ privatização aeroportuária acontece em cada local de uma maneira diferente. É difícil generalizar se a concessão será benéfica ou não para cada aeroporto, visto que as reações aos investimentos gerados são diversificadas, portanto, deve-se estudar cada caso isoladamente.

Tabela 2- Prós e Contras da Privatização aeroportuária

	Flexibilidade Financeira	**Diversidade do *Core Business***	**Especialidade Gerencial**	**Estratégia de orientação de mercado**
Prós	Novas fontes de capital	Melhor experiência para consumidores	Gestão inovadora	Evita projetos "elefante branco"
	Sem constrangimento no orçamento público	Aumento do atratividade dos aeroportos	Inovação	Decisões tomadas com base de dados
Contras	**Abusos de marketing**	**Flutuação no mercado de ações**	**Diversidade do *Core Business***	**Orientação para lucros obsessivos**
	Acordos de monopólio	Sujeito à volatilidade do mercado	Perda de capital de flexibilidade	Degradação da opinião dos consumidores
	Redução do bem estar social	Falta de estabilidade financeira	Atividades sujeitas a ciclos econômicos	Perda de demanda

Fonte: adaptada pelos autores, texto original do autor Pena (2011).

4. CONCESSÕES NO SETOR AERO-PORTUÁRIO BRASILEIRO

No Brasil, com o episódio do "*Apagão aéreo"* iniciaram os debates entre a necessidade de priorização do governo para realizar investimentos no modal. A partir disso, foi criada a SAC, com o intuito de melhorar a organização, planejamento, coordenação e supervisão (CNT, 2015).

Em seguida, iniciaram as concessões aeroportuárias dos principais aeroportos brasileiros, devido à necessidade de rápidos investimentos e com intuito de melhorar a infraestrutura dos mesmos, tornando-os mais eficientes.

As concessões transformavam a Infraero em sócia das empresas concessionárias dos aeroportos, devendo receber dividendos destas. Os contratos de concessão realizados no Brasil são contratos de resultado, ou seja, a empresa privada tem liberdade de inovação na forma de operacionalizar a prestação de serviços, enquanto o Estado define os parâmetros de qualidade (YOSIMOTO *et al*. 2016).

O modelo aéreo brasileiro inclui a participação do Estado, para que haja um movimento sistêmico em equilíbrio, havendo reestruturação e posterior crescimento da qualidade do serviço do setor. O programa de concessões quer garantir que este seja um fator de desenvolvimento do modal aeroviário como um todo (YOSIMOTO *et al.* 2016).

- **Primeira e segunda rodadas de concessões brasileiras**

De acordo com dados da ANAC (2017), o primeiro aeroporto concedido foi o do São Gonçalo do Amarante, no Rio Grande do Norte, onde o vencedor foi a empresa argentina Inframerica com um lance de R$ 170 milhões que será pago em 28 parcelas anuais com outorga. Nesta concessão seria necessário terminar a obra de construção do aeroporto, pois ainda não havia utilização deste pelos passageiros (ALENCAR, 2017).

Em seguida, de acordo com Yosimoto *et al.* (2016) houve as concessões brasileiras nos aeroportos de Guarulhos (SP), Viracopos (SP) e Brasília (DF) a partir de um critério de leilão adotado que seria o vencedor aquele que tivesse maior valor fixo ofertado de contribuição. O aeroporto do Guarulhos teve 10 ofertas, e teve a proposta vencedora formada pela Invepar e Airports Company South Africa, com um lance de R$ 16,2 milhões. Já o aeroporto de Viracopos teve quatro propostas, sendo arrematado por um valor de R$ 3,8 milhões pelo consórcio formado pela Triunfo Participações, construtora UTC e a operadora francesa Egis. Por último, o aeroporto de Brasília teve oito propostas, sendo o consórcio vencedor formado pela Infravix Participações e *Corporácion* América com um lance de R$ 4,5 milhões. A soma das arrecadações da primeira rodada é de R$ 24,5 bilhões e as concessões dos aeroportos de Guarulhos, Viracopos e Brasília terão duração de 20, 30 e 25 anos, respectivamente. A ANAC foi a responsável pelos estudos antecedentes a esta rodada.

Na primeira rodada, havia regras que proibiam os investidores de possuir mais de um aeroporto em concessão e teve participação da Infraero com 49% dos aeroportos (NETO *et al*, 2016).

A segunda rodada de concessões teve a ANAC como executora das concessões e acompanhamento, porém, desta vez, teve a participação do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) nas discussões. Esta rodada englobou os aeroportos de Antônio Carlos Jobim- Galeão (RJ) e Tancredo Neves- Confins (RJ). O aeroporto Galeão teve vencimento da concessionária *Odebrecht Transport* e *Changi Airport Group* com um valor de R$ 19 milhões. Já o aeroporto de Confis recebeu duas propostas e foi arrematado pelo valor de R$1,82 milhões pelas operadoras Flughafen Münich e Flughafen Zurich (YOSIMOTO *et al*. 2016).

Todas estas concessões tiveram o objetivo de acelerar as obras para a Copa do Mundo e Jogos Olímpicos e, complementarmente, melhorar a administração destes. Para entender melhor como se deu cada concessão, pode-se observar a Tabela 3, que mostra os aeroportos concedidos nas duas primeiras rodadas, as empresas que ganharam o consórcio com suas respectivas porcentagens de participação, assim como o valor da concessão e o prazo desta.

Tabela 3- Características das rodadas de concessões

Aeroportos	Consórcio	Empresas ligadas ao consórcio	Valor da concessão	Tempo de concessão
São Gonçalo Amarantes (Natal)	Inframérica	Engevix e pelo argentino Corporación America	R$ 166 mi	28 anos
Viracopos (Campinas/SP)	Aeroportos Brasil	Triunfo Part. E Investimentos (45%). UTC Participações (45%) e Egis Airport Operation (10%)	R$ 3,82 bi	30 anos
Juscelino Kubits-chek(Brasília)	Inframérica aeroportos	Infravix Part. (50%) e Argentina Corporation América (50%).	R$ 4,5 bi	25 anos

Guarulhos (São Paulo)	Invepar	Invepar Empreendimentos (50%) e Airport South Africa (10%).	R$ 16,21 bi	25 anos
Galeão (Rio de Janeiro)	Aeroportos do Futuro	Odebrecht e Transport (60%) e CHANGI (40%).	R$ 19 bi	25 anos
Confins (Belo Horizonte)	Aero Brasil	Cia de participações em concessões CCR (75%). Flughafen Zurich (24%) e Munich Airport (1%)	R$ 1,8 bi	30 anos

Fonte: Silveira e Quintilhano (2019) e adaptada pelos autores.

- **Terceira rodada de concessões**

Em 2017, aconteceram novas rodadas de concessões, sendo agora a vez dos aeroportos Pinto Martins – Fortaleza (CE), Luiz Eduardo Magalhães – Salvador (BA), Hercílio Luz – Florianópolis (SC) e Salgado Filho- Porto Alegre (RS), conforme dados da ANAC.

O aeroporto de Fortaleza foi concedido para a Fraport AG Frankfurt Airport Services durante 30 anos e teve valor de R$ 425 milhões como lance vencedor.

O aeroporto de Salvador (BA) teve vencedora a operadora francesa a Vinci Airports pelo valor de R$ 1,59 bilhão. O aeroporto de Florianópolis foi concedido para a operadora suíça Zurich International Airport AG sob valor de R$ 83 milhões. E por fim, o aeroporto de Porto Alegre foi também concedido para a operadora alemã Fraport AG Frankfurt Airport Services por um valor de R$ 290 milhões.

O montante arrecadado será investido nos terminais de passageiros, pátios das aeronaves e pistas de pouso/decolagem, assim como investimento geral em infraestrutura dos empreendimentos. Na Tabela 4 é possível analisar um resumo da terceira rodada de concessões, analisando os aeroportos concedidos, as empresas concessionárias, o valor arrecadado, o prazo de concessão e a experiência que a empresa concessionária possui de investimentos em aeroportos no mundo.

Nesta rodada houve diversas mudanças, sendo algumas delas a carência de pagamento para a primeira parcela do consórcio de cinco anos, o concessionário podia investir em mais de um aeroporto e redução e antecipação da outorga de 25% (SILVEIRA, QUINTILHANO, 2019).

Tabela 4- Características das rodadas de concessões

Aeroportos	Consórcio	Valor da concessão	Tempo de concessão
Porto Alegre (RS)	Fraport (Alemanha)	R$ 290,5 mi	25 anos
Fortaleza (CE)		R$ 425 mi	30 anos
Salvador (BA)	Vinci Airport (França)	R$ 660,9 mi	30 anos
Florianópolis (SC)	Zurich International Airport	R$ 83,3 mi	30 anos

Fonte: Silveira e Quintilhano (2019) e adaptada pelos autores.

- **Concessões atuais**

Com início em outubro de 2017, ocorreram as primeiras concessões em blocos de aeroportos, ou seja, os blocos possuem tanto aeroportos mais desenvolvidos e com alta demanda, quanto aqueles que necessitam de maiores investimentos, essa iniciativa é eficaz para desenvolver todos os aeroportos ao mesmo tempo. Houve 12 aeroportos concedidos, sendo divididos em blocos Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste. O bloco Nordeste inclui os aeroportos em Recife (PE), Maceió (AL), Aracaju (SE), João Pessoa (PB), Campina Grande (PB) e Juazeiro do Norte (CE). O bloco Sudeste é composto pelos aeroportos de Vitória (ES) e Macaé (RJ). O último bloco citado é o Centro Oeste, possuindo os aeroportos de Cuiabá (MT), Sinop (MT), Rondonópolis (MT), Alta Floresta (MT) e Barra do Garças (MT). Este último citado, não faz mais parte do processo atualmente, foi excluído em 2018.

As características desta rodada de concessões implicam em diversas mudanças,

sendo a principal que houve a extinção da participação da estatal Infraero na concessão, não houve outorga fixa, sendo esta variável de acordo com o valor arrematado pelo concessionário, o pagamento da primeira parcela adiado para após 5 anos, contribuindo para que a concessionária faça investimentos de infraestrutura neste período sem prejudicar seu caixa e não há limitação do número de aeroportos concedidos a cada investidor (SILVEIRA e QUINTILHANO, 2019).

Os efeitos de cada concessão e o que cada uma acarretou para o aeroporto e região serão estudados e analisados para que seja possível comprovar se as políticas de concessões no Brasil são positivas, visto que a projeção é que mais aeroportos sejam concedidos posteriormente. O resumo da arrecadação por bloco segue na Tabela 5.

Tabela 5- Características das rodadas de concessões por blocos

Bloco	Quantidade de aeroportos	Consórcio	Valor da concessão	Tempo de concessão
Nordeste	6	AENA Desarrollo Internacional SME S/A	R$ 1,9 bi	30 anos
Sudeste	2	ZURICH Airport Latin America LTDA	R$ 437 mi	30 anos
Centro-Oeste	4	SOCICAM Terminais Rodoviários e Representações LTDA e SINART Sociedade Nacional de Apoio Rodoviário e Turístico LTDA	R$ 40 mi	30 anos

Fonte: ANAC(2019) e adaptada pelos autores.

5. METODOLOGIA

O método usado para o desenvolvimento deste documento foi baseado no método sistemático de revisão que segundo Brereton *et al.* (2007) é uma forma baseada em análises a partir da revisão literária de artigos e demais documentos.

A revisão sistemática é uma forma de integração de informações a partir de diferentes estudos, podendo apresentar resultados conflitantes ou coincidentes, visto que cada autor tem um senso crítico diferente em um determinado assunto. Além disso, a metodologia é capaz de identificar lacunas para estudos futuros em determinado tema, auxiliando nas investigações (SAMPAIO, 2006).

Foi feito todo o procedimento para a escrita do artigo, sendo feita uma relação de artigos entre os anos 1986 - dias atuais pelos *sites* da CAPES e *Science Direct*. O ano inicial das pesquisas refere-se ao ano do artigo mais antigo encontrado, visto que esse tema é um tema atual, havendo a maioria da bibliografia presente nos dias atuais.

Foram selecionados diversos artigos procurando entender como aconteceram as concessões brasileiras com base em estudos de caso de outras concessões internacionais e os impactos que as concessões trouxeram ou irão trazer para o Brasil. Posteriormente, foi feita uma interpretação dos artigos e relato da revisão sistemática, sendo explicitada em forma de tabela, conforme será visto nos resultados deste documento.

6. RESULTADOS

De acordo com Silveira e Quintilhano (2019), a partir de 2010 o Brasil teve um aumento representativo no número de passageiros aéreos para distâncias superiores a 75 km, sendo que em 2006, o modal aéreo representava 38% de participação, contra 62% do modal rodoviário. Já em 2016, a participação do modal aéreo chegou a 65%.

O aumento percentual da utilização do modal aéreo mostra a popularização ocorrente e consequentemente a necessidade das concessões. Segundo Alencar (2017) a medida das concessões foi tomada devido a necessidade urgente de investimento nos aeroportos, buscando também melhorar os níveis de serviço e qualidade destes.

Há evidências que os aeroportos majoritariamente privatizados são mais eficientes que os aeroportos que são administrados/gerenciados pelo setor público, segundo Wanke (2013). Por isso, realizar uma reflexão sobre as concessões aeroportuárias brasileiras é importante, analisando o histórico e os resultados já apresentados atualmente.

A partir da revisão sistemática foram selecionados vários artigos que contribuíram para o estudo da reflexão sobre as concessões brasileiras, podendo observar na Tabela 6 todos os autores que contribuíram para tal, os *strings*, *qualis*, revista e um resumo do foco do artigo, podendo assim, filtrar e levantar dados.

Tabela 6- Artigos analisados para a pesquisa

Palavras-chave	Revista	Qualis	Autor/Ano	Foco do artigo
Airport privatisation	*Journal of Air Transport Management*	A2	ROLIM, BETTINI, OLIVEIRA (2016).	O artigo mostra o impacto que as privatizações aeroportuárias provocam na demanda de passageiros, usando o Brasil como exemplo de caso.
Airport privatisation	*Journal of Air Transport Management*	A2	NETO, et al (2016).	Sugere que a competição aeroportuária deve ter regras, devendo ser planejadas para cada caso de concessão entre o governo e a concessionária.
Airport privatisation	*Transportation Research Record*	B1	BETTINI, OLIVEIRA (2016).	Foi utilizado um modelo de plataforma de análise de dados para estudar os efeitos gerados pela privatização dos aeroportos brasileiros, mostrando que há possibilidade de expansão de operações e da rede aérea.
Airport Tax	GEOSUL	B4	SILVEIRA, QUINTILHANO (2019)	Realiza um estudo do histórico das concessões brasileiras e aspectos econômicos que ocorrem em paralelo ao tema, além da influência do governo.
Airport Management	*Journal of Air Transport Management*	A2	PACHECO, FERNANDES, SANTOS (2006).	Mostra como é o desempenho dos aeroportos após a privatização, visto que houve declínio na infraestrutura com a popularização aeroportuária.
Airport Management	Revista Científica Hermes	B5	RODRIGUES (2014)	Realizou estudo das principais dificuldades operacionais dos aeroportos brasileiros e possíveis soluções com influência de diversos fatores econômicos e de desenvolvimento.
Airport concessions	MERCATOR	B4	TEIXEIRA (2018).	Realiza uma análise das concessões atuais e como estas afetaram o planejamento territorial brasileiro.
Airport concessions	*Transport Reviews*	A2	FARRELL, VANELSLANDER (2015).	Examina diferenças e seme-lhanças das parcerias público privadas em setores de transporte brasileiro, mostrando a atração dos investidores em aeroportos.
Airport admnistration	*Transportation Research Part A*	A1	FERNANDES, PACHECO (2018).	Demonstra como foi o desenvolvimento dos aeroportos brasileiros a partir das concessões em um dado período.
Airport admnistration	*Journal of Air Transport Management*	A2	WANKE (2013)	Mostra as medidas de eficiência de aeroportos a partir de dois estágios, concluindo como infraestrutura, localidade e modelos de vôos se divergem.

Fonte: dos autores.

Rodrigues (2014) mostra em seu estudo as perspectivas de investimentos nos 20 principais aeroportos do Brasil entre os anos de 2011 até 2030 (projeção). Os dados foram coletados a partir de análises de instituições, obtendo um valor médio anual de R$ 1,71 milhões em investimento nos aeroportos. Os valores são muito altos e exigem planejamento do governo ou então das concessionárias, caso estejam sob administração privada. De acordo com Rolim, Bettini e Oliveira (2016) a privatização gera competição no setor, além disso, em estudos foi visto que os aeroportos

privatizados/concedidos possuem maior eficiência do que os públicos.

Além dos fatos já citados, os aeroportos privatizados, segundo Bettini e Oliveira (2016) são mais atraentes para as companhias aéreas, visto que possuem uma gestão mais flexível que facilita as relações verticais, negociação de novos vôos e desburocratização do posicionamento das aeronaves em portões. Com isso, há aumento da competição e posterior queda das tarifas, resultando em crescimento na demanda e pressão de investimento na infraestrutura e adequação dos aeroportos.

Traçando um comparativo entre o modelo brasileiro e os que ocorreram em outros países tem-se algumas análises que podem ser observadas na Tabela 7, de acordo com o estudo de Neto *et al* (2016).

Tabela 7: Comparativo das concessões internacionais e no Brasil

País	O que ocorreu?	Brasil
Reino Unido	Realizou as privatizações para melhorar a infraestrutura de energia do país sem ter que "gastar" do próprio investimento.	As concessões brasileiras preveem melhorias na infraestrutura aeroportuária em geral, visto que a maioria dos aeroportos estão trabalhando em condições de quase lotação.
México	Possuía uma política antitruste que possuía diversas regras para as privatizações e concessões no país.	A ANAC estabeleceu regras nas concessões que inclui vários critérios como: investimento, inflação, indicador de qualidade, fator de produtividade comparativa.
Austrália	Concessões ocorreram em fases e em cada fase houve regras distintas.	Em comparação a isso, o Brasil teve diversas rodadas de concessões, sendo que cada rodada teve regras diferentes, tentando cada vez mais adequar ao melhor modelo.

Fonte: dos autores.

Um dado interessante, é que segundo Villas Bôas (2014), o BNDES foi responsável em 2014 por financiar cerca de 76% dos investimentos em infraestrutura do país, em diversos setores. Isto não é uma boa estratégia, visto que é necessário abrir o capital de investimento externo, por isso, o BNDES propôs que uma saída seria incentivar as empresas do mercado a investir em títulos, assim o banco retornaria o investimento aos investidores para que assim haja aplicação de outras partes em infraestrutura. A atração de investidores internacionais dar-se-ia a partir da desburocratização dos processos, não havendo risco de atrasos e contratempos de projetos.

Conforme Rodrigues (2014), escolher privatizar ou não é um grande dilema, sendo dois fatores conflitantes. O primeiro fator é que privatização eleva o custo para o Estado ao ter que induzir empresas a servir para fins públicos. Porém, o segundo fator é que a privatização também elimina a responsabilidade do Estado, diminuindo a pressão de eficiência ao Estado

Bettini e Oliveira (2016) em seu estudo concluiu que após as privatizações houve crescimento na demanda de passageiros dos aeroportos, isso pode ser devido aos *feedbacks* positivos de investimento. Em contrapartida, Silveira e Quintilhano (2019) cita que após as primeiras duas rodadas foram analisados alguns fatores aeroportuários para mensurar a melhoria, como atendimento ao público, fluidez dos voos, processos de embarque/ desembarque, custo da passagem aérea tiveram alterações que pouco beneficiaram os clientes, havendo aumentos nas tarifas de passagens, principal forma de retorno do investimento feito pelos concessionários.

A Infraero antes do início das concessões no Brasil era uma das maiores administradoras de aeroportos do mundo, após isso, deu-se início a queda da empresa, sendo que esta não participou das últimas rodadas de concessões que ocorreram. Uma lacuna é que estudado o futuro da empresa, uma vez que esta não possui plano de reestruturação e esta administra ainda muitos aeroportos regionais, contribuindo para a interligação do país, conforme cita Fernandes e Pacheco (2018). Entretanto, segundo o anuário da ANAC (2017) a demanda pelo

transporte aéreo doméstico cresceu quase 4% entre os anos de 2016 e 2017, sendo a Infraero a maior mantenedora dos aeroportos domésticos e regionais do país.

Outro fator negativo em relação ao modelo como as concessões ocorreram, de acordo com Silveira e Quintilhano (2019), é devido à grande inadimplência dos concessionários, somando mais de R$ 13,2 bi, considerando os aeroportos de Guarulhos, Viracopos, Brasília, Galeão e Confins. Com os atrasos a ANAC está analisando e negociando o pagamento, isso ocorre, pois, o Estado está enfraquecido, as políticas que regem o país são controversas (neoliberais e conservadoras) e a capacidade de fiscalização de órgãos como a ANAC, Anatel e outros é falha (SILVEIRA e QUINTILHANO, 2019).

O diretor da IATA cita que se as concessões forem mal planejadas podem colocar em risco a economia dos aeroportos, sendo observado que 14% dos aeroportos do mundo possuem influência privada e estes movimentam cerca de 40% da população mundial, em contrapartida, cinco dos seis maiores aeroportos com movimentação do mundo são públicos (SILVEIRA e QUINTILHANO, 2019).

Outro fato, segundo o estudo de Alencar (2017), cita que 23 aeroportos do Brasil possuem mais de 10% de chances de privatização. Os fatores de análise foram diversos, avaliando logística, administração, economia, infraestrutura e outros. Dos 23 aeroportos com probabilidade de privatização, atualmente, há 15 aeroportos concedidos. De acordo com isso, é possível resumir que as concessões brasileiras, por mais que ainda sejam recentes, vêm se desenvolvendo gradativamente nas rodadas dos leilões.

O Brasil é um país de grandes dimensões, grandes empreendimentos e de difícil administração, por isso, as concessões são iniciativas que podem resultar em aeroportos mais eficientes. É necessário que haja fiscalização de pagamentos, concessões com regras claras e definidas e que estejam de acordo com o melhor modelo a ser absorvido pelo Brasil.

7. CONCLUSÕES

As concessões foram medidas urgentes que o governo brasileiro tomou para que os aeroportos estivessem preparados para receber a grande quantidade de pessoas que compareceram ao Brasil para a Copa do Mundo e as Olimpíadas. Além disso, os aeroportos já vinham sendo sobrecarregados, devido ao crescimento no número de passageiros, isso devido ao país estar em desenvolvimento, popularização do transporte aéreo e expansão da malha aeroviária.

Com a revisão sistemática realizada é possível observar que o Brasil seguiu o fluxo das privatizações aeroportuárias que vêm ocorrendo no mundo, ou seja, os aeroportos de maior movimentação do país tendem a serem privatizados.

Com o início das concessões em 2011, o governo deixa de assumir total responsabilidade, principalmente na infraestrutura dos aeroportos, enquanto as concessionárias realizam reformas e manutenções. Sendo assim, desde então foram 22 aeroportos concedidos em diversas regiões do país, somando um total de quase R$ 50 bilhões de reais nos leilões.

A partir disso, tem-se bibliografias que citam a evolução dos aeroportos concedidos às iniciativas privadas, já que há tendência que com as novas concessões e descentralização de vôos nos principais *hubs* brasileiros, haverá mais viagens diretas para diversos aeroportos, aumentando o fluxo de passageiros e o desenvolvimento da região.

Os ágios das concessões aeroportuárias superaram as expectativas, concluindo que há interesse dos investidores nos aeroportos brasileiros, já que o Brasil é um país em desenvolvimento e consequentemente têm muitos setores ainda a serem investidos. Os riscos de investimento nos aeroportos são menores, visto que após a concessão, já pode haver imediata recuperação do investimento a partir do recebimento das tarifas enquanto há o investimento nas reformas.

Em geral pode-se concluir que independentemente se os aeroportos são públicos ou com influência do setor privado, é necessário ajuste no modelo de administração de cada país/estado e observar qual a forma

mais efetiva para seus aeroportos, fazendo com que estes estejam cada vez mais eficazes, sustentáveis economicamente e atendendo a demanda com qualidade.

As concessões brasileiras já trouxeram muitos benefícios até o momento, mas é necessária que haja harmonia entre as concessionárias e a ANAC para que não haja inadimplências de pagamento das parcelas de concessões. Além disso, a Infraero é um órgão que foi muito atingido com as concessões, sendo necessária reestruturação do foco da empresa, podendo amadurecer os aeroportos domésticos e regionais, já que é uma tendência a regionalização.

Portanto, é importante que haja constante estudo das concessões no mercado brasileiro, visto que cada país absorve as iniciativas de uma forma. Além disso, há investidores e mercado em expansão, o que torna o Brasil um país muito atrativo e a partir das concessões é possível redirecionar os esforços do Estado para outros setores como saúde, educação e outros.

Há muitas lacunas ainda a serem estudadas, como o andamento das concessões brasileiras e no mundo, possíveis decisões dos órgãos públicos como a ANAC e a Infraero para potencializar os efeitos das concessões, melhores formas de leilões e rodadas de concessões, assim como novos modelos de contratos e diversos temas.

REFERÊNCIAS

ANAC, 2017. *Painel de indicadores.* Disponível em: http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-de-transporte-aereo/painel-de-indicadores-do-transporte-aereo . Acesso em: abril de 2019.

ANAC, 2019. *Resultado do leilão de aeroportos da 5ª rodada de concessões é homologado pela ANAC.* Disponível em:. https://www.anac.gov.br/noticias/2019/resultado-do-leilao-de-aeroportos-da-5a-rodada-de-concessoes-e-homologado-pela-anac Acesso em: 20 de junho de 2019.

ALENCAR, D. S. 2017. *Estudo da dinâmica das privatizações dos aeroportos brasileiros.* São José dos Campos, SP. 57 pag.

BETANCOR, O. RENDEIRO, R.,. 1999. *Regulating Privatized Infraestructures and Airport Services.* The world Bank. 68 pag.

BETTINI, H. F.A.J., OLIVEIRA, A.V.M. 2016. *Two-sided platforms in airport privatization.* Transportation Research Part. São Paulo. 17 pag. .,

BRERETON,P.; kitchenham, B, A.; Budgen, D.; Turner, M. Lessons from applying the systematic literacture review process within the software engineering domain. Journal of Systems and Software, v. 80, pp. 571 – 583, 2007.

CASTRO, P. (2012). *Aeródromos, aeroporto, cidade-aeroporto e aerotrópolis: Uma (re)visão de conceitos.* 12 pag. Caderno cursos de doutoramento em geografia FLUP.

CNT. (2015). *Transporte e economia – Transporte aéreo de passageiros*. – Brasília. 84 p.: il. Color. ; gráficos.

COSTA, A. F. 2017. *Uma amostra das concessões dos aeroportos brasileiros e medidas urgentes para salvar a infraestrutura aeroportuária do Brasil.* Estudo ANEI. 103 pag.

FARRELL, S., VANELSLANDER, T. 2015. *Comparison of Public–Private Partnerships in Airports and Seaports in Low- and Middle-Income Countries.* Transport Reviews. Bélgica. 24 pag.

FERNANDES, E.; PACHECO, R. R. 2018. *Managerial performance of airports in Brazil before and after concessions.* ELSEVIER. Rio de Janeiro. 13 pag.

GELHAUSEN, M.C; BERSTEN, P.; DIETER, W. (2018). *A new direct demand model of long-term forecasting air passengers and air transport movements at German airports.* Journal of Air Transport Management. 13 pag.

GRAHAM, A. (2011) *The objetives and outcomes of airports privatisation.* London. Research in Transportation Business & Management, 12 pag.

INFRAERO, 2017. *Transparência sobre a Infraero.* Disponível em: https://transparencia.infraero.gov.br/sobre-a-infraero/. Acesso em: abril de 2019.

NETO, C. M. S. P; et al. 2016. *Pro-competition rules in airport privatization: International experience and the Brazilian case.* Journal of Air Transport Management. São Paulo. 8 pag.

PACHECO, R.R.; FERNANDES, E. ; SANTOS, M.P.S. 2006. *Management style and airport performance in Brazil.* Journal of Air Transportation. Rio de Janeiro. 7 pag.

Plano Aeroviário Nacional 2018-2038. *Objetivos, necessidades e investimentos.* Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Brasília.

PENA, A.F. 2011. *Master of Science in Complex transport infrastructure systems public-private partnerships in the airport sector.* Instituto Superior Tecnico – Technical University of Lisbon, Portugal. 14 pag.

RODRIGUES, J. L. K. 2014. *Gestão e desafios da infraestrutura aeroportuária brasileira: dificuldades operacionais para a realização de grandes eventos.* Revista Científica Hermes. Taubate, SP. 20 pag.

ROLIM, P.S.W.;BETTINI, H.F.A.J; OLIVEIRA, A.V.M..2016. *Estimating the impact of airport privatization on airline demand: a regression-based event study.* ITA e USP, Brasil. Journal of Air Transport Management. 27 pag.

SAMPAIO, R. F. *Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese*. Belo Horizonte: Revista Brasileira de Fisioterapia, 2006.

SILVEIRA, M. R., QUINTILHANO, D. 2019. *Os efeitos das concessões aeroportuárias no brasil entre os anos de 2012 a 2018.* Florianópolis. 26 pag. Disponivel em:http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p87.

TEIXEIRA, S. H. S. 2018. *Corporate planning and airport concession in Brazil.* Mercator- revista geográfica. Ceará. 15 pag.

VILLAS BÔAS, B. 2014. *Como atrair o capital.* Revista EXAME. 7 pag.

XAVIER, L.G. 2015. *Concessão x privatização: definição e histórico.* Revista Câmara dos Deputados.

YOSIMOTO, V.; et al. (2016) *A lógica atual do setor aeroportuário brasileiro,* Rio de Janeiro, 292 pag. Revista do BNDES.

WANKE, P.F. 2013. *Physical infrastructure and flight consolidation efficiency drivers in Brazilian airports: A two-stage network-DEA approach.* ELSEVIER. Rio de janeiro. 5 pag.

MENSURAÇÃO DA CULTURA DE SEGURANÇA EM AEROPORTOS

Wilson Rocha Gomes
Universidade Positivo
Rua Professor Pedro Viriato Parigot de Sousa, 5300 - CEP 81280-330
Campo Comprido – Curitiba-Pr.
Fone: +554135265041, wilson_rocha_gomes@hotmail.com

RESUMO

A gestão do risco às operações em aeroportos é um desafio a ser superado pelos gestores de segurança operacional, uma vez que estatisticamente os acidentes continuam a acontecer nas áreas operacionais. Foi desenvolvida uma metodologia de avaliação quantitativa da cultura de segurança, segundo o modelo adaptado de Cooper (2016), sob a perspectiva funcionalista que culturas profissionais podem ser projetadas, e que uma cultura de segurança positiva pode atuar como antecedente na prevenção de acidentes. O resultado da aplicação do modelo teórico foi denominado de NACSO – Nível aceitável de cultura de segurança operacional.

Palavras-chave: Administração, Cultura Organizacional, Cultura de Segurança, Aeroportos, Risco.

ABSTRACT

Managing risk to airport operations is a challenge for operational safety managers to overcome as statistically accidents continue to occur in operational areas. A methodology for quantitative assessment of safety culture was developed, according to Cooper's adapted model (2016), from the functionalist perspective that professional cultures can be projected, and that a positive safety culture can act as an antecedent in accident prevention. The result of the application of the theoretical model was called NACSO - Acceptable level of operational safety culture.

Keywords: Administration, Organizational Culture, Safety Culture, Airports, Risk.

1. INTRODUÇÃO

Os aeroportos têm se constituído ao longo do tempo como equipamentos urbanos integradores para a mobilidade das pessoas. No entanto, de acordo com ICAO (2013), não se pode garantir que as atividades humanas ou os sistemas construídos pelo homem estejam absolutamente livres de erros operacionais e de suas consequências, tais como os acidentes. A segurança é uma característica dinâmica do sistema de aviação, pelo qual os riscos de segurança devem ser continuamente mitigados.

Entretanto, os acidentes (aqui denominados de ocorrências aeronáuticas) continuam a acontecer de forma recorrente, dentro e fora dos aeroportos. De acordo Santos et al (2018), no período entre 2008 a 2017 foram contabilizadas 3.500 ocorrências aeronáuticas dentro dos aeroportos brasileiros.

Para ICAO (2013), as ocorrências aeronáuticas se dão em função de um desequilíbrio entre a produção e a segurança. Dentre os Fatores Contribuintes (humano, material e operacional) que dão origem às ocorrências aeronáuticas, os relacionados aos Fatores Humanos lideram em todas as estatísticas, nacionais e internacionais.

Dentre os Fatores Humanos, destaca-se a cultura organizacional, o clima organizacional e a cultura do grupo de trabalho como três fatores que igualmente se constituem na literatura de cultura de segurança como causadores de acidentes individuais e organizacionais, dentre outros. (CENIPA, 2017; REASON, 1998; COOPER, 2016).

De acordo com CENIPA (2018) no Brasil, ao se considerar o período de 2008 a 2017, os Fatores Contribuintes "cultura organizacional" e "clima organizacional" estiveram presentes (conjuntamente a outros Fatores) na consecução de 87 ocorrências aeronáuticas, que culminaram em 148 fatalidades, enquanto que o Fator "cultura de grupo" contribuiu para a consecução de 51 ocorrências aeronáuticas, que deram origem a 97 fatalidades. Evidencia-se, portanto, que tais Fatores relacionados à cultura de segurança têm dado causa (não isoladamente) a acidentes aeronáuticos no Brasil, com respectiva perda de vidas humanas e bens materiais.

O Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional -SGSO foi implantado na aviação civil brasileira para promover o gerenciamento do risco à atividade área e aeroportuária. A cultura de segurança se configura como um dos componentes desse sistema, dentro de um "pilar" chamado de "Promoção" (ANAC, 2018). A Promoção da Segurança é uma combinação de cultura de segurança, treinamento e atividades que sustentam a implantação e operação de um SGSO (YOUNG, 2014). Para ASHFORD et al (2015, p. 323), uma das finalidades da Promoção da Segurança é "criar uma cultura de segurança positiva".

Da interação entre os três Fatores Humanos apresentados (cultura organizacional, clima organizacional e cultura de grupo) que dão causa às ocorrências aeronáuticas, e da importância do desenvolvimento de uma cultura de segurança positiva, é que surge a motivação desse trabalho, que se propôs a medir a cultura de segurança operacional em aeroportos. Partiu-se da concepção que é possível mensurá-la quantitativamente, para que posteriormente se possa utilizar o resultado como um indicador dentro do sistema de monitoramento da segurança operacional. Esse indicador seria integrado ao NADSO – Nível Aceitável de Desempenho da Segurança Operacional (ANAC, 2018).

Ao se pesquisar a literatura sobre cultura de segurança disponível nas bases científicas, identificou-se no modelo da cultura de segurança recíproca de Cooper (2000, 2016) uma metodologia adequada para se estudar o fenômeno. Nesse modelo a perspectiva da cultura de segurança é vista e medida sobre duas unidades de análise: indivíduo (Fatores Psicológicos e Comportamento) e a organização (Sistema de Gerenciamento da segurança).

Essa configuração do modelo de Cooper (2000, 2016), que se propõe a investigar e medir o Sistema de Gerenciamento da Segurança em uso na organização, a forma de como essa organização estabelece e mantém os padrões de comportamento de segurança

esperados, bem como monitora os aspectos psicológicos relacionados ao clima de segurança, está alinhado com a performance esperada dos atores do sistema de aviação civil a partir do cumprimento das recomendações previstas no *Safety Management Manual* da Organização da Aviação Civil Internacional – ICAO, ou seja, atingir um alto nível de segurança operacional, o que promove, portanto, o equilíbrio entre a produção e a proteção.

Acredita-se que uma métrica de monitoramento contínuo da cultura de segurança poderá ao longo do tempo revelar capacidades preditivas para o sistema, contribuindo consecutivamente para a redução do número e da gravidade das ocorrências aeronáuticas nos aeroportos. Nesta perspectiva, a cultura de segurança é projetada na forma de uma cultura profissional, com possibilidades de se tornar predominante sobre a cultura organizacional. A possibilidade de ser projetar uma cultura de segurança orientada aos objetivos do sistema torna-se, portanto, uma estratégia válida para o desenvolvimento sustentável do transporte aéreo.

2. CULTURA DE SEGURANÇA

O termo cultura de segurança surgiu pela primeira vez na indústria nuclear, como parte dos resultados da avaliação feita pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) sobre as causas do acidente de Chernobyl, que ocorreu na Ucrânia em 1986 (COOPER, 2000; GADD & COLLINS, 2002; MORROW et al, 2014; COOPER, 2016; NAEVESTAD et al, 2018).

Para Cooper (2016), essa teria sido a primeira vez que o termo foi cunhado com o objetivo de encapsular e explicar erros organizacionais e violações, dando origem ao primeiro construto de cultura de segurança para lidar com as falhas organizações dentro dos domínios da segurança.

Não obstante, a literatura científica apresenta a cultura de segurança como um dos principais condicionantes para a prevenção de acidentes organizacionais e individuais (REASON, 2016; COOPER, 2016; GULDENMUND, 2010).

Van Nunen et al (2017) realizaram um estudo bibliométrico acerca de publicações relacionadas à cultura de segurança no *Web of Sience*, compreendendo o período de 1900 a 2015. Foram identificas ao todo 1789 publicações, originadas por 4591 autores, em 775 periódicos, 76 países ou territórios e 1866 instituições. Duas áreas principais de pesquisa tiverem destaque no domínio da cultura de segurança: cultura de segurança organizacional e cultura de cuidado de saúde e segurança do paciente. As três principais publicações são de Guldenmund (2000), com 410 citações, Sexton et al. (2006), 319 citações – da área da saúde e segurança do paciente, e Cooper (2000), com 207 citações. Os pesquisadores concluíram ainda que os estudos nessa área indicavam um movimento dos aspectos técnicos para os aspectos mais humanos.

Entretanto, os resultados dessas pesquisas, artigos e relatórios apontaram que não há consenso entre os pesquisadores sobre uma definição única ou modelo para a cultura de segurança. (REASON, 1997; GULDENMAND, 2000; HSE, 2005; COOPER, 2016).

Também não há consenso em relação ao tipo de abordagem mais apropriada para o estudo da cultura de segurança: na perspectiva interpretativista se busca entender a cultura predominante ao invés de avaliá-la, enquanto que na abordagem funcionalista se vê a cultura como uma variável, ou seja, a organização tem uma cultura e subculturas que podem ser projetadas para se adequarem às circunstâncias prevalecentes. (SMIRCICH, 1993; COOPER, 2016).

Para ICAO (2013, p. 10), "a melhoria contínua no desempenho da segurança é possível quando a segurança se torna um valor dentro de uma organização, bem como uma prioridade". Os "valores" são características presentes na cultura das organizações, e quando se tornam prioridade podem constituir-se como uma cultura e/ou subcultura dominante (SCHEIN, 2009; COOPER, 2016; GULDENMUND, 2000; GLENDON & STANTON, 2000). No entanto, Gadd e Collins (2002, p. 13) advertem que a "presença de subculturas

dentro de uma organização sugere a ausência de uma cultura de segurança coesa".

Para Reason (1998), os valores compartilhados e as crenças são fundamentos de uma cultura de segurança, sugerindo que a cultura de segurança pode ser analisada sob duas perspectivas diferentes: "a organização é" (as crenças, atitudes e valores de seus membros em relação à busca pela segurança) e "como a organização possui" (as estruturas, práticas, controles e políticas para aumentar o nível da segurança). Embora as duas abordagens sejam essenciais para a promoção da cultura de segurança, a segunda perspectiva (a organização possui uma cultura de segurança), além de estar mais alinhada com a perspectiva de Cooper (2016), tem a funcionalidade de ser mais facilmente projetada e moldada para se alcançar uma cultura de segurança eficaz, de forma que se torne "um mecanismo que impulsiona o sistema em direção ao objetivo de manter a resistência máxima em relação aos seus riscos operacionais, independente da personalidade da liderança ou das preocupações comerciais atuais". (REASON, 1998, p.294)

2.1. Modelo de COOPER

Na perspectiva de Cooper (2000, 2016), a cultura de segurança é tida como uma subcultura da cultura organizacional, tendo o potencial de reduzir a probabilidade da ocorrência de desastres, de acidentes com características de baixa frequência e alta gravidade, e também aqueles associados às tarefas rotineiras.

Foi a partir do conceito de cultura de segurança adotado pela Comissão de Saúde e Segurança do Reino Unido (HSC, 1993) e do modelo do determinismo recíproco de Bandura (1977a, 1977b, 1986), dentre outras abordagens teóricas, que postulou o seu constructo cultura de segurança, definindo-o como o "produto de interações dirigidas a múltiplos objetivos entre pessoas (psicológico), trabalho (comportamento) e a organização (situacional). " (COOPER, 2000, p.118).

Cooper (2000) argumenta, ao justificar a escolha do modelo de Bandura (1977a, 1977b, 1986), que as pessoas não são deterministicamente controladas por seus ambientes e nem totalmente autodeterminadas, ou seja, há um estado de determinismo recíproco onde ambiente e pessoas se auto influenciam de forma dinâmica e perpétua. Essas interações são bidirecionais, de diferentes intensidades, podendo ser simultâneas, fazendo com que os indivíduos sejam produtos e produtores de seu ambiente.

Dessa forma, para Cooper (2016), a cultura organizacional prevalecente (segurança) se reflete nas relações recíprocas dinâmicas, por meio das percepções e atitudes dos membros (psicológico), do comportamento de segurança direcionado aos objetivos estabelecidos (comportamento), pela operacionalização das metas organizacionais, e pela presença e qualidade dos sistemas e subsistemas de segurança da organização que apoiam o comportamento direcionado por objetivos (situacional).

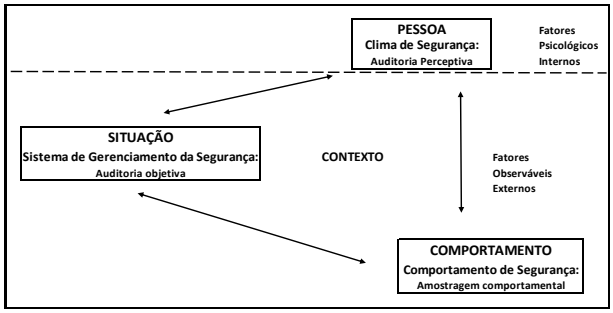


Figura 1 - Modelo recíproco da cultura de segurança (adaptado de Cooper, 2000)

Para uma melhor compreensão do modelo proposto exemplificado na Figura 1, Cooper (2000) define o "produto" do modelo da cultura de segurança como "o grau de esforço observável com qual todos os membros da organização direcionam sua atenção e ações para melhorar a segurança diariamente". O grau de esforço proposto por Cooper (2000, p. 115) significa a "interação entre a intensidade e a persistência do gasto energético", ou seja, quanta energia uma pessoa gasta para melhorar a segurança diária e por quanto tempo enfrenta os obstáculos que lhe são apresentados.

Essa definição de "produto" é importante, uma vez que contribui para esclarecer como deve ser uma cultura de

segurança em uma organização e as estratégias necessárias para o desenvolvimento desse produto, fornecendo dessa maneira uma medida de resultado tangível para avaliar até que ponto essas organizações podem ou não possuir uma "boa" cultura de segurança (COOPER, 2000).

3. APLICAÇÃO DO MODELO

O modelo recíproco da cultura de segurança de Cooper (2000, 2016) foi adaptado e aplicado no Aeroporto Internacional de Curitiba - Afonso Pena, localizado na cidade de São José dos Pinhais - região metropolitana de Curitiba. Esse modelo contemplou duas unidades de análise: o indivíduo (componentes Fatores Psicológicos e Comportamento de Segurança) e a organização (Sistema de Gerenciamento da Segurança), bem como exigiu a elaboração e validação de três instrumentos de coleta de dados para que fosse possível medir o grau de cultura de segurança dos trabalhadores da área operacional do aeroporto.

O primeiro instrumento constituiu-se na forma de um questionário (elaborado a partir da revisão de trabalhos sobre clima e cultura de segurança) contendo 47 perguntas para a coleta de dados dos "Fatores Psicológicos" relacionados ao clima de segurança (Valor, Atitude, Normas e Percepção), em Dimensões caraterísticas de cultura de segurança mais representativas na literatura (Gestão/supervisão, Sistemas de segurança, Riscos, Pressão no trabalho, Competência, Procedimentos e regras). Nesse arranjo (Figura 2), a decomposição dos constructos do questionário contribuiu para a redução da incerteza (HUBBARD, 2015). Objetivou-se medir nesse instrumento "como as pessoas se sentem".

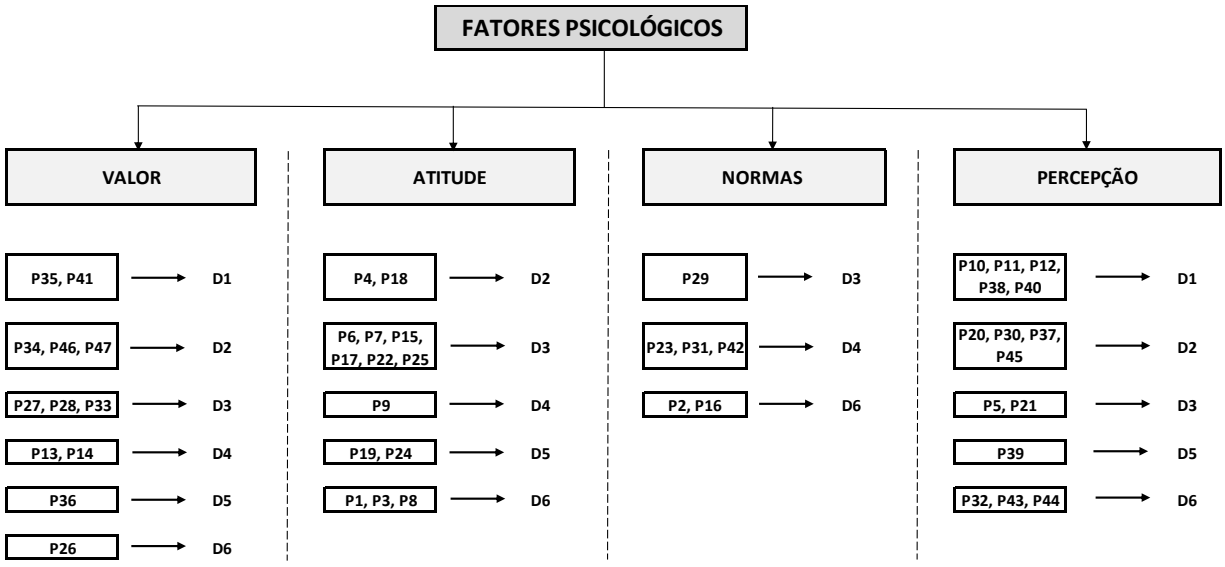


Figura 2 –Questionário (Fatores Psicológicos e Dimensões da Cultura de Segurança)

O primeiro pré-teste foi realizado conjuntamente com o principal executivo da direção do aeroporto (Superintendente) e com o Gerente de Operações, responsável por todo o gerenciamento da área operacional do aeroporto. As contribuições possibilitaram a reordenação das perguntas do questionário, bem como ajustes e retificações em termos técnicos, o que contribuiu para clarificar o entendimento das questões apresentadas.

O segundo pré-teste foi realizado junto a uma Psicóloga, especialista em psicologia da aviação, Coronel QFO da reserva da Força Aérea Brasileira, com ampla experiência em prevenção e investigação de acidentes aeronáuticos. A contribuição permitiu alinhar e convalidar o enlace dos Fatores Psicológicos (Valor, Atitude, Normas, Percepção) às Dimensões (Gestão/Supervisão, Sistemas de Segurança, Riscos, Pressão no Trabalho,

Competência e Procedimentos/Regras) contidas nas 47 perguntas do questionário.

O terceiro pré-teste foi aplicado junto à Coordenadora de Segurança Operacional do aeroporto pesquisado, uma vez que além de possuir ampla experiência nessa atividade (já a exerceu em outros aeroportos) figura como uma das principais responsáveis pelo cumprimento dos requisitos obrigatórios de segurança operacional (ANAC, 2018). As contribuições favoreceram o ajuste de alguns termos utilizados. O quarto e último pré-teste foi aplicado a outros 10 colaboradores, sendo 5 deles pertencentes à administração aeroportuária e envolvidos nas atividades operacionais e de segurança, e os outros 5 escolhidos aleatoriamente na área operacional. Após o preenchimento do questionário, foram indagados pergunta a pergunta sobre o que tinham entendido e se havia dúvidas em relação à alguma questão, o que favoreceu a calibragem final do instrumento (HUBBARD, 2015). As contribuições possibilitaram pequenos ajustes em algumas questões, bem como oportunizaram a redefinição da escala de concordância, com a inclusão da coluna "não sei/não quero opinar".

Os questionários foram aplicados numa amostra estatisticamente representativa da população dos trabalhadores das áreas operacionais do aeroporto, totalizando-se 294 questionários válidos (nível de confiança 95% com margem de erro 5,17%).

Na Tabela 1 pode-se verificar a normalidade da distribuição referente aos Fatores Psicológicos, enquanto que na Tabela 2 se aponta os valores mínimos, máximos, médias e desvio padrão da amostra.

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Valor	294	,92	5,00	4,2219	,61549	-1,407	,142	3,209	,283
Atitude	294	1,00	5,00	4,0085	,76605	-,929	,142	,881	,283
Normas	294	,33	5,00	3,9093	,80356	-1,247	,142	2,446	,283
Percepção	294	,67	5,00	3,9986	,68238	-1,355	,142	2,965	,283
Valid N (listwise)	294								

Tabela 1 – Normalidade da distribuição

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Valor	294	,92	5,00	4,2219	,61549
Atitude	294	1,00	5,00	4,0085	,76605
Percepção	294	,67	5,00	3,9986	,68238
Normas	294	,33	5,00	3,9093	,80356
Valid N (listwise)	294				

Tabela 2 – Estatística descritiva (Fatores Psicológicos)

Para o Alpha de Cronbach obteve-se o valor de 0,91. Verificou-se ainda um ranqueamento de importância entre os componentes dos Fatores Psicológicos (Tabela 3), bem como o valor *p* (0,000) apontou que havia diferenças entre eles (Tabela 4), o que ensejou o aprofundamento da análise desse Fatores.

	Mean Rank
Valor	3,05
Atitude	2,54
Normas	2,12
Percepção	2,29

Tabela 3 – Ranqueamento

N	294
Chi-square	86,942
Df	3
Asymp. Sig.	,000

Tabela 4 - Teste de Friedman

O resultado parcial desse componente (Fatores Psicológicos) demonstrou um índice (média) de 4,03 pontos (Tabela 2), numa escala de 5 pontos - nível excelente.

Adicionalmente, as análises estatísticas realizadas por meio do uso do *software Statistical Package for Social Science for Windows* (SPSS), demonstraram, dentre outros achados, que não há homogeneidade nos "Fatores Psicológicos" entre os trabalhadores por área de atuação (administração aeroportuária, empresa aérea, empresas terceirizadas, outras) por escolaridade e por nível hierárquico, o que sugere uma diferenciação e degradação da abordagem ao risco nas atividades operacionais. Verificou-se ainda que aeroportos de alta complexidade operacional desenvolvem uma cultura de segurança assertiva à mitigação do risco, que não há correlação entre o tempo de trabalho no aeroporto e o nível de desenvolvimento da cultura de segurança, e que há relação positiva entre o nível de escolaridade e os Fatores Psicológicos da cultura de segurança.

O segundo instrumento constituiu-se da composição de um *checklist* contendo 44 comportamentos padrões para a coleta de dados do componente "Comportamento de Segurança", aplicado em metodologia de observação sistemática (MARKONI e LAKATOS, 2016) durante o processamento de 30 aeronaves estacionadas nos pátios de manobras (aplicou-se o percentual de tolerância do erro da amostra $E_0 = 5\%$).

Nos dois pré-testes iniciais utilizaram-se as imagens gravadas disponibilizadas pelo aeroporto acerca das operações das aeronaves. Nesses dois casos, o posicionamento original das câmeras, a amplitude e a qualidade das imagens não possibilitaram a visão simultânea e detalhada de todo o entorno do processamento das aeronaves, motivos pelos quais a utilização das imagens gravadas não se mostrou adequada, sendo, portanto, descartada

Nos dois pré-testes seguintes, as observações foram realizadas em tempo real a partir de posições nas áreas públicas do aeroporto e de circulação de passageiros que davam acesso ao mirante, com vista para a área operacional. O pesquisador posicionou-se de tal forma a não ser visto pelos trabalhadores. A posição do vidro e a luminosidade externa maior que a interna contribui para que o pesquisador permanecesse oculto.

Esses dois pré-testes, além de contribuírem para o refinamento do posicionamento de observação e dos itens do *checklist*, apontaram para a necessidade da inclusão do campo "não aplicável", em virtude das diferenças do nível de atendimento (veículos, equipamentos e pessoas) no processamento das aeronaves. A qualificação e experiência do observador em atividades operacionais em aeroportos contribuíram para a acuracidade dos registros.

A amostra foi determinada a partir de um método estatístico de amostragem sistemática descrita por Barbetta (2004), onde se considerou o horário de maior movimento (hora pico) projetado com base no Hotran (Horário de Transporte) em vigor. Objetivou-se medir "o que as pessoas fazem".

O pesquisador, a partir de uma posição elevada em relação ao nível do solo (Figura 3), onde não havia a possibilidade de ser visto, observou o atendimento das aeronaves pelas equipes de solo, desde o alinhamento da aeronave na trajetória para entrada na posição de estacionamento, até o momento de partida, onde um veículo do tipo trator rebocador a reconduz até a posição de início de táxi para decolagem.

A pontuação se deu numa escala de cinco pontos, considerando as relações entre o número de comportamentos seguros observáveis esperados, o número de comportamentos esperados observáveis realizados, o número de comportamentos não seguros observáveis realizados e o número de comportamentos não aplicáveis à especificidade de cada operação. As medições foram realizadas durante um período de cinco dias, sequencialmente, a partir da hora pico de

referência, totalizando 25 horas e 42 minutos de observação, com um tempo médio de 51 minutos de observação por aeronave O resultado parcial desse componente demonstrou um índice de 4,56 pontos (numa escala de 5 pontos) - nível excelente.



Figura 3 - Perpectiva do observador

Comportamentos seguros esperados (padrão)	1320
Comportamentos não aplicáveis (peculiaridade das operações)	82
Comportamentos seguros observáveis esperados na amostra	1238
Comportamentos seguros realizados	1130
Comportamentos não seguros realizados	108
Porcentagem dos comportamentos seguros realizados	91,28%

Tabela 5 – Resultado dos observações

O terceiro instrumento constituiu-se por meio do acesso a Fontes Primárias (Formulários de Inspeção Diária e Relatório de Inspeção Aeroportuária) para a coleta de dados referente ao componente "Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional". Objetivou-se medir "o que a organização tem".

Alguns dos itens constantes no Formulário de Inspeção Diária se mostraram genéricos em relação às especificidades do regulamento normatizador (ANAC, 2018), bem como apontavam margem para interpretações subjetivas, o que geraria incerteza e imprecisão nos dados (HUBBARD, 2015).

Diante desses achados, embora se reconheça a importância do documento, essa fonte de dados foi descartada. Considerou-se exclusivamente o Relatórios de Inspeção Aeroportuária cujo recorte transversal coincidia com a aplicação dos outros dois instrumentos de pesquisa (Questionário e *Checklist*). Foram identificadas no Relatório 8 itens de não conformidade.

Classes		Requisitos exigidos
I	IA	71
	IB	122
II		152
III		169
IV		171

Tabela 6 - Requisitos (ANAC, 2018)

A partir do total de requisitos obrigatórios para um aeroporto de classificação IV (Tabela 6), em comparação às não conformidades encontradas, obteve-se o percentual de conformidade esperado. O

resultado parcial desse componente, que demonstrou, portanto, o nível de conformidade de atendimento dos requisitos obrigatórios de monitoramento da segurança operacional de um aeroporto classe IV apontou um índice de 4,87 pontos (numa escala de 5 pontos) - nível excelente.

Por fim, a aplicação integral do modelo resultou da criação do indicador NACSO - Nível Aceitável de Cultura de Segurança Operacional, atingindo o índice de 4,48 pontos (média simples dos três resultados parciais anteriores), conforme demonstrado na Figura 4.

De forma similar, uma visão multifacetada do NACSO pode ser observada na Figura 5.

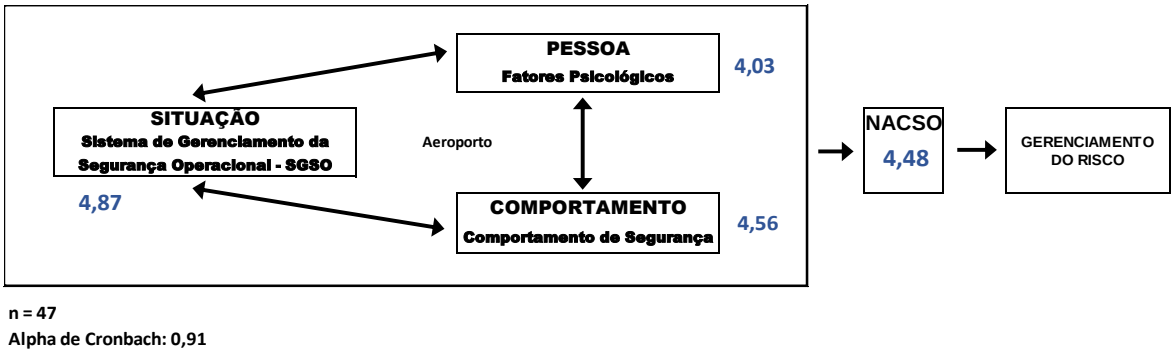


Figura 4 - Resultado do modelo adaptado – NACSO (Gomes, 2018)

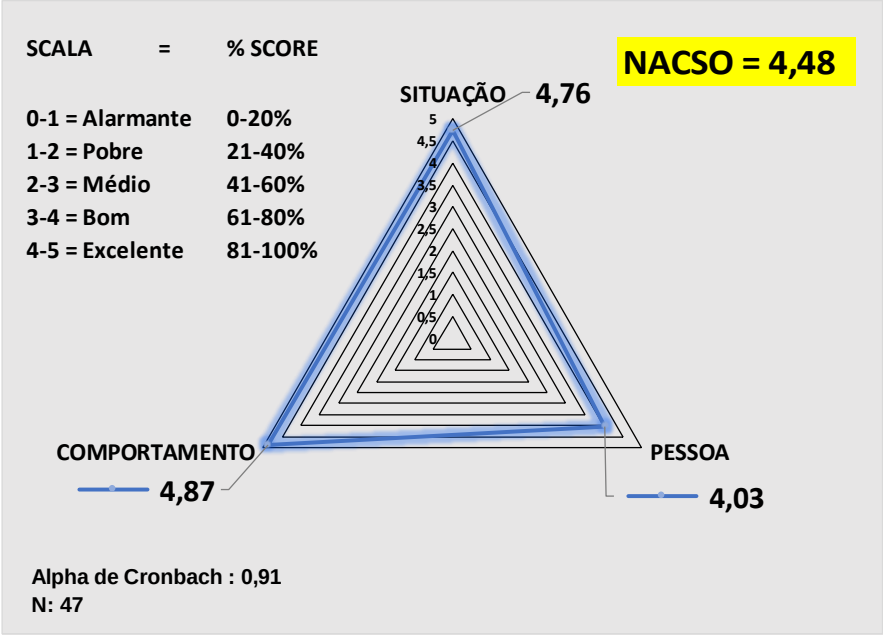


Figura 5 - Visão multifacetada do NACSO (Gomes, 2018)

O NACSO – Nível Aceitável de Cultura de Segurança Operacional – deriva, portanto, da adaptação do conceito de "produto" (Cooper, 2000) ao conceito de "NADSO" (ANAC, 2018), refletindo a modelagem do resultado do modelo de Cultura de Segurança de Cooper (2000, 2016) para o ambiente aeroportuário. Dessa forma, um Nível Aceitável de Cultura de Segurança Operacional em Aeroportos significa o grau

da cultura de segurança (COOPER, 2000) com que os membros da comunidade aeroportuária direcionam suas ações aos objetivos de segurança do "SGSO" (ANAC, 2018), refletindo, portanto, no desempenho da segurança operacional do aeroporto.

Assim, o NACSO dá a direção de desenvolvimento da cultura de segurança, traduzindo quantitativamente o que as pessoas sentem e fazem no aeroporto em relação à cultura de segurança, com base no que a organização tem e promove no gerenciamento do risco da segurança operacional. Tem-se, portanto, uma inovação em processos, disruptiva, que busca tornar o invisível (cultura de segurança) em uma métrica tangível para a organização.

4. CONCLUSÃO

O objetivo principal desse trabalho foi demonstrar a aplicação e validação do modelo adaptado da cultura de segurança de Cooper (2000, 2016) no Aeroporto Internacional de Curitiba - Afonso Pena. Esse modelo contemplou duas unidades de análise: o indivíduo (componentes Fatores Psicológicos e Comportamento de Segurança) e a organização (Sistema de Gerenciamento da Segurança). Foram aplicados três instrumentos de coleta de dados: um questionário contendo 47 perguntas para a coleta de dados dos Fatores Psicológicos, um *checklist* contendo 44 comportamentos padrões para a coleta de dados do fator Comportamento de Segurança, e acesso a Fontes Primárias para a coleta de dados referente ao Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional – SGSO. O resultado da aplicação do modelo teórico foi denominado de NACSO – Nível aceitável de cultura de segurança operacional, atingindo o valor de 4,48 pontos – nível excelente. O modelo representa uma janela de oportunidades para o monitoramento e desenvolvimento da cultura de segurança em aeroportos, uma vez que traz em seu bojo características que refletem de forma inovadora as diferentes dinâmicas organizacionais que buscam o equilíbrio entre a produção e a segurança, o que em última análise, contribui para a perpetuidade das organizações envolvidas no transporte aéreo.

5. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

A presente metodologia, contida integralmente em dissertação de Mestrado (GOMES, 2018), foi elaborada de forma que possa ser replicada em aeroportos que possuam a seguinte configuração: aviação regular em operação e um Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional – SGSO implantado. Este condicionante, ao se considerar o universo da aviação civil, se configura como uma limitação operacional.

Recomenda-se a aplicação do modelo em outros aeroportos, promovendo-se assim a possibilidade de comparações de medições entre aeroportos de mesma classificação operacional (ANAC, 2018). Espera-se, portanto, nesse cenário, que surjam condições para o aperfeiçoamento da metodologia, contribuindo dessa forma para que futuras análises longitudinais possam em algum momento revelar capacidades preditivas latentes do modelo, em função das relações recíprocas das variáveis que foram operacionalizadas.

Ainda, com algumas adaptações nos instrumentos de coleta de dados, a metodologia poderá ser adaptada para se medir a cultura de segurança de trabalhadores das empresas aéreas.

6. REFERENCIAS

AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. ANAC. RBAC 153:2018: Aeródromos – operação, manutenção e resposta à emergência. Brasília, DF. 2018.

ASHFORD, Norman J; STANTON, H.P. Martin; MOORE, Clifton A; COUTU, Pierre; BEASLEY, John R. Operações Aeroportuárias: as melhores práticas. 3 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2015.

BANDURA, A. Social Learning Theory. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1977a

BANDURA, A., 1977b. Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. Psychological Review. v.84, n.1, p. 191-215, 1977b

BANDURA, A. Social Foundations of Thought and Action: A Social Cognitive Theory. Prentice-Hall, 1986.

BARBETTA, P. A. Estatística Aplicada às Ciências Sociais. 5 ed. Florianópolis: Editora da FUSC, 2004.

CENTRO DE PREVENÇÃO E INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. CENIPA. NSCA 3-13:2017: Protocolo de investigação de ocorrências aeronáuticas da aviação civil conduzida pelo estado brasileiro. Brasília, 2017.

CENTRO DE PREVENÇÃO E INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. CENIPA. Portal. Painel SIPAER – lista de ocorrências. [online] Disponível em: <http://painelsipaer.cenipa.aer.mil.br/>. Acesso em 02. ago. 2018.

COOPER, M.D. Towards a model of safety culture. Safety Science. v.36, n.2, p.111-136, 2000.

COOPER, M.D. Navigating the safety culture construct: a review of the evidence. Franklin: Bsms, 2016.

GADD, S.; COLLINS, A. M. Safety culture: A review of the literature. Sheffield: Health &Safety Laborator: 2002.

GLENDON, A.I; STANTON, N.A. Perspectives on safety culture. Safety Science. v.34, n.1, p.193-214, 2000.

GOMES, Wilson Rocha. Cultura de segurança em aeroportos: proposta de metodologia para avaliação quantitativa. 2018. Dissertação. Universidade Positivo, Curitiba, 2018.

GULDENMUND, F. The nature of safety culture: a review of theory and research. Safety Science. v.34, n.1, p.215-257, 2000.

GULDENMUND, F. Understanding Safety Culture. Uitgeverij Boxpress. Nederland, p. 167-176, 2010.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. HSE. A review of safety culture and safety climate literature for the development of the safety culture inspection toolkit, Research Report 367, HSE Books, London, 2005.

HUBBARD, Douglas W. Como mensurar qualquer coisa encontrando o valor do que é intangível nos negócios. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2015.

HSC, ACSNI Study Group on Human Factors. 3rd Report: Organising for Safety. Health and Safety Commission, HMSO, London, 1993.

ICAO. *Safety management manual* – DOC 9859. Montreal, 2013.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica. São Paulo: Atlas, 2016.

MORROW, Stephanie L; KOVES, G. Kenneth; BARNES, Valerie E. Exploring the relationship between safety culture and safety performance in U.S. nuclear power operations. Safety Science: v. 69, n. 1, p. 37-47, 2014.

NAEVESTAD, Tor-Olav; HESJEVOLL, Ingeborg Storesund; PHILIPS, Ross Owen. How can we improve safety culture in transport organizations? A review of interventions, effects and influencing factors. Transportation Research. Part F 54, p. 28-46, 2018.

REASON, J. Managing the risk of organizational accidents. Routledge. London, 1997.

REASON, J. Achieving a safe culture: theory and practice. Work & Stress. v.12, n.3, p.293-306, 1998.

REASON, J. Organizational Accidents Revisited. CRC Press. NW, 2016.

SANTOS, L. C. B.; ALMEIDA, C. A.; PEIXOTO, D. D. M.; et al. Aeródromos - Sumário Estatístico 2008-2017. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA). Brasília. 2018.

SCHEIN, Edgar H. Cultura organizacional e liderança. São Paulo: Atlas, 2009.

SEXTON, John B; HELMREICH, Robert L.; NEILANDS, Torsten B; ROWAN, Kathy; VELLA, Keryn; BOYDEN, James; ROBERTS, Peter R; THOMAS, Eric J. The Safety Attitudes Questionnaire: psychometric properties, benchmarking data, and emerging research. BMC. v.6, n. 44, p. 1-10, 2006.

SMIRCICH, Linda. Concepts of Culture and Organizational Analysis. Administrative Science Quarterly. v.28, n. 3, p. 339-358,1983.

VAN NUNEN, Karolien; LI, Jie; RENIERS, Genserik; PONNET, Koen. Bibliometric analysis of safety culture research. Safety Science. 2017.

YOUNG, Seth. Aeroportos: planejamento e gestão. Porto Alegre: Bookman, 2014.

A LONG TERM DEMAND FORECASTING FRAMEWORK FOR A NETWORK OF AIRPORTS

Bachir Amadou
ANAC du Niger
BP727, Niamey, République du Niger, FAX (+227) 20 73 80 56, bachir_a@ymail.com

Mohammed Sbihi
Labo ENAC, ENAC
7 av. E. Belin, 31055, Toulouse, France, (+33)562174000, mohammed.sbihi@enac.fr

Luis Gustavo Zelaya Cruz
Universidade Federal Fluminense-UFF
Campus da Praia Vermelha, Niteroi, CEP 24.210-240, lgustavozelaya@gmail.com

Felix Mora-Camino
UFF, Labo ENAC and Durban University of Technology
7 av. E. Belin, 31055, Toulouse, France, (+33)562174000, moracamino@hotmail.fr

ABSTRACT

The study presented in this paper has been developed with the perspective of generating long term development plans for a network of domestic airports. As a first step towards this objective, the problem of generating long term predictions of demand for a network of domestic airports is considered. This is a step towards the objective of producing long term capacity investments plans allowing to manage adequately a network of airports. Then the different demand flows at airports which are relevant to characterize the need for new airport facilities and upgardes in capacity, are analysed and compatibility constraints between these flows introduced. An appraisal is realized about the basic data necessary to perform these network demand forecasts. A sequential scheme is proposed to generate in a coherent way predictions of the different dimensioning networks and airport flows. Passenger, freight and aircraft flows from and to external airports are also considered in this study.

Keywords: Air Transport, Airport planning, Networks, Demand, Long-term prediction.

1. INTRODUCTION

In this paper is considered the problem of generating long term predictions of demand for a network of domestic airports. This is a step towards the objective of producing long term capacity investments plans allowing to manage adequately this network of airports. Then it appears important to identify the different demand flows at airports which are relevant to characterize the need for new airport capacity and its dimensioning. Any national or regional network of airports is also related to the rest of the world. Then traffic at the considered airports will be dependent of traffic from and to some external airports. So, passenger, freight and aircraft flows from and to these external airports must be considered in such a study. Here is introduced a general network composed of N airports connected to M outside airports. In this study it is considered that the concurrent as well as complementary transport modality to air transportation is a generic ground transportation modality.

2. THE DEMAND PREDICTION PROBLEM

To distinguish the different flows affecting the different areas of the airports, a new decomposition of airport areas is introduced. Traditionally airports have been decomposed in two closely related subsystems: The landside where passengers and freight evolve in an autonomous way and airside where aircraft loaded with passengers and freight evolve. Each of these subsystems occupies a part of the area of the airport and presents specific operations, facilities and buildings.

The airside is composed of runways, taxiways and apron-gate areas-on which aircraft and ground handling vehicles operate. The land around the runway up to the limits of the airport as well as approach and departure paths to and from runways are in general considered to be part of the airside. Aircraft traffic at landside is under direct supervision by the airport control tower. The airside may accommodate a large variety of other activities such as general aviation, air freight, maintenance and support, and military. The landside has been defined as those areas and operations within the airport boundaries, complementary to the airside. Some complementary activities related with air freight, maintenance and support as well as military can take place at landside.

The main visible components of landside are: the ground interface with surrounding area, in general an urban area or an industrial area, or both; the arrival/departure halls for passengers and freight; the registration areas (passenger registration, freight registration and costums); the control areas for passengers and goods; the boarding areas.

The development of airport security facilities, as the result of airports and air transportation having been many times the target of terrorist attacks, has led to establish inside the airport different control lines, distinguishing in particular local passengers from connecting passengers. Also with the increase of commercial activities inside airports, in general free shops, with the aim to offer a secondary source of profit for airport management, it has been necessary to guarantee access to this commercial areas to a maximum of passengers. This has led in this study to subdivide the landside in two subsystems so that specific flows can be considered: the *groundside* covering the ground interface with surrounding area, arrival/departure halls, registration areas and local controls; the *inside* covering control areas for connecting passengers or goods, free shops areas, waiting areas and boarding areas. These two areas can also be further subdivided by considering passengers and freight processing. Figure 1 provide a general display of such subdivision.

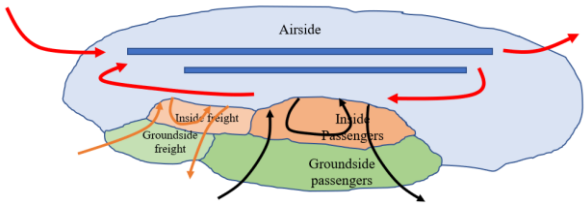


Figure 1: The main traffic areas at airports

There aircraft flows are represented by red arrows, freight flows are represented by orange arrows and passenger flows are represented by black arrows. There the blue area is the airside, the green areas are groundside areas (passengers and freight) and the orange areas are the inside areas (passengers and freight).

3. CHARACTERIZING LANDSIDE FLOWS AT AIRPORTS

Here flows of passengers, freight and aircraft must be considered. Prediction of flows of departing/arriving flows of passengers or freight will be useful for the dimensioning of passenger and freight airport terminals in a first step and then in a second step to predict flows of aircraft. To avoid seasonal effects which should need a detailed prediction of traffic, which does not appear feasible on the long run, passenger and freight demands, as well as other types of demand (aircraft traffic at airports) can be considered on a year basis while peak period factors can be adopted to consider the busiest periods where capacity constraints may be active.

Passengers flows

It can be considered that a large majority of passenger trips are round trips, so that the quantity T_{ij}^{pt} represents the flow of passenger trips (a trip may be composed of a succession of connected flights) from airport *i* to airport *j* and back from airport *j* to airport *i* during year *t*. The passenger flow from an airport *i* of the considered network to an external airport *k* during period t is written Θ_{ik}^{pt}. It is also assumed that at urban centers with multiple airports, airports are merged into a unique airport entity for planning purposes. So, the consideration of these passenger flows leads to the definitions of airport dimensioning global quantities such as:

$$O_i^{pt} = \sum_{j=1, j\neq i}^{N} T_{ij}^{pt} + \sum_{k=1}^{M} \Theta_{ik}^{pt} \quad i = 1, \cdots, N \tag{1}$$

and

$$D_i^{pt} = \sum_{j=1, j\neq i}^{N} T_{ji}^{pt} + \sum_{k=1}^{M} \Theta_{ki}^{pt} \quad i = 1, \cdots, N \tag{2}$$

where *N* is the considered number of airports, O_i^{pt} is the amount of passenger trips *generated* at airport *i* during period *t*, $D_i^{pt}$is the amount of passenger trips attracted by airport *i* during period *t*. Then the total number of *departing and arriving passengers* at airport *i* during period *t* is twice the primary departing passenger flow, which is given by:

$$PD_i^{pt} = O_i^{pt} + D_i^{pt} \quad i = 1, \cdots, N \tag{3}$$

and the primary arriving passenger flow:

$$PA_i^{pt}: \; PA_i^{pt} = PD_i^{pt} i = 1, \cdots, N \tag{4}$$

These passengers will cross and use airport facilities from (or to) the ground side with ground transportation access and parking, to (or from) the airside at boarding to (or deboarding from) an aircraft.

Another important flow of passengers can make use of some airport facilities: *connecting passengers* which will use only a part of airport facilities for deboarding, control, internal transfer, waiting and boarding. The amount of connecting passengers depends not only on generated or attracted passengers flows by airports but also on the structure of the air transport network. While for a point to point network with direct flights, there will be no connecting passengers, for a hub network, the volume of connecting passengers may outcome the volume of primary passengers.

Let $K_{I_{jk}}^{pit}$ be at period *t* the proportion of passengers which uses airport *i* as a network connecting airport during their round trip from airport *j* to airport *k* , both belonging to the airport network, with:

$$K_{I_{jk}}^{pit} \geq 0 \quad \forall\, i, j, k \in \{1, \cdots, N\}, i \neq j, i \neq k, j \neq k \tag{5}$$

and if it is assumed to have at most only one connection in an air passenger trip:

$$\tau_{I_{jk}}^{pt} = \sum_{i=1, i\neq j, i\neq k}^{N} K_{I_{jk}}^{pit} \leq 1 \quad \forall\, k, j \in \{1, \cdots, N\}, j \neq k \tag{6}$$

where 1- $\tau_{I_{jk}}^{pt}$ is the proportion of passengers performing a direct flight between airports *j* and *k* of the network.

Let $K_{E_{jk}}^{pit}$ be at period *t* the proportion of passengers which uses airport *i* as a network connecting airport during their round trip from network airport *j* to external airport *k*, with

$$K_{E_{jk}}^{pit} \geq 0 \quad \forall i,j \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j, k \in \{1,\cdots,M\} \quad (7)$$

and if it is assumed to have at most only one connection in an air passenger trip:

$$\tau_{E_{jk}}^{pt} = \sum_{i=1,i\neq j}^{N} K_{E_{jk}}^{pit} \leq 1 \quad \forall j \in \{1,\cdots,N\}, \forall k \in \{1,\cdots,M\} \quad (8)$$

where 1- $\tau_{E_{jk}}^{pt}$ is the proportion of passengers performing a direct flight between network airport *j* and external airport *k*.

It will be assumed that the same connecting airport is used in mean on the return trip. Then the volume of connecting passengers, or secondary passengers at airport *i*, either arriving or departing, will be given by:

$$SA_i^{pt} = SD_i^{pt} = 2\left(\sum_{j=1,j\neq i}^{N}\sum_{k=1,k\neq i,k\neq j}^{N} K_{I_{jk}}^{pit} T_{jk}^{pt} + \sum_{j=1,j\neq i}^{N}\sum_{k=1}^{M} K_{E_{jk}}^{pit} \Theta_{jk}^{pt}\right) \quad (9)$$

where the coefficient 2 refers to round trips with connection.

Finally, the amounts of secondary passengers which can use partially (inside and airside) the airport facilities and of primary passengers which can use fully (groundside, inside and airside) the airport facilities, are given in the following table:

Table 1: Passengers flows identification

Passenger operation	Passenger location	Primary passenger flow	Secondary passenger flow	Total
arrival	groundside	PA_i^{pt}	___	PA_i^{pt}
arrival	inside	PA_i^{pt}	SA_i^{pt}	PA_i^{pt}+SA_i^{pt}
arrival	airside	PA_i^{pt}	SA_i^{pt}	PA_i^{pt}+SA_i^{pt}
departure	groundside	PD_i^{pt}	___	PD_i^{pt}
departure	inside	PD_i^{pt}	SD_i^{pt}	PD_i^{pt}+SD_i^{pt}
departure	airside	PD_i^{pt}	SD_i^{pt}	PD_i^{pt}+SD_i^{pt}

Then, in Table 2, the dimensioning passenger flows for the different airport components are listed.

Table 2. Passenger flow and airport components interaction

	Primary passenger flows	Secondary passenger flows
Ground side components influenced by passenger flows	Ground Airport Access Check-in area Security control area Control passport (departure) Control passport (Entrance) Baggage area Custom control Rest rooms	Passport control Security control area
Inside Components influenced by passenger flows	Boarding gate Duty free area Rest rooms Waiting rooms and loundges	Passport control Security control area Boarding gate Duty free area Rest rooms Waiting rooms and loundges

Freight flows

In the case of air freight transportation, the flows considered are supposed to be measured in tons, and freight is under a process of transfer from one place to another without return (no round trip), so that the quantity T_{ij}^{ft} represents the flow of freight in tons from airport *i* to airport *j* during year *t*. The freight flow from an airport *i* of the considered network to an external airport *k* during period t is written Θ_{ik}^{pt}. So, the consideration of these freight flows leads to the definitions of airport dimensioning global quantities such as:

$$O_i^{ft} = \sum_{j=1,j\neq i}^{N} T_{ij}^{ft} + \sum_{k=1}^{M} \Theta_{ik}^{ft} \qquad i = 1,\cdots,N \quad (10)$$

and

$$D_i^{ft} = \sum_{j=1,j\neq i}^{N} T_{ji}^{ft} + \sum_{k=1}^{M} \Theta_{ki}^{ft} \qquad i = 1,\cdots,N \quad (11)$$

where O_i^{ft} is the amount of freight *generated* (departing) at airport *i* during period *t*, $D_i^{ft}$is the amount of freight attracted (arriving) by airport *i* during period *t*.

Here also, another important flow of air freight can make use of some airport facilities: *connecting freight flows* which will use only the airside airport facilities for deboarding, control and board air freight while the primary freight flows use also the ground access to airport i.e. its landside. The amount of connecting freight flows depends here also not only on generated or attracted freight flows by airports but also on the structure of the air transport network. While for a point to point network with direct flights, there will be no connecting freight, for a hub network, the volume of connecting freight may outcome the volume of direct freight directed from or

to the airport hub. Let $K_{I_{jk}}^{fit}$ be at period *t* the proportion of freight which uses airport *i* as a network connecting airport during their round trip from airport *j* to airport *k* , both belonging to the airport network, with

$$K_{I_{jk}}^{fit} \geq 0 \quad \forall\, i,j,k \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j, i \neq k, j \neq k \tag{12}$$

and if it is assumed to have at most only one connection in an air passenger trip:

$$\tau_{I_{jk}}^{ft} = \sum_{i=1,i\neq j,i\neq k}^{N} K_{I_{jk}}^{fit} \leq 1 \quad \forall\, k,j \in \{1,\cdots,N\}, j \neq k \tag{13}$$

where 1- $\tau_{I_{jk}}^{ft}$ is the proportion of freight performing a direct flight between airports *j* and *k* of the network.

Let $K_{E_{jk}}^{fit}$ be at period *t* the proportion of passengers which uses airport *i* as a network connecting airport during their round trip from network airport *j* to external airport *k*, with

$$K_{E_{jk}}^{fit} \geq 0 \quad \forall\, i,j \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j, k \in \{1,\cdots,M\} \tag{14}$$

and if it is assumed to have at most only one connection in an air passenger trip:

$$\tau_{E_{jk}}^{ft} = \sum_{i=1,i\neq j}^{N} K_{E_{jk}}^{fit} \leq 1 \quad \forall\, j \in \{1,\cdots,N\}, \forall k \in \{1,\cdots,M\} \tag{15}$$

where 1- $\tau_{E_{jk}}^{ft}$ is the proportion of passengers performing a direct flight between network airport *j* and external airport *k*. Then the volume of connecting freight, or secondary freight at airport *i*, either arriving or departing, will be given by:

$$SA_i^{ft} = SD_i^{ft} = \sum_{j=1,j\neq i}^{N} \sum_{k=1,k\neq i,k\neq j}^{N} K_{I_{jk}}^{fit}\, T_{jk}^{ft} + \sum_{j=1,j\neq i}^{N} \sum_{k=1}^{M} K_{E_{jk}}^{fit}\, \Theta_{jk}^{ft} \tag{16}$$

Finally, the amounts of secondary freight which can use partially (inside and airside) the airport facilities and of primary passengers which can use fully (groundside, inside and airside) the airport facilities, are given in the following table:

Table 3: Freight flows identification

Freight operation	Freight location	Primary freight flow	Secondary freight flow	Total
arrival	groundside	PA_i^{ft}	___	PA_i^{ft}
arrival	airside	PA_i^{ft}	SA_i^{ft}	PA_i^{ft}+SA_i^{ft}
departure	groundside	PD_i^{ft}	___	PD_i^{ft}
departure	airside	PD_i^{ft}	SD_i^{ft}	PD_i^{ft}+SD_i^{ft}

Then, in Table 4, the dimensioning freight flows for the different airport components are listed.

Table 4: Freight flow and airport Components interaction

	Primary Freight flow	Secondary freight flow
Ground side Components influenced by Flow	Ground Airport Access Check-in area Baggage area Security Control (Departure) Custom control (Entrance)	Baggage area Security Control area Custom control
Inside Components influenced by Flow	-	-

4. AIRCRAFT FLOWS CHARACTERIZATION

Considering round trips and transfers, passengers flow from airport *i* to airport *j* of the network is given by:

$$F_{I_{ij}}^{pt} = T_{ij}^{pt} + T_{ji}^{pt} + \left(\begin{array}{c} \sum_{k=1,k\neq i,k\neq j}^{N} K_{I_{kj}}^{pit}\, T_{kj}^{pt} + \sum_{k=1,k\neq i,k\neq j}^{N} K_{I_{jk}}^{pit}\, T_{jk}^{pt} \\ + \\ \sum_{k=1}^{M} K_{E_{kj}}^{pit}\, \Theta_{kj}^{pt} + \sum_{k=1}^{M} K_{E_{jk}}^{pit}\, \Theta_{jk}^{pt} \end{array} \right) \tag{17}$$

$\forall i,j \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j$

Considering direct trips and transfers, freight flow from airport *i* to airport *j* is given by:

$$F_{I_{ij}}^{ft} = T_{ij}^{f} + \sum_{k=1,k\neq i,k\neq j}^{N} K_{I_{kj}}^{fit}\, T_{kj}^{pt} + \sum_{k=1}^{M} K_{E_{kj}}^{fit}\, \Theta_{kj}^{ft} \quad \forall i,j \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j \tag{18}$$

Then, introducing a medium size $S_{I_{ij}}^{pt}$ for passengers aircraft operating between network airports *i* and *j* during period *t*, as well as a medium expected passengers load factor α_{Iij}^{pt} with $0 \leq \alpha_{Iij}^{pt} \leq 1$, it is possible to compute the necessary mean flow of aircrafts $F_{I_{ij}}^{at}$ from airports *i* to *j* to cover the expected passengers demand F_{ij}^{pt}, $\forall i,j \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j$:

$$F_{I_{ij}}^{apt} = \lfloor F_{I_{ij}}^{pt} / (\alpha_{Iij}^{pt} \cdot S_{I_{ij}}^{pt}) \rfloor \tag{19}$$

The size of the operated passenger aircraft between two airports is, when passengers demand is relevant, mainly related with the distance between the airports and their runways characteristics (length). Then, introducing a medium size $S_{E_{ij}}^{pt}$ for passengers aircraft operating between network airport i and external airport j during period t, as well as a medium expected passengers load factor α_{Eij}^{pt} with $0 \leq \alpha_{Eij}^{pt} \leq 1$, it is possible to compute the necessary mean flow of aircrafts $F_{E_{ij}}^{at}$ from airports i to j to cover the expected passengers demand $F_{E_{ij}}^{pt}, \forall i \in \{1, \cdots, N\}, j \in \{1, \cdots, M\}$:

$$F_{E_{ij}}^{apt} = \lfloor F_{E_{ij}}^{pt} / (\alpha_{Eij}^{pt} \cdot S_{E_{ij}}^{pt}) \rfloor \quad (20)$$

Then, the arriving and departing flows of passenger aircrafts at network airport i are given by:

$$\Phi A_i^{apt} = \Phi D_i^{apt} = \sum_{j=1, j \neq i}^{N} F_{I_{ij}}^{apt} + \sum_{j=1}^{M} F_{E_{ij}}^{apt} \quad (21)$$

Passengers aircraft in the considered network offers a transportation freight capacity in their hold. Let for a passenger aircraft of medium size $S_{I_{ij}}^{pt}$, $H_{I_{ij}}^{pt}$ be its freight capacity measured in tons and let β_{Iij}^{pt}, with $0 \leq \beta_{Iij}^{pt} \leq 1$, be the expected percentage of effective use of it, then, the mean offered freight capacity offered by passenger aircrafts between airports i and j is given by $F_{I_{ij}}^{apt} \cdot H_{I_{ij}}^{pt} \cdot \beta_{Iij}^{pt}$ and if :

$$F_{I_{ij}}^{ft} \leq F_{I_{ij}}^{apt} \cdot H_{I_{ij}}^{pt} \cdot \beta_{Iij}^{pt} \quad (22)$$

no need of freight aircraft is present from airport i to airport j. Otherwise, $H_{I_{ij}}^{ft}$ being the mean freight capacity of freight aircrafts between network airports i and j, and α_{Iij}^{ft} with $0 \leq \alpha_{Iij}^{ft} \leq 1$ being the mean load factor, the necessary number of freight aircraft is then given by:

$$F_{I_{ij}}^{aft} = \lfloor (F_{I_{ij}}^{ft} - F_{I_{ij}}^{apt} \cdot H_{I_{ij}}^{pt} \cdot \beta_{Iij}^{pt}) / (H_{I_{ij}}^{ft} \cdot \alpha_{Iij}^{ft}) \rfloor \quad (23)$$
$$\forall i, j \in \{1, \cdots, N\}, i \neq j$$

Passenger aircrafts operating in the links between network airports and the exterior airports offer a transportation freight capacity in their hold. Let for a passenger aircraft of medium size $S_{E_{ij}}^{pt}$, $H_{E_{ij}}^{pt}$ be its freight capacity measured in tons and let β_{Eij}^{pt}, with $0 \leq \beta_{Eij}^{pt} \leq 1$, be the expected percentage of effective use of it, then, the mean offered freight capacity offered by passenger aircrafts between network airport i and external airport j is given by $F_{E_{ij}}^{apt} \cdot H_{E_{ij}}^{pt} \cdot \beta_{Eij}^{pt}$ and if :

$$F_{E_{ij}}^{ft} \leq F_{E_{ij}}^{apt} \cdot H_{E_{ij}}^{pt} \cdot \beta_{Eij}^{pt} \quad (24)$$

no need of freight aircraft is present from airport i to airport j. Otherwise, $H_{E_{ij}}^{ft}$ being the mean freight capacity of freight aircrafts between network airport i and external airport j, and α_{Eij}^{ft} with $0 \leq \alpha_{Eij}^{ft} \leq 1$ being the mean load factor, the necessary number of freight aircrafts is then given by:

$$F_{E_{ij}}^{aft} = \lfloor (F_{E_{ij}}^{ft} - F_{E_{ij}}^{apt} \cdot H_{E_{ij}}^{pt} \cdot \beta_{Eij}^{pt}) / (H_{E_{ij}}^{ft} \cdot \alpha_{Eij}^{ft}) \rfloor \quad (25)$$
$$\forall i \in \{1, \cdots, N\}, j \in \{1, \cdots, M\}$$

The arriving and departing flows of freight aircrafts at airport i are then given respectively for $i \in \{1, \cdots, N\}$ by:

$$\Phi A_i^{aft} = \sum_{j=1, j \neq i}^{N} F_{I_{ji}}^{aft} + \sum_{k=1}^{M} F_{E_{ki}}^{aft} \quad (26)$$

and

$$\Phi D_i^{aft} = \sum_{j=1, j \neq i}^{N} F_{I_{ij}}^{aft} + \sum_{k=1}^{M} F_{E_{ik}}^{aft} \quad (27)$$

Observe that if $\Phi A_i^{aft} \geq \Phi D_i^{aft}$, some freight aircraft will leave airport i with no freight or with a reduced freight with respect to the mean load factor since anyway aircraft flow balance at each airport must be satisfied over a period such as a year.

Then, in Table 5, the dimensioning aircraft flows for the different airside components are listed.

Table 5. Aircraft flows and airport components interaction

	Passenger aircraft flows	Freight aircraft flows
Landside components influenced by aircraft flows	Runway Taxiways Aircraft stands Aircraft parking areas Hangars Maintenance Air navigation building and facilities Ground handling facilities	Runway Taxiways Aircraft stands Aircraft parking areas Hangars Maintenance Air navigation building and facilities Ground handling facilities

5. DATA FOR AIRPORT DIMENSIONING

According to the above analysis, the following input data appears sufficient to be able to estimate the different dimensioning flows in a network of airports,:

- Basic passenger and freight demand distributions given by :

$$[T_{ij}^{pt}] \text{ and } [T_{ij}^{ft}] \quad i,j \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j, \quad (28)$$
$$[\mathcal{O}_{ki}^{pt}]\,[\mathcal{O}_{ik}^{pt}] \text{ and } [\mathcal{O}_{ki}^{ft}], [\mathcal{O}_{ik}^{ft}]$$
$$i \in \{1,\cdots,N\}, k \in \{1,\cdots,M\}$$

- Networks parameters:

Passengers:

$$K_{I_{jk}}^{pit} \; i,j,k \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j \neq k$$
$$K_{E_{kj}}^{pit} \; i,j \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j, k \in \{1,\cdots,M\}. \quad (29)$$

Freight:

$$K_{I_{jk}}^{fit} \; i,j,k \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j \neq k \quad (30)$$
$$K_{E_{kj}}^{pit} \; i,j \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j, k \in \{1,\cdots,M\}$$

- Load factors:

Passenger load factors:

$$\alpha_{Iij}^{pt} \; i,j \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j \;,$$
$$\alpha_{Eik}^{pt} \; i \in \{1,\cdots,N\}, \quad k \in \{1,\cdots,M\} \quad (31)$$

Freight hold load factors:

$$\beta_{Iij}^{ft} \; i,j \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j$$
$$\beta_{Eik}^{ft} \; i \in \{1,\cdots,N\}, k \in \{1,\cdots,M\} \quad (32)$$

Freighters load factors:

$$\alpha_{Iij}^{ft} \; i,j \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j$$
$$\alpha_{Eik}^{ft} \; i \in \{1,\cdots,N\}, k \in \{1,\cdots,M\} \quad (33)$$

The demand prediction resulting in the distribution of flows of passengers and freight between airports will be conducted from an adaptation of the sequential approach for transport demand prediction. This will be described in the next paragraph.

With respect to the network parameters, either for passengers or freight, first it is to say that the majority of them are expected to be equal to zero since in general few alternate path to a direct path are considered by airlines. In some specific cases these coefficients can be obtained exactly:

- In a network with point to point flights, all these coefficients will be equal to zero.
- In the case of a network organized around a unique hub (airport 1), these proportion coefficients will be such as:

$$K_{I_{jk}}^{p1t} = 1 \;\; \forall \; j,k \in \{1,\cdots,N\}, j \neq k,$$
$$K_{I_{1k}}^{pit} = 0 \;\; \forall \, i, \; k \in \{1,\cdots,N\}, i \neq k, \quad (34)$$
$$K_{I_{j1}}^{pit} = 0 \;\; \forall \, i,j \in \{1,\cdots,N\}, i \neq j$$

- In more general cases, a way to get an estimation of the values of these coefficients will be through the resolution of an assignment problem.

With respect to the prediction of load factors for passenger aircraft (cabin and hold) and for freight aircraft, different approaches can be adopted and mixed according to the available data and the stage considered in the planning horizon: historical data can be extrapolated, goal values for air carriers can be adopted and sets of scenari can be produced.

6. THE PROPOSED PREDICTION FRAMEWORK

The proposed prediction framework describes the different processing steps to get the predicted dimensioning flows for each airport.

A different treatment must be done to flows between two network airports and flows between a network airport and an external airport.

Either for passengers as for freight transportation, starting from a multimodal (ground and air transportation) generation-attraction study for network airports and from a prediction of end to end air flows between network airports and external airports (matrices $[\mathcal{O}_{ik}^{pt}]$ *and* $[\mathcal{O}_{ik}^{ft}]$) , a multimodal distribution of flows between network airports can be performed, then for each network connection, modal assignment of flows can be realized. This leads to the computation of matrices $[T_{ij}^{pt}]$ and $[T_{ij}^{ft}]$. Then, adopting values for the network parameters and the different mean load factors, all the dimensioning flows of the network airports can be computed using expressions of the previous section.

The whole process is represented in Figure 2 where for $i \in \{1, \cdots, N\}$:

$$\tilde{O}_{Ii}^{pt} = O_{Ii}^{pt} - \sum_{k=1}^{M} \mathcal{O}_{ik}^{pt},\ \tilde{D}_{Ii}^{pt} = D_{Ii}^{pt} - \sum_{k=1}^{M} \mathcal{O}_{ki}^{pt} \quad (35)$$

$$\tilde{O}_{Ii}^{ft} = O_{Ii}^{ft} - \sum_{k=1}^{M} \mathcal{O}_{ik}^{ft},\ \tilde{D}_{Ii}^{ft} = D_{Ii}^{pt} - \sum_{k=1}^{M} \mathcal{O}_{ki}^{pt} \quad (36)$$

and $$T_{ij}^{mpt} = T_{ij}^{pt} + T_{ij}^{gpt} \quad T_{ij}^{mft} = T_{ij}^{ft} + T_{ij}^{gft} \quad (37)$$

where T_{ij}^{gpt} and T_{ij}^{gft} are respectively the ground passenger and freight flows between network airports *i* and *j*.

It is important to emphasize that at this stage, no specific models or techniques need to be proposed to solve the sequence of problems composing the developed framework (generation-attraction, spatial distribution and mode choice). A large range of techniques has already been referred in the previous chapter and the choice of specific predictive models and techniques appears to be strongly related with the characteristics (network size and structure, historical perspective, quality and quantity available data, previous studies and length of prediction horizon, …) of each airport network planning case study.

In this approach, the drivers of the prediction are the generation and attraction levels of the network airports and the air flows with external airports for which an estimation must be provided at each stage of the planning process. Since these drivers depend on observed flows (initial stage) and on predictions of economic and demographic variables on the following stages, their degree of uncertainty increases with the stage in the planning process. This reverberates on the accuracy of the prediction of the dimensioning flows at airport. Different scenarios with respect to the increasing uncertainty of these drivers can be generated and tested so that the range of the possible outcomes for the dimensioning flows of the network airports can be explored.

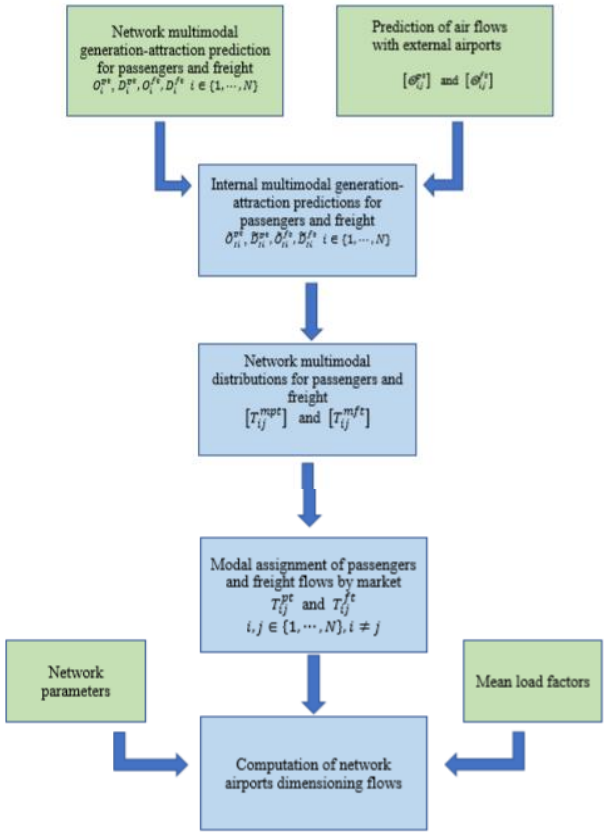


Figure 2: The proposed framework for the estimation of dimensioning flows

7. CONCLUSION

This study has introduced a framework to generate long term predictions of demand for airport capacity over a network of airports. After identifying dimensionning flows for airports, their interdependence at the network level has been analyzed and compatibility constraints have been established. Then, starting from the prediction of a limited number of data drivers, the different steps of the framework can be developed. This should produce coherent predictions of the dimensioning flows of each network airport.

8. REFERENCES

KINCAID I., TRETHEWAY M., GROS S., LEWIS D., ACRP Report 76: "Addressing uncertainty about future airport activity levels in Airport Decision Making", Transportation Research Board, Washington D.C., 2012.

KASIOUMI E., "Emerging planning approaches in airport areas: the case of Paris-Charles de Gaulle (CDG)", Regional

Studies, Regional Science , Volume 2, 2015 - Issue 1, pp 408-414.2015.

OCDE , “Airport Demand Forecasting for Long-Term Planning”, July 2015.

GELHAUSEN M., P. BERSTER and D. WILKEN , “A new Model of long term forecasting air demand passenger and the number of air transport movements of Germany”, Conference: Air Transport Research Society (ATRS) World Conference, January 2016.

KWAKKEL J., WALKER E., WIJNEN R.A.A, “The treatment of uncertainty in airport strategic planning: the case of Schiphol airport’s long-term vision”, 12th Air Transport Research Society World Conference, Athens, Greece, 2008.

ASHFORD N. , “Problems With Long Term Air Transport Forecasting”, Journal of Advanced Transportation, Vol 9:2, pp. 101- 114, 1985.

POSTORINO M. N., “Air demand modelling: overview and application to a developing regional airport”, WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, Vol 38, pp.77-108, 2010.

COMMITTEE ON AVIATION ECONOMICS AND FORECASTING (A1J02), “Aviation Demand Forecasting A Survey of Methodologies”, Transportation Research Number E-C040, August 2002.

OCDE, “Forecasting Airport Demand Review of UK Airports Commission Forecasts and Scenarios”, The International Transport Forum, 2015.

DANESI A. , L. MANTECCHINI and F. PAGANELLI, “Long-term and short-term forecasting techniques for regional airport planning”, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, VOL. 12, NO. 3, FEBRUARY 2017.

OACI, “Search results for: 'global air transport outlook to 2030 and trends’, 2040 circular 333, 2013.

METODOLOGIA HQCM UTILIZADA PARA REFORMAS EM *RUNWAYS* DE AEROPORTOS REGIONAIS - UM ESTUDO DE CASO DA SUA UTILIZAÇÃO NA PPD 14/32 DO AEROPORTO DE PAULO AFONSO (SBUF-INFRAERO).

Marcelo Ferreira dos Santos
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO
Aeroporto de Paulo Afonso (SBUF), Rodovia BA 210, km 03, Paulo Afonso/BA, CEP- 48604-005, (75) 3281 4011, mfsantos@infraero.gov.br

Manoel Martins de Oliveira Junior
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO, Aeroporto de Paulo Afonso (SBUF), Rodovia BA 210, km 03, Paulo Afonso/BA, CEP- 48604-005, (75) 3281 4027, mmoliveirajunior@infraero.gov.br

ABSTRACT

This paper presents a continuous application of the HQCM methodology through your practices used on the airports' runways of the INFRAERO Company (Brazil). Into of actuals Brazilians airports scenes, where the government is bettering the regional infrastructure, this new prediction tool increases the acts of quality and maintenance management applied to pavements airports already constructed into this Country.

In the programed year of intervention of corrective maintenance procedures on the Paulo Afonso Airport's runway, in 2018, were discovered some diagnostics, needed to accomplish the real behavior of the runway 14/32. In this moment, before the beginning of the reforms on the pavement using heavy machines, as to pullout old asphalt as to construction a new one, was utilized the HQCM tool, formed by SANTOS M.F. (2012), to check, with faster and precision way, the right quality of this. The tool brought goods results that reinforced the real necessity of intervention to correct this runway, under a public contract to road companies, by Federal Brazilian Government (ARP 003).

After the runway and taxiway reform, in November last, were collected new datum of some parts reformed, with the new classification about your functional behaviors, that showed also, the real correction maintenance quality obtained in the CBUQ's pavement. A comparison analysis of the pavement condition before this reform, through HQCM Methodology, show that is righter and easier the accomplishment of the degradations and cracks increases using it with lower costs applied to different airports' scenes of the Brazilian Airport System, which is divided by many groups.

Others advantages in this methodology, presented through SANTOS, M.F. (2012), were founded more than this study, as consequence of the quick way to collect field datum linked with a satisfactory coherency of the runway quality evaluation. The disposable to use it, between daily aircrafts traffics on internationals and rushed airline landing ramps is possible, as a function of the fast procedures to inspections. The better applicability to reals situations furnish good cost benefit relationships, were machines, specialists and workers can to been used with less time spent on the pavement, with minor probabilities of interferences in the dailies takeoffs and landings orders.

Keywords: HQCM, Airport, Pavement, *Runway*.

1. INTRODUÇÃO

O cenário atual de desenvolvimento aeroportuário nacional, passa por profundas mudanças com relação aos seus objetivos de existência e finalidade de utilização. Os custos de operacionalidade e de manutenção, bem como as oscilações financeiras que influenciam a demanda de passageiros e cargas aéreas, trazem ao convívio rotineiro dos operadores aeroportuários, a realidade pessimista de balanços contábeis desfavoráveis aos seus custos.

A aviação comercial e os aeroportos brasileiros foram obrigados a diversificar os portfólios de serviços para os seus clientes, passageiros e pessoas jurídicas, no intuito de continuar buscando margens favoráveis de lucros, adequando-se também às novas exigências das agências reguladoras, dos órgãos militares que controlam o espaço aéreo e de defesa do consumidor. O caráter comercial e de novas facilidades aeroportuárias estão cada vez mais presentes na realidade dos grandes aeroportos, também considerados fronteiras aéreas territoriais.

A forma de pensamento atual das relações comerciais nos maiores aeroportos brasileiros, também está sendo disseminada para centros aeroportuários menores. No entanto, estes possuem a finalidade da sua existência passando por objetivos diferentes dos primeiros, muitas vezes devido ao cenário regional em que os mesmos estão inseridos, fazendo parte também do contexto nacional de segurança às fronteiras do país e da sua integração entre capital e interior, via utilização do modal aéreo, muitas vezes em regiões de difícil acesso rodoviário.

Mesmo assim, a ideia da sustentabilidade operacional aliado às parcerias comerciais está entrando na realidade dos aeroportos regionais também, onde a grande maioria destes possui condições de operacionalidade aquém daqueles de maiores frequências diárias de pousos e decolagens, presentes nos grandes centros. Foi coerente para o governo federal anexar o seu desenvolvimento aos recursos gerados pelas arrecadações das outorgas anuais dos grandes aeroportos já concedidos, criando através destas, subsídios para o crescimento aeroportuário das microrregiões, em uma política apresentada como PDAR – Plano de Desenvolvimento Aeroportuário Regional.

Ao trazer novas parcerias comerciais aos aeroportos regionais demanda-se, automaticamente, adequações às instalações dos mesmos bem como interesse em novas rotas aéreas. Ferramentas de otimização da utilização dos recursos disponíveis, bem como dos seus ativos, começam a ser tornar cada vez mais importantes neste viés de modernização e profissionalização comercial na prestação dos serviços aeroportuários nos grupos regionais. Esta nova mentalidade já está sendo encarada como uma realidade futura próxima, tanto para contratos comerciais que envolve o lado ar quanto para o lado terra destes aeroportos, pequenos, quando comparados com os centros de negócios internacionais, mas existentes.

Esta nova maneira de encarar os aeroportos regionais, também como pequeno centro de negócios, traz consigo a postura contábil de menos desperdícios e despesas possíveis, aliada à máxima eficiência operacional e de prestação de serviços alcançáveis e diversificados. Ferramentas de gestão da qualidade, tais como a metodologia HQCM a ser apresentada neste artigo, serão cada vez mais importantes para que esta nova postura de sustentabilidade operacional seja aplicada com êxito nestes aeroportos de menor porte.

2. CENÁRIO INDUTIVO

A indução das parcerias privadas no cenário aeroportuário, tanto nas edificações de apoio, em suas unidades comerciais (lado terra), bem como na prestação de seus serviços aos clientes e empresas aéreas utilizadores do lado ar, induzem o pensamento de sucesso nas tratativas de modernização, diversificação e melhoria da eficiência dos serviços aeroportuários.

A imagem da renovação destas, de contato direto com os passageiros, trouxe a expectativa

de evolução também aos outros centros aeroportuários, classificados em grupos de aeroportos menores. Consequentemente, também foi inserida a política de qualidade na prestação dos serviços visando a satisfação total dos clientes, com melhorias nos procedimentos de manutenção dos seus sistemas e subsistemas, tanto no caráter preditivo quanto no preventivo.

Esta disseminação da melhoria de serviços também induziu o aumento da responsabilidade social dos operadores aeroportuários, tanto no que diz respeito ao conforto dos passageiros quanto à funcionalidade dos equipamentos, os quais precisam de constantes procedimentos de manutenção visando a melhoria do seu desempenho, atrelada à custos otimizados e máxima eficiência operacional. Neste caminho, novas metodologias, tais como o HQCM, e novos sistemas operacionais vem sendo apresentados pelos profissionais e equipes ligados à gestão da qualidade aeroportuária dos aeroportos brasileiros.

3. OBJETIVO

O objetivo deste artigo passa pela apresentação de uma nova ferramenta de manutenção preventiva da qualidade funcional de pavimentos aeroportuários, bem como sua aplicação antes e depois de uma reforma estrutural nos mesmos.

Além da formulação teórica desta, denominada de metodologia HQCM *(H - High, Q - Quality, C – Construction, M – Management),* a qual também será descrita de forma resumida, será colocada uma aplicação prática da mesma, na avaliação das condições da pista de pouso e decolagem do Aeroporto de Paulo Afonso (SBUF), antes da reforma do seu pavimento, realizada entre os meses de outubro e novembro de 2018.

As condições do pavimento novo também serão traduzidas nos índices HQCM em comparação com o seu pior estado de desempenho, no ano da intervenção corretiva.

Por fim serão monitorados e apreciados através da mesma metodologia, o início da evolução das degradações no pavimento, nos primeiros dois meses após a intervenção e reforma na PPD 14/32.

4. O CONCEITO HQCM EM UM BREVE RESUMO TEÓRICO

O HQCM (*H - High, Q - Quality, C – Construction, M – Management*) é uma nova metodologia de gerenciamento da performance de pavimentos aeroportuários, que monitora a qualidade da construção dos mesmos, oferecendo dados evolutivos da sua degradação e o seu tempo ideal para intervenções de manutenção preventiva e corretiva, aliando estas ao comportamento satisfatório máximo do seu desempenho, face às variações de solicitação advindas dos trens-de-pouso das aeronaves e sua frequência. (SANTOS, M.F, 2016)

Sua postura está embasada na filosofia da manutenção preditiva de sistemas e subsistemas civis (sistema lado ar; subsistema *runway*; subsistema *taxiway;* subsistema pátio de aeronaves) através do acompanhamento determinístico das variações de desempenho das pistas aeroportuárias com a coleta e classificação dos dados obtidos em campo. Trata-se de uma estratégia de gerenciamento da qualidade do pós-construído, comparando os resultados reais de suporte de pavimento, com as previsões de intervenção na sua estrutura - uma função da vida útil estabelecida em projeto. (SANTOS, M. F, 2017)

Este método possui em suas variáveis, alguns fatores que influenciam os reais danos acumulados na estrutura do pavimento, de acordo com o crescimento e frequência do tráfego aéreo na pista. Estes são citados logo a seguir:

- Dados das estatísticas anuais de decolagens das aeronaves;
- Dados da geometria da pista – espessura total e de cada camada constituinte da estrutura;
- As características geotécnicas do pavimento.

Todas estas variáveis foram inseridas no software que calcula a degradação do pavimento (LEDGA-LEDFAA), reduzindo-as a um único número, adimensional. Este é chamado de Fator de Danos Acumulados, *Cumulative Damage Factor,* em inglês, comumente conhecido como fator CDF.

O quadro nº 1 traz a classificação da evolução das deformações e degradações do pavimento, colhidas em campo e avaliadas em escores de 1 a 5, traduzida na progressão do fator de danos acumulados (CDF), equivalente à redução do comportamento resistente do material submetido às oscilações repetidas da relação tensão *versus* deformação no pavimento, de comportamento elasto-plástico. Este também mostra a natureza (tipo e nível) da intervenção corretiva/preventiva. Já quadro nº 2 mostra a classificação HQCM, a qual possui a capacidade de enquadramento da qualidade funcional de um pavimento aeroportuário em níveis de desempenho, com base nas comparações dos danos acumulados obtidos em campo, através dos procedimentos de manutenção preditiva, via inspeção visual. (SANTOS, M. F, 2012)

Quadro 1: Evolução das degradações através da correlação entre metodologia de inspeção em campo da AC 150/5717 e a sua evolução via *Cumulative Damage Factor* (CDF).

- **Rating 5 – Excelente (0,00 < CDF < 0,30):**
  Dispensa qualquer tipo de manutenção *(no maintenance);*
- **Rating 4 – Bom (0,30 < CDF < 0,60):**
  Menores rotinas de manutenção, selamento de fendas (crack sealing);
- **Rating 3 – Regular (0,60 < CDF < 0,90):**
  Tratamentos de preservação da superfície e tratamento além do selamento de trincas (surface treatment);
- **Rating 2 – Pobre (0,90 < CDF < 0,95):**
  Melhoria estrutural e nivelamento (patching and overlays);
- **Rating 1 – Ruim (Rompido) (0,95 < CDF < 1,00):**
  Reconstrução total do pavimento (Reconstruction).

5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA HQCM – UM ESTUDO DE CASO DIRIGIDO À PPD 14/32 – AEROPORTO DE PAULO AFONSO (SBUF)

5. 1 – Aeroporto de Paulo Afonso

Localizado no interior da região Nordeste do Brasil, o SBUF é um aeroporto de características estritamente regionais, administrado pela empresa pública de infraestrutura aeroportuária da esfera federal, a INFRAERO AEROPORTOS, desde 1980. Este foi construído pela Aeronáutica em 1972, através do Departamento de Aviação Civil (DAC), com uma função primordial de apoio estratégico, na disponibilidade do modal de transporte aéreo aos interesses do Complexo das Usinas Hidrelétricas da CHESF (Companhia Hidrelétrica do São Francisco). Ao longo dos anos, tais interesses foram ampliados, abrigando outras necessidades regionais de uso deste aeroporto, principalmente as de natureza comerciais e sociais desta região do semiárido nordestino.

Por se tratar de uma área de produção e fornecimento de energia elétrica para o Nordeste, entroncada com o sistema ELETROBRÁS, o Complexo de Hidrelétricas da CHESF da região de Paulo Afonso, que inclui as das Barragens de Itaparica, Paulo Afonso I, Paulo Afonso II, Paulo Afonso III e Paulo Afonso IV, além as da Barragem de Xingó e o Aeroporto de Paulo Afonso (INFRAERO), fazem parte do Plano Estratégico de Segurança Nacional, todas estas protegidas pela estrutura militar atual do governo (1º Batalhão de Infantaria do Exército Brasileiro e estruturas policiais das três esferas). A figura nº 1 mostra o Sítio Aeroportuário do SBUF, via satélite, bem como o seu sistema de pista e pátios, extraído das cartas ADC (Cartas de Aeródromo), na figura 2:



Figura 1: Sítio Aeroportuário do Aeroporto de Paulo Afonso (SBUF), em imagem via Satélite. (http:\\www.google.com.br/ extraído em 03/05/2019)

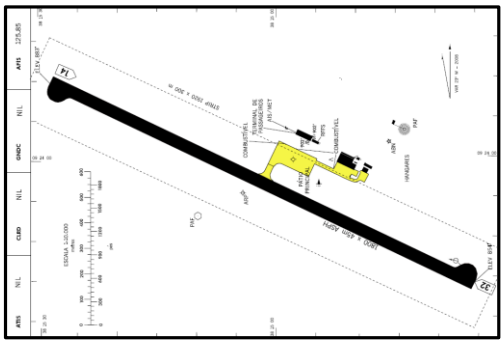


Figura 2: Carta de Aeródromo ADC – SBUF. (http:\\www.aisweb.aer.mil.br, extraído em 03/05/2019)

Quadro 2: Sistema de gestão da qualidade das construções para pavimentos aeroportuários. (SANTOS, M.F, 2012)

	HIGH QUALITY CONSTRUCTION MANAGEMENT (*HQCM POINT*) – By SANTOS, M. F. INFRAERO, MATRIX-DF, BRAZIL	
QCM Scale (HQCM)	**Indicative Collour**	**SITUATIONS**
1 – Excellent	**Blue**	Time of pavement check (t) over the right one, according the engineering planning studied during the runway project (t > 101%).
2 – Exact	**Green**	Just in the right time stipulated (99% < t < 101%).
3 – Attention	**Yellow**	Into the limit of the pavement strenght disposable. Total plastics deformations completed over 90% of the right time to check it (90% < t < 100%).
4 – STOP	**Red**	Total of the plastics deformations completed (CDF>=1.0) less than 90 % of the right time to check the pavement (t < 90%).
DISTORTIONS JUSTIFIES: Externals factors that increase or don't the right pavement degradation through of the aircrafts loads: Operational (J) or Technical (VW).		
QCM Scale (HQCM)	**Indicative Collour**	**JUSTIFIES**
WJ - Without Justify	**Silver**	According the time studied of the pavement degradation to the aircraft loads and construction materials' strength allowable.
J – AdJusts	**Medium Gray**	Upper or retracted points of demand.
VW- Very Work	**Strong Gray**	Bad construction materials quality, bad pavement built or fatigue strenght completed. Maximum pavement's work condition time to a satisfactory operational safety, using as the worst limit behavior.
N - No one	**White**	Pavements without aircrafts' weight higher than one used to the runway design (Design Aircraft).

Conforme a figura 02 é possível perceber que o lado ar do aeroporto é composto de uma única pista de pouso e decolagem, na orientação 14/32. Não há *runway end safety area* (RESA, TORA=TODA) em ambas as cabeceiras, embora existam *cleaways* não-pavimentadas após as mesmas, da ordem de 55 metros de comprimento, uma característica comum, presente na maioria das pistas dos aeroportos regionais brasileiros. O sistema de pistas formado pela sua *runway* 14/32 e sua *taxiway* 1/1A nunca sofreu uma manutenção corretiva estrutural em seus pavimentos desde sua construção em 1972, apenas paliativos de rejuvenescimento, correções locais e pontuais.

Diante do cenário próximo ao colapso funcional da *runway* e da *taxiway*, necessitava-se de uma reforma urgente nestes pavimentos para que as condições de segurança e rolagem das aeronaves fossem garantidas, senão aumentadas, melhorando a sua confiabilidade para os passageiros, empresas aéreas e o concessionário público que utiliza este aeroporto diariamente. A metodologia HQCM foi utilizada para avaliar o estado terminal deste pavimento, quatro meses antes do início da reforma. O seu estado funcional desgastado em 2018 é mostrado nas figuras 3 e 4.

5. 2 – Metodologia HQCM utilizada para avaliação das condições do pavimento envelhecido

Um procedimento de manutenção preditiva da PPD, com base na metodologia HQCM, foi realizado através de uma visita em campo, seguida de um *survey* ao longo da *centerline* da *runway*, no sentido cabeceira 14 para a cabeceira 32 (figura 5). As faixas de inspeção visual de 3 metros de largura foram medidas no passo humano, tanto para a esquerda, quanto para a direita da referida linha central.

A cada 100 metros de *survey* de inspeção (medidos no hodômetro do veículo), foram colhidos registros fotográficos de frente (vante) e de ré da pista. Estas foram adicionadas às imperfeições encontradas em cada trecho, anotadas em uma planilha de campo, utilizada para cada faixa de inspeção equidistante da *centerline*.



Figura 3: PPD 14/32 na estaca 600, antes da reforma.



Figura 4: PPD 14/32 na estaca 1200, antes da reforma.

A planilha de inspeção visual de campo foi extraída de um modelo para anotações das anomalias de pavimentos, proposto por SANTOS, M. F, em 2016. A tabela nº 1 mostra uma destas planilhas utilizadas para atentar as imperfeições de cada trecho.

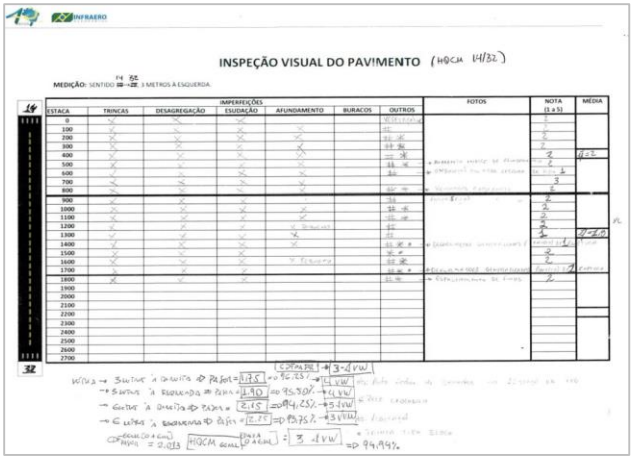
Terminado o *survey* na PPD 14/32, os dados foram utilizados no escritório da INFRAERO de Paulo Afonso/BA para o cálculo do $CDF_{PASER,}$ utilizando as correlações presentes no quadro nº 1, diagnosticando o seu estado funcional conforme o quadro nº 2. O pavimento da *runway 14/32*, foi classificado conforme a figura 6.

As avaliações dos trechos do pavimento, antes da sua reforma, evidenciaram a necessidade de intervenções profundas, removendo a capa antiga da pista, principalmente quando as inspeções evidenciaram as anomalias graves refletidas no asfalto, anotadas nas planilhas de campo.



Figura 5: *Survey* PPD 14/32 (coleta das anomalias do pavimento e registro fotográfico a cada 100 metros).

Tabela 1: Folha de campo sugerida por SANTOS, M. F (2016) utilizada para coleta das imperfeições da PPD 14/32, em junho de 2018.



INSPEÇÃO VISUAL DO PAVIMENTO (HQCM 14/32)

MEDIÇÃO: SENTIDO 14 → 32 | METROS À ESQUERDA

ESTACA	IMPERFEIÇÕES: TRINCAS	DESAGREGAÇÃO	EXUDAÇÃO	AFUNDAMENTO	BURACOS	OUTROS	FOTOS	NOTA (1 a 5)	MÉDIA
0									
100									
200									
300									
400									
500									
600									
700									
800									
900									
1000									
1100									
1200									
1300									
1400									
1500									
1600									
1700									
1800									
1900									
2000									
2100									
2200									
2300									
2400									
2500									
2600									
2700									

A figura 7 mostra o mapeamento das intervenções profundas, dentro da camada de asfalto antiga, apontadas pelas graves patologias encontradas durante a inspeção visual. Nesta já se nota a adequação à largura do trecho a ser reformado na PPD 14/32 ou seja, largura da faixa total a ser fresada do pavimento antigo.

Na fase de estudo das condições reais de degradação, com relação aos trechos eminentes à ruptura, foi constatado que 59,21% do pavimento a ser reformado já se encontrava na condição de *VW – Very Work*, conforme a metodologia HQCM (quadro nº 2). A tabela nº 2 mostra o quantitativo de área a ser reformada através de remoção do material pobre, seguido de nova camada CBUQ, espalhado e compactado (5 cm).

Neste cenário, apresentado na figura 6, era mais que plausível a intervenção direta de todo o pavimento, entre as cabeceiras 14 e 32, com a substituição do material deteriorado, retirado através da máquina fresadora, seguida de limpeza da base, pintura de ligação e nova capa superficial de CBUQ.



PISTA DO SBUF

	Direita 3-6 metros	Direita 0-3 metros	14	Esquerda 0-3 metros	Esquerda 3-6 metros
0			centerline		
100			centerline		
200			centerline		
300	4 VW 95%	4 VW 95%	centerline	4 VW 95%	4 VW 95%
400			centerline		
500			centerline		
600			centerline		
700			centerline		
800			centerline		
900			centerline		
1000			centerline		
1100			centerline		
1200	3 J-VW 93,50%	4 VW 97,5%	centerline	4 VW 96,5%	3 J-VW 92,50%
1300			centerline		
1400			centerline		
1500			centerline		
1600			centerline		
1700			centerline		
1800			centerline		
	Direita 3-6 metros	Direita 0-3 metros	32	Esquerda 0-3 metros	Esquerda 3-6 metros
	Average	Average		Average	Average
	3 J-VW 94,25%	4 VW 96,25%		4 VW 95,50%	3 J-VW 93,75%

Diagnóstico (HQCM): Faixa de rolamento (12 metros) da PPD 14/32 na eminência de ruína, com faixas de empobrecimento da funcionalidade.

Figura 6: Diagnóstico da funcionalidade da PPD 14/32 (Qualidade do pavimento flexível) via HQCM, antes da sua reforma.

Apesar do pavimento conter algumas bacias transversais de afundamento considerável, sua base se encontrava em bom estado. Algumas vezes esta apresentou afloramento rochoso durante a operação de remoção do material, esclarecendo ainda mais as dúvidas com relação à sua qualidade resistente. A figura 8 mostra o início das operações com a máquina fresadora,

com afloramento da base do pavimento, ainda em bom estado. Já na figura 9 tem-se a disposição otimizada dos equipamentos durante a produção diária de material fresado, seguida de recapeamento da PPD 14/32.

A classificação W *(White)* dos trechos presentes na figura 7, retrata melhor o cenário atual da PPD 14/32, onde ocorrem as solicitações semanais do avião ATR 72-600, (MTOW = 23 toneladas) que atualmente opera nesta PPD. Estas são menores que as solicitações previstas para a aeronave crítica da Classe 3C (carga equivalente àquela utilizada no projeto de dimensionamento da pista) da *runway* 14/32 – A319-100 (MTOW = 61,5 toneladas); B737-200 (MTOW = 54,11 toneladas); e EMB 190/195 (MTOW = 48,10 toneladas), os maiores equipamentos comerciais envelopados no pátio do Lado Ar do Aeroporto de Paulo Afonso (SBUF).

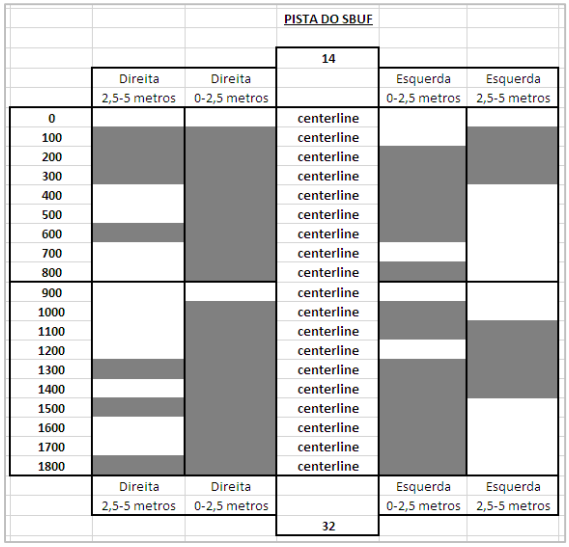


Figura 7: Justificativas das distorções de natureza técnica (VW, *strong gray*) encontradas na PPD 14/32, devida a eminência à ruída do pavimento (provável deficiência nos procedimentos de manutenção – preditiva, preventiva e corretiva – ao longo dos anos da sua vida útil).

Tabela 2: Quantidade de área do pavimento enquadrada na condição *VW – very work*.

FAIXA DE REFORMA (REMOÇÃO E SUBSTITUIÇÃO) NA PPD 14/32				
5E	2,5E	2,5D	5D	TOTAL DE CBUQ (m2)
1750	3500	4250	1750	11250



Figura 8: Início da fresagem da PPD 14/32.



Figura 9: Disposição estratégica para a produção diária de remoção do asfalto antigo e recapeamento simultâneo.

5. 2 – Metodologia HQCM utilizada na avaliação do pós-construído

Após a reforma da pista 14/32, finalizada em novembro de 2018, foram iniciadas as fases de avaliação do pavimento novo, através dos testes de medição coeficiente de atrito (μ) e de macrotextura, nos primeiros 69 dias de vida do mesmo. A tabela 3 evidencia os valores iniciais de ganho de aderência e qualidade da superfície.

No primeiro mês do ano de 2019, foi realizada a coleta das informações da macrotextura da superfície da *runway 14/32* com os seus 69 dias de cura, a cada 100 metros, no intuito de referenciar com a melhoria do índice HQCM após a reforma da pista, realizada entre outubro e novembro de 2018, comparando-os com os índices obtidos antes da intervenção

corretiva (figura 6). As análises das pequenas imperfeições a serem ajustadas no pavimento novo, diagnosticadas pela segunda análise (HQCM/QCM), são descritas na figura 10.

Tabela 3: Evolução da aderência do pavimento no período pós-reforma (índices gerais de performance, KPI).

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO PÓS-CONSTRUÍDO - PPD 14/32 (ÍNDICE MÉDIO GERAL)			
PAVIMENTO NOVO	DATA	Coef. de atrito (u)	Profundidade (mm)
RT 01 - 002/SBUF (23 Dias)	29/11/2018	0,51	-
RT 02 - 002/2018 R(0) (41 dias)	18/12/2018	0,76	-
RTm/SBUF-001/2019 (69 dias)	14/01/2019	-	60

6. ANALÍSE DOS RESULTADOS DO PÓS-CONSTRUÍDO

Após a primeira referência da qualidade do pavimento recém-construído, obtida em campo, foram buscadas as justificativas para o desempenho eficiente da mesma, ainda não excelente, conforme as exigências das melhores práticas mundiais estabelecidas para um pavimento novo (SANTOS, M. F, 2016).

É aceitável a qualidade eficiente, dentro do caráter precoce da resistência do pavimento (ainda com 69 dias de cura), embora com imperfeições construtivas e imprevistos ocorridos com os equipamentos de compactação (quebras e tempo curto de execução dentro do período de NOTAM-B1391/2018), detectados durante a execução do serviço de reforma da pista de pouso e decolagens do SBUF. No entanto, os resultados foram satisfatórios em termos de resistência à frenagem (coeficiente de atrito), macrotextura e abaulamento transversal (teste de lâmina d'água).

As imperfeições construtivas a serem minimizadas pela contratada, dentro da filosofia da melhoria contínua do pós-construído, passam por problemas detectados na distribuição granulométrica do CBUQ espalhado na PPD 14/32, reduzidos e corrigidos durante a sua execução. Após a análise de escritório das amostragens da granulometria do novo asfalto, boa parte destas apresentavam desvios na sua distribuição dos agregados (evidenciados também posteriormente na análise de campo para o índice HQCM/QCM, figura 10), o que confirmou a necessidade de correção da camada espalhada de asfalto novo nos trechos exsudados, melhorando a textura da superfície e uniformizando ainda mais o abaulamento transversal do pavimento novo. As figuras mostram uma das amostras com desvio da curva granulométrica da faixa 3, proposta pelo Termo de Referência do Contrato da reforma (TR 03/MNSC-4/2017), na figura 11, bem como o procedimento de correção da exsudação (figura 12) e checagem do abaulamento transversal (figura 13).

PISTA DO SBUF
(Pós-reformado, em 14 de janeiro de 2019)

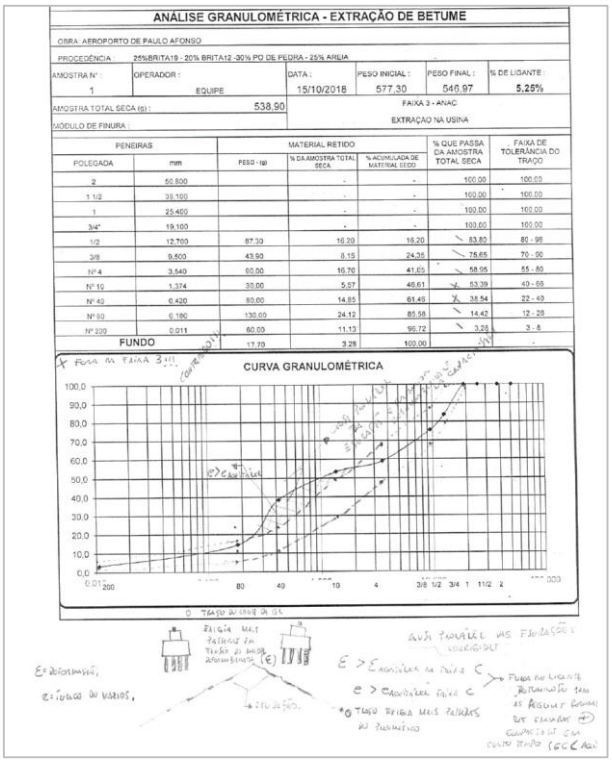
	Direita 2,5-5 metros	Direita 0-2,5 metros	14	Esquerda 0-2,5 metros	Esquerda 2,5-5 metros
0			centerline		
100			centerline		
200			centerline		
300	N-WV	N-WV	centerline	N-WV	N-WV
400	42,42%	41,70%	centerline	37,40%	39,60%
500			centerline		
600			centerline		
700			centerline		
800			centerline		
900			centerline		
1000			centerline		
1100			centerline		
1200	N-WV	N-WV	centerline	N-WV	N-WV
1300	46,20%	49,50%	centerline	51,00%	48,60%
1400			centerline		
1500			centerline		
1600			centerline		
1700			centerline		
1800			centerline		
	Direita 2,5-5 metros	Direita 0-2,5 metros	32	Esquerda 0-2,5 metros	Esquerda 2,5-5 metros
	Average N-WV 44,31%	Average N-WV 45,60%		Average N-WV 44,20%	Average N-WV 44,10%

Diagnóstico (HQCM/QCM): **Faixa nova de rolamento (10 metros)** da PPD 14/32 recém-construída, sem grandes aeronaves (N) no tráfego, porém com pequenos defeitos construtivos (VW) no pavimento novo (parte da distribuição granulométrica do CBUQ fora da faixa 3 ANAC, entre peneiras nº 80 e 4).

Figura 10: Diagnóstico da funcionalidade da PPD 14/32 (qualidade do pavimento flexível novo) via HQCM/QCM, após a sua reforma, finalizada em 06/11/2018.

Na avaliação geral da qualidade do pavimento recém-construído, pôde-se enquadrar o mesmo dentro de uma escala de comportamento, após 69 dias de cura, conforme os parâmetros de desempenho das melhores práticas mundiais para a sua eficácia funcional, descrita na figura 15 (http:\\www.faa.gov). Ambas as avaliações do ganho de desempenho e qualidade do pavimento da PPD 14/32, tanto para a avaliação geral do mesmo (da estaca 0,00 metros a 1800 metros, incluindo os trechos não-reparados), quanto para a avaliação apenas dos

trechos reformados (excluindo os trechos não-reparados e aqueles novos, menores que 100 metros), indicam uma necessidade de melhoria contínua do pavimento recém-reformado, em função das adversidades citadas no segundo e terceiro parágrafos do Item 6, além da figura 14, levando em conta também o aumento gradual de resistência do mesmo nos primeiros seis meses de vida útil. Conforme a resolução nº 236 da ANAC, as frequências de análises e procedimentos de manutenção preditiva nas pistas brasileiras estão em função do número de pousos diários na cabeceira mais solicitada das mesmas.



ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - EXTRAÇÃO DE BETUME

OBRA: AEROPORTO DE PAULO AFONSO

PROCEDÊNCIA: 25%BRITA19 - 20% BRITA12 -30% PO DE PEDRA - 25% AREIA

AMOSTRA Nº:	OPERADOR:	DATA:	PESO INICIAL:	PESO FINAL:	% DE LIGANTE:
1	EQUIPE	15/10/2018	577,30	546,97	5,25%

AMOSTRA TOTAL SECA (g): 538,90

FAIXA 3 - ANAC

MÓDULO DE FINURA:

EXTRAÇÃO NA USINA

PENEIRAS		MATERIAL RETIDO			% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL SECA	FAIXA DE TOLERÂNCIA DO TRAÇO
POLEGADA	mm	PESO - (g)	% DA AMOSTRA TOTAL SECA	% ACUMULADA DE MATERIAL SECO		
2	50,800		-	-	100,00	100,00
1 1/2	38,100		-	-	100,00	100,00
1	25,400		-	-	100,00	100,00
3/4"	19,100		-	-	100,00	100,00
1/2	12,700	87,30	16,20	16,20	83,80	80 - 98
3/8	9,500	43,90	8,15	24,35	75,65	70 - 90
Nº 4	4,540	90,00	16,70	41,05	58,95	55 - 80
Nº 10	1,374	30,00	5,57	46,61	53,39	40 - 65
Nº 40	0,420	80,00	14,85	61,46	38,54	22 - 40
Nº 80	0,180	130,00	24,12	85,58	14,42	12 - 28
Nº 200	0,011	60,00	11,13	96,72	3,28	3 - 8
FUNDO		17,70	3,28	100,00		

CURVA GRANULOMÉTRICA

Figura 11: Análise Granulométrica de uma das amostras extraídas da Usina de Asfalto fornecedora de CBUQ à obra que apresentou desvio da faixa 3 - ANAC.



Figura 12: Correção das emendas exsudadas e do abaulamento transversal.

O cenário atual de solicitações do Aeroporto de Paulo Afonso (SBUF) ainda é menor que 15 pousos diários na cabeceira nº 14 (a mais solicitada), ensejando assim, a concordância da frequência do procedimento de manutenção preditiva HQCM, em sintonia com a frequência dos testes de medição de atrito e de macrotextura da PPD 14/32, estabelecidas a cada 360 dias. Isto não impede a verificação da qualidade em períodos intermediários a este prazo, ficando estas à critério do operador aeroportuário local, no intuito de se obter parâmetros de referência da evolução da degradação do pavimento, antes da eminência de prazo de medição formal, classificando-as dentro da escala QCM – *Quality Construction Management* – presente no Quadro nº 2.



Figura 13: Teste de lâmina d`água na Zona de Toque (checagem do abaulamento transversal).

O acompanhamento preditivo do desempenho do pavimento reformado continuará nos próximos meses, até que se completem 360 dias de reformado, conforme as exigências da Resolução nº 236 da ANAC para procedimentos de manutenção preditiva neste tipo de aeroporto.

Neste período ter-se-á, portanto, o *mix* atualizado das aeronaves comerciais e particulares deste aeródromo. Serão atualizadas as pequenas intervenções corretivas que o mesmo sofrerá, tanto por parte da empresa contratada para a realização da reforma (dentro da postura da melhoria contínua garantida pelo Seguro da Obra de reforma) quanto pela equipe de manutenção do Aeroporto de Paulo Afonso (SBUF), subordinada à INFRAERO AEROPORTOS.

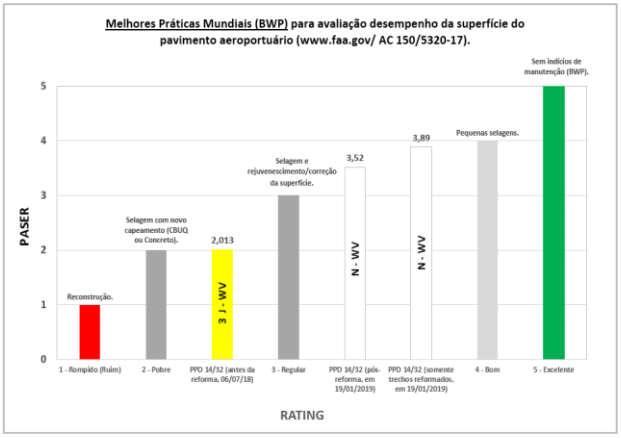


Figura 14: Evolução da qualidade do pavimento com 69 dias de cura após a sua reforma, avaliada pela metodologia HQCM, comparada com a classificação internacional da sua qualidade e desempenho funcional (*Best World Practices* - BWP).

A *runway* 14/32 do SBUF operou normalmente para pousos e decolagens durante a sua reforma, graças ao planejamento de etapeamento da obra, adequando-se o mesmo ao NOTAM B1391/2018 fornecido pelo Comando da Aeronáutica. Seis meses após esta, as atividades no lado ar continuam, sem nenhuma intervenção emergencial na pista principal (figura 15), solicitada tanto pelas aeronaves comerciais, quanto pela aviação civil (particular e pública), além da aviação militar. O ganho de melhoria do desempenho do pavimento, bem como a redução do GAP de qualidade que o mesmo possuía em relação às melhores práticas mundiais exigidas para um pavimento novo, recém-construído, são mostrados na figura 16.

7. CONCLUSÕES

A melhor postura da gestão otimizada da funcionalidade de pavimentos aeroportuários está relacionada com os principais procedimentos descritos neste artigo. Desde o acompanhamento preditivo antes das intervenções de correção, onde se pôde obter um diagnóstico, com precisão satisfatória e realística das condições de funcionalidade dos mesmos no ano da reforma, até o seu monitoramento nos seus primeiros meses de vida útil (pós-construído), prova-se que é possível aumentar a eficiência do desempenho de um sistema, a partir do aumento do rigor no acompanhamento e no diagnóstico constante da sua funcionalidade.



Figura 15: PPD 14/32, com seis meses de reformada.

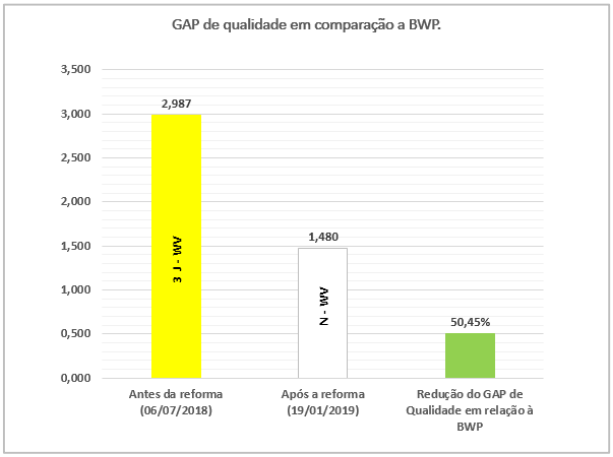


Figura 16: Evolução do GAP de qualidade em relação à BWP, antes e após a reforma da pista do SBUF.

A aplicação da metodologia HQCM, dentro da filosofia dos procedimentos usuais de manutenção regulamentados neste país, traz consigo maiores informações do desgaste gradual e a possibilidade de antecipação ou retardo das futuras intervenções programadas (manutenções preventivas), um ganho substancial nos tempos de respostas às variações de tráfego, de resistência e de durabilidade às intempéries do pavimento. Também proporciona o aumento do controle da qualidade dos materiais e serviços executados nas últimas intervenções corretivas no mesmo.

O estudo de caso da aplicação da metodologia preditiva HQCM na reforma da PPD do SBUF, realizada em 2018, prova a versatilidade da mesma, tanto para parâmetros de comparação com as previsões de vida útil estabelecidas em projeto (SANTOS, M.F, 2017), quanto para parâmetros de comparação com a sua funcionalidade limite, extraídos do estado determinístico da *runway* (CDF_{PASER}). Esta evolução no acompanhamento do desempenho destes ativos operacionais do lado ar, também faz parte da atual estratégia da INFRAERO, focada na máxima qualidade e eficiência operacional dos seus aeroportos, onde é e sempre será mundialmente respeitada.

8. LITERATURA CONSULTADA

ADIVISORY CIRCULAR 150/5320-17, Airfield Pavement Surface Evaluation and Rating Manuals. U.S. Departament of Tansportation – Federal Aviation Administration (F.A.A.). 1st Edition, July, 2004 (www.faa.gov/);

COMANDO DA AERONÁUTICA (DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo), AISWEB – Informações Aeronáuticas do Brasil, www.aisweb.aer.mil.br, acessado em 03/05/2019;

SANTOS, M. F. Gestão do dimensionamento de pavimentos aeroportuários aplicada às condições de contorno das solicitações e degradações (pequenas e grandes aeronaves) – uma análise estratégica focada na qualidade das construções e reformas das pistas brasileiras. *Master Thesis I* (PFC-UNIFACS, Gestão da Qualidade das Construções), versão final atualizada, Salvador-BA: UNIFACS (*Laureate International Universities*), Brasil, SIABI-Infraero, Brasília/DF, Volume 1, 2012, 582p;

SANTOS, M. F. Gestão da manutenção de pavimentos aeroportuários utilizando a metodologia HQCM. *Master Thesis II* (PFC-UNIFACS, Gestão da Manutenção), Salvador-BA: UNIFACS *(Laureate International Universities)*, SIABI-Infraero, Brasília/DF, Volume 2, Brasil, 2016, 400p;

SANTOS, M. F. et al. "Gestão de pavimentos aeroportuários – procedimentos de planejamento da manutenção através da metodologia da qualidade das construções HQCM". Simpósio Internacional de Transporte Aéreo, 2017, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro-RJ. *Annals of the XVI SITRAER*. Rio de Janeiro: E-Papers, 2017. *File* id42.pdf.

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DO ACN E DO PCN DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA PARA AS OPERAÇÕES DE 2007 A 2016

Keila Rodrigues Rabelo
Universidade Federal do Ceará
Rua Prof.Armando Farias 703 - Pici, 60020-181 Fortaleza/CE, Brasil (55 85) 3366-9488
keila.rrabelo@gmail.com

Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará
Rua Prof.Armando Farias 703 - Pici, 60020-181 Fortaleza/CE, Brasil (55 85) 3366-9488
heber@det.ufc.br

RESUMO

Na última década, observou-se um aumento na quantidade de operações de aeronaves de grande porte no Aeroporto Internacional de Fortaleza. Todavia, a última avaliação estrutural da pista de pouso e decolagem do referido aeroporto foi realizada em 1991. Diante disso, o presente trabalho analisa a variação dos valores de ACN e PCN, utilizando o software COMFAA, a partir do histórico de operações dos anos de 2007 a 2016 e do CBR fornecido de pelo operador do aeródromo. Dessa forma, obtiveram-se valores de ACN com pouca ou nenhuma variação e de PCN elevados se comparado ao notificado de classificação da pista.

Palavras-chave: ACN, PCN, Estrutura, COMFAA, Operações.

ABSTRACT

In the last decade, there has been an increase in the number of large aircraft operations at Fortaleza International Airport. However, the last structural runway assessment of the airport had performed in 1991. Therefore, the present paper analyzes the variation of ACN and PCN values, using the COMFAA software, based on the operating history of the years 2007 to 2016 and the CBR provided by the aerodrome operator. Thus, we obtained ACN values with little or no variation and high PCN when compared to the reported track classification.

Keywords: ACN, PCN, CBR, COMFAA, Operations.

1. INTRODUÇÃO

Em aeroportos, o Método ACN/PCN (*Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number)* foi estabelecido com o objetivo de regulamentar a capacidade de suporte necessária para resistir às solicitações das aeronaves que operam nos pavimentos. O método é atribuído a pavimentos destinados a suportar operações de aeronaves de peso igual ou superior a 5.700 kg.

Para uma determinada resistência de subleito, o ACN expressa o efeito de uma aeronave sobre o pavimento, enquanto o PCN caracteriza a capacidade do pavimento. Em resumo, um aeroporto deve receber operações de aeronaves, com segurança e sem restrições, com ACN igual ou inferior ao valor de PCN notificado, desde que sejam respeitadas as limitações de pressão de seus pneus.

Nos últimos dez anos, tem-se observado no Aeroporto Internacional de Fortaleza, estado do Ceará, o aumento no número de operações de aeronaves de grande porte. Dentre os principais motivos, a cidade de Fortaleza destaca-se por ser um destino turístico da Região Nordeste, sua localização estratégica e geográfica no País e melhorias na infraestrutura aeroportuária.

A última avaliação estrutural da pista de pouso e decolagem do referido aeroporto tem registro de 1991, sendo realizada pela então Diretoria de Engenharia da Aeronáutica - DIRENG. E a partir dessa condição desconhece-se o comportamento da capacidade estrutural da sua pista e a consequente segurança para as operações de pousos e decolagens.

Desse modo, o presente trabalho tem o objetivo de analisar a variação do ACN e do PCN da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Fortaleza por meio do histórico de operações entre 2007 a 2016.

Para esse fim, o artigo está organizado como segue: além desta seção introdutória, a Seção 2 apresenta a revisão bibliográfica acerca do Método ACN/PCN e um novo método de avaliação estrutural de pavimentos aeroportuários. A Seção 3 descreve um histórico das condições estruturais do aeroporto em estudo. A Seção 4 apresenta os materiais e métodos empregados com auxílio do *software* COMFAA, a partir dos dados de decolagens anuais entre 2007 e 2016. Na Seção 5, é realizada a análise e discussão dos resultados e, por fim, na Seção 6, as considerações finais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O Método ACN/PCN, no Brasil, é fundamentado em ANAC (2016). O valor oficial do ACN deve ser disponibilizado pelo seu fabricante, com base em informações detalhadas sobre as suas características como seu peso, tipo de trem-de-pouso, pressão de pneu, entre outras.

Ainda para determinar o valor de ACN, a *International Civil Aviation Organization* (ICAO, 1983) estabeleceu convenções, considerando que as aeronaves podem ser operadas em diversas condições, em que, o ACN máximo é calculado com a massa e o centro de gravidade que produzem a carga máxima do trem-de-pouso principal sobre o pavimento.

Também é possível calcular o valor do ACN por meio de um *software*, o COMFAA, desenvolvido pela entidade americana FAA (*Federal Aviation Administration*), o qual possui uma biblioteca interna que abrange a maior parte das aeronaves comerciais e militares atualmente em operação.

Dentre várias informações resultantes do COMFAA, existe o Fator Cumulativo de Danos (*Cumulative Damage Factor* – CDF), o qual é baseado na fadiga do pavimento ao longo do período de projeto e, expressa a contribuição de cada aeronave, do mesmo modo que atua como um indicador de vida útil do pavimento, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Vida útil dos pavimentos de acordo com o valor de CDF

Valor do CDF	Vida Útil do Pavimento
1	O pavimento alcançou a vida útil de fadiga
< 1	O pavimento não excedeu a vida útil de fadiga
> 1	O pavimento excedeu a vida útil de fadiga

A determinação do PCN pode ser feita por meio de dois métodos de avaliação (Experimental e Técnico), como se apresenta resumido na Figura 1.

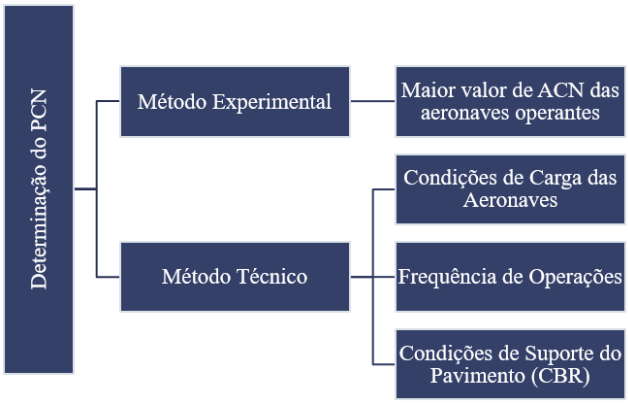


Figura 1: Métodos de Avaliação do PCN

A notificação do PCN é apresentada através de um formato padronizado e codificado, a fim de maximizar a quantidade de informação contida em um número mínimo de caracteres (OLIVEIRA, 2009). Como exemplo, a Figura 2 apresenta o PCN da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Fortaleza: 66/F/A/X/T.

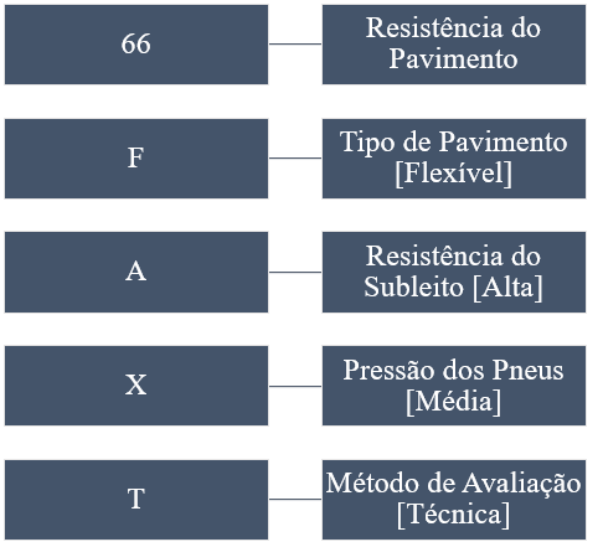


Figura 2: PCN da pista SBFZ

Para cada código do PCN apresentado na Figura 2, existe um parâmetro técnico associado. As tabelas de 2 a 5 exibem os parâmetros para essa notificação do PCN.

Tabela 2: Tipo de Pavimento

Parâmetro	Categoria	Código
Tipo de Pavimento	Rígido	R
	Flexível	F

Tabela 3: Resistência do subleito - Pavimento Flexível

Parâmetro	Categoria	Resistência do Subleito (CBR)	Resistência do Subleito normalizada (CBR)	Código
Resistência do subleito – Pavimento Flexível	Alta	CBR ≥13	15	A
	Média	8 < CBR < 13	10	B
	Baixa	4 < CBR ≤ 8	6	C
	Ultra-Baixa	CBR ≤ 4	3	D

Tabela 4: Pressão máxima admissível dos pneus

Parâmetro	Categoria	Pressão Máxima Permitida (Mpa)	Código
Pressão máxima admissível dos pneus	Alta	Sem limite de pressão	W
	Média	Pressão limitada a 1,5 MPa	X
	Baixa	Pressão limitada a 1,0 MPa	Y
	Ultra-Baixa	Pressão limitada a 0,5 Mpa	Z

Tabela 5: Método de avaliação

Parâmetro	Categoria	Código
Método de Avaliação	Experimental	U
	Técnico	T

Para tratar o caso de sobrecargas em pavimentos aeroportuários, a ICAO (1983) estabelece que o número anual de operações com sobrecarga não deve ultrapassar a 5%, aproximadamente, do número anual total de operações no aeroporto.

Além desse critério, a ICAO (1983 e 2004) indicam que, para pavimentos flexíveis, as operações de aeronaves com ACN não superior a 10% do PCN notificado não trazem prejuízos aos pavimentos. Para pavimentos rígidos ou compostos, o valor de ACN não deve ser superior a 5% do PCN informado. Quando não se conhece a estrutura do pavimento, aplica-se o limite de 5% sobre o PCN informado.

Recentemente, um grupo de trabalho da ICAO (2018), com estudos direcionados à avaliação estrutural, introduziu no meio técnico e acadêmico o Método ACR/PCR (*Aircraft Classification Rating / Pavement Classification Rating)*. O novo método será implementado como experimental no início de 2020, sendo validado num primeiro momento para que as empresas fabricantes tenham até 2024 para publicar os ACRs na documentação pertinente do produto. A comparação de dois valores ainda continuará a ser o princípio central do sistema.

O novo método foi desenvolvido a partir da necessidade de suprir as inconsistências do Método ACN/PCN em relação aos métodos recentes de concepção de pavimentos, abrangendo as últimas evoluções do âmbito da pavimentação, como será descrito adiante.

Dentre essas inconsistências do referido método sobressai o modo de análise. O método ACN/PCN não permite a análise da resposta mecânica real do pavimento, ou seja, não é uma análise baseada na tensão e na deformação da estrutura, bem como, não permite avaliar o desempenho do pavimento.

Em resumo, o Método ACN/PCN baseia-se apenas, em dados do CBR (*California Bearing Ratio)* para avaliar a capacidade de suporte, o que caracteriza um método empírico, ao passo que o Método ACR/PCR baseia-se na análise elástica linear do pavimento e, para isso é necessário conhecer o Módulo de Resiliência. Esse parâmetro permite a unificação do método de caracterização dos solos para pavimentos rígidos e flexíveis.

Para tratar os casos de sobrecargas, os critérios são similares ao método atual baseando-se no número anual de operações e estabelecendo limites dos valores de ACR em relação ao PCR.

A Figura 3 ilustra, sucintamente, as principais diferenças entre os métodos supramencionados.

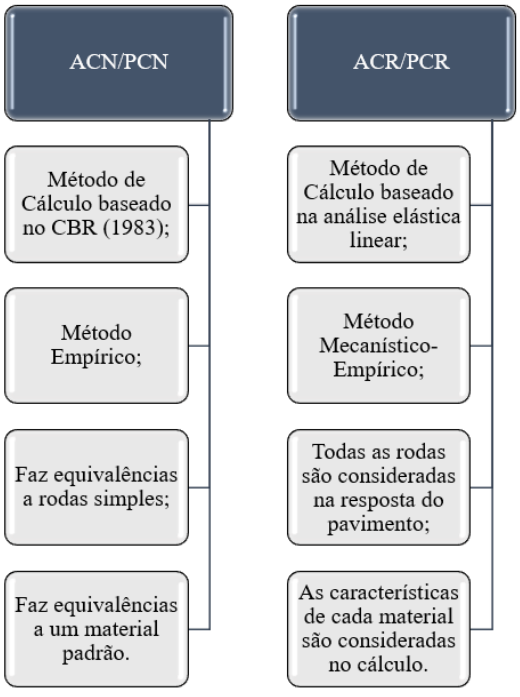


Figura 3: ACN/PCN *versus* ACR/PCR

3. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA

O Aeroporto Internacional de Fortaleza possui uma única pista de pouso e decolagem, denominada RWY 13/31, possuindo 2.545m x 45m, classificação 4E, em pavimento flexível e PCN 66/F/A/X/T. A Figura 4 exibe um a vista aérea atual do aeroporto supracitado.



Figura 4: Vista aérea do Aeroporto Internacional de Fortaleza em 2019

Oliveira (2009) retrata que as avaliações das condições estruturais feitas nos pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza, foram executadas pela BOEING (1982) *apud* DIRENG (1985) e pela DIRENG (1978 e 1991).

Em meados da década de 80, iniciaram-se estudos, por parte da DIRENG (1985), para realização de obras de reforço da pista de pouso e decolagem. Apesar do estado da superfície da pista de pouso e decolagem na época ter sido considerado bom, o projeto previa o recapeamento de toda a extensão da pista, inclusive das cabeceiras de concreto.

A espessura da camada de reforço da superfície da pista, no caso, uma regularização, foi fixada para o eixo, um valor de 5 cm, e para as bordas, um valor mínimo de 3,5 cm, executado em CBUQ (DIRENG, 1985).

Dessa forma, a pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Fortaleza teria a capacidade de suporte para atender ao tráfego previsto para um período de 20 anos, segundo a DIRENG (1985).

O levantamento das condições estruturais da BOEING (1982) *apud* DIRENG (1985) também utilizou um método não-destrutivo de avaliação, baseado na análise de deflexões medidas no próprio pavimento, utilizando-se como carga uma aeronave Boeing 727-200.

As deflexões *in situ* foram analisadas utilizando-se uma seção transversal do pavimento constituída por um revestimento de 13 cm de CBUQ, 28 cm de base de macadame hidráulico, sub-base de 28 cm composta de material pedregulhoso, firmes sobre um subleito de areia siltosa de CBR superior a 20% (BOEING, 1982 *apud* DIRENG, 1985).

A última avaliação das condições estruturais realizadas nos pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza, apresentado pela DIRENG (1991), foi obtido através da pesquisa de registros relativos à natureza e espessura das camadas constituintes da pista de pouso e de decolagem, que após as obras de reforço utilizando-se CBUQ, sugerido pela DIRENG (1985), passou a ter a configuração ilustrada na Figura 5.

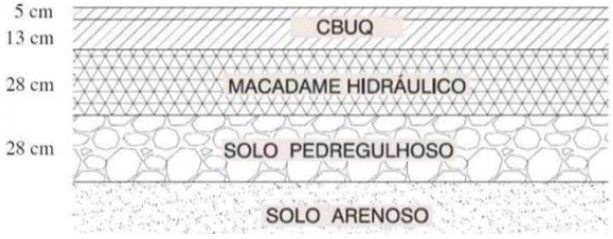


Figura 5: Seção transversal da pista de pouso e de decolagem do Aeroporto Internacional de Fortaleza (DIRENG, 1991 *apud* OLIVEIRA, 2009)

Além disso, a avaliação da DIRENG (1991) também foi realizada em função de resultados de ensaios não-destrutivos realizados com a Viga Benkelman.

O relatório da DIRENG (1991) concluía, com base na análise da estrutura e das deflexões, que a pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Fortaleza era composto de uma estrutura de comportamento semi-flexível. Apesar disso, não indicava um valor específico de PCN. A única informação referente à capacidade de carga era estimada e apontava para um volume de 120.000 decolagens do Boeing 767-300 ER com 380.000 lb (um pouco mais de 172.000kg) de carga bruta, possuindo a pista de pouso e decolagem adequada resistência estrutural.

4. MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa utilizou os relatórios de movimento por equipamento do Aeroporto Internacional de Fortaleza, fornecidos pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO e expressam a quantidade de pousos e decolagens entre os anos de 2007 e 2016.

Além disso, utilizou-se o *software* COMFAA 3.0 desenvolvido pela FAA (FAA, 2014), tendo como entrada de dados a quantidade de decolagens no *mix* de aeronaves, a seção equivalente do pavimento com relação às características técnicas dos materiais constituintes existentes e a capacidade de suporte (CBR) do subleito.

4.1. Definição do *Mix* de Aeronaves

A primeira etapa metodológica compreendeu a aplicação de um filtro por meio do MS-EXCEL, a fim de localizar as aeronaves compatíveis com ANAC (2016).

Com o objetivo de sintetizar o *mix* de aeronaves para a entrada de dados no *software* COMFAA, a classificação realizada considerou-as de acordo com os modelos independente das variantes. Ressalta-se que os relatórios fornecidos pela INFRAERO abrangem as operações de todos os tipos de equipamentos, inclusive helicópteros.

A Tabela 6 exibe a quantidade de decolagens das aeronaves que operaram entre os anos de 2007 e 2016, que são compatíveis com o Método ACN/PCN da ANAC (2016).

Tabela 6: Quantidade de decolagens das aeronaves compatíveis com o Método ACN/PCN

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
B727	248	278	308	495	290	277	249	205	132	11
B737	8936	8637	8500	10351	10248	9731	9139	9729	8968	6987
B747	2	1	0	2	1	0	5	3	0	1
B757	484	414	461	153	66	42	53	46	43	54
B767	232	85	117	322	374	339	158	219	193	211
B777	1	0	1	2	0	9	26	4	4	4
A310	284	7	5	2	3	3	0	2	4	0
A318	0	0	0	0	67	1116	1852	1545	1080	864
A319	771	115	285	243	198	650	448	439	243	247
A320	6276	6814	7740	8900	9165	8451	7991	7363	6206	4769
A321	158	721	728	1068	1768	2189	2002	3317	4304	4297
A330	153	421	388	394	363	343	374	366	395	306
A340	1	0	1	2	123	8	7	15	1	5
ATR-42	2	3	3	0	0	0	0	5	2	6
ATR-72	0	0	1	0	1	70	298	483	1104	1188
DC-10	1	42	17	2	0	0	0	0	0	0
F28MK0100	636	495	779	719	709	299	72	1	0	0
MD-11	2	8	0	0	8	25	8	2	0	0
Não Definidas	5443	5826	6605	8639	9568	9171	10732	10641	8121	7632

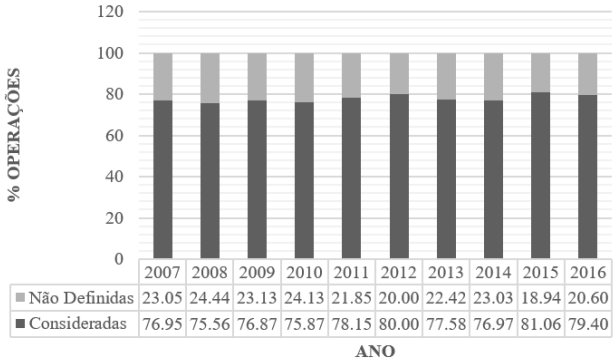
Após essa primeira etapa, verificou-se que uma porcentagem representativa de operações anuais, expressavam valores a partir de 1% referente às operações anuais (Não Definidas) que não se adequava à ANAC (2016).

Diante disso, com o objetivo de tornar o *mix* mais preciso nesta pesquisa, foi fixado o critério de refinamento a partir da consideração das aeronaves cuja porcentagem de decolagens expressassem valores a partir de 1% referente às operações anuais.

A próxima etapa consistiu em investigar a Carga Máxima de Decolagem (CMD), a fim de apurar as aeronaves com carga igual ou superior a 5.700 Kg. Dessa forma, as operações das aeronaves da Embraer, modelo ERJ, foram consideradas, mesmo os modelos com porcentagens de decolagens inferiores a 1%, em virtude do crescimento de operações a partir do ano de 2009.

Desse modo, o Gráfico 1 resume as porcentagens finais das operações consideradas para a análise no COMFAA.

Gráfico 1: Porcentagens de Operações consideradas para a análise do ACN/PCN



Para a definição do *mix* de aeronaves para a análise no programa COMFAA, notou-se que as aeronaves ATR-42, ATR-72 e o modelo ERJ não constam na biblioteca do programa, assim essas aeronaves foram equiparadas às aeronaves de carga similar.

As aeronaves do tipo ATR-42 e ATR-72 foram consideradas como a Fokker 28 (F 28-1000) e as do modelo ERJ foram consideradas como *Airbus* 318 (A318-100-OPT).

Essa adequação resultou na Tabela 7, que exibe as quantidades de decolagens e os modelos das aeronaves que foram utilizados para o cálculo do ACN/PCN no *software* COMFAA.

Tabela 7: *Mix* de Aeronaves para cálculo do ACN/PCN no *software* COMFAA

		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	Adiv 727-200 Option	248	278	308	495	290	277	249	205	132	11
2	B737-900 ER	8936	8637	8500	10351	10248	9731	9139	9729	8968	6987
3	B747-8F	2	1	0	2	1	0	5	3	0	1
4	B757-300	484	414	461	153	66	42	53	46	43	54
5	B767-300 ER	232	85	117	322	374	339	158	219	193	211
6	B777-300 ER	1	0	1	2	0	9	26	4	4	4
7	A310 - 300	284	7	5	2	3	3	0	2	4	0
8	A318-100-OPT	0	1	606	1090	2429	3764	5106	4258	3375	3025
9	A319 - 100 OPT	771	115	285	243	198	650	448	439	243	247
10	A320 TWIN OPT	6276	6814	7740	8900	9165	8451	7991	7363	6206	4769
11	A321-200 OPT	158	721	728	1068	1768	2189	2002	3317	4304	4297
12	A330-300 OPT	153	421	388	394	363	343	374	366	395	306
13	A340-500 369,2t	1	0	1	2	123	8	7	15	1	5
14	DC-10-30/40	1	42	17	2	0	0	0	0	0	0
15	Fokker 100 (F 28-4000)	636	495	779	719	709	299	72	1	0	0
16	MD-11ER	2	8	0	0	8	25	8	2	0	0
17	Fokker 28 (F 28-1000)	2	3	4	0	1	70	298	488	1106	1194

4.2. Definição da espessura equivalente para o COMFAA

Para a análise da pista de pouso e decolagem estudada no *software* COMFAA, foi necessário definir inicialmente uma espessura equivalente do pavimento através de uma planilha fornecida pelo referido programa.

O COMFAA disponibiliza uma biblioteca de materiais, dentre os quais foram considerados similares à descrição apresentada na Figura 5 as seguintes classificações:

- P-401: Concreto Betuminoso Usinado à Quente (HMA – *Hot Mix Asphalt*);
- P-209: Base não estabilizada (*Aggregate crushed*);
- P-154: Sub-base não estabilizada (*Aggregate uncrushed*).

A Figura 6 apresenta o pavimento equivalente, para o qual foi definido uma espessura de 836,4 mm com os materiais supracitados e espessuras das camadas conforme apresentado na Figura 5, e, CBR do subleito de 20%.

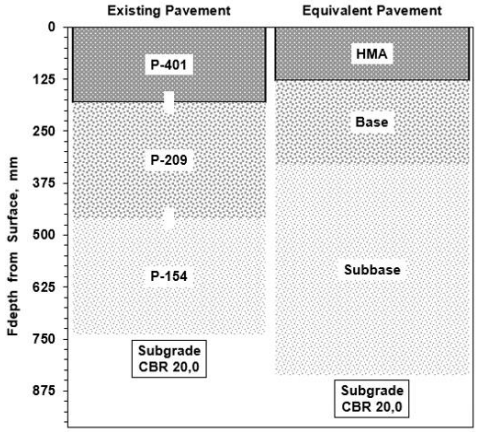
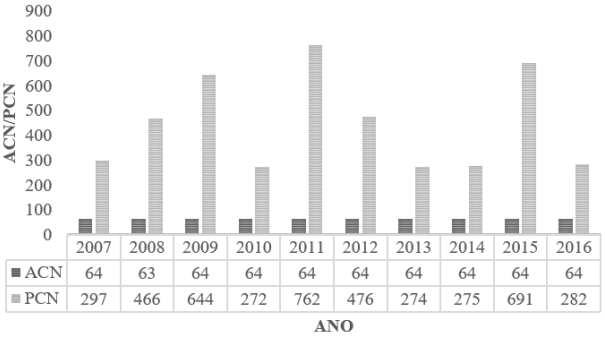


Figura 6: Seção equivalente definida pelo COMFAA

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

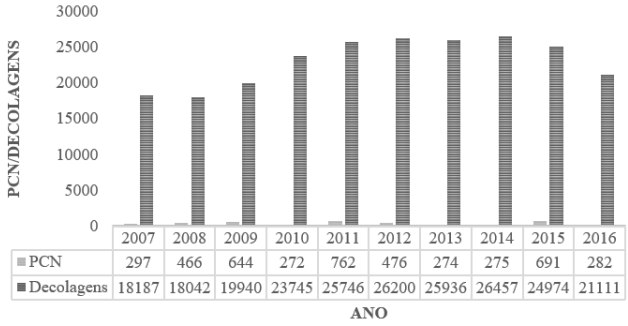
Com os dados estabelecidos da Tabela 2 e da Figura 6, têm-se os resultados obtidos do *software* COMFAA para os anos de 2007 a 2016 no Gráfico 2.

Gráfico 2: Valores de ACN e PCN (CBR=20%)



	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ACN	64	63	64	64	64	64	64	64	64	64
PCN	297	466	644	272	762	476	274	275	691	282

Gráfico 3: PCN X Decolagens Anuais (CBR= 20%)



	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
PCN	297	466	644	272	762	476	274	275	691	282
Decolagens	18187	18042	19940	23745	25746	26200	25936	26457	24974	21111

De acordo com o Gráfico 2, observa-se que os valores de ACN não apresentaram variações significativas, sendo o mesmo valor a partir do ano de 2009. O ACN obtido é inferior ao PCN da pista analisada.

Ainda no Gráfico 2, os valores de PCN, por sua vez, variam consideravelmente ao decorrer dos anos estudados, além de apresentar valores elevados em relação ao PCN da classificação atual da pista estudada, o que pode indicar um pavimento superdimensionado.

Além disso, os valores de CDF obtidos do *software* COMFAA para todas as aeronaves foram iguais a zero para o CBR de 20% em todos os anos estudados.

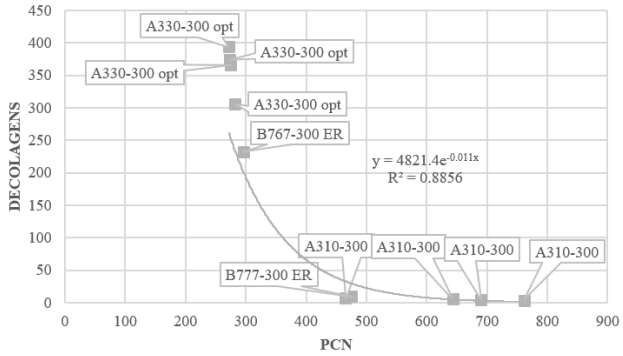
O relatório do COMFAA também aponta que nenhuma aeronave solicitou o pavimento no que diz respeito à sua espessura, ou seja, o *software* indica que a vida útil do pavimento é ilimitada e que sua estrutura apresenta elevada resistência em relação ao carregamento das aeronaves para essas análises.

A resistência do pavimento é dada pelo maior valor de PCN fornecido pelo *software* COMFAA. O Gráfico 3 exibe a variação do PCN da pista de pouso e decolagem estudada e a variação da quantidade de operações consideradas para este trabalho ao longo dos anos de 2007 a 2016.

Como não foi possível estabelecer uma boa correlação do PCN com o total de decolagens anuais, priorizou-se então as operações anuais das aeronaves com maiores valores de PCN obtidos através do *software* COMFAA (aeronaves críticas).

O Gráfico 4 exibe a correlação dos valores de PCN das aeronaves críticas e as suas quantidades de decolagens anuais. Para o CBR de 20%, estabeleceu-se uma correlação de 88,56%.

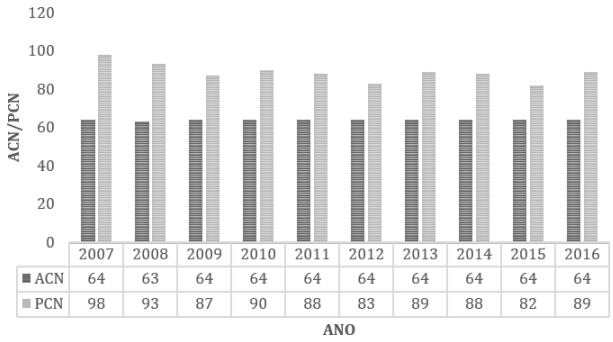
Gráfico 4: PCN X Decolagens Anuais (CBR=20%)



Tendo em vista que o valor de CBR adotado de 20% provém de um relatório de 1985, neste trabalho optou-se pela análise das mesmas operações com o valor de CBR de 9%, com base no conhecimento dos autores das características dos solos da região e, também em estudos e projetos anteriores (Gráfico 5).

A análise considera a mesma espessura equivalente de 836,4 mm (Figura 6) e o *mix* de aeronaves (Tabela 7).

Gráfico 5: Valores de ACN/PCN (CBR= 9%)

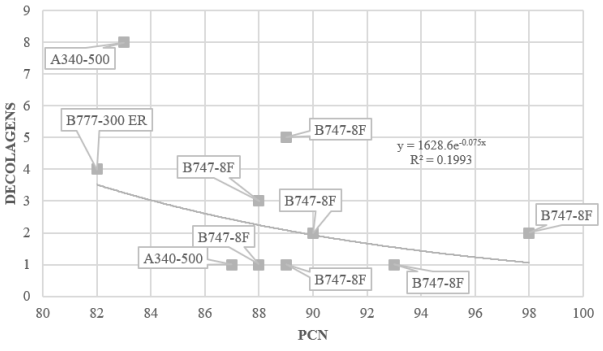


Com a redução do CBR para 9%, os valores de PCN também foram reduzidos em relação ao Gráfico 2, não obstante os valores são superiores à classificação atual da pista estudada. Entretanto, para este estudo, os valores de ACN excederam o limite atual de PCN de 66 para a pista analisada.

Além disso, os valores de CDF obtidos do *software* COMFAA para esta análise com o CBR reduzido para os anos estudados, não atingiram valores significativos, inclusive o somatório dos CDFs de todas as aeronaves que operaram em cada ano ficou em torno de 0,15, o que expressa um pavimento que não excedeu a sua vida útil de fadiga.

No Gráfico 6 é apresentada uma tentativa de correlação dos valores de PCN das aeronaves críticas e as suas quantidades de decolagens anuais para o CBR de 9%. Observa-se que a correlação é de apenas 19,93%.

Gráfico 6: PCN X Decolagens Anuais (CBR= 9%)



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou apresentar um estudo da variação dos valores de ACN e PCN da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Fortaleza. Para estudar essa variação foram utilizados os relatórios das operações anuais dos anos de 2007 a 2016 e foram analisados no *software* COMFAA.

Vale ressaltar que os resultados podem ter sido influenciados pela entrada de dados no COMFAA, tanto pela biblioteca dos materiais para a definição da espessura das camadas que podem não refletir a realidade dos materiais existentes, da pista estudada, bem como pela biblioteca de aeronaves a qual não contém os modelos ERJ, ATR-42 e ATR-72.

O CBR utilizado para a entrada de dados no *software* foi de 20%. Dessa forma, obtiveram-se os valores de ACN com pouca ou nenhuma variação. Os valores obtidos de PCN foram elevados se comparado ao valor de classificação da pista de pouso e decolagem em estudo. No entanto, vale salientar que o valor de CBR provém de um relatório de 1985 e que não há garantias que esse valor seja o mesmo após mais de 30 anos. Diante disso, optou-se por avaliar os mesmos dados para um valor de CBR de 9%, e, nessa análise os valores de PCN obtidos, ainda foram superiores à notificação de PCN da pista.

Salienta-se também, que os dados de tráfego (pousos e decolagens) utilizados nesta pesquisa, sendo aplicados ao novo Método ACR/PCR podem resultar em valores diferentes, devido ao método ser mecanístico-empírico e considerar todas as características de materiais e configurações do trem-de-pouso, e não apenas considerar o valor de CBR para qualificar o suporte do subleito.

Por fim, outro ponto que merece destaque no que se refere à análise do tráfego do aeroporto estudado. As quantidades de operações para os anos seguintes a este estudo, podem ser influenciadas, dos quais destacam-se: a concessão do Aeroporto Internacional de Fortaleza à iniciativa privada, o desenvolvimento do turismo e do comércio do estado do Ceará, a operação de empresas aéreas internacionais para o estado e a abertura do capital nacional para empresas internacionais.

7. REFERÊNCIAS

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. 2008. Resistência de Pavimentos dos Aeródromos. Brasília. 2008.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Instrução Suplementar – IS nº 153.103-001 Ministério da Defesa. Brasília, DF. 2016.

DIRENG. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Avaliação das pistas e pátios. Aeroporto de Fortaleza. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Ministério da Aeronáutica. Brasília, DF. 1978.

DIRENG. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Projeto de reforço – Pista de pouso do Aeroporto de Fortaleza. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Ministério da Aeronáutica. Brasília, DF. 1985.

DIRENG. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Levantamento de Dados de Aeroportos Brasileiros. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Ministério da Aeronáutica. Brasília, DF. 1991.

FAA. Airport Pavement Management Program. Advisory Circular – AC 150/5335-5C. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC, 2014.

ICAO. International Civil Aviation Organization. Manual de proyecto de aeródromos. Parte 3. Pavimentos. Segunda edición. Organización de Aviación Civil Internacional. Lima, Peru. 1983.

ICAO. International Civil Aviation Organization. Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. Aerodrome Design and Operations. Volume I. 4th Edition. International Civil Aviation Organization. Montreal, Canada. 2004.

ICAO. International Civil Aviation Organization. XIV Seminario ALACPA de Pavimentos Aeroportuarios. The Aircraft Classification Rating – Pavement Classification Rating ACR-PC. Quito, Equador. 2018.

OLIVEIRA, F.H.L. Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrotextura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. 2009. 178 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2009.

OLIVEIRA, F.H.L. Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários como apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação. 2016. 180 p. Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2016.

RISK ASSESSMENT IN AIRPORT MAINTENANCE RUNWAY CONDITION USING MCDA-C

Daniel A. Cunha
Department of Civil and Environmental Engineering
Faculdade de Tecnologia, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - CEP 70910-900, (55) 61 994262670, danielalvescunha@gmail.com

Michelle Andrade
Department of Civil and Environmental Engineering
Faculdade de Tecnologia, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - CEP 70910-900, maccivil@gmail.com

Leonardo O. Santana
National Civil Aviation Agency
Setor Comercial Sul - Quadra 09 - Lote C - Edifício Parque Cidade Corporate Torre A (1º ao 7º andar - Asa Sul, Brasília - DF, 70308-200, (55) 61 983051555, leodfsantana@yahoo.com.br

Lucius A. Prado Author 4 – Text Style 'Author Name'
National Civil Aviation Agency
Setor Comercial Sul - Quadra 09 - Lote C - Edifício Parque Cidade Corporate Torre A (1º ao 7º andar - Asa Sul, Brasília - DF, 70308-200, lucius.prado@anac.gov.br

Marcos Paulo Gonçalves da Silva
National Civil Aviation Agency
Setor Comercial Sul - Quadra 09 - Lote C - Edifício Parque Cidade Corporate Torre A (1º ao 7º andar - Asa Sul, Brasília - DF, 70308-200, marcos.goncalves@anac.gov.br

ABSTRACT

This paper proposed the initial development of a multicriteria methodology for a runway maintenance monitoring using risk perception at airports with the MCDA-C methodology. To support morphological structuring and semantic judgments eight specialists in airport maintenance and operations were interviewed and the model was built based in their perceptions and deep technical knowledge on the subject. We found that the 7 most representative criteria were able to deal with approximately 80% of the perceived risk by the experts, indicating that a considerable part of the resources of the Brazilian airport infrastructure operations could be being redirected towards a more rational application. Finally, we applied the method in a real scenario situation by analyzing real data from the 29 the busiest Brazilian airports. Data showed objectively that 18 airports presented scores that clearly indicated being in a favorable (safer) or unfavorable (risky) condition regarding the criteria analyzed, guiding where the state can spend the resources with the best benefit.

Keywords: MCDA-C Methodology; Airports Predictive Risk Monitoring; Risk Perception; Airport Risk; State Safety Programme (SSP).

1. INTRODUCTION

The Standard and Recommended Practices (SARPs), issued by the International Civil Aviation Organization (ICAO), are standards and best practices for global civil aviation. They are intended to ensure uniformity, efficiency and safety of aviation among all signatory States of the International Civil Aviation Convention.

In 2016 ICAO took the initiative to publish an Annex containing standards and recommendations for operational safety management within the Member States and their respective Civil Aviation Service Providers. The document was named Annex 19 - Safety Management and complemented the guidelines of the same nature contained in DOC 9859 - Safety Management Systems.

According to the initial proposal, this Annex should support the continuous evolution of proactive strategies aiming the improvement of safety. The set of these strategies was then called the State Safety Program (SSP), whose focus is the systematic treatment of the risks inherent to the State's actions when supervising and regulating the civil aviation industry. It is a management system for improving the State's regulatory and administrative capacity on providing safety through the operators.

In parallel, DOC 9734 - State's Safety Oversight System, presents the key elements for structuring the State's regulatory technical functions, so that it can satisfactorily perform its safety oversight functions.

These guidelines specify that each member State should establish their SSP, consistent with the size and complexity of civil aviation activities developed in the state regulation and supervision, and aiming to achieve an acceptable level of safety performance (ALoSP). In addition, it should have specific objectives related to the achievement of the highest practicable level of safety (ALARP) for air transport activities, as set forth in State policy.

In this context, arises a need for the State to monitor and measure the safety results of its civil aviation system. This monitoring should be performed considering acceptable levels of safety performance, identified through safety indicators and targets. This action is also foreseen in Annex 19.

Therefore, in line with these guidelines, Brazilian Civil Aviation Agency - ANAC published in 2015, its Specific Operational Safety Program (PSOE-ANAC), which brings its approach to operational safety management. In it, civil aviation activities under the supervision of the Agency shall be subject to a performance monitoring process based on acceptable indicators, targets and acceptable levels of safety performance, so that the civil aviation risks are properly managed.

This monitoring should be applied to the supervision of the activities under the jurisdiction of the ANAC, ie, the technical activities regulated by the ICAO Annexes, including Annex 14 (Aerodromes), core object of this work.

This activity can be based on the assessment of fundamentally four kinds of what Sage and White (1980) call “societal risk”: real or statistical risk, that would be the monitoring of statistical recurrence of significant data from undesired events and/or the estimation of the risk based on perception of individuals or predictions from the models structured on the analysis of latent conditions in a given system before the actual realization of the risk, which are technically called perceived and predictive risk monitoring (Janic, 2000).

Thus, this paper aims to propose the initial development of a multicriteria methodology for predictive risk monitoring by perception at airports in a broad way. To do so, we intend to test the use of the MCDA-C methodology to the aspects of maintenance of airport runways, so that the technique can be replicated to all other operational aspects of an airport, if proved feasible.

In this work, the initial section introduces the subject and the problem posed. Section 2 presents the theoretical framework about the analysis tool used (MCDA-C). Subsequently the tool is used in the construction of the model (section 3) and section 4 brings a sensitivity analysis applied to the real case of the main Brazilian airports. The paper ends in section 5, with the main conclusions.

2. THEORETICAL REFERENCE

The bibliographic study of the theme for airports, as introduced by Bezerra & Gomes (2016), necessarily goes through the survey of relevant sources. Thus, for this article we used some of the main databases of scientific production available online, such as Science Direct and SciELO.

Fetching systematically data associated to the main terms related to this paper was possible to obtain a huge reference base of scientific works. Topics surrounding the generic term "risk" have been discussed in academic and industry environments for many years. However, the objective here is not to bring conceptual definitions for the knowledge linked directly to risk.

The main purpose here is to test the MCDA-C methodology when arises the need of assessing risk factors and there are not available reference parameters and/or not enough evaluators of such factors to make the evaluation more precise. It intends, then, to test a new tool when it comes to risk assessment in an environment not parameterized solely by objective criteria.

Again, there is a large bibliography on the use of MCDA-C for this purpose. However, it was not possible to find its use applied to the evaluation of predictive risk in airports, making this work the first to address this aspect with the use of this tool. This brings the need to build the model together with the process users and decision makers, supported by a solid experience and knowledge on the decision problem, since the lack of knowledge could lead to a poorly structured hierarchy, indicating an erroneous alternative as the best solution to the problem.

In a brief review of rational multi-criteria decision-making models, the most commonly used are the Analytic Hierarchy Process (AHP) proposed by Saaty (1980), Multicriteria Decision Making (MCDM) and Multicriteria Decision Aid (MCDA). The AHP is characterized by hierarchically organizing complex problems, comprising several criteria and decision makers in a flexible and intuitive process (Ceolin, 2005). MCDM and MCDA methodologies, derived from operational research, differ fundamentally in their premises. While the MCDM aims at an optimal solution through a purely mathematical model, independent of the individuals involved, the MCDA uses a model with a decisional context based on the consideration of the convictions and values of the individuals involved (LYRIO et al, 2007).

A MCDA ramification is the MCDA-C methodology, which experienced its consolidation as a scientific management tool from the 1980s with the works of Roy (1996) and Landry (1995) defining the limits of objectivity for processes, Skinner (1986) and Keeney (1992) in recognizing that the attributes (objectives, criteria) are specific to the decision-maker in each context, and Bana and Costa (1993) in making explicit the convictions of the MCDA, among others.

The MCDA-C methodologies and the traditional MCDA differ, in particular, by their constructive logic of the models. While the MCDA is rationalist-deductive, the MCDA-C uses a mixed constructive research logic: inductive and deductive (ROY, 1993).

The MCDA-C relies on the basic beliefs of the French School (ROY, 1996): omnipresence of the subjectivity of the decision-making process, paradigm of participatory learning, constructivism conviction, recognition of the limitations of the excellent mathematician, and use of an approach that is not part of any preconceptions (Ensslin et al, 2013). Therefore, the choice for the use of this branch of methodologies is supported by the comparative study of Neuenfeldt Júnior et al. (2015), which used five criteria: subjectivity, simplicity, adaptability, acceptance and management.

The author demonstrates the advantages of the MCDA-C methodology over AHP specially in terms of simplicity, acceptance and management. For him, the mathematical aspect of the AHP methodology and the more participative model building process helping to identify the impact of an action in the overall performance of the organization makes MCDA-C to stand out over AHP.

In this perspective, the MCDA-C approach fits with the proposed objective, since it seeks to structure the decision-making context where decision-makers can base their decisions on what they believe to be the most appropriate

(Zamcopé, 2012; Bana and Costa, 1992; Bana and Costa et al., 1999; Keeney, 1992). It enables decision-makers to build the knowledge that enables them to understand the consequences of their decisions on those aspects that they consider relevant (their values and preferences) in the specific context (Ensslin et al, 2015).

Thus, the option for this methodology is based on the fact that it is able to encapsulate the users perceptions regarding the attractiveness difference between each evaluation elements generating adequate numerical scales and weights to them (Ensslin et al., 2009).

At this point it is important to remember that the development of a decision tree for risk assessment in airports prior to an undesirable event occurrence is essentially part of a subjective risk assessment activity. Since MCDA-C is better used for this kind of problem, if its use is proven feasible, it will be possible to standardize the technique and replicate it to all other operational aspects of an airport.

3. METHODS AND PROCEDURES

The MCDA-C methodology is basically composed of three basic phases, differentiated, but intrinsically correlated (Bana and Costa et al., 1999), which will be used for the construction of the model:

(1) Structuring Phase: structuration of the decision-making context;

(2) Evaluation Phase: construction of the evaluation criteria; and

(3) Result Assessment: final data analysis and the decision proposal (discussed on the "result assessment" section).

To support elementary calculations of the comparisons between differences in attractiveness, impact levels, value functions, substitution rates, semantic judgments and other evaluations, eight specialists in airport maintenance and operations were interviewed and the model was built based in their deep technical knowledge on the subject.

3.1. Structuring Phase

According to Ensslin (2001) the structure of the model is composed by:

a) The choice of the decision makers who will participate actively in the construction of the model;

b) Identification of the types of potential actions that will be evaluated in the model;

c) Define a label (title) for the model;

d) Identify the dimensions, criteria and sub criteria to evaluate the potential actions;

e) Define the descriptors (scales) of each evaluation axis.

For the development of this research were conducted semi-structured interviews using a brainstorming technique with the purpose of generating knowledge about the decision context. The expert opinion led to a structured decision tree in 12 final elements of judgement organized in up to 4 levels for the purpose of the better theoretical organization and more appropriate treatment of the problem, giving the model a good measurement capability without redundancy of the analyzed factors (figure 1)

3.2. Evaluation Phase

From the new decision tree, the other elements of the MCDA-C modeling were defined. We outlined the descriptors for the last level of each branch of the tree indicating and the acceptable minima (regulatory assumptions or subjective assumptions). The scale chosen for the descriptors varies according to (1) the minima clearly defined in regulation or (2) the point of view of the specialists and the descriptor, when acceptable levels are not defined and their definition become purely subjective (table 1).

A direct numerical normalization was introduced for each descriptor value, so comparisons between them can be properly done in the same basis. It is one of the most widely used numerical technique and is considered essential to make the model operational, more objective and intuitive (therefore more acceptable) for the users (Fishburn, 1967; Winterfeldt e Eduwards, 1968; Goodwin e Wright, 1991; Beinat, 1995).



Figure 1 - Decision tree of the proposed methodology

Table 1 - Descriptors, Reference Levels and Value Functions

Hierarchical level				Descriptor		Normalization
Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Nature	Value	
1	1.1	1.1.1		Subjective	Compliant	1
					Non-compliant	-1
		1.1.2		Regulatory	Compliant	1
					Non-compliant	-1
		1.1.3		Regulatory	Compliant	1
					Non-compliant	-1
	1.2	1.2.1	1.2.1.1	Regulatory	Compliant	1
					Non-compliant	-1
			1.2.1.2	Regulatory	Compliant	1
					Non-compliant	-1
		1.2.2	1.2.2.1	Regulatory	Compliant	1
					Non-compliant	-1
			1.2.2.2	Regulatory	Compliant	1
					Non-compliant	-1
2	2.1			Regulatory	85 - 100 (Compliant ++)	1
					70 - 84 (Compliant +)	0,5
					55 - 69 (Compliant)	0
					40 - 54 (Non-compliant)	-0,25
					25 - 39 (Non-compliant -)	-0,5
					10 - 24 (Non-compliant --)	-0,75
					0 - 09 (Non-compliant ---)	-1

	2.2			Regulatory	≤2,5 m/km (Compliant)	1
					>2,5 m/km (Non-compliant)	-1
	2.3	2.3.1		Regulatory	P > 1,2 (Compliant ++)	1
					0,8 < P ≤ 1,2 (Compliant +)	0,5
					0,4 < P ≤ 0,8 (Compliant)	0
					0,2 < P ≤ 0,4 (Non-compliant)	-0,5
					P ≤ 0,2 (Non-compliant -)	-1,0
		2.3.2		Regulatory	μ > Maintenance Level (Compliant +)	1
					Maintenance Level ≥ μ ≥ Minimum Level (Compliant)	0
					μ < Minimum Level (Noncompliant)	-1
3	3.1			Regulatory	Highest PCN	1
					Lowest PCN	-1

Finally, were defined the relative weights for each hierarchical level of evaluation. All the experts voted individually and together crosschecked the resulting mean values into a semantic judgment matrix. The collegiate action is essential to control the results and amplify the level of certainty of the judgement as a whole. Results are shown in Figure 2.

4. RESULT ASSESSMENT

4.1. On the model

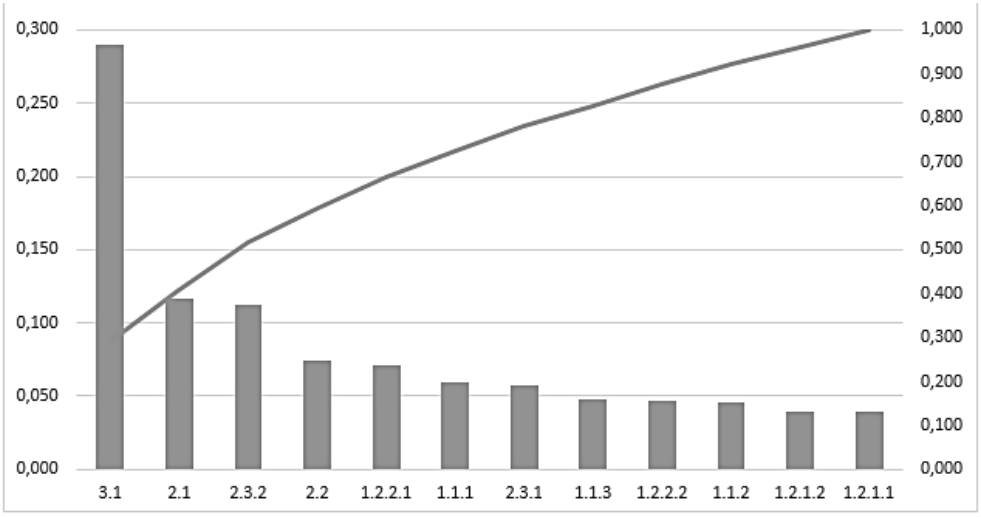
A sensitivity assessment of the data obtained was performed to reveal the relative representativeness of each evaluation element of the model. The relative analysis of the twelve criteria showed that the experts judged nine of them with approximate and relatively low values. The other three criteria (3.1 ACN/PCN, 2.1 PCI and 2.3.2 Friction Coefficient) stood out, demonstrating that the evaluating body agreed on its importance for airports runway maintenance (Chart 1).

We did not find a large disparity between most of the criteria assessed. It could be attributed to three factors: the first would be related to the high level of technical capacity of the experts. As said before, it increases the level of precision of the evaluation. The second could be the fact

Hierarchical level	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Expert 6	Expert 7	Expert 8	Weight in each level	Weight general
1	0,33	0,50	0,33	0,40	0,25	0,34	0,25	0,40	0,35	0,350
1.1	0,40	0,50	0,40	0,40	0,40	0,50	0,60	0,30	0,44	0,153
1.1.1	0,40	0,30	0,50	0,40	0,30	0,50	0,40	0,30	0,39	0,059
1.1.2	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,046
1.1.3	0,30	0,40	0,20	0,30	0,40	0,20	0,30	0,40	0,31	0,048
1.2	0,60	0,50	0,60	0,60	0,60	0,50	0,40	0,70	0,56	0,197
1.2.1	0,40	0,50	0,40	0,30	0,40	0,30	0,50	0,40	0,40	0,079
1.2.1.1	0,50	0,40	0,50	0,50	0,70	0,50	0,50	0,40	0,50	0,039
1.2.1.2	0,50	0,60	0,50	0,50	0,30	0,50	0,50	0,60	0,50	0,039
1.2.2	0,60	0,50	0,60	0,70	0,60	0,70	0,50	0,60	0,60	0,118
1.2.2.1	0,60	0,70	0,60	0,70	0,60	0,50	0,60	0,50	0,60	0,071
1.2.2.2	0,40	0,30	0,40	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40	0,047
2	0,34	0,25	0,33	0,30	0,50	0,33	0,50	0,30	0,36	0,360
2.1	0,30	0,20	0,34	0,30	0,50	0,30	0,34	0,30	0,32	0,116
2.2	0,20	0,10	0,33	0,10	0,20	0,10	0,33	0,30	0,21	0,075
2.3	0,50	0,70	0,33	0,60	0,30	0,60	0,33	0,40	0,47	0,169
2.3.1	0,30	0,30	0,40	0,30	0,40	0,30	0,30	0,40	0,34	0,057
2.3.2	0,70	0,70	0,60	0,70	0,60	0,70	0,70	0,60	0,66	0,112
3	0,33	0,25	0,34	0,30	0,25	0,33	0,25	0,30	0,29	0,290
3.1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	0,290

Figure 2 - Replacement rates by hierarchical leve

Chart 1 - Relative and cumulative impact of each final evaluation element



that we used the mean values after their judgement, which can correct any possible "outlier misjudgment", if it occurs. Finally, the third could be attributed to the large number of evaluation elements related by them.

Together they could represent a disadvantage when using the model because it could bring the need for a larger effort in data acquisition, but in the other hand, it could also be an advantage because it represents a reduction in the impact of a possible asymmetry of information in some element.

According to their risk judgment, the 7 most representative criteria are able to deal with approximately 80% of the perceived risk in airport runways. Together, top 3 criteria (3.1 ACN/PCN, 2.1 PCI and 2.3.2 Friction Coefficient) represented 52% of the importance given by the runway maintenance experts. Their risk perception indicated by the semantic judgment that in a group of 12 elements, alone the 3 most significant represented the risk of the 9 least significant.

This data is a strong indication that a considerable amount of public and private resources of the sector can be being applied in actions of low importance. Given the high concentration of the risk in some few elements, it means that a considerable part of the resources of the Brazilian airport infrastructure operations could be being redirected towards a more rational application, since they would reduce the expense in elements of low risk and high cost.

If we consider that the Brazilian aviation market has approximately 110 airports who are required to meet those runway maintenance requirements and that infrastructure costs are amongst the most representative in economy, we can briefly assess how important this kind of model can be to assure a more cost effective (and then more safe) market.

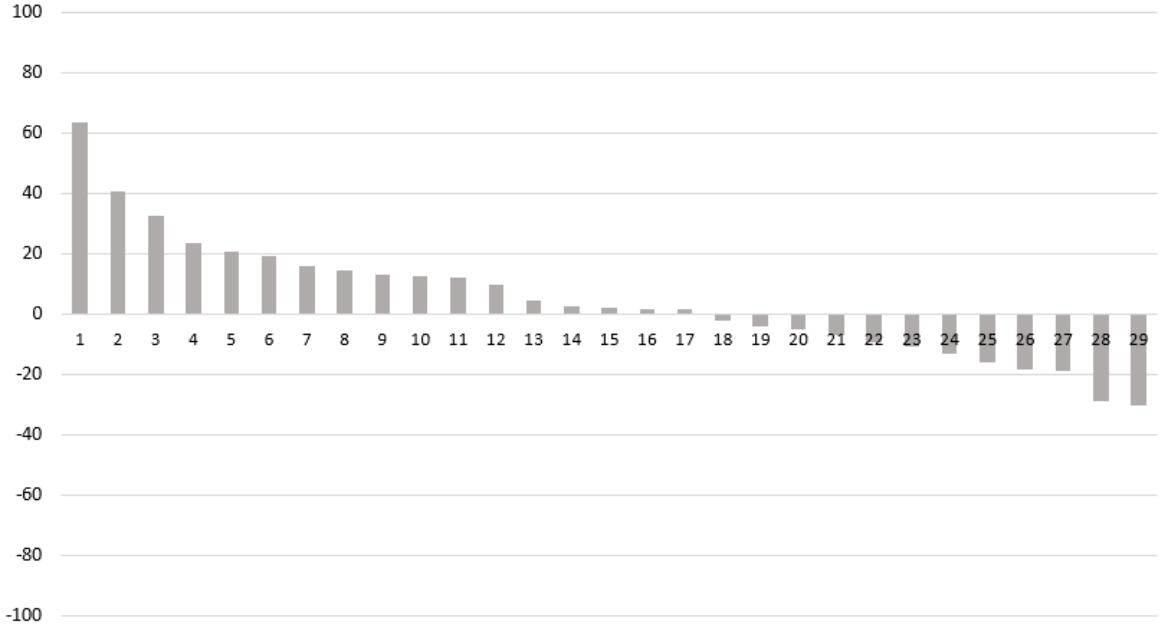
4.2. Application in real scenario

Model was applied in the assessment of 29 the busiest Brazilian airports, concentrating 94% of the country`s passenger movement in 2018. For the analysis, we used de-characterized data of the 5 most sensitive parameters (3.1 PCN, 2.1 PCI, 2.3.2 Friction Coefficient, 2.2 IRI e 2.3.1 Macrotexture Depth), representing 65% of the perceived risk by the group of experts, within the 12 developed.

The survey of the other data from the judgement tree created in the model, less sensitive in terms of risk would disproportionately increase the cost of the risk assessment, without an equivalent return in risk control. This point was considered as the optimum point of the cost-benefit data assessment.

Sensitivity analysis was performed descriptively in two ways. The first on a scale of values relative to the maximum possible values to obtain: +0.65 (maximum safety = +100 points) to -0.65 (maximum risk = -100 points). So, for example, if a given airport obtained maximum performance on the assessed criteria, its safety grade would be 100 points (Chart 2).

Chart 2 - Airport performances relatively to maximum possible scores (+0,65 = 100 pts. / -0,65 = -100 pts.)



As we can see, any airport obtained maximum safety performance. The best one obtained +0,41 (64 points) and the least performant obtained -0,20 (-30 points). Out of 29 airports, 17 had positive scores and 12 stayed in negative spectrum. The average score of the safest airports was 0,11 (17 points) and the among the less safe airports was -0,09 (-14 points). It is possible to conclude that, according to criteria developed in this article, the runway condition of the analyzed airports tends to be safer than risky

From this point we can look the numbers in a normalized scale assessing how safe are the airports relatively to their own scores (Chart 3). We disposed the airports in a dispersion analysis, comparing how are their performance relatively to the standard deviation of the sample ($\sigma = 0,13$.

Were identified 11 airports surrounding +0,5 and -0,5 standard deviations. They can be seen as statistically similar in terms of runway safety performance. Their score differences can be attributed to some possible imprecision since the airport on site testing method, until the data collection phase in this article.

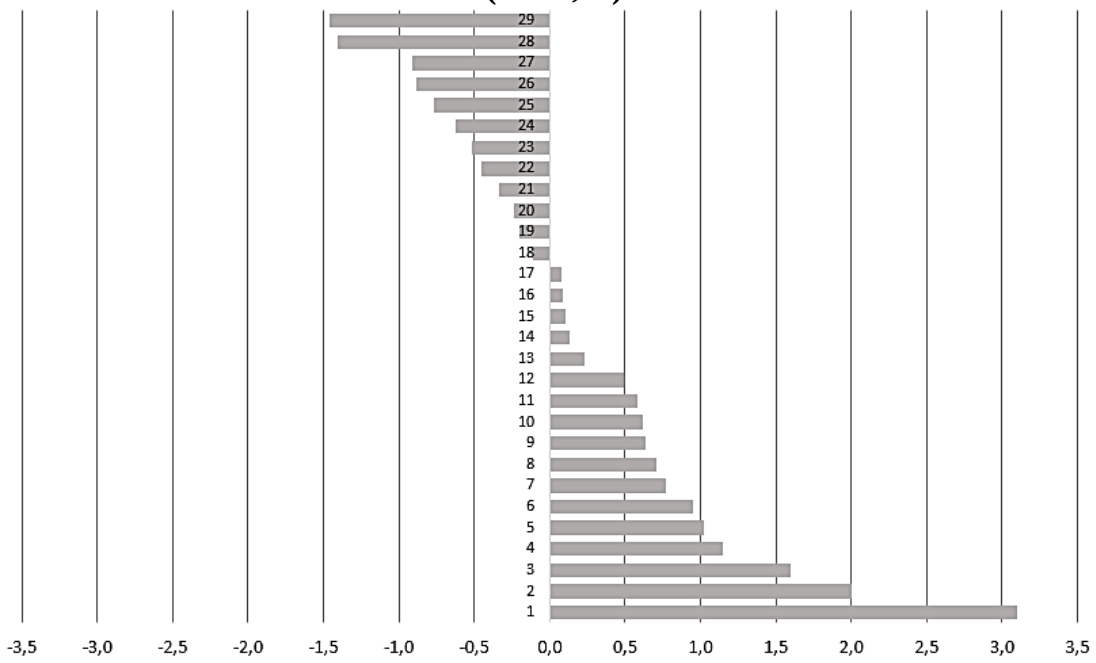
The other 18 airports presented scores above +/-0,5 standard deviations. Among then, 7 were placed in the region of the riskier ones, while in the other side of the scale, were placed 11 airports in the safest group. We can securely stand that they are safer or riskier than the 11 placed in the central area of the chart.

This kind of relativization allows regulatory and economic agents to act according to the outputs produced. From the point of view of public regulatory agencies, they can adopt more precise and objective regulatory actions. It is possible to optimize the appropriate application of resources to monitor factors that most significantly influence risk, especially if we consider that there is a considerable part of the monitored data that returns a small part of the risk to the state. They can, for example, increase the frequency of surveillance at airports with higher levels of risk and reduce it for the safest operators group.

From the point of view of the airports, being among the safest airport group can be advantageous due to the financial benefit of being submitted to lower frequencies of state`s enforcement. Additionally, the "willing" to be on the positive safety score region can lead to a continuous improvement of safety records since this effort can increase the average score of the whole group.

However, analyzing the actions from the data assessment is not objective of this article. This last section was brought here only to demonstrate the use of the model to the real case, which was clearly proved feasible.

Chart 3 - Airport performances relatively to standard deviation (σ = 0,13)



5. CONCLUSIONS

The objective of this work was to test the use of MCDA-C methodology in proposing a predictive risk assessment for airports runway maintenance in Brazil. To support morphological structuring and semantic judgments eight specialists in airport maintenance and operations were interviewed and the model was built based in their perceptions and deep technical knowledge on the subject.

The methodology, already consolidated for use in other spheres of the economy, has proved versatile enough to encapsulate the different forms of assessment that emerge for civil aviation, namely, qualitative and quantitative, with clearly defined reference levels in regulations technical or merely perceptive from the point of view of the actors involved, either in risk assessment or in decision making.

Data collected was able to assist in the risk analysis in a clear and objective manner, and the experts expressed that the final adjusted results were aligned with their perception in relation to the risk represented by the noncompliance of each of the elements analyzed.

We found that the 7 most representative criteria were able to deal with approximately 80% of the perceived risk in airport runways. Together, top 3 criteria represented 52% of the importance given by the runway maintenance experts.

Their risk perception indicated by the semantic judgment that in a group of 12 elements, alone the 3 most representative represents the risk of the 9 least representative. This data is a strong indication, a considerable part of the resources of the Brazilian airport infrastructure operations could be being redirected towards a more rational application, since they would reduce the expense in elements of low risk and high cost

As a final step, we applied the method in a real scenario situation by analyzing real data from the 29 the busiest Brazilian airports, concentrating 94% of the country passenger movement in 2018. For the assessment we used de-characterized data of the 5 most sensitive parameters (3.1 PCN, 2.1 PCI, 2.3.2 Friction Coefficient, 2.2 IRI e 2.3.1 Macrotexture Depth), representing 65% of the perceived risk by the group of experts, within the 12 developed.

We were able to conclude objectively that 18 airports presented scores that clearly indicated being in a favorable or unfavorable condition regarding the criteria analyzed. Among then, 7 were placed in the region of

the riskier ones, while in the other side of the scale, were placed 11 airports in the safest group.

It allows regulatory agencies to optimize the appropriate application of resources to monitor factors that most significantly influence risk, especially if we consider that there is a considerable part of the monitored data that returns a small part of the risk to the state.

The conclusion on the method application is that the MCDA-C methodology is able to be used as a tool for risk assessment in scenarios with objective or subjective data in airport safety management, enabling us to replicate the method for other airport elements with similar conditions of the regulatory requirements.

6. REFERENCES

FISHBURN, P. C. (1967) Conjoint measurement in utility theory with incomplete product sets - Journal of Mathematical Psychology - Volume 4, Issue 1, February 1967, Pages 104-119.

ANAC (2015) Agencia Nacional de Aviação Civil. Programa de Segurança Operacional Específico (PSOE-ANAC). Brasília. 30p.

ANAC (2012) Agencia Nacional de Aviação Civil. *Regulamento Brasileiro de Aviação Civil 153.*

ANAC (2012) Agencia Nacional de Aviação Civil. *Regulamento Brasileiro de Aviação Civil 154.*

BANA e COSTA, C. A. (1992) *Structuration, construction et exploitation d'un modèle multicritère d'aide à la décision.* Tese (Doutorado) - Engenharia de Sistemas, Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1992.

BEINAT, E. (1995) Multi attribute value functions for environmental management. Amsterdam: Timbergen Institute Research Series.

BEZERRA, G. C. L., Gomes, C. F. (2016) "Performance Measurement in Airport Settings: A Systematic Literature Review". *Benchmarking An International Journal*, v. 23. i. 4 p. 1027-1050.

BORTOLUZZI, S. C., ENSSLIN, S., LYRIO, M. V. L., ENSSLIN, L - Avaliação de desempenho econômico-financeiro: uma proposta de integração de indicadores contábeis tradicionais por meio da metodologia multicritério de apoio à decisão construtivista (MCDA-C) - *Revista Alcance - Eletrônica*, Vol. 18 - n. 2 - p. 200-218 / abr-jun 2011

CEOLIM, A.J. Aplicação de Metodologias Multicritério na Avaliação dos Cursos da UNESPAR/FECILCAM. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

ENSSLIN, L., CORRÊA, E. C., VANSNICK, J. C. (1999) Decision Support Systems in Action: Integrated Application in a Multicriteria Decision Aid Process. *European Journal of Operational Research*, v. 113, n. 2. p. 315-335.

ENSSLIN, L., ENSSLIN, S., MACHADO, T. (2015) Desenvolvimento de produtos usando a abordagem MCDA-C. *Revista Produção*, v. 25, n. 3. versão online.

ENSSLIN, L., MONTIBELLER, G. N., & NORONHA, S. M. (2001) *Apoio à decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. 1ª Edição - Florianópolis: Insular. 296 p.

ENSSLIN, L., ZAMCOPÉ, F. C., TERZA, R. (2009) Metodologia multicritério de apoio à decisão construtivista para a identificação e avaliação de habilidades para o setor de estamparia têxtil. *Revista GEPROS. a. 5.* n. 1. p. 125-142.

ENSSLIN, L. *et al*. Modelo multicritério de apoio à decisão construtivista no processo de avaliação de fornecedores. Revista Produção, v. 23, n. 2, p. 402-421, abr./jun. 2013 (http://www.scielo.br/pdf/prod/v23n2/aop_t6_0006_0628.pdf)

FISHBURN, P. C. (1967) Conjoint measurement in utility theory with incomplete product sets - Journal of Mathematical Psychology - Volume 4, Issue 1, February 1967, Pages 104-119.

JANIC, M. (2000) An assessment of risk and safety in civil aviation. *Journal of Air Transport Management.* v. 6. p. 43-50.

GOODWIN, P. & WRIGHT, G. (1991) Decision Analysis for Management Judgment. New York: John Wiley& Sons, p. 308.

JANIC, M. (2000) An assessment of risk and safety in civil aviation. Journal of Air Transport Management. v. 6. p. 43-50.

LYRIO, M. V. L. et al. Construção de um Modelo de Avaliação de Desempenho da Secretaria de Desenvolvimento Regional da Grande Florianópolis: a Proposta da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão Construtivista. 5. ed. Florianópolis*: Contextus*, 2007.

NEUENFELDT JÚNIOR, A. L., MACHADO, C. M., SILUK, J. C. M., SOLIMAN, M., HUPFER, N. T., PARIS, S. R. - Comparativo entre as metodologias MCDA-C, DEA e AHP - *Revista F A E* , Curitiba, Vol. 18 – n. 1 – p. 6-19 / jan.-jun. 2015.

OACI (2013) Organização de Aviação Civil Internacional. *Doc 9859 - Safety Management Manual (SMM)*. 3ª Edição - Montreal. 254p.

OACI (2014) Organização de Aviação Civil Internacional. *Annex 14 Volume 1 - Aerodrome Design and Operation*. 6ª Edição - Montreal. 336p.

OACI (2006) Organização de Aviação Civil Internacional. *Doc 9734 – Safety Oversight Manual – Part A.* 2ª Edição - Montreal. 48p.

OACI (2011) Organização de Aviação Civil Internacional. *Doc 9734 – Safety Oversight Manual – Part B.* 2ª Edição - Montreal. 92p.

ROY, B. *Decision-aid and decision making*. In: BANA e COSTA (Ed.) Readings in Multiple Criteria Decision Aid, Berlin: Springer, p. 17-35, 1990.

SAATY, T.L. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1980.

SAGE, A.P., WHITE, E.B., 1980. Methodologies for risk and hazard assessment: a survey and status report. IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics SMC-10, 425-441.

VON WINTERFELT, D., EDWARDS, W. (1986) Decision analysis and behavioral research. Cambridge University Press, Cambridge.

ZAMCOPÉ, F. C. (2012) Construção de um modelo para avaliação da sustentabilidade corporativa - Um estudo de caso na industria têxtil. 260p. Gestão da Produção, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 303-321, 2012.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO *SOFTWARE* FAARFIELD NO DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Gledson Silva Mesquita Junior
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703. Fortaleza, CE, (85) 3366-9488 gledson@det.ufc.br

Renan Santos Maia
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703. Fortaleza, CE, (85) 3366-9488 renanmaia@det.ufc.br

Elisa da Silva Sousa
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703. Fortaleza, CE, (85) 3366-9488 elisa@det.ufc.br

Cecília Catarina Oliveira de Castro
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703. Fortaleza, CE, (85) 3366-9488 ceciliacastro@det.ufc.br

Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703. Fortaleza, CE, (85) 3366-9488 heber@det.ufc.br

RESUMO

O presente artigo busca avaliar o *software* de dimensionamento de pavimentos aeroportuários FAARFIELD no que se refere à sensibilidade que os parâmetros de saída apresentam em relação aos dados de entrada. Foi avaliado o dimensionamento, projetando-se estruturas com base em dados variáveis de tráfego, tempo de projeto e característica de suporte do subleito. Os resultados obtidos evidenciam que o dimensionamento dessas estruturas é mais dependente do nível de tráfego apenas para valores de Módulo de Resiliência (MR) inferiores a 90 MPa; acima desse valor, tende-se ao dimensionamento de estruturas de espessuras semelhantes para diferentes níveis de tráfego.

Palavras-Chave: Dimensionamento, Pavimento, Aeroportos, FAARFIELD, Módulo de Resiliência.

1. INTRODUÇÃO

A concepção de pavimentos para aeródromos possui elevada complexidade, dadas as variações no tráfego de cargas e em seus modos de aplicação, bem como a necessidade da garantia de segurança das operações de pousos e decolagens. Além disso, a constante inserção de novas aeronaves no mercado, com diferentes características e configurações de trens de pouso, dificulta o estudo da interação entre esforços promovida nas camadas do pavimento.

Em função da grande quantidade de fatores a serem levados em consideração para o dimensionamento de pavimentos aeroportuários, os métodos empíricos representam, em geral, uma alternativa simples, porém pouco precisa para esse fim. Até meados da década de 2000, o referido processo ocorria basicamente a partir da utilização de ábacos que relacionavam valores relativos à resistência do subleito e ao *California Bearing Ratio* (CBR) de materiais com as espessuras de camadas necessárias para a sua proteção. Nos últimos anos, *softwares* executam essas relações de forma mais rápida e de forma menos imprecisa.

O uso de *softwares* que promovem a execução de cálculos mais complexos representa um eficiente recurso na etapa do dimensionamento de pavimentos. Dentro dessa perspectiva, é frequente o uso do FAARFIELD, software desenvolvido pela Federal Aviation Administration (FAA) que se baseia na teoria da elasticidade de camadas finitas para otimizar espessuras de camadas a partir de dados de tráfego, características de materiais e horizonte de projeto. O uso desse software representa notável avanço, uma vez que as configurações das aeronaves e seus trens de pouso são bastante exploradas, além de contar com dados referentes a grande parte dessas características inseridas na biblioteca própria do programa.

Um fator importante no uso desse e de outros softwares, no entanto, é a forte dependência que os resultados possuem das características disponíveis na biblioteca de materiais. Grande parte dos métodos aplicados pelo FAARFIELD é calibrada em função de experimentos previamente realizados por pesquisadores norte-americanos. Entretanto, sabe-se que as características específicas de materiais que são fornecidas como *input* apresentam variações consideráveis, como por exemplo, propriedades de solos locais, métodos de compactação e de outros fatores.

É necessário, portanto, que os projetistas sejam suficientemente criteriosos na escolha dos dados fornecidos ao programa. Embora o *software* adeque-se bem ao tipo de pavimento aplicado na região em que ele foi concebido, é importante considerar que os tipos de base e sub-base e os materiais disponíveis apresentam características que podem não estar sendo contempladas. É importante considerar que a validação do uso do *software* está condicionada à constante análise de sensibilidade e reconfiguração dos parâmetros, com a finalidade de inserção de dados que representem adequadamente as condições de projeto.

A análise de sensibilidade consiste, basicamente, em avaliar como as incertezas dos *outputs* de um modelo podem ser compartilhadas em função das incertezas inerentes aos seus *inputs* (Saltelli, 2002). Esse tipo de análise e a comparação entre os métodos mais utilizados internacionalmente são meios para o estabelecimento das limitações de cada método e de aprimoramento dos resultados obtidos no dimensionamento de pavimentos.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise de sensibilidade das funções de dimensionamento de pavimentos aeroportuários em relação a parâmetros de *input* do *software* FAARFIELD, sendo estes o tráfego de aeronaves, vida útil de projeto e características do subleito, utilizando como referência os materiais constituintes do pavimento da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Fortaleza. Primeiramente foi feita esta introdução acerca da utilização de *softwares* de dimensionamento e análise de sensibilidade, depois é apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre modelos de caracterização do subleito, análise de sensibilidade e utilização do FAARFIELD, seguida pela descrição do método adotado, resultados encontrados e conclusão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Até 2008, a FAA adotava o método de dimensionamento baseado na definição das

espessuras das camadas de pavimentos aeroportuários a partir de valores de CBR dos materiais da utilização de ábacos e do *mix* de aeronaves convertido em termos de uma aeronave de projeto. Anos depois, passou-se a considerar as contribuições de cada tipo de aeronave na solicitação do pavimento; assim, surgiu um método de dimensionamento baseado no CDF (*Cumulative Damage Factor*), que proporciona o dimensionamento de pavimentos a partir de critério de falha de fadiga no horizonte de projeto (Horonjeff et al., 2010). O valor de CDF varia entre 0 e 1, sendo que valores acima de 1 representam uma utilização do pavimento em condições nas quais ocorreu o seu trincamento por fadiga.

A aplicação desse método tornou-se mais difundida com o surgimento do FAARFIELD, *software* desenvolvido pela FAA, no qual, a partir do período de projeto (anos), das características mecânicas dos materiais das camadas, do subleito, e do tráfego (*mix* de aeronaves), aplicam-se processos iterativos baseados na Teoria da Elasticidade, de forma a fornecer como *output* as espessuras das camadas do pavimento. Também é possível, a partir de espessuras e propriedades de materiais previamente definidas, obter-se a vida de fadiga da estrutura para diferentes níveis de tráfego (FAA, 2009).

2.1 Modelos de caracterização do subleito

No FAARFIELD, o subleito é considerado como uma camada de espessura semi-infinita, caracterizada a partir de um valor de Módulo de Elasticidade (E) ou de CBR. No dimensionamento, uma vez que o *input* fornecido seja o CBR, o programa estima E a partir da relação E = 1500 × CBR (psi) ou E = 10,34 × CBR (MPa). FAA (2016) sugere que o valor de resistência do subleito fornecido como *input* na análise proposta seja ao máximo condizente em relação ao que é observado em campo, uma vez que as respostas do programa serão bastante sensíveis a esse valor.

Diferentemente do que ocorre com o FAARFIELD, o software StreetPave, avaliado em análises de sensibilidade para dimensionamento de pavimentos rodoviários no estado americano de Iowa, utiliza diferentes modelos para a calibração da relação entre o valor de CBR e E. Cita-se que a relação (em psi) de E = 1500 × CBR é utilizada para valores de CBR de até 5,3%. Para maiores valores, utiliza-se uma conversão de $E = 1941{,}5 \times CBR^{0,7}$ (Purvis, 2013).

O emprego de métodos que consideram o comportamento mecânico do subleito requer a formulação de modelos que descrevam o seu desempenho elástico, relacionado com o Módulo de Elasticidade do solo. Eventualmente, a adaptação de modelos entre solos distintos pode refletir em uma análise inadequada. Isso ocorre porque esses modelos foram, de maneira geral, elaborados para atender às demandas de solos em uma escala regional, indicando que é preferível optar-se por modelos locais.

Os solos tropicais podem ilustrar bem tais divergências, uma vez que muitas regiões apresentam características e modelos completamente distintos. A utilização do CBR como meio para prever o comportamento elástico do solo, por exemplo, mostra-se inadequada para algumas regiões do Nordeste brasileiro. Ribeiro (2016) descreve modelos que, para a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), não incorporam o CBR como parâmetro e indicam que esse não é o parâmetro mais adequado para se estimar o Módulo de Elasticidade do solo (ou Módulo de Resiliência, quando da consideração do material em regime 100% elástico).

Ainda no estudo conduzido por Ribeiro (2016), cita-se a relação E = 97,18 + 8,24 × CBR. Embora este modelo, por si só, não possa ser utilizado como meio de estimativa para solos da RMF, é possível observar que o uso do CBR como parâmetro de estimativa pode conferir uma análise inadequada e representar valores de E diferentes dos demais modelos, conforme observado na Figura 1.

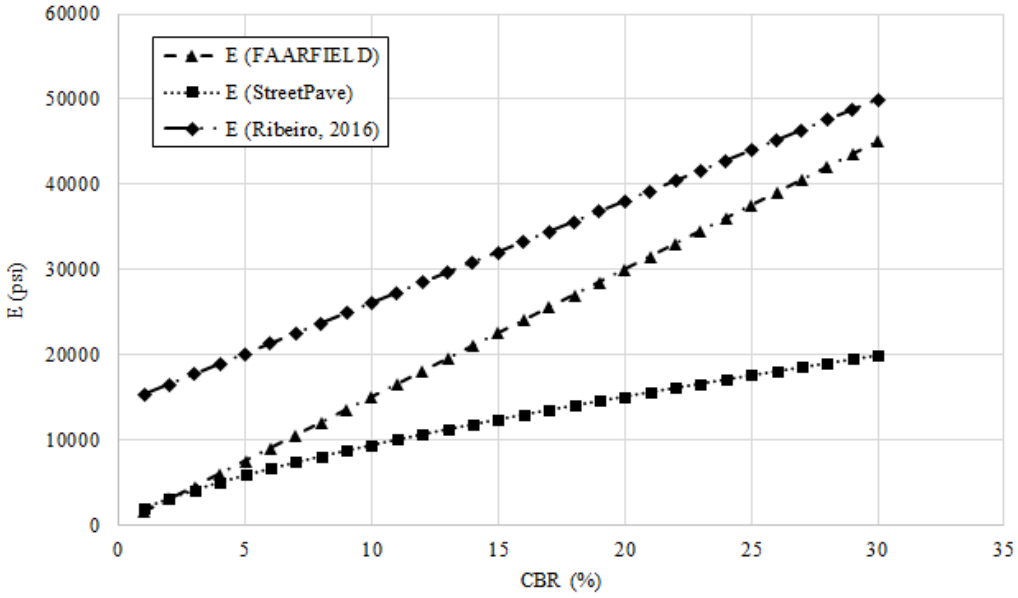


Figura 1: Calibração do valor de E em função do CBR a partir de diferentes modelos

2.2 Análises de sensibilidade em *softwares* aplicados na infraestrutura de transportes

O estudo conduzido por Purvis (2013) avaliou a sensibilidade de *softwares* de dimensionamento de pavimentos rodoviários utilizados no estado americano de Iowa. Os parâmetros de *input* para os diferentes *softwares* avaliados (StreetPave, WinPAS e I-Pave) incorporam características relativas ao tráfego, à vida útil projetada, à resistência do subleito e ao nível de segurança desejado. Verificou-se que variações no parâmetro de tráfego apresentaram o maior impacto no dimensionamento de pavimentos asfálticos e de concreto, superior ao relativo às variações na resistência do subleito, no nível de segurança e na vida útil de projeto.

Técnicas de análise de sensibilidade em *softwares* também foram aplicadas no âmbito dos pavimentos aeroportuários. Garg *et al.* (2009) conduziram um estudo com o LEDFAA 1.3, um *software* desenvolvido pela FAA e precursor do FAARFIELD. Para diferentes valores de CBR e para um *mix* de aeronaves atuantes no Aeroporto JFK (Nova York), observou-se maior sensibilidade da vida útil do pavimento em função do peso bruto das aeronaves, em comparação com o E da camada asfáltica e com as espessuras do revestimento e da camada de base. Além disso, verificou-se que a elevação do valor de CBR do subleito de 3% para 15% diminuiu a influência de incrementos no peso das aeronaves na redução da vida útil do pavimento.

2.3 Utilização do FAARFIELD na avaliação de pavimentos aeroportuários brasileiros

É uma abordagem recorrente na literatura a avaliação do dimensionamento e da vida de fadiga de pavimentos aeroportuários a partir do FAARFIELD. Há registros de análise de diferenças entre o método empírico (FAA, 1995) e o método mecanístico-empírico, codificado no *software* FAARFIELD (FAA, 2009).

Ramos *et al.* (2017), em um estudo de caso aplicado ao Aeroporto Internacional de Brasília, observaram que as estruturas dimensionadas a partir do FAARFIELD apresentaram tendência de espessuras mais delgadas (aproximadamente 10 cm), em comparação com as obtidas a partir do método de 1995, pela utilização de ábacos. O uso do *software* mostra-se, portanto, uma ferramenta que subdimensiona as camadas do pavimento em relação ao método anteriormente utilizado.

Fonseca (2013) avaliou a vida remanescente pelo critério de fadiga do revestimento asfáltico da pista do Aeroporto Internacional de Fortaleza para diferentes níveis de tráfego utilizando-se o FAARFIELD, e considerando-se as espessuras das camadas e o valor de CBR do subleito. Na análise proposta

pelo autor, os valores de referência para os materiais de sub-base, base e revestimento asfáltico foram obtidos a partir da biblioteca do programa, não sendo cadastrados Módulos de Elasticidade (E) medidos para solos específicos similares aos adotados na estrutura da pista. Observou-se que, para quaisquer níveis de tráfego avaliados, a pista de pouso e decolagem do aeroporto em questão foi considerada superdimensionada, com valores elevados, e não realistas, de vida remanescente por fadiga (da ordem de milhares de anos).

3. MÉTODO DE ANÁLISE

O método presente neste trabalho propõe analisar a sensibilidade do *software* FAARFIELD nos parâmetros que influenciam diretamente no dimensionamento do pavimento. Para tanto, a versão do *software* utilizada foi a v1.41, disponível a partir do ano de 2016. A Figura 2 apresenta um quadro-resumo do que se propõe neste artigo.

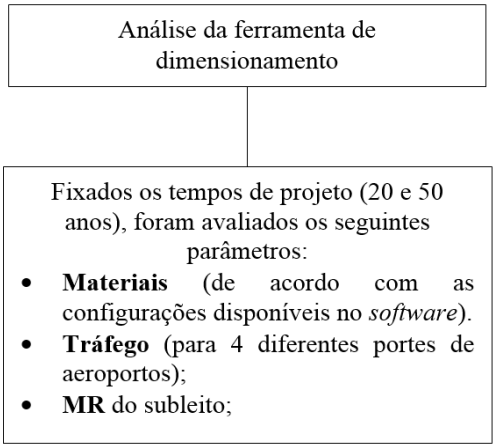


Figura 2: Quadro-resumo referente ao método de análise do presente trabalho.

Fixaram-se no procedimento de análise os materiais utilizados em cada camada, selecionados a partir da biblioteca do programa, em correspondência aos presentes na pista de pouso e decolagem (PPD) do Aeroporto Internacional de Fortaleza, especificados por Fonseca (2013). A pista possui revestimento de 18 cm de Concreto Asfáltico, base em Macadame Hidráulico com espessura de 28 cm, sub-base em solo pedregulhoso com espessura de 28 cm e subleito de areia siltosa com CBR superior a 20% (DIRENG, 1991 *apud* Oliveira, 2009). Fonseca (2013) representou essa seção no FAARFIELD, a partir de materiais presentes na biblioteca do *software* e considerou razoável a representação do revestimento por meio do material *P401/P-403 HMA Surface*, da base pelo material *P-209 Crushed Aggregate* e a sub-base pelo material *P-154 Uncrushed Aggregate*. A Figura 3 apresenta a interface inicial do *software* após a inserção dos dados para o referido projeto de pista.

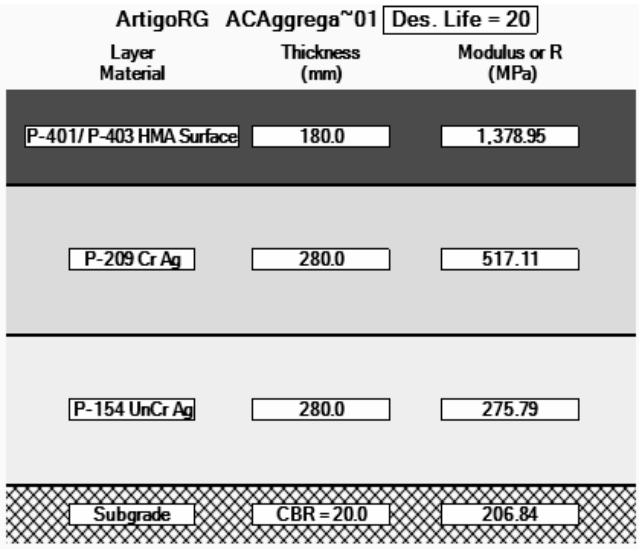


Figura 3: Interface do FAARFIELD para a configuração da PPD do Aeroporto Internacional de Fortaleza proposta por Fonseca (2013).

Os *mix* de aeronaves utilizados foram escolhidos de modo a contemplar aeroportos de portes variados, a partir da classificação proposta por OAG AVIATION WORLDWIDE LIMITED (2018), concebida a partir do total anual de decolagens de passageiros em aeroportos internacionais. Nos estudos conduzidos pela referida instituição, classificam-se aeroportos internacionais de porte pequeno (até 5 mi de passageiros), médio (5 a 10 mi de passageiros), grande (10 a 20 mi de passageiros), muito grande (20 a 30 mi de passageiros) e mega (mais de 30 mi de passageiros).

Optou-se, portanto, por realizar a análise simultaneamente com: (i) um *mix* oriundo de um aeroporto de porte regional - Aeroporto Regional de Paulo Afonso/BA (Fonseca, 2013); (ii) um *mix* oriundo de um aeroporto internacional de pequeno porte - Aeroporto Internacional de Fortaleza/CE (INFRAERO, 2014); (iii) um *mix* oriundo de um aeroporto internacional de muito grande porte - Aeroporto

Internacional de Guarulhos/SP (INFRAERO, 2011) e (iv) um *mix* oriundo de um mega aeroporto internacional - Aeroporto de Atlanta/EUA (KB ENVIRONMENTAL SCIENCES, 2014).

Os modelos de aeronaves utilizados e o seu volume anual de decolagens nos aeroportos mencionados podem ser observados na Tabela 1. Para reduzir as incertezas da análise, os pesos máximos de decolagem dos modelos foram mantidos constantes nos diferentes *mix*, escolhidos de acordo com a biblioteca do programa, apesar de se ter conhecimento de que existem diferenças na média do peso de decolagem de cada modelo para diferentes aeroportos.

Tabela 1: Mix de aeronaves avaliados no presente trabalho

Mix de Aeronaves - Aeroporto Regional de Paulo Afonso		**Mix de Aeronaves - Aeroporto Internacional de Atlanta (EUA)**	
Ano de Referência: 2009	**Movimentação: 29K**	**Ano de Referência: 2012**	**Movimentação: 95M**
Aviação Geral/Comercial		**Aviação Geral/Comercial**	
Aeronave	**Decolagens Anuais**	**Aeronave**	**Decolagens Anuais**
Commander 500	10	A319-100	9490
B373-3	661	A320-200	11681
B737-4	1551	A330-200	731
Cessna - 208 – Caravan	797	A330-300	2191
Cessna – 402	5	A340-200	365
EMB-110 - Badeirante	303	B717-200	50368
EMB - 810 - Seneca	3	B737-500	1095
EMB - 820 - Navajo	50	B737-700	28470
FK – 50	148	B737-800	20805
Bombardier LR-60	8	B747-200	365
B373-8	334	B747-400	730
A319-1	284	B757-200	59494
A320-2	419	B757-300	2920
Total	**4573**	B767-300	11317
		B767-400-ER	2192
		B777-200-ER	2192
		B777-300	1095
		BDC-9-50 Series	13139
		BMD-82	2191
		BMD-83	79932
		BMD-90	1461
		Total	**302224**

Mix de Aeronaves - Aeroporto Internacional de Fortaleza	
Ano de Referência: 2014	**Movimentação: 6,5M**
Aviação Geral/Comercial	
Aeronave	**Decolagens Anuais**
A310-3	2
A318-1	1545
A319-1	439
A320-2	7363
A321-2	3317
A330-2	363
A330-3	3
A340-3	15
ATR-72	490
B727-2	205
B737-2	9
B737-3	5
B737-4	20
B737-5	1
B737-7	1609
B737-8	8085
B747-4	3
B757-2	46
B767-2	78
B767-3	141
B777-2	2
B777-3	2
E190	298
E195	2410
Total	**26451**

Mix de Aeronaves - Aeroporto Internacional de Guarulhos	
Ano de Referência: 2011	**Movimentação: 29,5M**
Aviação Geral/Comercial	
Aeronave	**Decolagens Anuais**
A319-100	720
A320-200	27360
A321-100	4032
A330-200	5472
A330-300	336
A340-300	1584
B727-200	1200
B737-200	1322
B737-300	7536
B737-400	1098
B737-500	1584
B737-600	1121
B737-700	6336
B737-800	19248
B747-300	144
B747-400	1104
B767-200	672
B767-300	3936
B767-400ER	336
B777-200	4416
B777-300	1680
E120	3216
E145	960
E190	1798
FK-100	4752
MD-11	144
Total	**102107**

Dentro dessas condições, optou-se inicialmente por executar o dimensionamento das camadas no programa repetidas vezes tendo como parâmetro variável o MR do subleito. Para tanto, o valor desse parâmetro foi inserido em intervalos de 10 MPa entre 10 MPa e 200 MPa. Para um mesmo *mix* de aeronaves, o processo descrito foi executado para 20 e 50 anos de projeto (tempo máximo avaliado pelo programa). Para a análise do dimensionamento, parte-se de espessuras mínimas para cada camada, que são alteradas no processo iterativo do programa, de forma a provocar um valor de CDF igual a 1 no final da vida de projeto. Além disso, foi fixado o valor mínimo de 10 cm para a camada de revestimento asfáltico. Os valores obtidos nesta etapa foram dispostos graficamente para as análises futuras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos e descritas algumas observações pertinentes considerando a análise do dimensionamento.

Utilizando-se os quatro *mix* de aeronaves propostos neste trabalho, pode-se observar na Figura 4 as diferenças nos resultados de dimensionamento (para a espessura total do pavimento) de uma pista de pouso e decolagem para valores crescentes de MR do subleito, com duas vidas úteis de projeto (de 20 e 50 anos).

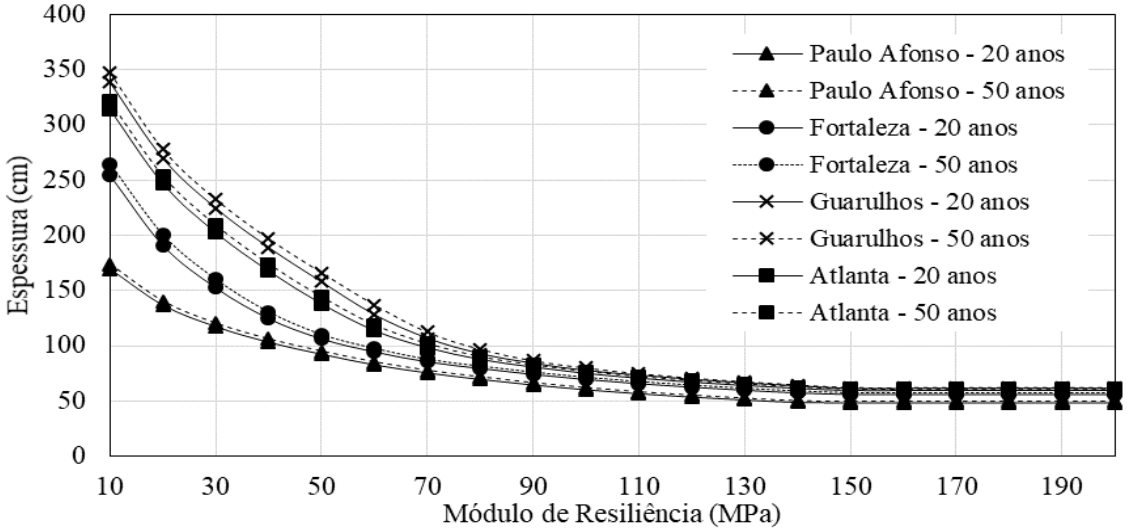


Figura 4: Espessura total do pavimento em função do valor de MR do subleito para os quatro níveis de tráfego avaliados (de 20 e 50 anos de projeto).

Para a estrutura analisada, pode-se observar que o *mix* de aeronaves se apresenta como uma variável mais relevante à análise nos casos de subleitos com valores de MR de até, aproximadamente, 90 MPa. Para valores de MR acima de 90 MPa, observa-se uma tendência de que a espessura total do pavimento seja similar para os diferentes *mix* e vidas úteis de projeto, desde que sejam selecionados materiais iguais em todas as simulações.

A elevação da vida útil de projeto (de 20 para 50 anos) não representa uma alteração significativa nas espessuras resultantes do dimensionamento de camadas referentes a um mesmo *mix* de aeronaves e mesmo MR do subleito. Sendo assim, entende-se que a estrutura dimensionada para durar até 50 anos tem, aproximadamente, a mesma espessura de uma estrutura com vida útil de 20 anos. A vida útil no FAARFIELD mostra-se, portanto, uma característica que tem baixa influência no dimensionamento do pavimento.

No caso das estruturas dimensionadas, a partir de um MR de cerca de 130 MPa, os *mix* de aeronaves não são capazes de representar um CDF convergindo para 1. Assim, o programa fornece como resultado do dimensionamento estruturas mínimas, que se diferem entre os *mix* de aeronaves em virtude de diferenças na espessura dimensionada para a camada de base, que varia de, aproximadamente, 28 (no caso do Aeroporto de Paulo Afonso) para 42 cm (no caso do Aeroporto de Guarulhos).

Com base nos resultados encontrados, percebe-se que o *software* tem maior sensibilidade relacionada a valores de MR menores que 90 MPa, de tal forma que, quanto menos resistente é o subleito, maiores são as espessuras das camadas necessárias para suportar o tráfego. Nota-se, assim, uma ênfase na proteção do subleito, pois há uma maior variação da espessura total do pavimento para subleitos pouco resistentes, enquanto que essa espessura pouco varia com a modificação do tráfego ou da vida útil considerada.

O valor do Módulo de Resiliência de 90 MPa equivale, de acordo com as equações utilizadas pelo FAARFIELD, a um CBR igual a 8,7%. Dessa forma, fazendo um

comparativo com modelo proposto por Ribeiro (2016), esse valor de CBR resulta no MR para solos da região Nordeste de 169 MPa, conduzindo ao dimensionamento de um pavimento com espessura menor do que a obtida com base no modelo do *software*. Essa diferença pode ser um indicativo de que o método de dimensionamento utilizado pelo FAARFIELD não representa adequadamente a resistência do material para a região considerada, podendo assim resultar em uma estrutura superdimensionada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o dimensionamento de pavimentos a partir do *software* FAARFIELD, concluiu-se que o modelo proposto é parcialmente dependente do valor de capacidade de suporte do subleito (CBR ou MR). Esta dependência é mais clara para valores de MR inferiores a aproximadamente 90 MPa (equivalente a CBR de 8,7%), que é o ponto a partir do qual todos os tráfegos avaliados tendem a um dimensionamento mínimo.

Em relação a vida útil de projeto, conclui-se que ela é uma característica que tem baixa influência no dimensionamento do pavimento. Quanto ao tráfego (*mix* de aeronaves), concluiu-se que tal parâmetro se torna mais relevante para menores valores de resistência do subleito. No caso da comparação entre os tráfegos dos Aeroportos de Paulo Afonso, Fortaleza, Guarulhos e Atlanta, há maiores diferenças na espessura total dimensionada a partir do FAARFIELD apenas para valores de MR do subleito menores que cerca de 90 MPa.

A proposta de dimensionamento oferecida pelo FAARFIELD possui forte dependência (especialmente em solos de menor capacidade de suporte) do modelo de elasticidade utilizado pelo programa e não existe abertura para a inserção de novos modelos regionais. Considerando que, para a realidade brasileira, entre solos tropicais de mesmo CBR é possível aferir comportamento elástico divergente, é possível que tal diferença seja refletida no dimensionamento e na vida útil do pavimento, o que pode causar um questionamento do poder de decisão que deve ser confiado a esta função do *software*.

Por fim, este trabalho contribui para estudos relacionados ao *software* de dimensionamento FAARFIELD, no que diz respeito aos *inputs* que mais têm interferência na definição da espessura final do pavimento. Sugere-se análises mais aprofundadas que verifiquem a influência de diferentes modelos de caracterização do subleito no dimensionamento, tendo em vista que a resistência do subleito é o aspecto de maior relevância, de acordo com o estudo realizado.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

FAA. Airport Pavement Design and Evaluation – AC No. 150/5320-6D. 1995. Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, EUA.

FAA. AC No. 150/5320-6 – Airport Pavement Design and Evaluation. 2009. Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, EUA.

FAA. AC No. 150/5320-6F – Airport Pavement Design and Evaluation. 2006. Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, EUA.

FONSECA, P. J. R. Análise Comparativa de Dimensionamento de Pavimento Flexível Aeroportuário pelos Métodos Mecanicista e Empírico da Federal Aviation Administration (FAA). 2013. Projeto de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

GARG, N.; GUO, E; MCQUEEN, R. Operational life of airport pavements - DOT/FAA/AR-04/46 Final Report. 2004. Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation, Springfield, 2004.

HORONJEFF, R.; MCKELVEY, F. X.; SPROULE, W. J.; YOUNG, S. B. Planning and Design of Airports. 5ª Edição, McGraw Hill, Nova York, 2010.

INFRAERO. Memorial de Cálculo para Implantação de Saída Rápida para a Pista 27L do Aeroporto Internacional de Guarulhos (GRU/SBGR). Brasília, 2011.

INFRAERO. Movimentação de Aeronaves - Aeroporto Internacional de Fortaleza (Pinto Martins/FOR/SBFZ). 2014.

KB ENVIRONMENTAL SCIENCES. Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport - Documentation for the CY 2011 Criteria Air Pollutant Emission Inventory. City of Atlanta/Department of Aviation, Atlanta, EUA, 2014.

OAG AVIATION WORLDWIDE LIMITED. On-time performance for airlines and airports and Top 20 busiest routes. 2018.

OLIVEIRA, F. H. L. Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrotextura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. 2009. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza., 2009.

PURVIS, J. Sensitivity Analysis of Pavement Thickness Design Software for Local Roads in Iowa. 2013. Dissertação de Mestrado, Univesity of Iowa, Iowa City, 2013.
RAMOS, B. A. S.; LIMA, D. C.; PITANGA, H. N.; SILVA, T. O. Aplicação de métodos de dimensionamento de pavimentos aeroportuários da FAA ao Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek. Transportes, 2017. v. 25, n. 4, 2017, p.57-67.
RIBEIRO, A. J. A. Um Modelo de Previsão do Módulo de Resiliência dos Solos no estado do Ceará para fins de Pavimentação. 2016. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
SALTELLI, A. Sensitivity Analysis for Importance Assessment. Risk Analysis 2002, v. 22, n.3, p. 579-590.

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE REMOÇÃO DE BORRACHA NA MACROTEXTURA DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Francisco Bruno de Andrade Farias
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703 – 60440-900, Fortaleza, CE, (85) 3366-9488,
brunoceandrade@hotmail.com

Túlio Rodrigues Ribeiro
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703 – 60440-900, Fortaleza, CE, (85) 3366-9488,
Tuliorodrigues.engcivil@gmail.com

José Breno Ferreira Quariguasi
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703 – 60440-900, Fortaleza, CE, (85) 3366-9488,
brenoquariguasi@det.ufc.br

Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703 – 60440-900. Fortaleza, CE, (85) 3366-9488
heber@det.ufc.br

RESUMO

A macrotextura é um dos parâmetros essenciais para avaliar a aderência pneu-pavimento nos aeroportos, sendo responsável por manter a segurança das pistas durante operações de pousos e decolagens. Tendo em vista o acúmulo de borracha provocado pelo intenso contato dos pneus com os revestimentos, o processo de remoção desse contaminante torna os pavimentos aeroportuários adequados às condições de segurança operacional. Dessa forma, esta pesquisa analisou a influência desse procedimento na macrotextura de pavimentos aeroportuários em três tipos diferentes de revestimentos flexíveis. Verificou-se que a macrotextura tende a aumentar continuamente ao longo das medições, sobretudo em texturas mais abertas.

Palavras-chave: Macrotextura, Aderência, Pavimentos, Borracha, Acúmulo.

ABSTRACT

The macrotexture is one of the essential parameters for assessing tire-pavement grip at airports and it is responsible for maintaining runway safety during take-off and landing operations. Given the accumulation of rubber caused by the intense contact of the tires with the wearing course, the process of removal of this contaminant makes the airport pavements suitable for operational safety conditions. Thus, this research analyzed the influence of this procedure on the macrotexture of airport pavements in three different types of flexible wearing course. It has been found that macrotexture tends to increase continuously throughout measurements, especially in more open textures.

Keywords: Macrotexture, Grip, Pavement, Rubber, Accumulation.

1. INTRODUÇÃO

Os pavimentos possuem importância em um complexo aeroportuário, devido sua influência direta na segurança operacional durante pousos e decolagens das aeronaves. Nessas operações incidem a maior parte dos acidentes aéreos, representando o exercício mais crítico do voo. Dessa forma, os pavimentos aeroportuários necessitam de manutenção constantemente, de modo a contribuir para a segurança de voo.

O acúmulo de borracha é um problema recorrente nas pistas de pouso e decolagem (PPD). Esse material é proveniente dos pneus das aeronaves durante o contato dos pneus com o revestimento durante as operações de pousos e decolagens. Quando depositado nas PPD, esse material influencia na redução do coeficiente de atrito entre o pneu e o pavimento, sobretudo quando há a presença de água, contribuindo para o fenômeno de aquaplanagem.

A remoção do acúmulo de borracha na PPD deve ser realizada periodicamente, assim como a análise dos parâmetros de aderência, tais como a macrotextura e o coeficiente de atrito. Essas tarefas visam garantir a segurança nas operações de pouso e decolagem.

A macrotextura é o parâmetro que mais influencia o atrito e ela está diretamente relacionada ao tipo de revestimento e à drenagem superficial do pavimento. A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) estipula valores mínimos que devem ser atendidos pelos aeródromos, essa exigência busca elevar a segurança da pista e, consequentemente, reduzir o número de acidentes aéreos. (ANAC, 2019)

Diante do exposto, este trabalho possui o objetivo de analisar a influência do processo de remoção do acúmulo de borracha nos valores de macrotextura.

Este artigo está organizado em cinco seções: além desta Introdução, a Fundamentação Teórica expõe estudos sobre a remoção de borracha em pavimentos aeroportuários e sua importância para a aderência pneu-pavimento por meio da macrotextura; o Método de Pesquisa apresenta o desenvolvimento das técnicas aplicadas a este trabalho; as Análises e os Resultados, compreendendo uma análise dos resultados obtidos, bem como a sua comparação; e as Conclusões, que resume as principais constatações realizadas a partir dos resultados obtidos e das análises dos dados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Bernucci *et al.* (2008), a textura superficial do pavimento e as características dos pneumáticos são essenciais na avaliação de aderência. Conceitualmente, a textura do pavimento pode ser classificada como: microtextura, macrotextura, megatextura e irregularidade.

Segundo Rodrigues Filho (2006), a microtextura está associada a superfície própria das partículas do agregado mineral, a qual pode ser rugosa ou polida, e pode ser medida através do pêndulo britânico. Enquanto a macrotextura está relacionada às características dos agregados, à distribuição granulométrica e à quantidade de vazios. A megatextura e a irregularidade estão relacionadas a desvios na superfície do pavimento, os quais afetam a dinâmica veicular e o contato pneu-pavimento, de acordo com Bernucci *et al.* (2008).

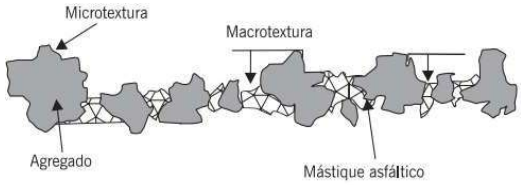


Figura 1: Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico (Bernucci et al., 2008).

A macrotextura exerce influência na prevenção do fenômeno da hidroplanagem dinâmica, pois texturas abertas facilitam a drenagem da água superficial na área de contato pneu-pavimento através de canais formados pelos vazios da mistura, segundo Rodrigues Filho (2006).

Conforme Oliveira (2016), em pavimentos aeroportuários a borracha acumulada nos revestimentos durante as operações de pouso e decolagem preenchem os vazios existentes na macrotextura, prejudicando o atrito e reduzindo a drenagem superficial das PPD. Dessa forma, o processo de remoção da borracha acumulada torna-se uma tarefa essencial para a conservação do pavimento e para proporcionar segurança às operações das aeronaves.

O procedimento de retirada da borracha deve ser realizado periodicamente, sendo o tempo entre cada intervenção dependente da quantidade de operações no aeródromo. De acordo com Oliveira *et al.* (2015), a remoção da borracha pode ser realizada através de solventes químicos, ar comprimido, hidrojateamento, jatos de água de

alta pressão e solventes químicos em conjunto.

Esse procedimento de manutenção tem a finalidade de restaurar as condições de aderência da pista de pouso e decolagem, estando fortemente relacionado as medições do coeficiente de atrito e da macrotextura. Usualmente, busca-se realizar a remoção de borracha em períodos noturnos ou de menos movimentação de aeronaves, uma vez que nestes horários se tem um menor número de operações e impacta menos na funcionalidade do aeroporto, sobretudo naqueles que possuem uma única PPD.

A ANAC (2019) indica que a remoção de borracha seja realizada com a seguinte frequência, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Frequência mínima de remoção de acúmulo de borracha (ANAC, 2019).

Média de pousos diários de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano.	Frequência de remoção de borracha
Menos de 15	Cada 720 dias
16 a 30	Cada 360 dias
31 a 90	Cada 180 dias
91 a 150	Cada 120 dias
151 a 210	Cada 90 dias
Mais de 210	Cada 60 dias

A medição de macrotextura é realizado nos pavimentos aeroportuários brasileiros majoritariamente através do ensaio mancha de areia, o qual é especificado pela ANAC (2016). Esse ensaio consiste em espalhar um volume conhecido de areia, de modo uniforme e com movimentos circulares, sobre uma área do pavimento. Através da divisão do volume da areia pela área circular do espalhamento obtêm-se a profundidade média da macrotextura (P). A frequência de medições varia de acordo com o número de operações, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Frequência mínima de medições de macrotextura (ANAC, 2019).

Média de pousos diários de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano.	Frequência de medições de macrotextura
Menos de 15	Cada 360 dias
16 a 30	Cada 180 dias
31 a 90	Cada 90 dias
91 a 150	Cada 60 dias
151 a 210	Cada 30 dias
Mais de 210	Cada 30 dias

Segundo a ANAC (2016), as classes de macrotextura são definidas de acordo com profundidade média da mancha de areia, de acordo com a Tabela 3, sendo a profundidade mínima de macrotextura nas PPD de 0,60 mm. Caso a PPD não atinja a profundidade mínima, a ANAC (2019) exige que o operador do aeródromo adote ações para reestabelecer os valores mínimos exigidos.

Tabela 3: Classes de macrotextura (ANAC, 2019).

Classe	Profundidade - P (mm)
Muito fechada	$P \leq 0{,}20$
Fechada	$0{,}20 < P \leq 0{,}40$
Média	$0{,}40 < P \leq 0{,}80$
Aberta	$0{,}80 < P \leq 1{,}20$
Muito aberta	$P > 1{,}20$

Foi proposta, por Lugão (2008), uma classificação para determinar o nível de emborrachanento de pistas aeroportuárias, conforme na Tabela 4.

Tabela 4: Níveis de emborrachamento para revestimentos de CPA (Lugão, 2008).

Profundidade da mancha de areia (mm)	Níveis de emborrachamento
$P < 1{,}2$	Altamente emborrachada
$1{,}2 < P \leq 1{,}6$	Emborrachada
$1{,}6 < P \leq 2{,}0$	Levemente emborrachada
$2{,}0 < P$	Praticamente sem borracha

3. MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho foi desenvolvido pela análise de três aeroportos que figuram entre os 20 mais movimentados do País, segundo Ministério do Transportes, Portos e Aviação Civil (2018).

Esses aeroportos encontram-se em operação e suas pistas de pouso e decolagem foram executadas em revestimento asfáltico, sendo o primeiro em Camada Porosa de Atrito (CPA), o segundo em *Stone Matrix Asphalt* (SMA) no trecho responsável por 90% das operações e o último em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ). Doravante, esses aeroportos serão denominados: AERO1(CPA), AERO2(SMA) e AERO3(CAUQ).

A escolha desses aeroportos ocorreu para que se comparasse o comportamento da macrotextura após a remoção de borracha nos aeroportos em CPA e SMA, observando a correlação dos resultados obtidos, assim como a evolução durante o tempo. Por fim, o terceiro em CAUQ servirá para analisar o comportamento desse ensaio para uma camada mais densa de revestimento flexível.

Foram analisados ensaios de macrotextura

pelo método da mancha de areia realizados entre os anos de 2015 e 2018. Também foram feitas análises da profundidade média da macrotextura (P) por terço da pista de pouso e decolagem, assim como a tendência de evolução desse parâmetro ao longo do tempo. Os ensaios foram obtidos por meio de relatórios fornecidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

4. ANÁLISES E RESULTADOS

Na Tabela 5 estão expostos os resultados dos ensaios de profundidade média da macrotextura (P), em mm, e suas respectivas datas de realização. Observa-se, segundo a classificação da Tabela 4, que o nível de emborrachamento da pista do AERO 1(CPA) apresenta um resultado como emborrachado, 13 como levemente emborrachado e dois como praticamente sem borracha. O AERO 2(SMA) e o AERO3(CAUQ) não podem ser analisados pela Tabela 4, uma vez que ela só se aplica aos revestimentos em CPA.

Ainda sobre a Tabela 5, pode-se notar que todos os ensaios, realizados nas pistas de pouso e decolagem dos aeroportos com revestimento em CPA, apresentaram macrotextura muito aberta, enquanto o AERO3(CAUQ) tem todos os seus resultados classificados como aberta.

Tabela 5: Resultados dos ensaios de macrotextura.

AERO 1(CPA)		AERO 2(CPA)		AERO 3(CAUQ)	
Data da medição	P (mm)	Data da medição	P (mm)	Data da medição	P (mm)
21/08/2015	1,64	06/08/2015	2,66	24/11/2014	0,94
16/10/2015	1,69	06/10/2015	2,91	04/04/2015	0,90
11/12/2015	1,49	09/12/2015	2,29	10/06/2015	0,91
05/02/2016	1,61	03/02/2016	2,88	10/06/2015	0,91
22/03/2016	1,76	29/03/2016	2,11	10/06/2015	0,99
21/05/2016	1,79	25/05/2016	1,87	10/11/2015	0,97
20/07/2016	1,92	22/07/2016	2,54	10/11/2015	0,92
14/09/2016	1,85	19/09/2016	2,53	10/11/2015	0,93
07/01/2017	1,68	16/01/2017	2,62	30/06/2016	1,06
11/05/2017	1,81	13/03/2017	2,56	30/06/2016	0,96
06/07/2017	1,66	08/05/2017	2,36	23/10/2016	0,89
24/08/2017	1,86	04/07/2017	2,27	21/03/2017	0,91
19/10/2017	2,01	28/08/2017	2,49	21/03/2017	0,87
23/12/2017	1,76	18/12/2017	2,96	21/03/2017	0,99
02/03/2018	2,21	12/02/2018	2,93	12/11/2017	0,92
-	-	09/04/2018	2,93	12/11/2017	0,97
-	-	-	-	13/05/2018	1,11
-	-	-	-	13/05/2018	1,06

Outro ponto importante observdo foi o impacto da operação de remoção de borracha no resultado dos ensaios de macrotextura das pistas de pouso de decolagem dos referidos aeroportos. Essas atividades são indicadas por setas no período de sua realização nas Figuras 2, 3 e 4.

Nessas figuras também está representada a linha de tendência dos resultados de profundidade média da macrotextura (P) ao longo das medições. O que pôde ser observado sobre as linhas de tendência nos gráficos foi que em todas as pistas de pouso e decolagem ocorreu um aumento da macrotextura ao logo do tempo, sendo que no AERO1(CPA) de forma mais acentuada, com um coeficiente angular de 0,0269. Em menor escala no AERO2(SMA), tendo como coeficiente angular o valor de 0,0173. Por fim, o AERO3(CAUQ) apresentou um acréscimo muito pequeno, ficando a linha de tendência praticamente constante, seu coeficiente angular foi de 0,0053.

A melhora nas características de macrotextura ao longo do tempo está relacionada com as atividades de remoção de borracha, uma vez que, de forma geral, observa-se um acréscimo das profundidades logo após a remoção da borracha.

Contudo, notou-se, em alguns ensaios, uma redução no valor de macrotextura após a remoção de borracha. Esse fato pode ser notado através do gráfico em alguns resultados de ensaio de macrotextura, por exemplo: na medição realizada no dia 07/01/2017 (Figura 2) do AERO1(CPA) tinha se realizado a última remoção de borracha no dia 12//11/2016, mesmo assim se notou uma redução do valor profundidade média de macrotextura de 1,85 no dia 14/09/2016 para 1,68 no dia 07/01/2017.

O mesmo ocorreu na medição realizada no dia 08/05/17 (Figura 3) do AERO2(SMA) e na medição realizada no dia 18/12/15 (Figura 4) doAERO3(CAUQ), as quais tiveram redução da profundidade média de macrotextura de um ensaio para outro, apesar de ter um procedimento de remoção de borracha entre eles.

Sabe-se que para estabelecer uma interligação de resultados de forma mais eficaz e segura seria necessário que os ensaios fossem realizados no mesmo local e da seguinte forma: um antes da remoção de borracha e outro logo após esse procedimento. Assim seria possível mensurar de forma mais acurada os efeitos desta manutenção na macrotextura da pista. Nesse estudo, o lapso temporal entre a remoção de borracha e o ensaio pode ter ocasionado essas diferenças na variação dos resultados.

Além da observação dos resultados de macrotextura para a PDD inteira, também se fez uma análise individualizada dos 3 terços que compõem cada PDD, uma vez que elas estão submetidas a esforços e tráfegos diferenciados. Esses resultados estão apresentados na Tabela 6 e ilustrados nas Figuras 5, 6 e 7.

Para o AERO1(CPA), o 1° terço apresentou três resultados classificados como altamente emborrachados, emborrachados e um levemente emborrachado. Para o segundo terço encontrou-se um resultado levemente emborrachado e os demais praticamente sem borracha, uma vez que essa região não apresenta zona de toque, região considerada crítica quanto à presença de borracha. Por fim, para o terceiro terço constatou-se a presença de 14 resultados classificados como emborrachados e um levemente emborrachado. Quanto as linhas de tendência dos resultados de profundidade média da macrotextura (P) de cada terço, elas estão expostas na Figura 5 e representam um aumento de valor ao longo do tempo. Diante do exposto, o primeiro terço é mais crítico quando se analisa o quesito acúmulo de borracha na PPD, seguido pelo segundo terço, enquanto o terceiro, por não ser muito solicitado nas operações de pouso, apresenta os melhores valores de macrotextura.

O AERO2(SMA) apresentou o comportamento das linhas de tendência dos resultados de profundidade média da macrotextura (P) de cada terço diferente ao que foi visto no AERO1(CPA). Tanto o 1° terço, quanto2° terço sofreram um decréscimo de valores ao longo do tempo, enquanto que no 3° terço se observou um aumento desses valores, conforme o passar do tempo. Isso pode ser explicado pelo fato que o revestimento desses dois primeiros terços da pista foi executado com SMA, por serem as zonas de toque, onde ocorrem os maiores esforços e acúmulo de borracha. O 3° terço apresenta CPA na camada de revestimento e não sofre grandes esforços, apresentando melhores valores de profundidade média de macrotextura (P).

No AERO3(CAUQ) as linhas de tendência dos resultados de profundidade média da macrotextura (P) de cada terço tiveram aumento dos valores ao longo do tempo, com exceção do 3° terço, mas isso se deve a não realização de remoção de borracha nesse setor, uma vez que ele tem pouca utilização nas operações de pouso desse aeroporto.

Tabela 6: Valores de macrotextura por terços nas três PPD analisadas.

AERO 1(CPA)				AERO 2(CPA)				AERO 3(CAUQ)			
Data da medição	P (mm)			Data da medição	P (mm)			Data da medição	P (mm)		
	1º terço	Trecho 2	Trecho 3		Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3		Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3
21/08/2015	1,28	2,17	1,48	06/08/2015	2,71	2,58	2,68	24/11/2014	1,01	1,01	0,80
16/10/2015	1,14	2,57	1,35	06/10/2015	3,34	3,14	2,08	04/04/2015	0,91	0,95	0,85
11/12/2015	1,15	1,85	1,48	09/12/2015	1,77	1,82	3,55	10/06/2015	0,95	0,90	0,87
05/02/2016	1,40	2,16	1,26	03/02/2016	2,72	2,33	3,77	10/06/2015	0,97	0,82	0,94
22/03/2016	1,36	2,46	1,46	29/03/2016	1,70	1,73	2,79	10/06/2015	1,04	0,93	1,00
21/05/2016	1,44	2,47	1,47	25/05/2016	1,44	1,64	2,56	10/11/2015	1,01	1,04	0,85
20/07/2016	1,35	2,86	1,56	22/07/2016	1,62	2,28	3,75	10/11/2015	0,91	0,91	0,92
14/09/2016	1,38	2,78	1,39	19/09/2016	1,52	2,33	3,90	10/11/2015	0,91	0,96	0,92
07/01/2017	1,19	2,48	1,36	16/01/2017	1,77	2,11	3,94	30/06/2016	1,24	1,10	0,85
11/05/2017	1,23	2,71	1,50	13/03/2017	1,72	2,18	3,78	30/06/2016	1,00	0,98	0,90
06/07/2017	1,41	2,22	1,35	08/05/2017	1,59	1,93	3,55	23/10/2016	1,03	0,90	0,74
24/08/2017	1,36	2,74	1,48	04/07/2017	1,58	1,97	3,26	21/03/2017	1,01	0,92	0,79
19/10/2017	1,46	3,07	1,49	28/08/2017	1,62	2,30	3,55	21/03/2017	1,01	0,83	0,77
23/12/2017	1,49	2,37	1,43	18/12/2017	1,81	2,36	4,70	21/03/2017	0,98	1,14	0,87
02/03/2018	1,82	3,06	1,76	12/02/2018	1,97	2,43	4,39	12/11/2017	1,01	0,94	0,80
-	-	-	-	09/04/2018	2,28	2,85	3,65	12/11/2017	0,94	1,08	0,90
-	-	-	-	-	-	-	-	13/05/2018	1,07	1,20	1,05
-	-	-	--	-	-	-	-	13/05/2018	1,15	1,18	0,85

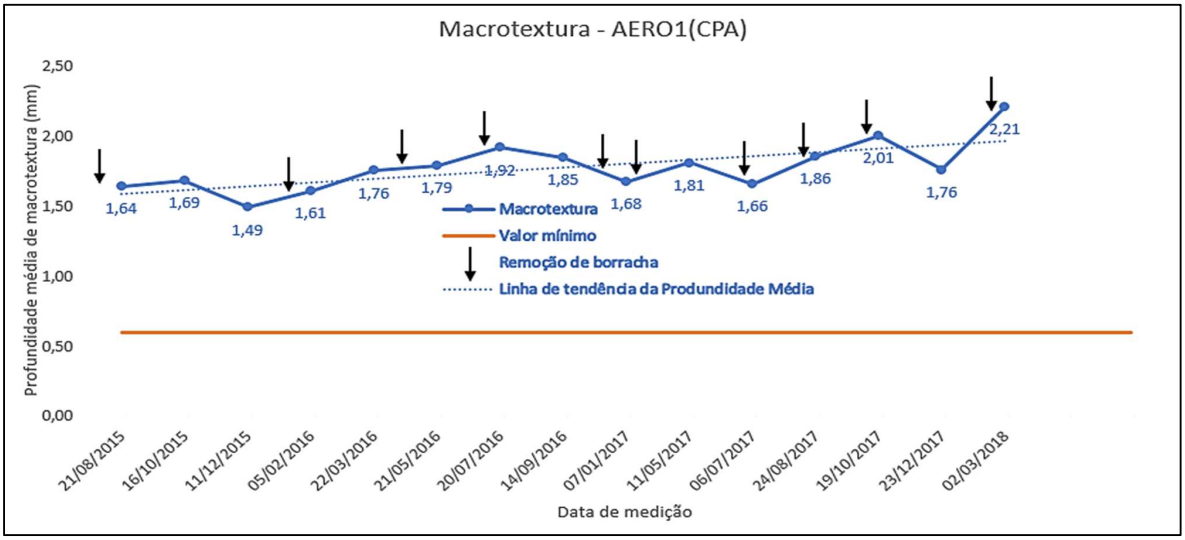


Figura 2: Resultados de macrotextura AERO1(CPA) para PDD inteira.

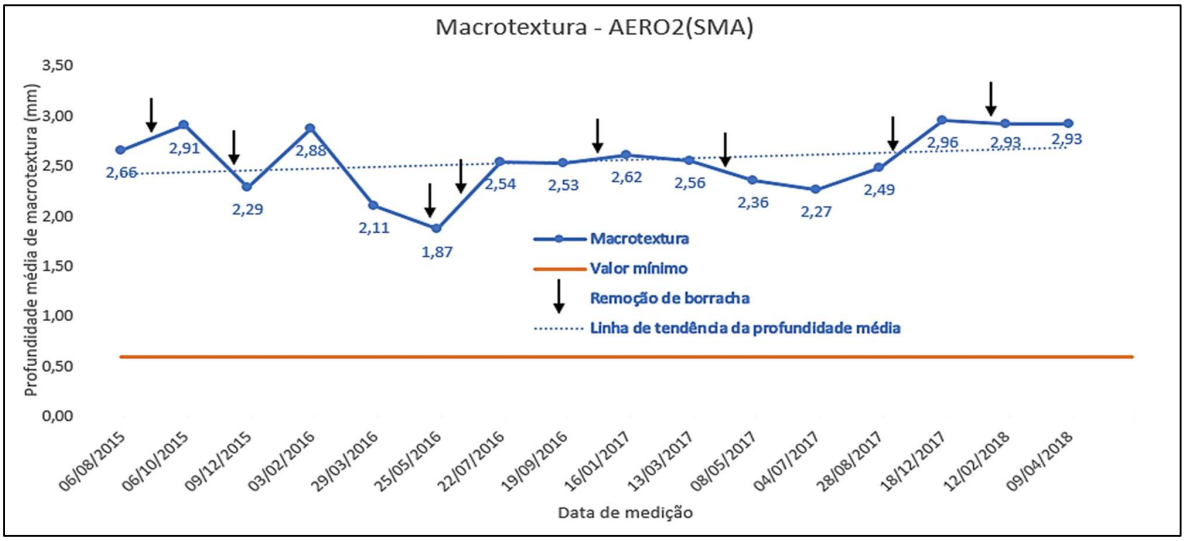


Figura 3: Resultados de macrotextura AERO2(SMA) para PDD inteira.

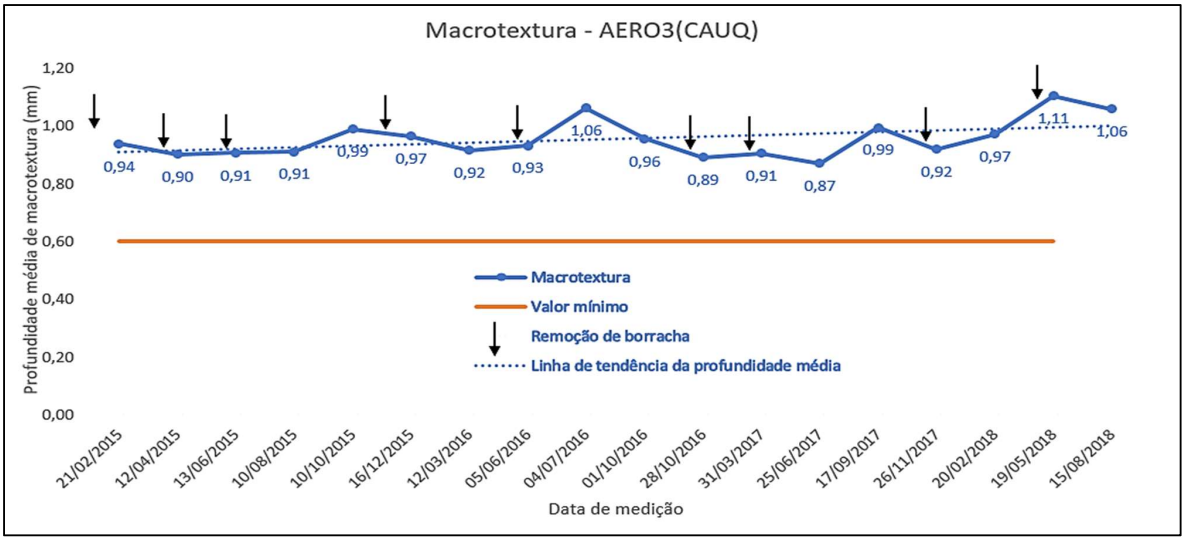


Figura 4: Resultados de macrotextura AERO3(CAUQ) para PDD inteira.

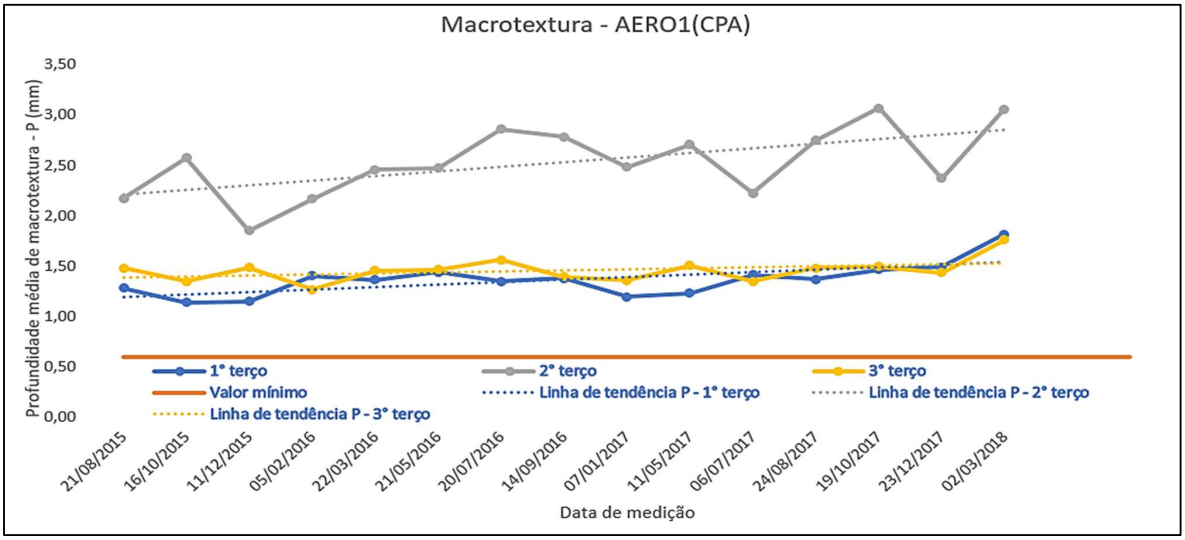


Figura 5: Comportamento da macrotextura por terços AERO1(CPA)

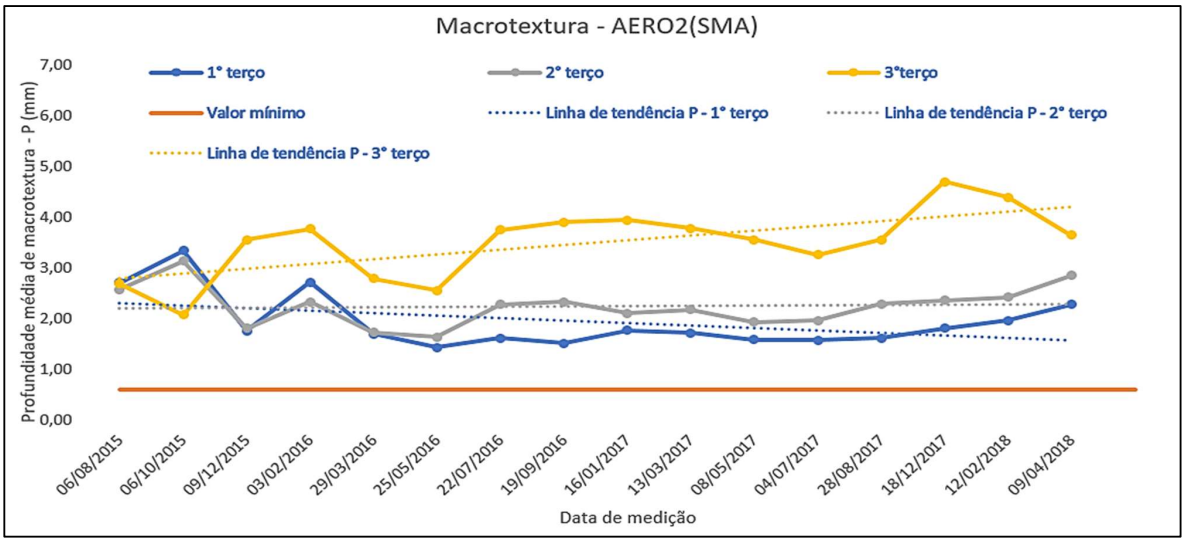


Figura 6: Comportamento da macrotextura por terços AERO2(SMA)

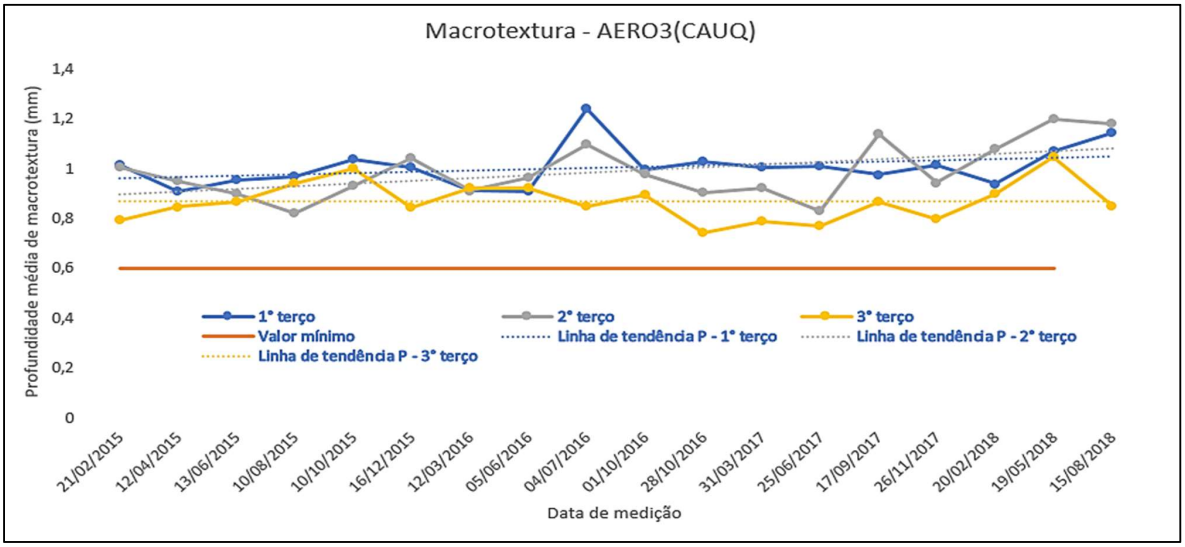


Figura 7: Comportamento da macrotextura por terços AERO3(CAUQ)

5. CONCLUSÕES

Após a análise dos dados de profundidade média de macrotextura (P) pode-se afirmar que as pistas de pouso e decolagem dos três aeroportos encontram-se em condições de segurança, tendo em vista que os resultados respeitam os parâmetros de aceitabilidade da ANAC. Isso se deve ao fato das manutenções ocorrerem de forma contínua.

Pelas linhas de tendência de profundidade média de macrotextura P para a pista inteira se observou um aumento da macrotextura ao longo do tempo. Quando essa análise foi feita por terços da pista, alguns resultados apresentaram um comportamento inverso, caso dos dois primeiros terços do AERO2(SMA), justificado pelo fato de ser a zona de toque do aeroporto e outra explicação pode ser o emprego de SMA na camada de revestimento, material de granulometria descontínua que pode tanto dificultar a remoção da borracha ou acumular mais facilmente esse material em seus vazios. No AERO3(CAUQ) isso só ocorreu no 3° terço devido a não realização do procedimento de remoção de borracha nesse setor.

Os três aeroportos tiveram uma quantidade próxima de procedimentos de remoção de borracha para o período de estudo. Assim como a utilização do mesmo método para a remoção que foi o de hidrojateamento a alta pressão. Logo, neste estudo, esses fatores não são considerados para a avaliação comparativa entre a macrotextura desses tipos de revestimento.

Alguns outros fatores podem explicar essa variação de comportamento: lapso temporal entre o ensaio e a remoção de borracha, nível de tráfego no período, temperatura, local de realização do ensaio (existem lugares da pista que a borracha impregna mais, sofrendo colmatação, que reduz a eficiência da remoção da borracha) e a realização do ensaio de forma incorreta ou despadronizada.

No que se refere aos resultados da macrotextura dos terços das pistas, o que se pode deduzir em termos gerais é que os terços que apresentam menores valores são aqueles solicitados nas operações de pouso.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Os autores agradecem à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) pela disponibilização dos relatórios.

6. REFERÊNCIAS

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Instrução Suplementar IS nº 153.205-001 - Orientações para execução do ensaio volumétrico tipo mancha de areia e para elaborar relatórios de medição de condições operacionais. Brasília, DF.2016.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Nº 153, de 15 de maio de 2019. Agência Nacional de Aviação Civil. Secretaria de Aviação Civil. Brasília, DF, 2019a.

Bernucci, L. B., Mota, L. M. G., Ceratti, J. A. P. e Soares, J. B. Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros. Petrobras. Abeda, Rio de Janeiro, RJ. 2008.

Lugão, W. G., Análise da aderência entre pneu e pavimento com Camada Porosa de Atrito no Aeroporto Internacional Tancredo Neves – MG. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2008.

Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Relatório de Desempenho Operacional dos Aeroportos 3° trimestre de 2018 – julho a setembro. Brasília, DF. 2018.

Oliveira, F. H. L., Almeida, L. C., Ramos, S. P., Aguiar, M. F.P. "A evolução da sustentabilidade na prática da remoção de borracha acumulada em pistas de pouso e decolagem". Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Fortaleza, Ceará. 2015.

Oliveira, F. H. L. Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários como apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 2016.

Rodrigues Filho, O. S. Características de Aderência de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários – Estudo de caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.2006

POTENCIAL IMPACT OF RUNWAYS EXPANSIONS

Raul Sandoval Cerqueira
M.Sc. Civil Engineer (UNICAMP)
M. Sc. Air Navigation Management (ongoing ENAC)
Civil Aviation Regulation Specialist - ANAC
SMPW Qd.22, CJ.02, Lt.03 Casa D – Parkway, Brasília / DF. CEP.: 71.745-202
Telephone: +55 61 3314 4238 E-mail raul.cerqueira@anac.gov.br

ABSTRACT

The National Aviation Plan 2018-2038 (PAN) comprised a broad analysis of the national aeronautical scenario guiding the investments in infrastructure. Complementary studies are important to deepen in specific aspects of the development of airport infrastructures.

In this context, covering only a small aspect of this vast subject, this study was elaborated with the objective of analyzing the potential impact of the expansion of the runway regarding its capability.

As result, a list of airports has been identified for which the expansion of the runway should be assessed in the case of scheduled commercial flights operation.

Keywords: Runway length, Runway Capability, Infrastructure, Airport, Scheduled Flights.

1. INTRODUCTION

The improvement of the national aerial network to enable flights in optimal operating conditions is a goal to be sought by all entities involved in air transport.

Airports, while points of the aerial network, have physical characteristics that significantly influence the quality and capacity of the system as a whole.

Qualifying such infrastructure consistently has the potential to impact the national economy in the most diverse sectors and regions, which motivates the search for information that illustrates the current scenario and the possibilities of evolution, complementing the efforts continuously undertaken by the institutions that direct the sector.

In this context, covering only a small aspect of this broad subject, this study was elaborated with the objective of analyzing the potential impact of the expansion of the runway in airports regarding its capability.

This objective required the adaptation of the runway design methodology in order to allow the establishment of a numerical indicator, which was analyzed using air movement data, aircraft performance diagrams and national airport information, generating, finally, the analysis of runway capability as intended.

2. REVIEW

2.1. Brazilian airport planning

The National Aviation Plan 2018-2038 (PAN) brought significative advances, as it consolidated planning efforts dispersed in different public instruments that preceded it.

The PAN defined a specific direction for the development of national aviation, outlined in 09 objectives, from which the detailed study of demand and its effects on the national aerial network resulted in a proposal for the expected development and estimation for the investment to be carried out at each of the national airports.

The extensive analysis made it possible to identify that the current infrastructure has installed capacity to support the demand until the year 2025, and given the uneven distribution of the infrastructure, some airports may need investments in shorter term and others in longer term.

> *"It is noted that the installed capacity of Brazil's airport infrastructure in terms of annual passenger processing capacity is sufficient to absorb the demand for regular passenger until 2025. However, both demand and capacity of the airports have a differentiated geographical distribution, since there is a greater concentration of passengers in the big cities that can lead to the need to expand specific infrastructures in a closer horizon, while others in a long term horizon. " (Translated from MTPA, 2018)*

Details on which investments to prioritize have been evaluated for some airports and the analysis of the infrastructures to be improved have been relegated to future studies, include in this scope the analysis of the length of runways.

2.2. Infrastructure and performance of aircraft

An aerial connection is conditioned by several interrelated factors that must be considered by the airport operator when sizing the infrastructure.

Modifications to these variables have a significant impact on the economic result of a given operation. Notably in the topic of this study, if the initial aerodrome has a runway that limits the takeoff weight below the aircraft performance, the flight cannot occur with optimum use of the aircraft.

> *“Airplanes today operate on a wide range of available runway lengths. Various factors, in turn, govern the suitability of those available runway lengths, most notably airport elevation above mean sea level, temperature, wind velocity, airplane operating weights, takeoff and landing flap settings, runway surface condition (dry or wet), effective*

runway gradient, presence of obstructions in the vicinity of the airport, and, if any, locally imposed noise abatement restrictions or other prohibitions." (FAA, 2005)

Some runway characteristics like instruments or taxiway system affect mostly the quantity of movements per hour that it will be able to perform, what is usually called "Capacity".

Otherwise parameters like runway length affects mostly the type of the movement that it will be able to perform, what IATA called "Capability".

"Capability Is the compatibility of the facilities with the size and type of existing and forecast traffic." (IATA, 2019)

The runway length is sized based on the intended operations at the aerodrome, so it is a capability limiting parameter.

"The design objective for the main primary runway is to provide a runway length for all airplanes that will regularly use it without causing operational weight restrictions." (FAA, 2005)

"Runway length is a limiting factor on aeroplane operations and should be assessed in collaboration with the aeroplane operator." (ICAO DOC 9981, 2016)

Regarding the aerodrome, changes in declared distances, weather conditions, approach segments, or even obstacle-free surfaces in their vicinity, among others, may influence the required minimum length of runway.

Concerning the aircraft, different configurations of weight, thrust, speeds, flaps, among others, also change the required minimum runway length.

"The actual runway length to be provided for a primary runway should be adequate to meet the operational requirements of the aeroplanes for which the runway is intended and should be not less than the longest length determined by applying the corrections for local conditions to the operations and performance. ..."

"...Note 3. - Local conditions that may need to be considered include elevation, temperature, runway slope, humidity and the runway surface characteristics."

(ICAO ANNEX 14, 2016)

Infrastructure is planned and built for specific purposes, however, over the years, such infrastructure may be used for new purposes and this will require investments for its adequacy.

"Introducing new types of aeroplanes into existing aerodromes may have an impact on the aerodrome facilities and services, in particular, when the aeroplane characteristics exceed the parameters that were used for planning the aerodrome." (ICAO, DOC 9981, 2016)

2.3. Aircraft operating in the country

It is assumed that an airline sizes its fleet to operate a portion of the aerial network that allows economic return for these operations, which is dependent on the existing demand for each connection and also the conditions in which such air connections can be made.

In this sense, the number of commercial aircraft currently operating scheduled flights in the country would be in line with the existing infrastructure or that will exist in a short or medium term.

National airports and the regions served by them are heterogeneous and this heterogeneity translates into different compositions of the aircraft group that performs the operation, as can be seen in the following section of the PAN:

"It can be observed that the great majority, by the estimate of demand and the characteristic of the route

(short or medium distance), could be operated by aircraft of up to 30 passengers (85%, or about 4000 connections) and others have potential for operation of aircraft of Category 3C or higher (15%, or about 600 connections).” (MTPA, 2018)

In addition, it is possible to say that for a single set of aircraft (Mix), reducing infrastructure constraints would enhance the operation economical suitability in previously unfriendly locations, and aerial routes would be more competitive if the airports connected by them provide economically appropriate conditions for the operation of a wider range of aircraft, in particular if it reaches heavily operated aircraft at major airports in the country.

3. METHODOLOGY

3.1. Identification of the Mix of aircraft operating at main airports

The Mix of aircraft that realized scheduled flights was identified from the movement registered data, during 03 months in the main airports of the country from the RIMA report (ANAC, 2018).

The major airplanes operating scheduled commercial flights in this set were then selected and this subset was titled "Mix Brazil".

3.2. Performance characteristics of the aircrafts

For each of the aircraft identified as "Mix Brazil" components, the "APM - Airport Planning Manual" provided by the respective manufacturers was obtained (Airbus A330, 2018; Airbus A319, 2019; Airbus A320, 2019; Boeing 767, 2005; Boeing 737, 2013; Boeing 777-200LR/300ER, 2015; Boeing 787, 2018; Embraer 195, 2015).

The performance abacuses extracted from these manuals were tabulated in a spreadsheet in order to facilitate their use in the different calculations to be performed.

3.3. Adaptation of design methodology

In this study, the analysis of the available infrastructure in terms of runway length is carried out by means of an indicator, which was obtained from the adaptation of the runway design methodology described by the FAA - Federal Aviation Administration in the Advisory Circular AC 150 / 5325-4B and the ICAO Doc 9157 – Part 1 (2006).

Originally, the provided methodology was carried out in steps, summarized herein: identification of critical design aircraft and the weight in which the aircraft would perform the take-off and landing operations; using the aircraft performance abacuses, provided by its manufacturers, to obtain the length of runway required for takeoff and landing; applying the correction factors; Finally the required runway length would correspond to the highest value obtained between the two cases (take off or land) and, in the case of the primary runway, this should be such that it would not cause restrictions on the operating weight.

The adaptation was necessary so that, from the length, altitude, temperature and slope of an existing runway and considering a list of aircraft that has the potential to operate at the airport, it would be possible to identify the operational constraints related to the existing runway.

Also, the length required for landing was not included int the analysis scope.

As previously addressed, the intended objective is the evaluation of the existing runway and not the design of a new one, thus the adapted methodology can be summarized in steps, herein:

A. Identification of runway data: length, altitude, slope and reference temperature;

B. Identification of each aircraft to be evaluated;

C. Obtaining the abacus “Runway length required for takeoff” X “Takeoff weight”;

D. Using the abacus of step C, from the existing runway length to obtain the maximum takeoff weight possible for each aircraft of the Mix.

3.4. Indicator relating to existing runway length

The indicator to evaluate the potential constraints imposed by an aerodrome runway extension was defined as the percentual reduction that the calculated maximum weight represents in relation to the Maximum Takeoff Weight (MTOW) of the aircraft.

It is known that most of the operations of an aircraft occur in a weight below its MTOW, depending primarily on the pay load and range it intends to fly and, due to that, it must be highlighted that the indicator does not represent actual runway operational restrictions, it only aims to provide a first step to assess them.

Hence, wind, temperature variation, existing obstacles, noise abatement special take off procedures and declared distances may be significant and were not considered in this analysis.

Aiming to identify possible improvements to the runways that would enhance the Brazilian aerial network operations, the indicator was calculated for all "Mix Brazil" aircrafts and the value of the indicator for the Mix is the average weighted by the incidence of each aircraft in the Mix.

4. ANALYSIS

4.1. Identification of the Mix of aircraft operating at main airports

Based on ANAC's data through the "Airport Movement Information Report - RIMA", defined by ANAC Resolution 464/2018, covering the months of October, November and December of 2018, covering 15 airports (SBBR; SBCF; SBCT; SBEG; SBFL; SBFZ; SBGL; SBGR; SBKP; SBPA; SBRF; SBRJ; SBSG; SBSP; SBSV), it was possible to compose Table 1, which identifies the set of aircraft that operated at these airports during that period. entitled "Mix Brazil".

Table 1 - Aircrafts operating in the major Brazilian airports - "Mix Brazil"

Mix Brazil		
Aircraft	**Registered movements**	**Incidence**
A 319 100 / NEO	52.885	10,76%
A 320 200	151.012	30,72%
A 320 NEO	2.003	0,41%
A 330 200 / A 330 300	7.269	1,48%
B 737 700	44.150	8,98%
B 737 800	143.019	29,10%
B 767 300	3.580	0,73%
B 777 200	3.565	0,73%
B 777 300	3.753	0,76%
B 787 8	851	0,17%
B 787 9	780	0,16%
ERJ 195	78.650	16,00%
Total	**491.517**	

4.2. Indicator evaluation

From the “List of public aerodromes” (ANAC, Register of public civil aerodromes, 2019), the ADC Charts (DECEA, 2019) and data from the ICEA Climatic Data Bank (ICEA, 2019) were gathered airport characteristics data.

Using the adapted methodology, the theoretical weight reached for the Mix was calculated, and then, the indicator "Potential loss by take-off limit (%)" was calculated.

This indicator provides a value between 0% and 100% referring to how much the runway restricts the potential of take-off operations in terms of the MTOW.

The results for the airports from the 1st to the 7th round of concessions are shown herein.

4.2.1. Airports of the 1st to the 4th rounds of concessions

The airports in the 1st up to the 4th concessions rounds are all in the list of airports used to identify the Mix Brazil, so, as expected, the values of the proposed index (Figure 1) demonstrates that their runway lengths do not cause significant restrictions on the operation of the most common aircraft in the country and they are fully suitable for scheduled flights operation.

4.2.2. Airports of the 5th round of concessions

The airports in the 5th round of concessions achieved different levels of the indicator (Figure 2) and it is worth highlighting the ones that reached value above 20%:

- SBJU – Juazeiro do Norte / CE;
- SBSI – Sinop;
- SBKG – Campina Grande; and
- SBME – Macaé.

These airports may present significant restrictions to scheduled flight operations and so it is advisable to assess the runway extension for that purpose.

4.2.3. Airports of the 6th round of concessions

Four airports in the 6th round achieved values above 20% for the indicator (Figure 3), which means that would be advisable to assess its runway extension regarding scheduled flights operations:

- SBJV – Joinville / SC;
- SBBG – Bagé / RS;
- SBBI – (Bacacheri) Curitiba / PR;
- SBUG – Uruguaiana / RS;

4.2.4. Airports of the 7th round of concessions

Part of the airports in the 7th round of Concessions achieved high values for the indicator, five of them achieved values between 20% and 60% (Figure 4):

- SBUF – Paulo Afonso / BA;
- SBUR – Uberaba / MG;
- SBMT – (Campo de Marte) São Paulo / SP;
- SBCR – Corumbá / MS;
- SBRJ – (S. Dumont) Rio de Janeiro / RJ;

Important to notice that Santos Dumont Airport (SBRJ), which is among the busiest in the country, is in this group. However, it is notorious that the operations carried out there are subject to restrictions due to runway conditions, which, in a certain way, confirms the indicator value.

The indicator value for three of these runways were above 60% (Figure 4), which indicates that they should be improved for the scheduled flights operations and would require the runway expansion so that this type of operation can occur in an economically more competitive way:

- SBJC – (Brig. Protásio) Belém / PA;
- SBJR – (Jacarépaguá) Rio de Janeiro / RJ;
- SBPR – (C. Prates) Belo Horizonte / MG.

4.1. Infrastructure development proposition

Based on the indicator results and assuming that is desirable to reduce its values to a level compatible with the major Brazilian airports, as low as 5%, a list of new runway extensions was estimated for those airports whose indicator values were high (Figure 5).

As mentioned before, other parameters must be taken in consideration when designing a new runway or a runway ampliation.

It was not in the scope of this article the analysis of the pavement structural condition, the runway width and several other parameters that are relevant to such a decision.

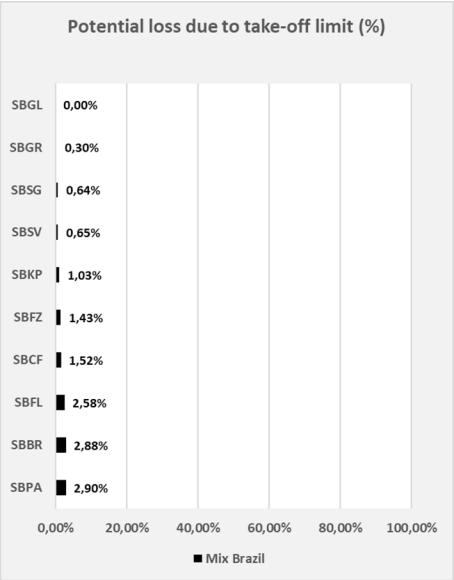


Figure 1 - Airports of the 1st up to the 4th round of concession - Calculated index

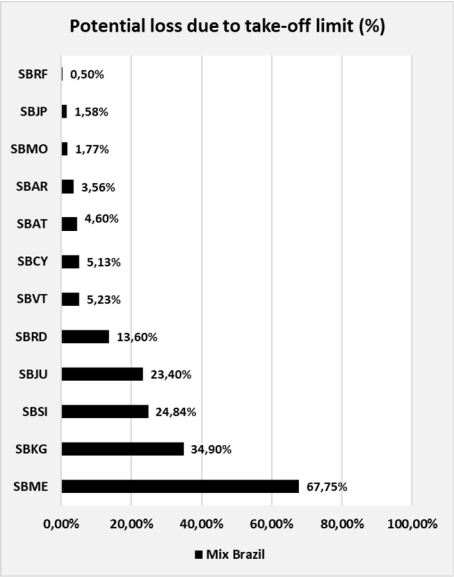


Figure 2 - Airports of the 5th round of concession - Calculated index

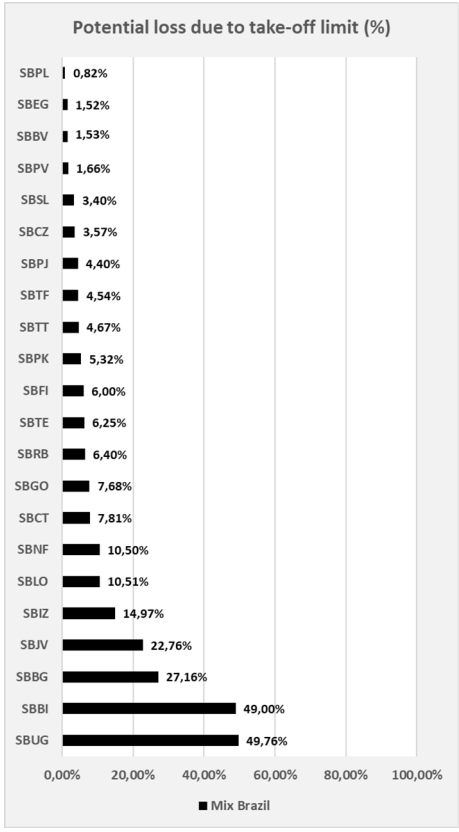


Figure 3 - Airports of the 6th round of concession - Calculated index

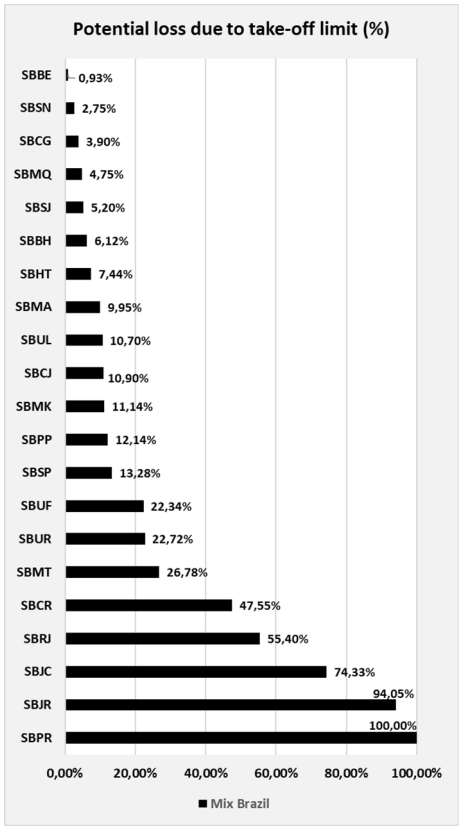


Figure 4 - Airports of the 7th round of concession - Calculated index

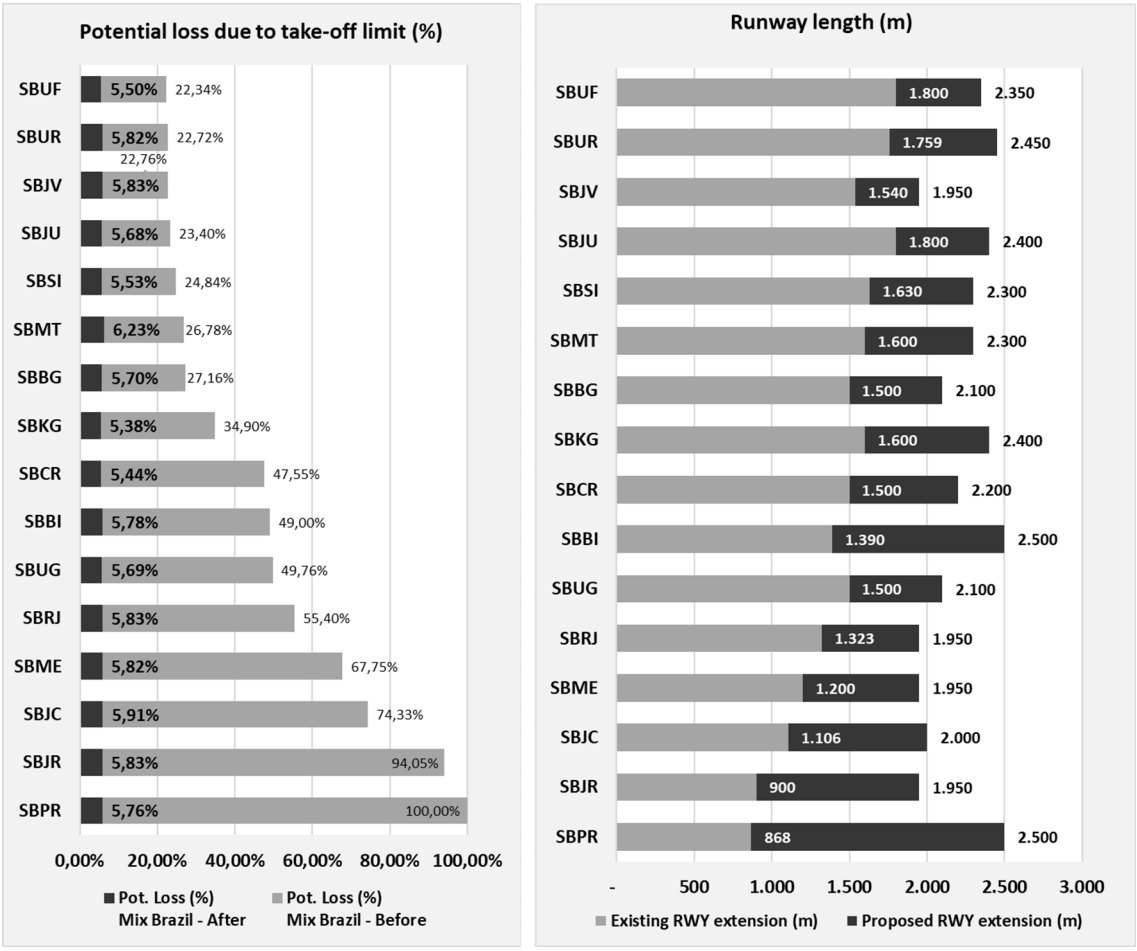


Figure 5 - Proposed new runway extensions and corresponding indicator values

5. CONCLUSIONS

The indicator "Potential loss due to take-off limit (%)" was proposed as a first step in assessing the runway capability once the decision to invest in expansion of the runway involves other factors not covered by the study and the runway design requires more precise methods to be applied.

Calculated indicator values regarding the performance of the most common aircraft operating scheduled flights in the country provided a panel of the airports that were recently privatized and those who are planned to be, indicating those whose runway extension should be assessed and a proposed runway ampliation that will reduce the index levels (Figure 5).

Nevertheless, the potential restriction in these airports were calculated assuming that all aerodromes evaluated have the purpose of carrying out scheduled commercial flights and some of them may have other operational purposes.

6. REFERENCES

Airbus. (2018). A330 - Aircraft Characteristics - Airport and maintenance planning. Revision nº25.

_____. (2019). A319 - Aircraft Characteristics - Airport and maintenance planning. Revision nº20. Airbus.

_____. (2019). A320 - Aircraft Characteristics - Airport and maintenance planning. Revision nº 36.

ANAC. (2019). Cadastro de aeródromos civis públicos. Brasília, DF, Brasil. Acesso em 17 de junho de 2019, disponível em https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/cadastro-de-aerodromos-civis

_____. (16 de 04 de 2019). RBAC 154 - Projeto de aeródromos. EMD 05. Brasília, DF, Brasil.

_____. (s.d.). Contratos de concessão. Brasil. Acesso em 17 de junho de 2019, disponível em https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/concessoes

_____. (2018). Resolução 464 de 2018. Regulamenta a apresentação de informações relativas à movimentação aeroportuária e aprova a Emenda nº 02 ao RBAC nº153. Brasília, DF, Brasil.

Boeing. (2005). 767 - Airplane Characteristics for Airport Planning. Boeing Commercial Airplanes. D6-58328. U.S.A.

_____. (2013). 737 - Airplane Characteristics for Airport Planning. Boeing Commercial Airplanes. D6-58325-6. U.S.A.

_____. (2015). 777-200LR / -300ER / - Freighter - Airplane Characteristics for Airport Planning. Boeing Commercial Airplanes. D6-58329-2E. U.S.A.

_____. (2018). 787 - Airplane Characteristics for Airport Planning. Boeing Commercial Airplanes. D6-58333M. U.S.A.

DECEA. (2019). AIS WEB - Cartas ADC. Brasil. Acesso em 17 de junho de 2019, disponível em https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=cartas

Embraer. (2015). Embrer 195 Airport Planning Manual - APM. Revision 11. Brasil.

FAA. (2005). Runway length requirements for airport design. Advisory circular. AC No 150/5325-4B. U.S.A.: FAA.

IATA. (2019). ADRM - Airport Design Reference Manual (11th ed.). (IATA, Ed.) Canada.

ICAO. (2016). Annex 14. Aerodrome. Aerodrome design and operations., 7th. Montréal, Quebec, Canada: ICAO.

_____. (2006). DOC 9157. Aerodrome Design Manual – Part 1 - Runways. 3rd. Edition. Montréal, Quebec, Canada: ICAO.

_____. (2016). DOC 9981. Procedures for Air Navigation Services - Aerodromes. Montréal, Quebec, Canada: ICAO.

ICEA. (2019). Climatologia aeronáutica. Banco de dados climatológicos. Acesso em 17 de junho de 2019, disponível em http://pesquisa.icea.gov.br/climatologia/

MTPA. (2018). Plano Aeroviário Nacional 2018-2038. Brasília, DF, Brasil: SAC/MTPA. <http://infraestrutura.gov.br/pan.html>. Accessed on 17 Jun. 2019

ESTUDO DO PERFIL DO USUÁRIO QUE UTILIZA APLICATIVOS DE TRANSPORTE PARA ACESSAR IMPORTANTES AEROPORTOS BRASILEIROS

Carolina Silva Ansélmo
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acacias, São José dos Campos – SP
carolina@ita.br

Giovanna Miceli Ronzani Borille
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acacias, São José dos Campos – SP
(12) 3947 6834
ronzani@ita.br

RESUMO

O presente estudo utiliza os dados da Pesquisa de Satisfação da Secretaria Nacional da Aviação Civil (SAC), de quatro importantes aeroportos brasileiros, para investigar quais fatores estão mais relacionados com a escolha por aplicativos de transporte para acessar os aeroportos. A regressão logística binária indicou que os fatores influenciadores foram ser brasileiro (Galeão), ter ao menos graduação e voos domésticos (Guarulhos e Galeão), menor renda (Brasília), viajar sozinho ou com um acompanhante (Guarulhos). Já os fatores desestimulantes foram ser brasileiro e viajar sozinho (Brasília), a negócios (Galeão) e chegar com maior tempo de antecedência (Guarulhos).

Palavras-chave: Aeroportos, Acesso terrestre, Aplicativo de transporte, Mobilidade urbana, Transporte urbano.

ABSTRACT

This study uses data from the Satisfaction Survey of the National Civil Aviation Secretariat (SAC) of four major Brazilian airports to investigate which factors are most related to the choice of transport applications to access airports. The binary logistic regression indicated that the influencing factors were being Brazilian (Galeão), having at least graduated and domestic flights (Guarulhos and Galeão), lower income (Brasília), traveling alone or with a companion (Guarulhos). The discouraging factors were being Brazilian and traveling alone (Brasilia), business (Galeão) and arriving earlier (Guarulhos).

Keyword: Airports, Ground Access, Transport App, Urban Mobility, Urban Transport.

1. INTRODUÇÃO

A capacidade dos aeroportos é limitada, entre outros fatores, pelo acesso terrestre (HUMPHREYS; ISON, 2005). Logo, o acesso terrestre aos aeroportos representa um fator relevante no planejamento do sistema aeroportuário.

Segundo a literatura, o meio de transporte mais utilizado para acessar os aeroportos é o veículo privado (HUMPHREYS; ISON, 2005). Entretanto, nos últimos anos, os aplicativos de transporte vêm aumentando sua participação nesse segmento.

No Brasil, no último trimestre de 2018, os aplicativos de transporte representaram 32,6% das viagens de acesso aos aeroportos brasileiros, sendo o segundo meio mais utilizado, conforme a Figura 1 (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2018).

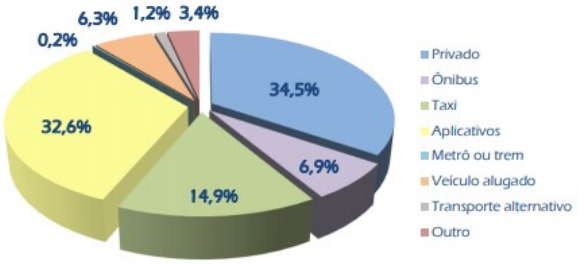


Figura 1 – Porcentagem dos meios de transporte utilizados para acessar os aeroportos brasileiros no quarto trimestre de 2018 (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2018)

Os aplicativos de transporte são uma alternativa eficiente, prática e com custo acessível, tornando-se mais uma opção de transporte para acessar, por meio terrestre, os aeroportos.

Além disso, os aeroportos brasileiros já apresentam mudanças para adequar-se a essa nova opção. Alguns exemplos são áreas destinadas aos motoristas que oferecem seus serviços nos aplicativos de transporte, como nos Aeroporto de Guarulhos (Uber, 2019a) e Galeão (Uber, 2019b), separação de pisos para o egresso, como no Aeroporto de Congonhas (Uber, 2019c) e projetos em andamento de novas áreas para melhorar o tráfego no entorno, como no Aeroporto de Brasília (AEROPORTO DE BRASÍLIA, 2019).

Pela importância dos aeroportos de Brasília, Congonhas, Galeão e Guarulhos em termos de movimentação, superior a 15 milhões de passageiros em 2018 (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2019b), e aos espaços próprios, ou em construção, para aplicativos de transporte, esses foram selecionados para o estudo de caso.

Dada a relevância do assunto, o presente estudo visa identificar quais variáveis influenciam na escolha por esse meio de transporte.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os acessos e saídas, por meio terrestre, ao aeroporto são formados pelas vias (tais como: rodovias, vias ferroviárias e sistemas de metrô), veículos (particulares, alugados, táxis, ônibus e outros) e outras instalações de transferência modal para deslocamento (WELLS, 2004).

A demanda por acesso terrestre ao terminal aeroportuário é formada por passageiros e acompanhantes e está atrelada aos serviços aéreos prestados: destinos, aeronaves, horários de partida e chegada. Além disso, funcionários do aeroporto, das companhias áreas e concessionárias e prestadores de serviço, compõe porção significativa do fluxo de viagens ao aeroporto (WELLS, 2004).

A escolha e a disponibilidade de modais de acesso ao aeroporto está presente em vários estudos na literatura, como mostrado na Tabela 1.

Entre as opções de escolha, nos últimos anos, popularizam-se os aplicativos de transporte. Tais aplicativos terceirizam o serviço de motoristas em uma plataforma que conecta passageiros, permite pagamento do serviço e oferece um *feedback* (FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION, 2017).

Esses serviços podem reduzir os tempos de viagem, além de proporcionarem valores mais baixos e maior concorrência no setor de transporte terrestre (SCHWIETERMAN, 2018).

O presente trabalho propõe-se a identificar possíveis fatores que possam influenciar o passageiro do transporte aéreo a utilizar aplicativos de transporte como opção de acesso terrestre aos aeroportos.

Tabela 1: Escolha de modais de acesso terrestre ao aeroporto

Ano	*Autores*	*Tópico de estudo*
2019	Birolini, S. et al	Escolha do modal de acesso por passageiros de empresas aéreas *low-cost*
2018	Zaidan, E.; Abulibdeh, A.	Aceitação da introdução de um novo sistema de acesso: metrô Doha
2017	Yazici, M. A.; Kamga, C.; Singhal, A.	Decisão de motoristas de táxi
2015	Orth, H.; Frei, O.; Weidmann, U.	Impacto do acesso não-aeronáutico aos aeroportos
2011	Jou, R.; Hensher, D. A.; Hsu, T.	Introdução de um sistema de transporte rápido em massa

3. METODOLOGIA

O estudo de Afifi e Clark (1996) identificou, por meio da Análise de Componentes Principais (PCA), os fatores relacionados a escolha dos modos de acesso terrestre ao aeroporto. Esses são características pessoais, de viagem e do acesso terrestre disponível.

O presente estudo analisou essas características com foco no acesso terrestre por aplicativo de transporte. As características pessoais, analisadas no presente estudo, são: (i) nacionalidade, (ii) gênero, (iii) escolaridade e (iv) renda familiar. As variáveis relacionadas a viagem são: (v) tipo de voo, (vi) número de acompanhantes, (vii) motivo e (viii) antecedência de chegada para voo. A variável relacionada ao acesso terrestre é o meio de transporte utilizado para deslocamento até o aeroporto (AKAR, 2013).

Os dados utilizados são aqueles disponibilizados na Pesquisa de Satisfação da Secretaria Nacional da Aviação Civil (SAC, MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2019a), realizada nos aeroportos brasileiros desde 2013.

Para o presente estudo, foram escolhidos os Aeroporto Internacional de Brasília, Aeroporto de São Paulo (Congonhas), Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (Galeão) e Aeroporto Internacional de São Paulo (Guarulhos).

Para análise foi selecionado o ano de 2018, pois a partir do terceiro trimestre de 2017 a pesquisa considera os aplicativos de transporte.

Além disso, são utilizados os dados para embarque sem conexão, pois o interesse são os passageiros que chegam ao aeroporto por via terrestre. A Figura 2 apresenta a distribuição do embarque (com e sem conexão) para cada aeroporto, disponibilizados pela SAC (2018).

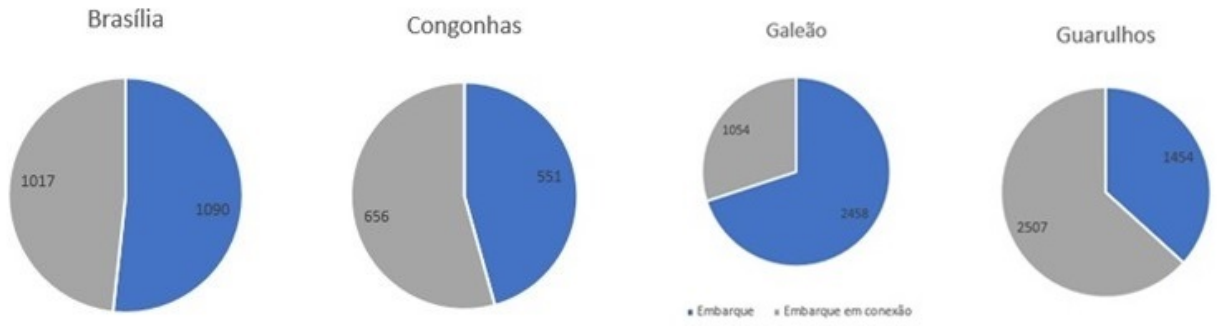


Figura 2 – Distribuição do embarque para os quatro aeroportos analisados (Elaborado pela autora com dados da SAC, 2018)

Os dados são trabalhados de maneira binária por regressão logística. É atribuído o valor 1 para a característica analisada e 0 para a característica distinta. Para nacionalidade, 1 são os passageiros nacionais e 0, os estrangeiros. Para o gênero, 1 para feminino e 0 para masculino. Para escolaridade, 1 para graduação ou acima e 0 para os demais. O número de acompanhantes é divido em quatro categorias: viajantes sozinhos, com um acompanhante, dois e três ou mais. As faixas de renda foram divididas em três: até dois salários mínimos (SM), entre 2 e 10 SM e acima de 10 SM. O motivo de voo foi 1 para negócios e 0 para os demais. A antecedência foi divida em três faixas: até 1 hora e 30 minutos, até 2 horas e 30 minutos e acima disso. Ao uso de aplicativo de transporte foi atribuído 1 e aos demais meios de transporte, 0.

A variável dependente foi o uso de aplicativo de transporte. As demais são variáveis independentes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 foi desenvolvida com o uso do *software* Excel. O nível de confiança da regressão logística binária é de 95%. Quando o valor -P é menor ou igual a 5%, o fator analisado é significante. Os valores estão destacados na Tabela 2. Se o coeficiente do fator significativo for positivo a relação é direta, caso negativa, indireta.

Para o Aeroporto Internacional de São Paulo (Guarulhos), os fatores significativos foram a escolaridade, o tipo de viagem, o número de acompanhantes (sozinho e um acompanhante) e o tempo de antecedência de chegada ao aeroporto (acima de 2 horas e 30 minutos). Passageiros com maior nível de escolaridade e em voos domésticos tendem a utilizar mais aplicativos de mobilidade. Assim como os que viajam sozinhos ou com um acompanhante. Isso pode ser justificado pelo perfil do passageiro doméstico, que, provavelmente conhece o aeroporto, e por esses voos exigirem menos tempo de antecedência de chegada. Por outro lado, passageiros que chegam com tempo de antecedência acima de 2 horas e 30 minutos, tendem a utilizar menos essa opção. Possivelmente por disporem de mais tempo para acesso, o que resulta em mais opções disponíveis.

Para o Aeroporto de São Paulo (Congonhas), não se pode fazer suposições, pois os fatores não apresentaram significância para o modelo.

Para o Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (Galeão), a nacionalidade, a escolaridade, tipo de voo e o motivo da viagem. As três primeiras variáveis aumentam o uso dos aplicativos, ou seja, passageiros brasileiros, de ao menos nível superior e voando dentro do país, tendem a usar mais os aplicativos. Já a relação do motivo da viagem é inversa, ou seja, passageiros a negócios tendem a usar menos. Como o aeroporto está localizado numa cidade turística, pode ter influenciado o resultado, pois os turistas podem optar mais por essa opção. Além disso, passageiros a negócios podem ter outras opções disponíveis, como por exemplo transporte oferecido pela empresa e são menos sensíveis a preços, pois os custos provavelmente são financiados pelo trabalho.

Os fatores que influenciam o uso de aplicativos de transporte no Aeroporto Internacional de Brasília estão relacionados a nacionalidade, renda e número de acompanhantes. Passageiros que têm renda até 2 salários mínimos tendem a usar mais os aplicativos, possivelmente por ser uma opção mais acessível. Já brasileiros e viajantes sem acompanhantes preferem outros meios de acesso terrestre aos aeroportos.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos fatores que influenciaram ou desestimularam o uso de aplicativos de mobilidade. O símbolo afirmativo indica estímulo para esse fator, e o negativo, desestímulo.

Tabela 2 – Coeficientes e valor -P dos aeroportos analisados

	GUARULHOS		CONGONHAS		GALEÃO		BRASÍLIA	
	Coeficiente	Valor - P	Coeficiente	Valor - P	Coeficiente	Valor - P	Coeficiente	Valor - P
Nacionalidade	-0,069779	19,68%	0,064374	58,04%	0,136897	0,46%	-0,044470	3,54%
Gênero	0,011685	62,85%	0,012074	78,26%	-0,005623	78,41%	-0,040657	64,82%
Escolaridade	0,090095	0,07%	0,026912	58,21%	0,078471	0,04%	0,094897	17,18%
Renda 1	0	-	-0,067911	40,64%	0,000847	98,54%	0,084612	0,58%
Renda 2	0,003856	-	0,051273	33,16%	0,022785	41,49%	0,061399	23,89%
Renda 3	0,046600	34,67%	-0,055433	37,73%	-0,023193	40,41%	0,080137	15,92%
Tipo de viagem	0,064026	3,73%	0	-	0,057141	2,51%	0,091779	7,13%
Viajando sozinho	0,142026	2,07%	0,106230	-	-0,021685	74,16%	-0,037424	0,79%
1 acompanhante	0,144700	2,57%	0,048028	67,21%	0,019400	78,38%	0,038119	56,34%
2 acompanhantes	0,063431	42,27%	0,038840	77,70%	0,064640	63,39%	0,022799	78,74%
3 ou mais acompanhantes	0	-	0	-	0,022288	92,51%	0	-
Motivo da viagem	0,034748	-	-0,086286	-	-0,048915	4,99%	0,036178	-
Tempo 1	0	-	0,021033	73,13%	0	-	0	-
Tempo 2	-0,059734	-	0,015599	80,20%	-0,018653	-	-0,032147	-
Tempo 3	-0,101003	0,58%	0	-	-0,025575	39,72%	-0,006266	87,24%

Tabela 3 – Resumo dos fatores que influenciam o uso de aplicativos de transporte

	GUARULHOS	GALEÃO	BRASÍLIA
Nacionalidade		👍	👎
Escolaridade	👍	👍	
Renda 1			👍
Tipo de viagem	👍	👍	
Viajando sozinho	👍		👎
1 acompanhante	👍		
Motivo da viagem		👎	
Tempo 3	👎		

5. CONCLUSÕES

O trabalho identificou possíveis variáveis que podem influenciar o uso de aplicativos de transporte para acesso terrestre ao aeroporto. Passageiros com maior nível de escolaridade (ao menos a graduação) e em voos domésticos, tendem a utilizar mais essa opção para os aeroportos de Guarulhos e Galeão.

Os aeroportos apresentaram algumas particularidades. Guarulhos favorece o uso em relação a passageiros viajando sozinhos ou com um acompanhante e desfavorece para aqueles que esperam acima de 2 horas e 30 minutos. Em Galeão passageiros brasileiros e turistas utilizam mais, ao contrário dos estrangeiros e viajando a negócios. Para Brasília, passageiros brasileiros e viajando sozinhos, tendem a utilizar menos os aplicativos, ao contrário dos com renda mais baixa.

Essas informações podem ser úteis para o planejamento do acesso terrestre e entorno ao aeroporto. Como por exemplo, áreas exclusivas para o embarque/desembarque dos veículos de aplicativos de transporte. Isso pode melhorar o acesso aos aeroportos, tornando a experiência mais agradável aos passageiros, aumentando a satisfação e auxiliando aos tomadores de decisão do aeroporto.

O estudo considerou apenas aeroportos de grande movimentação de passageiros, logo estudos futuros podem considerar aeroportos de médio e pequeno portes para comparação.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.

REFERÊNCIAS

AEROPORTO DE BRASÍLIA. Com conceito inédito, INFRAMERICA inicia obras para melhorar a mobilidade para quem sai do Aeroporto de Brasília. Disponível em: <https://www.bsb.aero/br/sala-imprensa/com-conceito-inedito-inframerica-inicia-obras-para-melhorar-a-mobilidade-para-quem-sai-do-aeroporto/3276/>. Acesso em: 22 set. 2019.

AFIFI, A.A.; CLARK, V. (1996). Computer-aided Multivariate Analysis, third ed. Chapman & Hall, 1996.

AKAR, G. (2013). “Ground access to airports, case study: Port Columbus International Airport”. Journal of Air Transport Management, [s.l.], v. 30, p.25-31, jul. 2013. Elsevier BV, 2013.

BIROLINI, S. et al. (2019). “Access mode choice to low-cost airports: Evaluation of new direct rail services at Milan-Bergamo airport”. Transport Policy, [s.l.], v. 73, p.113-124, jan. 2019. Elsevier BV, 2019.

FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION (2017). Shared mobility definitions. Disponível em: <https://www.transit.dot.gov/regulations-and-guidance/shared-mobility-definitions>. Acesso: 02 de junho de 2019.

HUMPHREYS, I.; ISON, S. (2005). “Changing airport employee travel behaviour: the role of airport surface access strategies”. Transport Policy, [s.l.], v. 12, n. 1, p.1-9, jan. 2005. Elsevier BV, 2005.

JOU, R.; HENSHER, D. A.; HSU, T. (2011). “Airport ground access mode choice behavior after the introduction of a new mode: A case study of Taoyuan International Airport in Taiwan”. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, [s.l.], v. 47, n. 3, p.371-381, mai. 2011. Elsevier BV, 2011.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA (2018). Relatório de desempenho operacional dos aeroportos: 4º trimestre de 2018. Disponível em: <http://infraestrutura.gov.br/images/AVIACAO_CIVIL/PESQUISA_SATISFACAO/2018/4T/Relat%C3%B3rio_trimestral_-_4%C2%BA_Tri_2018_-_GERAL.pdf>. Acesso em: 02 set. 2019.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA (2019a). Desempenho Operacional. Disponível em: <https://horus.labtrans.ufsc.br/gerencial/#DesempenhoOperacional/ResultadosGerais>. Acesso em: 02 set. 2019.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA (2019b). Pesquisa de Satisfação do Passageiro. Disponível em: <http://infraestrutura.gov.br/pesquisa-satisfacao.html>. Acesso em 29 abr. 2019.

ORTH, H.; FREI, O.; WEIDMANN, U. (2015). “Effects of non-aeronautical activities at airports on the public transport access system: A case study of Zurich Airport”. Journal of Air Transport Management, [s.l.], v. 42, p.37-46, jan. 2015. Elsevier BV, 2015.

SCHWIETERMAN, J.; SMITH, C. S. (2018). “Sharing the ride: A paired-trip analysis of UberPool and Chicago Transit Authority services in Chicago, Illinois”. Research in Transportation Economics, [s.l.], v. 71, p.9-16, nov. 2018. Elsevier BV, 2018.

UBER (2019a). Aeroporto de Guarulhos (GRU). Disponível em: <https://www.uber.com/pt-BR/drive/sao-paulo/airports/guarulhos-airport/>. Acesso em: 22 set. 2019.

UBER (2019b). Mais comodidade e rapidez no Aeroporto Internacional do Galeão (GIG). Disponível em: <https://www.uber.com/pt-BR/blog/rio-de-janeiro/mais-

comodidade-e-rapidez-no-aeroporto-internacional-do-galeao-gig/>. Acesso em: 19 set. 2019.

UBER (2019c). Nova Operação no Aeroporto de Congonhas. Disponível em: <https://www.uber.com/pt-BR/blog/sao-paulo/nova-operacao-no-aeroporto-de-congonhas/>. Acesso em: 22 set. 2019.

WELLS, A. T.; YOUNG, S. (2004). Airport Planning and Management. 5.ed. New York: McGraw Hill, 2004.

YAZICI, M. A.; KAMGA, C.; SINGHAL, A. (2016). "Modeling taxi drivers' decisions for improving airport ground access: John F. Kennedy airport case". Transportation Research Part A: Policy and Practice, [s.l.], v. 91, p.48-60, set. 2016. Elsevier BV, 2016.

ZAIDAN, E.; ABULIBDEH, A. (2018). "Modeling ground access mode choice behavior for Hamad International Airport in the 2022 FIFA World Cup city, Doha, Qatar". Journal of Air Transport Management, [s.l.], v. 73, p.32-45, out. 2018. Elsevier BV, 2018.

CUSTOMER EXPECTATIONS REGARDING THE AIRPORT SERVICE QUALITY: A STRUCTURAL MODEL

George Christian Linhares Bezerra
University of Coimbra, Faculty of Economics
Centre for Business and Economics Research - CeBER
Av. Dias da Silva, 165, Coimbra, 3004-512, Portugal, +351 239790500,
george.bezerra@anac.gov.br

Carlos Ferreira Gomes
University of Coimbra, Faculty of Economics
Centre for Business and Economics Research - CeBER
Av. Dias da Silva, 165, Coimbra, 3004-512, Portugal, +351 239790500,
cfgomes@fe.uc.pt

ABSTRACT:

The objective of this paper is twofold. First, to develop a measurement model of the passenger expectation of the airport services. Second, to examine the effects of the passenger expectation on their perceptions about the service experienced. To achieve the objectives, a sample data from a survey applied to passengers at a main Brazilian airport was used to structural equation modeling analysis. The findings shown that passenger expectations are related to the idea of an acceptable service performance. As such, misunderstanding of actual passenger expectations can mislead resource allocation decisions to provide the level of service the passengers really want.

Keywords: Airports; Passenger Expectation; Service Quality; Service Value; Structural Equation Modeling.

1. INTRODUCTION

Airports have been progressively shifting from the idea of huge public facilities towards the concept of multi-services business organizations. Therefore, airport executives are ever more concerned with the passenger experience, which has become crucial for airport management, particularly in face of stricter security requirements, changes in the air carrier market, and the need for increasing non-aeronautical revenues.

Recent research advocates that air travelers' behaviors are changing as a result of several factors. As such, air transport business is no longer focused on high quality and customized services, including the offer of ancillary services. In this context, the literature suggests that passenger expectations concerning the air travel changed from a romantic perspective of comfort and excellence, as usually depicted in 1950's-60's propaganda, towards the idea of even accepting some level of discomfort based on the price paid for the ticket (Graham, 2014).

Regarding airports, a positive experience is expected to influence passenger´s intentions to purchase in commercial areas (Chung, 2015; Lu, 2014; Sohn and Lee, 2017), increase their reuse intention (Al-Refaie et al., 2014; Nesset and Helgesen, 2014), induce a positive word-of-mouth (Nesset and Helgesen, 2014; Wattanacharoensil et al., 2017), and foster airport competitiveness (Graham, 2014; Wattanacharoensil et al., 2017). However, empirical research on the passenger experience at the airport is still scarce and tends to emphasize a commercial and business viewpoint, instead of a passenger-based perspective (Bezerra & Gomes, 2019). Especially, there is limited empirical evidence on the nature of the passenger expectation regarding the airport and how this expectation is related to the service experienced.

Bearing in mind these considerations, the objective of this paper is twofold. First, to develop a measurement model of the passenger expectation of the airport service. Second, to examine the effects of the passenger expectation on the passenger perceptions about the service experienced.

To accomplish these objetives, data from a survey applied to departing passengers in one of the main Brazilian airports was used to fit a measurement model of the passenger expectation and to test research hypotheses of their effects on passenger perceptions Data analysis was based on Structural Equation Modeling.

2. BACKGROUND

A seminal study on the concept of customer expectation was carried out by Winer (1985). Their results shown that the topic had already been investigated in several research settings but received the most attention and systematic treatment in the context of customer satisfaction and service quality.

Discussing on the nature and determinants of customer expectations, Zeithaml et al. (1993) identified a consensus that expectations serve as standards with which subsequent experiences are compared.

Customer satisfaction literature suggests that customers may use different types of expectations (Oliver, 2015; Wilson et al., 2012; Teas, 1993: Zeithaml et al., 1993). Usually, customer expectation comprises the concepts of "will expectation", "should expectation" and "ideal expectation".

According to the literature, customers implicitly make summary comparative judgments as an input to their feelings regarding the service provided (Oliver, 2015; Wilson et al., 2012). This assumption implies that customer expectations will create a frame of reference about which the comparative judgment will be made. Consequently, service outcomes perceived as poorer than expected will be rated below this benchmark, suggesting a poor perceived quality, whereas those outcomes perceived as better than expected are likely to be evaluated above this threshold and lead to perception of a higher quality (Oliver, 2015).

That same basis is valid to the perception of value, which is a more intricated aspect of the experience with the service, reflecting the trade-off between the perceived benefits and perceived costs (Anderson and Fornell, 2000; Johnson et al., 2001; Zauner et al., 2015).

In the airport context, there is still a gap of knowledge on the nature of passenger expectations and their effects based on an empirical perspective (Bezerra & Gomes, 2019). Therefore, in this paper a measurement model of the passenger expectation is developed based on the customer satisfaction literature.

The interaction between theory building and testing of hypothesized relationships resulted in the development of customer satisfaction models over time (Morgeson, 2012). Regarding empirical research and practical purposes, a main concern has been the need for operationalizing the constructs associated with satisfaction (Hill and Alexander, 2006).

Initially, costumer satisfaction models focused on customer expectations and perceived performance (Oliver, 1996; Zeithaml et al., 1990). Afterwards, other critical issues for business organizations, such as complaints, word-of-mouth, and repurchase intension were included as consequences of satisfaction (Lovelock and Wirtz, 2007; Oliver, 2015).

In this paper, the approach to customer expectation is aligned to the expectancy-disconfirmation paradigm, proposed by Oliver (1980;2015). Accordingly, the customer perceptions on service quality and value are identified as a cognitive evaluation based on the idea of comparing the perceived level of quality received and the expected quality (Oliver, 1996; Oliver, 2015; Wilson *et al.*, 2012).

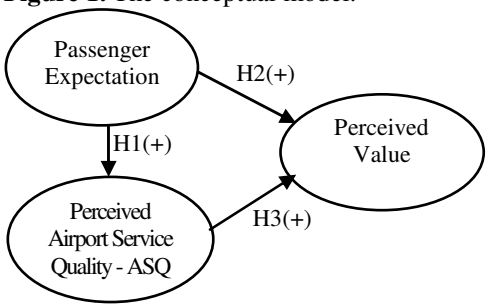
Regarding the airport context, consistent with the literature, the construct expectation should reflect the attributes or characteristics associated with the airport experience that are anticipated or predicted by the passenger (Oliver, 2015). Based on these attributes or characteristics, the passenger will evaluate their experience in the airport, comprising perceptions about the service quality and value.

In the next section the conceptual model and construct operationalization are discussed.

2.1. Conceptual Model and Construct Operationalization

In this paper, we examined the relationships between passenger expectations and their perceptions about the airport service. We grounded on the rationale of the customer satisfaction literature and made a few changes in each construct operationalization to customize them to the airport environment. The conceptual model is presented in Figure 1.

Figure 1. The conceptual model.



In this model, passenger expectation captures the attributes/characteristics associated with the airport experience that are anticipated by the passengers (Oliver, 2015; Sweeney et al., 2012; Teas, 1993). Based on the theory, the passenger expectation is then assumed to positively affect the passenger perceptions about the airport service quality and the service value. Also, there is a hypothesized positive effect of perceived ASQ on perceived value. The following hypotheses are stated (Table 1).

Table 1: The research hypotheses

H1(+)	Expectation positively affects perceived ASQ
H2(+)	Expectation positively affects perceived value
H3(+)	Perceived ASQ positively affects perceived value

In addition, we detailed the expectation-service-quality relationship by examining the indirect effects of passenger expectation on the different service quality dimensions comprised in the ASQ model proposed by Bezerra and Gomes (2015;2016). This analysis is particularly relevant for exploring how passenger expectation relates to the several aspects of the airport services and facilities.

Regarding construct operationalization, the conceptual models were based on a reflective approach, where the measurement items are assumed to reflect aspects of the latent construct they are associated with (Coltman et al., 2008; Edwards and Bagozzi, 2000). The latent constructs are described below.

Passenger Expectation

According to the literature, individuals implicitly make summary comparative judgments as an input to their feelings about the

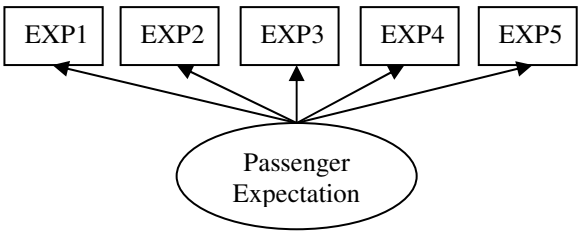
service (Oliver, 2015; Wilson et al., 2012). Therefore, the construct expectation should reflect the attributes or characteristics associated with the airport experience that are anticipated or predicted by the passenger (Oliver, 2015).

The measurement items were based on the rationale of the customer satisfaction index (CSI) models (Johnson et al., 2001; Fornell et al., 2008) As such, there are three typical measures: overall expectation (EXP1), level of expected customization (EXP2), and expected service reliability (EXP3).

Additionally, concerning the airport context, the most basic passenger expectations about the service will typically comprise service reliability and an acceptable level of comfort (Caves and Pickard, 2001; Bogicevic et al., 2013). Accordingly, two more measurement items were added, the passenger expectation about the quickness and efficiency of service provision (EXP4), and the expectation about to feel comfortable and safe at the airport (EXP5).

Figure 2 illustrates the measurement model of passenger expectation according to the usual graphical representation for the latent and observed variables in SEM analysis (Hair *et al.*, 2014; Kline, 2011; Byrne, 2010). Description of the measurement items are presented in Appendix A.

Figure 2: Measurement Model for Passenger Expectation



Perceived Airport Service Quality (ASQ)

Examining service quality in the airport service environment is usually a challenge, as airports present high complexity and some particularities of the passenger-airport interaction are not adequately covered by generic service quality scales (Fodness and Murray, 2007; George et al., 2013; Pantouvakis, 2010).

In this paper, the perceived service quality was operationalized using a higher-order construct reflected in the service quality dimensions proposed by Bezerra and Gomes (2015;2016), which relates to the airport service and facilities as perceived by the passengers.

To be noted that measurement items reflecting this construct are aligned to industry best practice guidelines (ACI, 2017; Kramer et al., 2013) and are similar to previous research (Correia et al., 2008; Medeiros et al., 2016).

Perceived Value

The perception of service value is based on a trade-off between the benefits and the sacrifices (what is given) in a market exchange (Chen, 2013; Prebensen et al., 2013; Zauner et al., 2015). This construct is usually operationalized with a rating of the price paid for the quality received and a rating of the quality received for the price paid (Fornell et al., 2008).

In this paper, taking into account the increasing importance of the non-aeronautical revenues for the airport business, this trade-off perspective was adapted to the airport services environment. The literature suggests that passengers can distinct the required activities associated with the air travel from the convenience/leisure alternatives (Bezerra and Gomes, 2015; Fodness and Murray, 2007; George et al., 2013). Moreover, while the utilization of the airport facilities is covered by the airport fees, restaurants and stores are usually free for pricing their offerings as convenience products/services (Gillen and Mantin, 2014). Accordingly, the construct perceived value was operationalized with five items intended to reflect both the airport facilities and the convenience services (see Appendix A).

3. METHODS

4.1. Research Instrument

As previously demonstrated, the measurement items were based on extensive literature review and reflects their respective latent constructs as described in the previous section. A list with all the measurement items used is provided in Appendix A.

Regarding the measurement scales, for the perceived service quality construct, a

performance rating scale was used (from 1 – Very poor to 7 – Very good, with a central point in 4 – Regular). For passenger expectation and perceived value, a Likert seven-point scale was used (1 – strongly disagree to 7 – strongly agree, with a central point in 4 – neither agree or disagree).

Preparatory content validation procedures comprised consultation with experts and on-line trial survey. Firstly, a group of ten experts, including researchers, airport professionals, and Brazilian Government personnel, was interviewed for content validation. Their contributions supported face validity and the need for minor item wording revision. Second, a trial survey to a convenient sample of 39 people that had used any of the Brazilian airports for a departing flight in the last three months. Their contributions were related to item wording.

4.2. Data Collection and Sample

The survey was applied to departing passengers at Congonhas Airport, in the City of São Paulo, in Brazil. The passengers were approached at the departure lounges, so they have had the opportunity to experience the full range of services, processes, and facilities. A sample of 482 passengers were obtained.

Regarding missing data analysis of the measurement items, 39 responses presenting more than 10% of missing values were excluded. As the remaining 443 responses presented no pattern for missing values, the missing values were replaced by the series mean (Hair et al., 2014; Kline, 2011). Table 2 shows the sample characteristics.

Table 2: Sample Characteristics

Characteristic	Distribution	
Gender	Freq.	%
Male	299	67.5
Female	142	32.1
Non-response	2	0.5
Total	443	100.0
Travel frequency (last 12 months)	Freq.	%
0 to 2 trips	65	14.7
3 to 5 trips	109	24.6
> 5 trips	266	60.0
Non-response	3	0.7
Total	443	100.0
Trip purpose	Freq.	%
Non-business (Includes leisure and other purposes)	149	33.6
Business	289	65.2
Non-response	5	1.1
Total	443	100.0
Number of departures from the airport in the last 12 months	Freq.	%
First time	56	12.6
2 to 3 times	116	26.2
3 to 5 times	77	17.4
More than 5 times	191	43.1
Non-response	3	0.7
Total	443	100.0

The high percentage of business passengers actually represents the population of passengers at this airport (Ueda, 2012). This characteristic is also related with the high travel frequency, and the number of departures from the airport.

Assessment of univariate normality suggested no significant deviation (Appendix A). Concerning multivariate normality, the squared Mahalanobis distance (D^2) was used for outlier identification and the relative magnitude based on degrees of freedom (D^2/df) suggested no concerns (Hair et al., 2014).

4.3. Data Analysis

The model was estimated using structural equation modeling (SEM), which is especially suitable for simultaneously testing multiple relationships. Based on the two-step approach recommended by the literature, the relationships between the constructs (i.e. the structural model) were only estimated after the constructs have met the required measurement standards (Anderson and Gerbing, 1988; Byrne, 2010; Hair et al., 2014). For model estimation, the covariance matrix and the maximum likelihood estimation method were used (Hair et al., 2014; Kline, 2011). The software IBM AMOS, version 22 was used for data analysis.

5. RESULTS AND DISCUSSION

5.1. The Measurement Model

Using exploratory factor analyses, a preliminary assessment supported unidimensionality and sampling adequacy. Based on the KMO values, sample data presented satisfactory sampling adequacy for each construct, with values greater than 0,6. The results of the Barlett´s test of sphericity was significant for all the within-scale EFA (p-

value<0,001). The computed item-total correlations were indicative of item reliability (Hair et al., 2014).

This first full measurement model revealed a poor fit to the data. Consistent with the literature, the model was then modified based on successive interactions. For this purpose, the following criteria were considered: a. item reliability (indicated by the squared multiple correlations); b. standardized residuals covariances; and c. modification indices estimated by the AMOS software (Byrne, 2010; Hair et al., 2014).

Therefore, in this specification process, 2 measurement items from the construct expectation and 2 others from the perceived value were excluded. Additionality, two covariances between term of errors were added (see notes on Appendix A).

Consistent with the good practices in SEM analysis, all modifications were based on sound theoretical and empirical support. First, the items excluded from the construct expectation (EXP1- I had high expectation about the airport quality and EXP2 - I expected the airport to fully meet my needs as a passenger) are associated with a "should" or "ideal" concept for expectation, as proposed by Zeithaml et al. (1993). Thus, this finding suggests passenger expectation regarding the airport is more related to a practical perspective, associated with the idea of a minimum tolerable performance, which is consistent with Caves and Pickard, (2001) and Bogicevic et al. (2013). Second, the measurement items excluded from the construct perceived value are related to the commercial facilities, which is an ancillary aspect of the air travel experience. This finding is similar to the previous one. Third, the added covariances between error terms in the service quality dimensions Ambience and Basic Facilities are adequate, as the items reflect similar aspects of the same dimensions, as perceived by the passenger.

After this process, a measurement model with a good fit was obtained *($\chi2=659,976$; df=262;$\chi2/df=2,519$;RMSEA=0,058]0,051:0,063];GFI=0,901;PGFI=0,725;CFI=0,929;PCFI=0,811;TLI=0,919;IFI=0,929).*

The measurement model was then tested for construct validity and reliability. The composite reliability (CR) values were greater than 0,7, indicating sufficient reliability and that measurement items converge at a satisfactory level within their respective constructs. As for the average variance extracted (AVE), with values above 0,5, there was also evidence of convergent validity (Hair et al., 2014).

Consistent with Fornell and Larcker (1981), discriminant validity was assessed based on the comparison between the square root of the AVE and the construct correlations with all other constructs in the model. The square root of the AVEs were greater than the correlations, suggesting discriminant validity.

Table 3 summarizes the measures of construct validity and reliability.

Table 3: Measures of construct validity and reliability.

	EXP	VAL	ASQ	CR	AVE
Expectation - EXP	0,746			0,79	0,56
Perceived Value - VAL	0,133**	0,811		0,85	0,66
Perceived ASQ	0,128**	0,636***	0,752	0,84	0,57

Notes: **Significance level<0.05; ***Significance level<0.01; CR – Composite Reliability; AVE – Average Extracted Variance; In the main diagonal, the square root of AVE.

Concerning common method variance, the results of the Harman´s single factor test and of the common Latent factor approach (Podsakoff et al., 2003), no significant bias was found.

5.2. Hypothesis Testing

The hypotheses testing results are shown in Table 4, including the statistical significance of the estimates. Only the hypothesis related to the effects of expectation on perceived value (H2) was not supported.

The standardized estimates and the statistical significance of the direct, indirect, and total effects are presented in Table 5. The analysis of the total effects provides useful information on the relationships, such as: (i) the weak total effects of passenger expectation on the dependent latent constructs; (ii) the existence of significant indirect effects of expectation on perceived value, intermediated by perceived ASQ; and (iii) the weak indirect effects on the service quality dimensions, with mobility being the lower standardized value.

Further discussion on the results associated with the constructs are provided in the next section.

Table 4: Results for the research hypotheses.

Research hypothesis				Estimate λ	C.R.	p-value	Supported
Expectation	--->	Perceived ASQ	H1(+)	0,128	2,153	**	Yes
Expectation	--->	Perceived value	H2(+)	0,053	1,084	n.s.	No
Perceived ASQ	--->	Perceived value	H3(+)	0,629	7,703	***	Yes

Notes: C.R. – Critical ratio; n.s. – non-significant; *** – p-value<0,01; ** – p-value<0,05.

Table 5: Direct, Indirect and Total Effects.

Construct	Effects on	VAL	ASQ	Process	Environment	Mobility	Convenience
Passenger Expectation (EXP)	DE	0,053	0,128	-	-	-	-
	p-value	n.s.	**	-	-	-	-
	IE	0,081	-	0,094	0,103	0,089	0,098
	p-value	**	-	*	*	*	*
	TE	0,133	0,128	0,094	0,103	0,089	0,098
	p-value	**	**	*	*	*	*
Perceived ASQ	DE	0,629	-	-	-	-	-
	p-value	***	-	-	-	-	-
	IE	-	-	-	-	-	-
	p-value	-	-	-	-	-	-
	TE	0,629	-	-	-	-	-
	p-value	***	-	-	-	-	-

Notes: Statistical significance calculated based on the bootstrapping method; DE – standardized direct effects; IE – standardized indirect effects; TE – standardized total effects; *** – significant at 0,01 level; ** – significant at 0,05 level; * – significant at 0,10 level; n.s. – non-significant.

5.3. Discussion

5.3.1. Passenger expectation

According to the research hypotheses, passenger expectations should present a direct effect on perceived ASQ and perceived value. However, the results presented only a small significant direct effect on ASQ, and small significant indirect effects on perceived value.

Customer satisfaction literature suggests that customers may use different types of expectations when forming opinions about a service anticipated performance (Oliver, 2015; Wilson et al., 2012; Teas, 1993; Zeithaml, 1993). As such, expectation comprises the concepts of "will expectation", "should expectation" and "ideal expectation".

In this present study, based on the measurement items retained, passenger expectation regarding the airport reflects the first concept (i.e. passengers are expecting efficient and reliable services and a satisfactory level of comfort). However, even limited to this nature of expectation, passenger perception of value was not statistically related to the passenger expectation.

Previous studies in the air transport context suggested that passenger characteristics may drive to significant differences in passenger expectation of the service (Anderson et al., 2008; Fodness and Murray, 2007; Bogicevic et al., 2013). Accordingly, frequent flyers are usually more demanding comparing to less experienced passengers, for instance (Bezerra and Gomes, 2015).

The difference in expectation has also been associated with the trip purpose. In this sense, business passengers are more likely to present a higher level of expectation, particularly with service efficiency, reliability and comfort (Park et al., 2004). It is also noteworthy that once the airport service comprises a set of processes and different infrastructure elements, it is reasonably expected that passengers may have distinct expectations at different stages of the airport service chain (Chen and Chang, 2005).

Another relevant point is that passenger expectation in this study can be quite realistic, based on the passengers' previous experience. From this angle, once the sample presented a noteworthy proportion of frequent flyers, it is possible that past experience might have influenced the passengers anticipated idea

about the airport service quality (Oliver, 2015).

Based on the literature reviewed, it was evident a lack of research on the effects of passenger expectations in the airport context. As such other studies using SEM but focusing on the airline business might be of interest for this present discussion. In Park et al. (2004), passenger expectation was found to present significant positive effect on service quality, but significant negative effect on value. In other study, Chen (2008) obtained results similar to this present paper. The effect of passenger expectation on perceived value was also non-significant for his sample of passengers.

Finally, to be noted that the findings related to passenger expectation may also be dependent on the different passenger characteristics and their interpretations about the service, which should be further investigated (Oliver, 2015).

5.3.2. Perceived Airport service quality (ASQ)

The perceived (ASQ) presented a reasonable strong effect on the perceived value. Measuring service quality based on the customer perspective has been subject to intense debate, including the use of generic scales versus more context-specific approaches (Parasuraman et al., 1994; Seth et al., 2005; Brady et al., 2002; George et al., 2013; Pantouvakis, 2010).

In this study, the ASQ model consisting of typical measures within the airport industry presented good construct validity and reliability within the full measurement model. Moreover, Bezerra and Gomes´ ASQ model successfully operationalized passenger perception of service quality and its relationships with the other constructs, which suggests nomological validity. Therefore, the findings are supportive of the suitability of this more context-specific approach for airport settings.

By using the ASQ model, it is possible to examine the extent to which different service quality factors are reflecting passenger experience. Based on the results, the airport environment and convenience facilities presented similar standardized factor loadings, which suggest a similar weight in the passenger perception of quality. Conversely, mobility was comparatively less relevant for the overall perception of quality. These more particular findings could be useful for airport managers and researchers interested in examining airport service performance centered on the customer perspective.

The indirect effects of passenger expectation on the service quality dimensions provide a useful interpretation of the results related to the ASQ model (See Table X). Accordingly, convenience and environment were the ASQ factors most influenced by passenger expectation. This specific finding is interesting for a more detailed analysis of ASQ.

Overall, the findings associated with the ASQ construct stress the need for airports to pay attention to their service performance as seen by the passengers. Not only passengers can perceive different aspects of the airport service performance, as demonstrated by the distinct ASQ factors, but also the effects of service quality on the perceived value are strong.

5.3.3. Perceived Value

The perception of value is very particular within the airport context. Regarding the required processing activities (i.e. check-in and security screening), passengers are expected to initiate and perform a part of them. In this sense, passengers are co-creators of the value (Grönroos and Voima, 2013). Therefore, perception of value concerning these activities is not expected to occur directly (Wattanacharoensil et al., 2017). It is reasonable to assume that, if passengers have a choice, they would prefer skipping these processes (Gkritza et al., 2006; Kalakou and Moura, 2015). As such, service value seems to be related to the reliability and perceived fairness regarding these processes.

Concerning the other aspects of the passenger experience in the airport (i.e. airport comfort and the convenience facilities and ancillary services), their values are expected to be directly perceived. Recent research suggested that passenger experience in the airport are changing and they may desire their experience to include work-related activities

and a more extensive set of discretionary and leisure activities (Bogicevic et al., 2013; Wattanacharoensil et al., 2017).

Overall, based on the results, the nature of passenger expectation seems to be associated with the idea of a minimum tolerable performance (Chen, 2008; Teas, 1993), as reflected in the measurement items used. As previously discussed, the effects of expectation on the other constructs were small. In this respect, it seems that even passengers willing to complain about the service are not likely to decide for changing airports based solely on their previous experience, even in the case studied, where the airport is located in a multi-airport region.

6. CONCLUSIONS

In this paper, the relationships between passenger expectation of the airport services were examined using a cause-and-effect approach. It is among the few research efforts with such a comprehensive empirical approach to examine aspects of the passenger experience at the airport.

The contributions highlight the importance of understanding passenger expectation regarding the airport. In effect, a lack of understanding or misunderstanding passenger expectations can lead to serious problems regarding resource allocation decisions (Chen and Chang, 2005; Fodness and Murray, 2007). Therefore, in order to efficiently provide the level of service their customers actually want, airport managers need to understand passenger expectations.

In this respect, the measurement model to passenger expectation proposed in this paper can be useful for both an academic and practical perspective. The set o items are based on solid theoretical references and should be testes in other airport settings.

Based on the results and discussion, the following most relevant findings are stressed. First, it is noteworthy that passenger expectations do not influence their perception of service value and even its effects on perceived service quality seems to be quite limited. In other words, when it comes to airports, passenger expectations seem to relate to the idea of a minimum tolerable service performance. In this sense, as a lack of understanding or misunderstanding of passenger expectations can mislead resource allocation decisions, to provide the level of service the passengers really want, airport executives need to create information processes to help them understanding their actual passenger expectations.

Second, the direct effect of ASQ on the perceived value was significant and reasonably strong. This finding stress that the theoretical relationship between perceived service quality and service value are also present in the airport context. Not only passengers can perceive different aspects of the airport service performance, as demonstrated by the distinct ASQ dimensions, but also the effects of service quality on the perceived value are significant.

Some research limitations shall be highlighted. Congonhas was the only airport used in this study. Therefore, studying passenger perceptions and behavioral attitudes on other major airports may provide additional insights regarding the research objectives.

Regarding the relevance of service value for airports driven by a commercial perspective, an opportunity for research would be to explore the passenger expectations and their perception of value concerning the different attributes of the airport services and facilities. Another interesting line of research comprise analysis of differences regarding expectation based on passenger segmentation, as well as the relationships of passenger expectation and passenger attitudes.

Considering the state-of-the-art of the literature related to the passenger experience at the airport, this study is innovative in the sense it examines the relationships between passenger expectation and perceptions on the airport service based on a comprehensive approach to the research problem. In this sense, the findings are valuable for discussing airport planning and service performance with a customer-oriented perspective.

7. REFERENCES

ACI, 2017. Airport Service Quality (ASQ) Survey Methodology [WWW Document]. Airports Council

International. URL http://www.aci.aero/Airport-Service-Quality/ASQ-Services/Methodology (accessed 6.21.17).
Anderson, E.W., Fornell, C., 2000. Foundations of the american customer Satisfaction Index. Total Quality Management 11, 869–882. doi:10.1080/09544120050135425
Anderson, J.C., Gerbing, D.W., 1988. Structural equation modeling in practice: A review and recommended two-step approach. Psychological bulletin 103, 411–423. doi:10.1037/0033-2909.103.3.411
Anderson, S., Pearo, L.K., Widener, S.K., 2008. Drivers of Service Satisfaction: Linking Customer Satisfaction to the Service Concept and Customer Characteristics. Journal of Service Research 10, 365–381. doi:10.1177/1094670508314575
Bezerra, G.C.L., Gomes, C.F., 2019. Determinants of passenger loyalty in multi-airport regions: Implications for tourism destination. Tourism Management Perspectives, 145-158. doi: 10.1016/j.tmp.2019.04.003
Bezerra, G.C.L., Gomes, C.F., 2016. Measuring airport service quality: A multidimensional approach. Journal of Air Transport Management 53, 85–93. doi:10.1016/j.jairtraman.2016.02.001
Bezerra, G.C.L., Gomes, C.F., 2015. The effects of service quality dimensions and passenger characteristics on passenger's overall satisfaction with an airport. Journal of Air Transport Management 44–45, 77–81. doi:10.1016/j.jairtraman.2015.03.001
Bogicevic, V., Yang, W., Bilgihan, A., Bujisic, M., 2013. Airport service quality drivers of passenger satisfaction. Tourism Review 68, 3–18. doi:10.1108/TR-09-2013-0047
Brady, M.K., Cronin, J.J., Brand, R.R., 2002. Performance only measurement of service quality: A replication and extension. Journal of Business Research 55, 17–31. doi:10.1016/S0148-2963(00)00171-5
Byrne, B.M., 2010. Structural equation modeling with AMOS: basic concepts, applications, and programming, 2nd ed. Routledge, Taylor & Francis Group, New York.
Caves, R.E., Pickard, C.D., 2001. The satisfaction of human needs in airport passenger terminals. Transport 147, 9–15. doi:10.1680/tran.2001.147.1.9
Chen, C.F., 2008. Investigating structural relationships between service quality, perceived value, satisfaction, and behavioral intentions for air passengers: Evidence from Taiwan. Transportation Research Part A: Policy and Practice 42, 709–717.
Chen, W., 2013. Perceived value in community supported agriculture (CSA) a preliminary conceptualization, measurement, and nomological validity. British Food Journal 115, 1428–1453.
Chung, Y., 2015. Hedonic and utilitarian shopping values in airport shopping behavior. Journal of Air Transport Management 49, 28–34. doi:10.1016/j.jairtraman.2015.07.003
Coltman, T., Devinney, T.M., Midgley, D.F., Venaikd, S., 2008. Formative versus reflective measurement models: Two applications of erroneous measurement. Journal of Business Research 61, 1250–1262. doi:10.1016/j.jbusres.2008.01.013
Correia, A.R., Wirasinghe, S.C., De Barros, A.G., 2008. Overall level of service measures for airport passenger terminals. Transportation Research Part A: Policy and Practice 42, 330–346. doi:10.1016/j.tra.2007.10.009
Edwards, J.R., Bagozzi, R.P., 2000. On the Nature and Direction of Relationships Between Constructs and Measures. Psychological Methods 5, 155–174. doi:10.1037//1082-989X5.2.155
Fodness, D., Murray, B., 2007. Passengers' expectations of airport service quality. Journal of Services Marketing 21, 492–506. doi:10.1108/08876040710824852
Fornell, C., Johnson, M.D., Anderson, E.W., Cha, J., Bryant, B.E., 1996. The American Customer Satisfaction Index: Nature, Purpose, and Findings. Journal of Marketing 60, 7–18.
Fornell, C., Larcker, D.F., 1981. Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. Journal of Marketing Research 18, 39–50.
Fornell, C., Morgeson, F., Bryant, B.E., 2008. American Customer Satisfaction Index: Methodology Report. Ann Arbor, Michigan.
George, B.P., Henthorne, T.L., Panko, T.R., 2013. ASQual: measuring tourist perceived service quality in an airport setting. International Journal of Business Excellence 6, 526–536.
Gillen, D., Mantin, B., 2014. The importance of concession revenues in the privatization of airports. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 68, 164–177. doi:10.1016/j.tre.2014.05.005
Gkritza, K., Niemeier, D., Mannering, F., 2006. Airport security screening and changing passenger satisfaction: An exploratory assessment. Journal of Air Transport Management 12, 213–219. doi:10.1016/j.jairtraman.2006.03.001
Graham, A., 2014. Managing airports: an international perspective, 4th ed. Routledge, New York. doi:10.1016/S0969-6997(02)00074-1
Grönroos, C., Voima, P.J., 2013. Critical service logic: making sense of value creation and co-creation. Journal of the Academy of Marketing Science 41, 133–150. doi:10.1007/s11747-012-0308-3
Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B., Anderson, R.E., 2014. Multivariate data analysis, 7th Editio. ed. Pearson Education Ltd., Harlow.
Hill, N., Alexander, J., 2006. Handbook of Customer Satisfaction and Loyalty Measurement, Third Edit. ed. Gower Publishing Limited, Hampshire - England.
Johnson, M.D., Gustafsson, A., Andreassen, T.W., Lervik, L., Cha, J., 2001. The evolution and future of national customer satisfaction index models. Journal of Economic Psychology 22, 217–245.
Kalakou, S., Moura, F., 2015. Modelling passengers ' activity choice in airport terminal before the security checkpoint : the case of Portela airport in Lisbon. Transportation Research Procedia 10, 881–890. doi:10.1016/j.trpro.2015.09.041
Kline, R.B., 2011. Principles and Practice of Structural Equation Modeling, 3rd ed, Structural Equation Modeling. The Guilford Press, New York. doi:10.1038/156278a0
Kramer, L.S., Bothner, A., Spiro, M., 2013. How Airports Measure Customer Service Performance: A synthesis of airport practice. ACRP Synthesis 48. Washington, D.C.
Lovelock, C., Wirtz, J., 2007. Services Marketing: People, Technology, Strategy, 6th Editio. ed. Pearson: Prentice Hall, New Jersey.
Lu, J.L., 2014. Investigating factors that influence passengers' shopping intentions at airports - Evidence from taiwan. Journal of Air Transport Management 35, 72–77. doi:10.1016/j.jairtraman.2013.11.009
Medeiros, P., De Barros, A.P., Da Silva, G.B., Costa, H.G., 2016. Analysis of the operational performance of brazilian airport terminals : A multicriteria approach with De Borda-AHP integration. Journal of Air Transport Management 51, 19–26. doi:10.1016/j.jairtraman.2015.11.003
Morgeson, F. V, 2012. Expectations, Disconfirmation, and Citizen Satisfaction with the US Federal Government: Testing and Expanding the Model. Journal of Public Administration Research and Theory 23, 289–305. doi:10.1093/jopart/mus012
Nesset, E., Helgesen, Ø., 2014. Effects of switching costs on customer attitude loyalty to an airport in a multi-airport region. Transportation Research Part A: Policy and Practice 67, 240–253. doi:10.1016/j.tra.2014.07.003

Oliver, R., 2015. Satisfaction: A behavioral perspective on the consumer, 2nd ed. Routledge, Taylor & Francis Group, New York.
Oliver, R.L., 1996. Satisfaction: A behavioral perspective on the consumer. Prentice Hill, New York.
Oliver, R.L., 1980. A cognitive model of the antecedents and consequences of satisfaction decisions. Journal of Marketing Research 17, 460–469.
Pantouvakis, A., 2010. The relative importance of service features in explaining customer satisfaction. Managing Service Quality 20, 366–387. doi:10.1108/09604521011057496
Parasuraman, A., Zeithaml, V.A., Berry, L.L., 1994. Reassessment of expectations as a comparison standard in measuring service quality: implications for further research. Journal of Marketing 58, 111–124. doi:10.2307/1252255
Park, J., Robertson, R., Wu, C., 2004. The effect of airline service quality on passengers' behavioural intentions: a Korean case study 10, 435–439. doi:10.1016/j.jairtraman.2004.06.001
Podsakoff, P.M., MacKenzie, S.B., Lee, J.-Y., Podsakoff, N.P., 2003. Common method biases in behavioral research: a critical review of the literature and recommended remedies. Journal of Applied Psychology 88, 879–903.
Prebensen, N.K., Woo, E., Chen, J.S., Uysal, M., 2013. Motivation and involvement as antecedents of the perceived Value of the destination experience. Journal of Travel Research 52, 253–264.
Seth, N., Deshmukh, S.G., Vrat, P., 2005. Service quality models: a review. International Journal of Quality & Reliability Management 22, 913–949. doi:10.1108/02656710510625211
Sohn, H.K., Lee, T.J., 2017. Tourists' impulse buying behavior at duty-free shops: the moderating effects of time pressure and shopping involvement. Journal of Travel & Tourism Marketing 34, 341–356. doi:10.1080/10548408.2016.1170650
Sweeney, J.C., Soutar, G.N., Mazzarol, T., 2012. Word of mouth: measuring the power of individual messages. European Journal of Marketing 46, 237–257. doi:10.1108/03090561211189310
Teas, R.K., 1993. Expectations, Performance Evaluation and Consumers' Perceptions of Quality. Journal of Marketing 57, 18–34.
Ueda, T.V.A., 2012. Partir do aeroporto de Congonhas é mais caro que de Guarulhos ? Um estudo econométrico dos preços das passagens aéreas. Journal of Transport Literature 6, 121–135.
Wattanacharoensil, W., Schuckert, M., Graham, A., Dean, A., 2017. An analysis of the airport experience from an air traveler perspective. Journal of Hospitality and Tourism Management 32, 124–135. doi:10.1016/j.jhtm.2017.06.003
Wilson, A., Zeithaml, V.A., Bitner, M.J., Gremler, D.D., 2012. Services marketing: Integrating customer focus across the firm, 2nd ed. McGraw-Hill, Berkshire.
Winer,
Zauner, A., Koller, M., Hatak, I., 2015. Customer perceived value: Conceptualization and avenues for future research. Congent Psychology 2, 1–17. doi:10.1080/23311908.2015.1061782
Zeithaml, V.A., Parasuraman, A., Berry, L.L., 1990. Delivering quality service: balancing costumer perpection and expectation. The Free Press, New York.
Zeithaml, V.A., Parasuraman, A., Berry, L.L., 1993. The Nature and Determinant of Customer Expectation of Service. Journal of the Academy of Marketing Science 21(1), 1-12. doi: 10.1177/0092070393211001

APPENDIX A. Measurement Items Descriptives.

Measurement items	N	Mean	SE	SD	Skew.	Kurt.
EXP1- I had high expectation about the airport quality[a]	440	4,62	0,079	1,44	-0,208	-0,120
EXP2- I expected the airport to fully meet my needs as a passenger[a]	439	5,20	0,070	1,47	-0,722	0,150
EXP3- I expected no failure in the service provision	440	5,29	0,080	1,67	-0,878	0,049
EXP4- I expected the services to be speedy and efficient	443	5,49	0,075	1,58	-0,916	0,095
EXP5- I expected to feel comfortable and safe at the airport	434	5,61	0,078	1,63	-1,185	0,671
VAL1- Considering the overall airport quality, the airport fee is fair	442	3,62	0,085	1,79	0,135	-0,878
VAL2- Considering the airport fee, the airport services are very good	443	3,55	0,080	1,68	0,202	-0,767
VAL3- Considering the airport fee, the comfort is very good	438	3,63	0,079	1,65	-0,001	-0,836
VAL4- Considering the quality of products/services, the prices in the commercial facilities are fair[a]	441	2,35	0,074	1,56	0,914	-0,250
VAL5- Considering the prices in commercial facilities, the quality of products/services is very good[a]	441	3,05	0,076	1,61	0,287	-0,926
CHK1- Wait time at check-in	442	4,59	0,073	1,54	-0,267	-0,284
CHK2- Check-in process efficiency	440	4,92	0,069	1,46	-0,269	-0,529
CHK3- Courtesy and helpfulness of check-in staff	437	5,02	0,068	1,43	-0,474	-0,249
SEC1- Wait-time at security checkpoints	442	4,92	0,073	1,54	-0,550	-0,205
SEC2- Thoroughness of security screening	439	4,89	0,075	1,57	-0,605	-0,208
SEC3- Courtesy and helpfulness of security staff	438	4,80	0,071	1,49	-0,593	-0,152
SEC4- Feeling of being safe and secure	441	4,68	0,073	1,54	-0,467	-0,315
CON1- Availability and quality of food facilities	440	3,60	0,076	1,60	-0,040	-0,789
CON2- Availability and quality of stores	436	3,97	0,072	1,50	-0,223	-0,393
CON3- Availability of Banks/ATM/Exchange	436	4,04	0,073	1,53	-0,105	-0,628
AMB1- Cleanliness of airport facilities	440	4,86	0,067	1,40	-0,494	-0,242
AMB2- Thermal comfort[b]	443	4,51	0,078	1,64	-0,407	-0,557
AMB3- Acoustic comfort[b]	443	4,42	0,079	1,67	-0,416	-0,646
BAS1- Availability of washroom/toilets[b]	441	4,51	0,071	1,49	-0,359	-0,296
BAS2- Cleanliness of washroom/toilets[b]	440	4,29	0,080	1,69	-0,319	-0,704
BAS3- Departure lounge comfort	440	4,09	0,073	1,54	-0,149	-0,542
MOB1- Wayfinding	442	4,84	0,078	1,63	-0,540	-0,502
MOB2- Flight information	439	4,93	0,078	1,63	-0,662	-0,333
MOB3- Walking distance inside terminal	439	4,30	0,077	1,62	-0,388	-0,459

Notes: SE- Standard error; SD- Standard deviation; Skew- Skewness; Kurt- Kurtosis; [a]Item excluded based on the measurement model estimation; [b]Items with correlation between error terms.

A PERCEPÇÃO DA FADIGA HUMANA PELOS PROFISSIONAIS DA AVIAÇÃO DE ESTADO

Israel Cleriston Martins de Oliveira
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Pça. Mal. Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos, SP
+55 85 98782-0382, israelcleriston@hotmail.com

Victor Rafael Rezende Celestino
Universidade de Brasília
Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas
Departamento de Administração
Campus Universitário Darcy Ribeiro – 70.910-900 – Brasília, DF
+55 61 3107-0831, vrcelestino@unb.br

RESUMO

A fadiga humana é um estado de redução das capacidades psicofísicas do indivíduo que o incapacita para o desempenho adequado de suas atividades laborais. Sendo um desequilíbrio entre demandas físicas e mentais e a recuperação dessas demandas, a fadiga pode causar acidentes. A aviação do Estado apoia as atividades operacionais de segurança pública e defesa civil, mas seus aviadores, por serem regidos por legislação própria, não possuem um regulamento específico que trate de fadiga. Este trabalho visa a observar a percepção da fadiga humana pelos profissionais da Aviação de Estado, como forma de identificar perigos e propor o aprofundamento do estudo.

Palavras-chave: Aviação de Estado, Fadiga Humana, Segurança Operacional, Modelos Biomatemáticos de Fadiga, Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.

ABSTRACT

Human fatigue is a state of reduced psychophysical capacities of the individual that incapacitates him for the proper performance of his work activities. Being an imbalance between physical and mental demands and the recovery of these demands, fatigue may cause accidents. State aviation supports public security and civil defense operational activities, but its aviators, being governed by their own legislation, do not have a specific regulation dealing with fatigue. This paper aims to observe the perception of human fatigue by State Aviation professionals, as a way to identify dangers and propose further study.

Keywords: State Aviation, Human Fatigue, Safety Management, Fatigue Biomathematical Models, Aeronautical Accident Prevention.

1. INTRODUÇÃO

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 traz em suas letras a espinha dorsal do ordenamento jurídico brasileiro. A mesma Carta Política estabelece que a República Federativa do Brasil tem como fundamentos, dentre outros, a cidadania e a dignidade da pessoa humana (BRASIL, 1988).

Para a consecução do intento de promover o bem de todos, os Poderes Constituídos se utilizam dos meios disponíveis para a salvaguarda dos direitos e garantias fundamentais previstos na Carta Magna. Nessa esteira, os órgãos públicos fazem uso do vetor aéreo para diversas atividades, desde o combate à criminalidade até o socorro público em caso de desastres ou o transporte de órgãos humanos para transplantes.

Nesse contexto, insere-se a Aviação de Estado, atualmente regida pelo Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) nº. 90, que prevê as normas aplicáveis às operações especiais de aviação pública (ANAC, 2019).

Embora a fadiga humana seja um tema de bastante relevo em uma sociedade cuja demanda de atividades exige um trabalhador praticamente conectado 24/7 (24 horas por dia, sete dias por semana), a legislação aplicável às operações de aviação pública é praticamente silente em relação ao tema. Aliado a isso, a norma que regula as condições de trabalho de aviadores contratados mediante a Consolidação das Leis do Trabalho não é aplicável aos Aviadores de Estado, vez que estes são regidos por estatutos e não possuem um contrato de trabalho formal estabelecido (BRASIL, 2017a).

Nesse diapasão, o objetivo deste trabalho foi avaliar a percepção dos Aviadores de Estado (pilotos, tripulantes não-pilotos e pessoal de apoio), em relação ao sentimento de fadiga no trabalho, posto que a inexistência de legislação específica impossibilita a aplicação de um limite prescritivo claro em relação à jornada de trabalho. Some-se a isto o desconhecimento do assunto por parte dos mesmos servidores, o que aumenta a subnotificação dos casos de fadiga. O objetivo foi alcançado com a aplicação do questionário elaborado por Yoshitake (1971), o qual já foi validado na literatura (CELESTINO, 2017). Procurou-se, também, verificar a demanda de trabalho, o controle do trabalhador em relação às tarefas e o apoio social dos colegas, por meio da aplicação do questionário de Karasek (1979).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Fadiga Humana

A fadiga humana é o "estado fisiológico de redução da capacidade de desempenho físico ou mental [...], que pode prejudicar o estado de alerta e a habilidade de operar com segurança uma aeronave ou desempenhar tarefas relativas à segurança" (ICAO, 2011, p. 01).

De acordo com a ICAO, a fadiga tem como resultado (ICAO, 2016a, p. 05):

> "(...) uma capacidade reduzida para realizar tarefas operacionais. [A fadiga] pode ser considerada um desequilíbrio entre:
> • as demandas físicas e mentais de todas as atividades de vigília (não apenas as demandas de trabalho); e
> • recuperação dessas demandas, que (com exceção da recuperação da fadiga muscular) exigem sono".

De acordo com ICAO (2016a, apud CASSIANO, 2018), a degradação de capacidade faz da fadiga um dos fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes aeronáuticos. Como a fadiga não pode ser eliminada, sobretudo em uma atividade que funciona 24/7, ela deve ser gerenciada (ICAO, 2016a, apud CASSIANO, 2018).

Segundo Caldwell et al. (2019), alguns sinais e sintomas se apresentam como característicos de um estado de fadiga:

- Esfregar os olhos;
- Balançar a cabeça;
- Esquecer instruções;
- Piscar os olhos;
- Bocejar;
- Se mexer e se contorcer no assento;
- Não falar com colegas de trabalho;
- Incapacidade de resolver problemas rotineiros de trabalho;
- Irritabilidade;
- Sonolência (incluindo o início involuntário do sono);
- Incapacidade de se concentrar ou memorizar;
- Falta de motivação;

- Depressão;
- Vertigem; e
- Dores de cabeça.

Ainda para Caldwell et al. (2019), a fadiga oriunda da falta de sono ou do desalinhamento do ciclo circadiano apresenta os seguintes efeitos:

- Redução da capacidade de decisão;
- Redução da capacidade de planejamento de atividades complexas;
- Redução das habilidades de comunicação;
- Redução da produtividade ou desempenho;
- Redução de atenção e vigilância;
- Redução da capacidade de lidar com o estresse no trabalho;
- Tempo de reação aumentado - em velocidade e pensamento;
- Perda de memória ou da capacidade de recordar detalhes;
- Falha em responder a alterações no entorno ou a informações fornecidas;
- Incapacidade de permanecer acordado (por exemplo, adormecer ao operar máquinas ou dirigir veículos);
- Maior tendência para assumir riscos;
- Maior esquecimento;
- Erros crescentes no julgamento;
- Aumento do tempo de doença, absenteísmo, taxa de rotatividade;
- Aumento dos custos médicos; e
- Aumento das taxas de incidentes adversos.

O sono, segundo Caldwell et al. (2019), faz parte das necessidades biológicas do indivíduo, tal como comer e respirar. Nesta toada, cabe ressaltar que a conjugação de sinais, sintomas e efeitos da fadiga apresentados por Caldwell et al. (2019) pode levar à ocorrência de acidentes, sobretudo na aviação, atividade complexa que exige um nível de atenção elevado. Note-se que entre os efeitos da fadiga, a redução da capacidade de decisão, a redução da atenção e da vigilância e o tempo aumentado de reação podem ocasionar o aumento dos erros de julgamento e das taxas de incidentes adversos.

2.2. Gerenciamento do Risco de Fadiga Humana

O Estado Brasileiro, como signatário da Convenção da Aviação Civil Internacional, adota as normas e práticas recomendadas pela Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) no gerenciamento da aviação civil. A ICAO aprovou, em março de 2013, o Anexo 19 à sua Convenção, que trata do Gerenciamento da Segurança Operacional (BRASIL, 2017b).

A partir desse Anexo, o Estado Brasileiro emitiu o Programa Brasileiro para a Segurança Operacional da Aviação Civil – PSO-BR, que tem a finalidade de estabelecer as diretrizes a serem adotadas pelo Estado Brasileiro visando à melhoria contínua da segurança operacional da aviação civil (BRASIL, 2017b).

A partir do PSO-BR, a ANAC emitiu o seu Programa de Segurança Operacional Específico – PSOE-ANAC – através do qual a Agência estabelece processos de gerenciamento do risco à segurança operacional, por meio da identificação e análise dos perigos, avaliação dos riscos associados e das consequências do perigo e proposição de ações de mitigação, eliminação e controle dos riscos (ANAC, 2015).

Segundo o CENIPA (2012, p. 47),

> "perigo é a condição, objeto ou atividade que potencialmente pode causar lesões às pessoas, danos ao equipamento ou estruturas, perda de material, ou redução da habilidade de desempenhar uma função determinada".
>
> "O risco é o potencial avaliado das consequências prejudiciais que podem resultar de um perigo, expressa em termos de probabilidade e severidade, tomando como referência a pior condição possível".

O risco, portanto, é um subproduto da atividade aérea que, não podendo ser eliminado, deve ser gerenciado adequadamente. O gerenciamento do risco deve se dar por meio de um processo racional de decisões, de modo a se equilibrar os riscos avaliados e a mitigação viável desses mesmos riscos, por meio de ferramentas de suporte à tomada de decisão (CENIPA, 2012, p.47).

Sendo a segurança operacional o "estado no qual os riscos associados às atividades da aviação, relativas ou em apoio direto à operação de aeronaves, são reduzidos a e controlados em um nível aceitável" (CENIPA, 2013, p. 12), o gerenciamento do risco tem a missão de fornecer elementos para que a Segurança Operacional se mantenha em nível aceitável.

O Gerenciamento do Risco de Fadiga Humana também atende aos mesmos requisitos do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional e deve ser realizado segundo a metodologia de gerenciamento do

risco proposta pela ICAO (2015), por meio de atividades cíclicas que compreendem:

> 1) monitoramento contínuo dos níveis de fadiga;
> 2) identificação de situações em que a fadiga pode constituir um perigo;
> 3) avaliação de risco; e
> 4) introdução de mitigação de risco adicional quando necessário.

Gander et al (2017) adaptou esse processo, conforme mostrado na Figura 1 a seguir.



Figura 1: Processo de gerenciamento do risco de fadiga (ICAO, 2015, adaptado de GANDER et al, 2017)

Conforme observado na Figura 1, o gerenciamento do risco de fadiga humana deve ser um processo contínuo que considera a probabilidade e a severidade de uma ocorrência aeronáutica.

No que tange especificamente às operações de aviação pública, o recém-publicado RBAC 90 traz em seu texto apenas quatro citações do termo fadiga. Essas menções se referem exclusivamente à abordagem do controle e dos efeitos da fadiga em componentes curriculares de treinamentos específicos das Unidades Aéreas (ANAC, 2019).

Perscrutando o texto da norma, observa-se que o tema fadiga, relegado a um plano inferior, não tem uma abordagem sistêmica, pois inexistem na publicação orientações quanto à metodologia de gerenciamento do risco de fadiga. Esse silêncio, em se tratando da Administração Pública, limita os gestores que, atrelados ao Princípio da Legalidade determinado na Carta Política de 1988, só podem fazer aquilo que a Lei determina. Ora, se a legislação que rege a atividade de aviação de Estado é abstrata em suas considerações sobre fadiga, não há como exigir a adoção de medidas objetivas para o gerenciamento do risco de fadiga humana.

Atualmente, o parâmetro para gerenciamento do risco de fadiga humana no Brasil é determinado pela Lei nº. 13.475/2017, que dispõe sobre o exercício da profissão de tripulante de aeronave, denominado aeronauta. Segundo Brasil (2017a), os tripulantes deverão exercer as suas funções remuneradas a bordo de aeronaves mediante a formalização de contrato de trabalho firmado diretamente com o operador da aeronave.

Ocorre que as organizações de aviação de Estado possuem em seus quadros servidores públicos (civis e/ou militares estaduais) que não estão sob a tutela da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), vez que são estatutários e admitidos por meio de concurso público de provas ou de provas e títulos conforme prevê a Carta Magna de 1988 (BRASIL, 1988).

Nesta toada, a chamada "Nova Lei do Aeronauta" não pode ser aplicada aos aviadores de Estado, conforme o Princípio da Legalidade já consagrado na Lei Maior do Estado Brasileiro. A norma em tela traz uma seção totalmente dedicada ao gerenciamento do risco de fadiga humana (BRASIL, 2017 a), por meio de

> "prescrições temporais relativas aos tripulantes de voo e de cabine no que tange a limites de voo, de pouso, de jornada de trabalho, de sobreaviso, de reserva e de períodos de repouso, bem como a outros fatores que possam reduzir o estado de alerta da tripulação ou comprometer o seu desempenho operacional".

Essas prescrições obrigam os empregadores a observar os regimes de trabalho que sejam compatíveis com a saúde dos tripulantes (BRASIL, 2017a). Essa Lei estabelece, de igual maneira, limites de voo (sem limite de pousos), em uma dada jornada de trabalho, para os tripulantes das empresas de táxi aéreo, instrução de voo, serviço aéreo especializado e serviço aéreo privado:

- 9 (nove) horas e 30 (trinta) minutos de voo, na hipótese de integrante de tripulação mínima ou simples;
- 8 (oito) horas de voo, na hipótese de integrante de tripulação de helicópteros.

No que pertine à jornada de trabalho, a Lei (BRASIL, 2017a) estabelece que os tripulantes empregados das empresas de táxi

aéreo, instrução de voo, serviço aéreo especializado e serviço aéreo privado, em uma tripulação simples, estão limitados a 11 horas consecutivas de trabalho. Caso essa jornada seja interrompida, a jornada poderá ser acrescida de até metade do tempo de interrupção, conforme a seguir demonstrado (BRASIL, 2017a):

- "quando houver interrupção da jornada fora da base contratual, superior a 3 (três) horas e inferior a 6 (seis) horas consecutivas, e for proporcionado pelo empregador local para descanso separado do público e com controle de temperatura e luminosidade;
- quando houver interrupção da jornada fora da base contratual, superior a 6 (seis) horas e inferior a 10 (dez) horas consecutivas, e forem proporcionados pelo empregador quartos individuais com banheiro privativo, condições adequadas de higiene e segurança, mínimo ruído e controle de temperatura e luminosidade".

A Lei do Aeronauta (BRASIL, 2017a) estabelece, ainda, que a jornada de trabalho dos tripulantes não deve exceder 44 horas semanais e 176 horas mensais, com limite máximo de duas madrugadas (de 00:00 às 06:00) consecutivas de trabalho.

Quando operando fora de base, tripulantes empregados das empresas de táxi aéreo, instrução de voo, serviço aéreo especializado e serviço aéreo privado, poderão trabalhar por até 21 dias consecutivos (desde a saída ao retorno à base), não podendo exceder, no local de operação, 17 dias consecutivos (BRASIL, 2017a). Se trabalharem por mais de 6 dias consecutivos, os referidos tripulantes deverão ter, no retorno, folgas correspondentes a, no mínimo, o número de dias consecutivos trabalhados, menos dois dias.

Em relação ao repouso, "período ininterrupto, após uma jornada, em que o tripulante fica desobrigado da prestação de qualquer serviço" (BRASIL, 2017a), caso o tripulante opere fora de base o empregador deverá assegurar acomodação adequada para repouso e transporte até o local do serviço ou o ressarcimento dos custos com esses serviços. Essas acomodações adequadas devem ser individuais, possuir banheiro privativo, controle de luminosidade e temperatura além de condições adequadas de higiene, segurança e ruídos. O período de repouso deverá ser de, no mínimo (BRASIL, 2017a):

- 12 (doze) horas de repouso, após jornada de até 12 (doze) horas;
- 16 (dezesseis) horas de repouso, após jornada de mais de 12 (doze) horas e até 15 (quinze) horas;
- 24 (vinte e quatro) horas de repouso, após jornada de mais de 15 (quinze) horas.

Por folga entende-se "o período não inferior a 24 (vinte e quatro) horas consecutivas em que o tripulante, em sua base contratual, sem prejuízo da remuneração, está desobrigado de qualquer atividade relacionada com seu trabalho" (BRASIL, 2017a). Os tripulantes empregados das empresas de táxi aéreo, instrução de voo, serviço aéreo especializado e serviço aéreo privado têm direito a, no mínimo, 8 dias de folga em um mês, dos quais, pelo menos, dois dias consecutivos devem compreender um sábado e um domingo. As folgas se iniciam após o cumprimento do repouso relativo à jornada anterior (BRASIL, 2017a).

Ainda que essas prescrições não sejam legalmente válidas para as organizações de aviação de Estado, à mingua de amparo legal, considerando-se o avanço na adoção de limites prescritivos para o gerenciamento do risco de fadiga humana, a adoção dos parâmetros elencados na Lei nº 13.475/2017 se mostra como boa prática a ser buscada, posto que a norma em foco tem a intenção de prevenir acidentes, vez que garante aos tripulantes condições mínimas de descanso.

No caso específico das organizações de aviação de Estado, a adoção de um sistema de gerenciamento do risco de fadiga humana permitiria a flexibilização desses limites, com base em parâmetros pré-estabelecidos.

Na atualidade, os processos de identificação do risco de fadiga devem ser baseados numa combinação de métodos reativos, proativos e preditivos para a coleta de dados (ICAO, 2016b). Segundo a ICAO (2013), são assim definidas essas três metodologias de identificação de perigos em aviação:

a. Reativa: que envolve a análise de eventos passados e na qual os perigos são identificados através da investigação de acidentes e incidentes para identificar os fatores contribuintes do evento ou que estão latentes;

b. Proativa: que envolve a análise de situações em tempo real, sendo a tarefa primária da garantia da segurança operacional, através da busca de perigos nos processos existentes; e
c. Preditiva: que se utiliza da coleta de dados e da análise dos processos para identificar os possíveis perigos e as suas consequências danosas.

A adoção de modelos biomatemáticos para a prevenção de fadiga está enquadrada no processo preditivo de identificação de perigos (ICAO, 2016b). Segundo ICAO (2016b), os processos preditivos são concebidos para identificar o evento de fadiga antes que ele ocorra.

Segundo Celestino (2017), os modelos biomatemáticos estão sendo utilizados para a otimização dos turnos de trabalho. Esses modelos têm sido propostos como um possível componente do sistema de gerenciamento do risco de fadiga. No entanto, a sua validade ainda não está clara para o contexto brasileiro (CELESTINO et al, 2018) e

> "existe um debate sobre a validação de modelos biomatemáticos do desempenho em função da interação entre a propensão homeostática de sono e a regulação circadiana, para a previsão do estado de alerta" (CELESTINO, 2017, p. 28).

Para que essa validação à realidade brasileira ocorra, faz-se necessário selecionar um modelo biomatemático de fadiga, sobretudo porque o contexto operacional brasileiro difere substancialmente de outras partes do mundo (CELESTINO et al, 2018).

A própria ICAO (2016b) reconhece que a adoção de modelos biomatemáticos pode identificar potenciais riscos, por meio da análise de registros que podem ser usados para disparar gatilhos relativos à fadiga. No entanto, os modelos devem ser usados com base na experiência operacional e não como o próprio sistema de gerenciamento do risco de fadiga humana.

3. METODOLOGIA

Para responder às questões, os servidores concordaram com a realização da pesquisa, por meio de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

No presente trabalho, foram utilizadas três escalas de mensuração de fadiga, a saber:

- *Samn Perelli Scale* (SPS);
- Sentimento de Fadiga no Trabalho;
- Demanda-Controle Apoio Social.

Para verificar o estado de fadiga dos respondentes no momento da aplicação do questionário, foi utilizada a escala de Samn Perelli (1982), também conhecida como *Samn Perelli Scale* (SPS), adaptado para o Brasil por Cassiano (2017).

Por se assemelhar a um *checklist*, a SPS pode ser utilizada rapidamente e permite uma visualização instantânea acerca do momento presente do tripulante de sua percepção quanto ao sentimento de fadiga, auxiliando na tomada de decisão na gestão dos riscos associados à fadiga humana no contexto aeronáutico.

Cassiano (2017) afirma que a SPS tem sido utilizada como instrumento efetivo de pesquisas no contexto aeronáutico, razão pela qual a ICAO recomenda seu uso, por ser adequada ao contexto operacional dos tripulantes. A SPS é (CASSIANO, 2017, p. 21)

> "composta por um único item, de sete pontos alternativos, e por meio da qual o indivíduo é solicitado a indicar como está se sentindo no exato momento em que responde a escala. Trata-se de uma escala rápida e de fácil aplicação, sendo adequada à coleta em momentos variados ao longo de um voo real ou simulado, sem comprometimento do exercício profissional do tripulante".

Para a verificação do escore de fadiga, utilizou-se a escala de Sentimento de Fadiga no Trabalho elaborada por Yoshitake (1971, 1978), adaptado para o Brasil por Celestino, Bucher-Maluschke e Marqueze (2018). Essa escala divide os sintomas de fadiga em três grupos:

A. Sonolência e embotamento;
B. Falta de capacidade de concentração; e
C. Projeção do desconforto físico.

Já para a verificação do estado de demanda, controle e apoio social aos trabalhadores foi utilizada a versão resumida da *Job Stress Scale*, adaptada para o Brasil por Alves et al. (2004); Alves, Hökerberg e Faerstein (2013); e Alves et al. (2015).

No que tange à dimensão de demanda, controle e apoio social, Alves et al. (2004) distribuiu os resultados do questionário em quatro quadrantes, conforme Figura 2.

A pesquisa foi desenvolvida utilizando-se de plataforma pertencente ao Ministério da Justiça e da Segurança Pública na Internet e a

aplicação dos questionários foi auxiliada pelos Oficiais e Agentes de Segurança de Voo das Unidades Aéreas de Aviação de Estado.

Os oficiais e agentes de segurança de voo de cada esquadrão ficaram responsáveis por distribuir os questionários aos respondentes. O acesso aos questionários foi controlado por senhas individuais, para evitar duplicidade nas respostas.

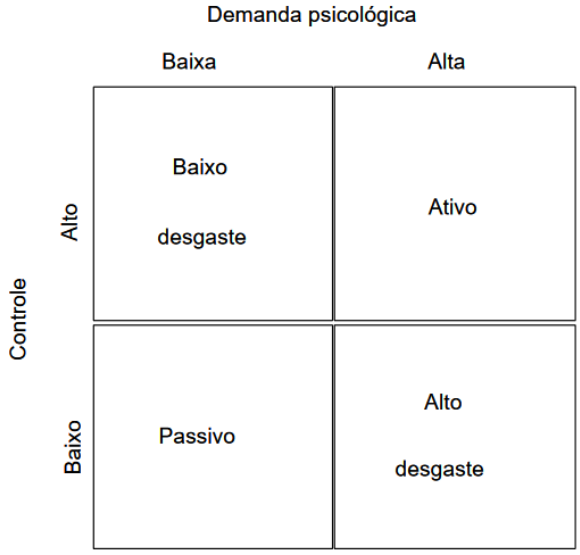


Figura 2: Modelo Demanda-Controle (Alves et al, 2004)

4. RESULTADOS

A amostra foi composta por 216 respondentes pertencentes a unidades de aviação de Estado regidas pelo RBAC 90.

Foram excluídos da análise de dados os indivíduos cujas respostas ao questionário estavam incompletas (data de nascimento, sexo e quantidade média de horas de sono nos últimos sete dias).

Ao final, foram consideradas as respostas de um total de 197 respondentes, com idade média de 41 anos. A Tabela 1 traz uma descrição completa da amostra.

Tabela 1: Descrição da Amostra

Variáveis	Categorias	n	%
		197	**100,0**
Sexo	Masculino	185	93,9
	Feminino	12	6,1
Idade	Até 29 anos	7	3,6
	30 a 39 anos	79	40,1
	40 a 54 anos	109	55,3
	55 ou mais	2	1,0
Escolaridade	Médio completo	36	18,3
	Superior completo	66	33,5
	Pós-graduação	95	48,2
Estado Conjugal	Com companheiro	177	89,8
	Sem companheiro	20	10,2
Filhos menores	Sim	116	58,9
	Não	81	41,1
Função	Piloto	73	37,1
	Não-Piloto	93	47,2
	Apoio	31	15,7
Aviação	PM	80	40,6
	BM	38	19,3
	PC	3	1,5
	Integrada	61	31,0
	Dignitários	2	1,0
	Aeromédico	13	6,6
Residência	Base	128	65,0
	Fora de Base	69	35,0
Dificuldades no deslocamento	Nunca ou quase nunca	86	43,7
	Raramente	73	37,1
	Às vezes	26	13,2
	Frequentemente	7	3,6
	Sempre	5	2,5
IMC	Peso normal	70	35,5
	Acima do peso	111	56,3
	Obesidade I	14	7,1
	Obesidade II	1	0,5
	Obesidade III	1	0,5

A percepção de fadiga dos respondentes no momento da pesquisa é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Percepção de fadiga no momento da pesquisa (SPS)

Sentimento de fadiga	n	%
	197	**100,0**
1 Totalmente alerta, bem desperto, extremamente disposto	49	24,9
2 Muito ativo, responsivo, mas não em nível máximo	59	29,9
3 Bem, relativamente revigorado	50	25,4
4 Um pouco cansado, não totalmente disposto	31	15,7
5 Moderadamente cansado, enfraquecido	4	2,0
6 Muito cansado, com dificuldade de concentração	3	1,5
7 Completamente exausto, incapaz de trabalhar efetivamente	1	0,5

Os resultados dos escores de fadiga, baseados na escala de sentimento de fadiga, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Escores de Fadiga

Sintoma	Média	Desvio Padrão	Mediana	n
A	20,11	5,16	20	
B	22,32	5,81	22	
C	16,18	4,31	15	
TOTAL	**58,61**	**13,29**	**58**	**197**

A Tabela 4 apresenta a prevalência dos sintomas avaliados na escala de sentimento de fadiga.

A Tabela 4 mostra que os profissionais respondentes estão sujeitos em grande parte a sintomas que demonstram fadiga em suas atividades.

Tabela 4: Taxa de prevalência dos sintomas subjetivos de fadiga

Sintoma	A	B	C	n
01	17,26%	52,28%	19,29%	
02	51,78%	25,38%	16,75%	
03	42,64%	23,86%	49,24%	
04	5,58%	27,41%	4,57%	
05	13,20%	72,08%	7,61%	
06	22,34%	26,40%	7,11%	
07	14,72%	24,87%	3,55%	
08	54,31%	72,08%	12,69%	
09	4,06%	30,46%	3,05%	
10	57,87%	7,61%	6,60%	
				197

Os sintomas são distribuídos em ordem decrescente, como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Taxa de prevalência dos sintomas subjetivos de fadiga em ordem decrescente

Sintoma	%
FFB15 Tenho que pensar outras coisas além do meu trabalho	72,08%
FFB18 Tenho outras preocupações fora meu trabalho	72,08%
FFA10 Eu gostaria de ir me deitar um pouco (durante o horário de trabalho)	57,87%
FFA08 Tenho dificuldade em me movimentar	54,31%
FFB11 Preciso me concentrar mais	52,28%
FFA02 Sinto moleza no corpo	51,78%
FFC23 Dores nas costas	49,24%
FFA03 Sinto moleza nas pernas	42,64%
FFB19 Eu gostaria de estar em boa forma física para o meu trabalho, mas não me sinto em condições	30,46%
FFB14 Não consigo me concentrar bem	27,41%
FFB16 Minha memória não está boa para o trabalho	26,40%
FFB12 Não tenho vontade de falar com ninguém no trabalho	25,38%
FFB17 Cometo pequenos erros no meu trabalho	24,87%
FFB13 Fico irritado(a) facilmente	23,86%
FFA06 Estou com sonolência	22,34%
FFC21 Sinto dor de cabeça	19,29%
FFA01 Sinto a cabeça pesada	17,26%
FFC22 Ombros pesados	16,75%
FFA07 Sinto os olhos cansados	14,72%
FFA05 As minhas ideias não são claras	13,20%
FFC28 Tremores nas pálpebras	12,69%
FFB20 Não posso mais continuar a trabalhar, embora tenha que prosseguir	7,61%
FFC25 Boca seca	7,61%
FFC26 Voz rouca	7,11%
FFC30 Sinto-me doente	6,60%
FFA04 Tenho vontade de bocejar durante o trabalho	5,58%
FFC24 Dificuldades em respirar	4,57%
FFA09 Tenho dificuldades em me manter em pé	4,06%
FFC27 Tonturas	3,55%
FFC29 Tremores nos membros (braços e pernas)	3,05%

A distribuição dos respondentes em relação aos questionários de demanda-controle-apoio social é apresentada na Tabela 6. Os resultados resumidos na Tabela 7 e na Figura 3 mostram a distribuição dos respondentes entre os quatro quadrantes da *Job Stress Scale*.

Tabela 6: Demanda-Controle e Apoio Social

Dimensão	Média	Desvio Padrão	Mediana	n
Demanda	12,36	2,88	12	
Controle	18,19	2,17	19	
Apoio Social	19,99	3,61	21	
TOTAL	50,54	4,20	51	197

Tabela 7: Distribuição dos quadrantes (*Job Stress Scale*)

Situação	Categoria	Total	%
1º Quadrante	Baixo desgaste	90	45,7
2º Quadrante	Trabalho Ativo	85	43,1
3º Quadrante	Trabalho Passivo	11	5,6
4º Quadrante	Alto Desgaste	11	5,6

Estes resultados indicam uma distribuição de demanda bastante diversificada entre os respondentes, mas mostra que um alto controle é preponderante. No entanto, os poucos casos nos quadrantes 3 (trabalho passivo) e 4 (alto desgaste) são importantes indicadores de perigo, os quais precisam ter o risco associado gerenciado.

Em relação ao apoio social, a grande maioria obteve escores acima da média, contudo, as organizações devem implementar estratégias mitigadoras dos valores bastante baixo encontrados. O apoio social atua como um mediador na relação do estresse no trabalho, o qual pode resultar na fadiga. Assim, o gerenciamento do risco é também recomendado.

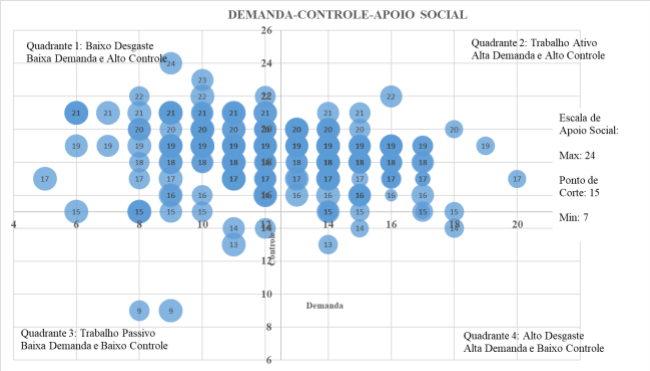


Figura 3: Resultados do modelo demanda-controle -apoio social

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a falta de regulamentação quanto à carga horária de trabalho dos profissionais da Aviação de Estado, faz-se necessário o aprofundamento da pesquisa, para a propositura de um modelo de Sistema de Gerenciamento do Risco de Fadiga Humana exequível para as organizações de Aviação de Estado.

Como medida preliminar, sugere-se a adoção de campanhas de conscientização, para que os membros da Aviação de Estado tomem consciência dos efeitos nocivos da fadiga, de suas implicações à segurança operacional e da importância da notificação dos estados de fadiga (com base em modelos já validados de reportes).

Sugere-se, ainda, a criação de um Grupo de Trabalho que conte com a presença de membros da ANAC, da Academia, do CENIPA e das respectivas Organizações de Aviação de Estado para a adoção de medidas com vistas ao estudo da fadiga em operações de Aviação de Estado e à adoção de ações para a mitigação dos efeitos da fadiga.

É possível que, a partir dos resultados do Grupo de Trabalho proposto, possa ser desenvolvido um software de baixo custo para, por meio de modelos biomatemáticos, permitir o gerenciamento de fadiga de forma preditiva, como forma de se evitar acidentes aeronáuticos.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, Márcia Guimarães de Mello et al. Versão resumida da: adaptação para o português. Revista de Saúde Pública, [s.l.], v. 38, n. 2, p.164-171, 2004.

ALVES, Márcia Guimarães de Mello; HOKERBERG, Yara H M; FAERSTEIN, Eduardo. Tendências e diversidade na utilização empírica do Modelo Demanda-Controle de Karasek (estresse no trabalho): uma revisão sistemática. Rev. bras. epidemiol. São Paulo, v. 16, n. 1, p. 125-136, 2013.

ALVES, Márcia Guimarães de Mello et al. The demand-control model for job strain: a commentary on different ways to operationalize the exposure variable. **Cadernos de Saúde Pública**, [s.l.], v. 31, n. 1, p.208-212, 2015.

ANAC. Programa de Segurança Operacional Específico da Agência Nacional de Aviação Civil. 2015. Brasília, DF, Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/gerenciamento-da-seguranca-operacional/psoe-anac>. Acesso em: 15 mar. 2019.

_____. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) nº. 90, de 12 de abril de 2019. **Requisitos Para Operações Especiais de Aviação Pública.** Brasília, DF, Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-90-emd-00/@@display-file/arquivo_norma/RBAC90EMD00.pdf>. Acesso em: 17 maio 2019.

BRASIL. **Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Senado, 1988. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 10 mai. 2019.

_____. Lei nº 13.475, de 28 de agosto de 2017. Dispõe sobre o exercício da profissão de tripulante de aeronave, denominado aeronauta; e revoga a Lei no 7.183, de 5 de abril de 1984. **Lei Nº. 13.475/2017**. Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13475.htm>. Acesso em: 15 mai. 2019.

_____. Portaria conjunta n°. 2, de 20 de dezembro de 2017: Aprova o Programa Brasileiro para a Segurança Operacional da Aviação Civil (PSO-BR). Brasília, DF, 22 dez. 2017. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/portarias/2017/portaria-conjunta-comaer-anac-no-2-de-20-de-dezembro-de-2017/@@display-file/arquivo_norma/Portaria%20Conjunta%20n%C2%BA%202%20-%20COMAER%20E%20ANAC.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

CALDWELL, John A. et al. Fatigue and its management in the workplace. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, [s.l.], v. 96, p.272-289, 2019.

CASSIANO, Simone Kelli. A Fadiga em Foco na Aviação: Adaptação Brasileira da Samn Perelli Scale. **Revista Conexão Sipaer**, Vol. 8, No. 3, pp. 19-28, 2017.

_____. Fadiga na aviação civil: um desafio à investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos. **Revista Conexão Sipaer**, Brasília, v. 9, n. 3, p.12-21, 2018.

CELESTINO, Victor Rafael Rezende. **Fadiga no trabalho de pilotos:** uma psicologia sistêmica da aviação civil. 2017. 145 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Psicologia, Escola de Saúde, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2017.

CELESTINO, Victor Rafael Rezende; BUCHER-MALUSCHKE, Júlia Sursis Nobre Ferro; MARQUEZE, Elaine Cristina. Validação da Escala de Sentimento de Fadiga no Contexto Brasileiro. In: ENCONTRO DA ANPAD - ENANPAD, 2018, Curitiba. **Anais.** Curitiba: Anpad, 2018. p. 1 - 15.

CELESTINO, Victor Rafael Rezende; et al. Validação de modelo biomatemático de fadiga com meta-aprendizagem no

contexto brasileiro. **SITRAER 2018**. São Paulo: Poli Usp, 2018. 8 p.

CENIPA. Manual do Comando da Aeronáutica nº 3-3, de 2012. Manual de Prevenção do SIPAER. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/legislacao/mca-manual-do-comando-da-aeronautica?download=99:mca3-3>. Acesso em: 15 mar. 2019.

_____. Norma do Sistema do Comando da Aeronáutica nº 3-3, de 2013. Gestão Da Segurança de Voo na Aviação Brasileira. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/legislacao/nsca-norma-do-sistema-do-comando-da-aeronautica?download=103:nsca3-3>. Acesso em: 15 mar. 2019.

CONSULTATION, W. H. O. **Obesity**: preventing and managing the global epidemic. 2000.

GANDER, Philippa et al. Preparing Safety Cases for Operating Outside Prescriptive Fatigue Risk Management Regulations. **Aerospace Medicine And Human Performance**, [s.l.], v. 88, n. 7, p.688-696, 2017.

ICAO. **FRMS**: Fatigue Risk Management System (FRMS) Implementation Guide For Operators. 1 ed. Montreal: ICAO, 2011. 150 p. Disponível em: <https://goo.gl/pzsQra>. Acesso em: 14 set. 2017.

_____. DOC 9859: Safety Management Manual (SMM). 3 ed. Quebec: ICAO, 2013.

_____. **Fatigue Management Guide for Airline Operators**. 2 ed. Montreal: ICAO, 2015. 167 p. Disponível em: <https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS%20Tools/FMG%20for%20Airline%20Operators%202nd%20Ed%20(Final)%20EN.pdf>. Acesso em: 20 maio 2019.

_____. **Fatigue Management Guide for General Aviation Operators**. Montreal: ICAO, 2016. 96 p. Disponível em: <https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS%20Tools/FM%20for%20GA%20Ops%20FINAL.pdf>. Acesso em: 14 maio 2019.

_____. DOC 9966: Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches. 2 ed. Quebec: ICAO, 2016.

TRAJECTORY PREDICTOR DEVELOPMENT AND INTEGRATION

Fabio Seiti Aguchiku
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo, SP, Brasil
Phone: +55 (11) 3103-4600, E-mail: faguchiku@atech.com.br, Fax: +55 (11) 3103-4601

Fabio Joás de Carvalho Oliveira
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo, SP, Brasil
Phone: +55 (11) 3103-4600, E-mail: fcoliveira@atech.com.br, Fax: +55 (11) 3103-4601

Kleber Ferreira Rosa
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo, SP, Brasil
Phone: +55 (11) 3103-4600, E-mail: krosa@atech.com.br, Fax: +55 (11) 3103-4601

Carlos Eduardo Duarte Vasques
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo, SP, Brasil
Phone: +55 (11) 3103-4600, E-mail: cvasques@atech.com.br, Fax: +55 (11) 3103-4601

RESUMO

A expectativa de crescimento da demanda de transporte aéreo nos próximos anos traz a necessidade de se ter mais eficiência no uso do espaço. Um algoritmo de predição de trajetórias preciso pode reduzir a carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo ao ajudar na antecipação tanto de eventos de demanda excessiva como de desbalanceamento entre os elementos regulados, trazendo a oportunidade de um melhor planejamento do uso do espaço aéreo. Este artigo apresenta a evolução de um algoritmo de predição de trajetória desenvolvido anteriormente. As melhorias foram feitas considerando novos dados disponíveis e casos reais que não foram abordados anteriormente. De um modo geral, o resultado são predições mais realistas e satisfatórias.

Palavras-chave: Predição de Trajetória, ATFM, Implantação, Integração, ODE.

ABSTRACT

The expected increase in demand for air transport in the next years brings the need for a higher airspace usage efficiency. An accurate trajectory prediction algorithm can reduce the workload of air traffic controllers as it helps anticipating cases of either excessive demand or unbalance between the regulated airspace elements, hence giving the opportunity of a better airspace usage planning. This paper presents the evolution of a previously deployed trajectory prediction algorithm. Improvements were made considering new available data and real cases that were not taken into account previously. Overall, the result are more realistic and satisfactory predicted trajectories.

Keywords: Trajectory Prediction, ATFM, Deployment, Integration, ODE.

1. INTRODUCTION

The expected growth in worldwide air transportation demand represents a challenge for Air Navigation Service Providers, airlines and system providers. The current approach to overcome this challenge is the increase of systems automation and interoperability capacity, so better quality shared data and systems that can handle these are both being specified. Also, more accurate and precise algorithms are being studied and integrated into these systems.

In this context, the trajectory prediction (TP) algorithm is an important addition. Decision Support Tools (DST) based on TP are claimed to reduce controller workload, increasing airspace elements capacity (Schuster and Porretta, 2010). A TP algorithm can be integrated in DST for either strategic or tactical flight planning phases.

Atech S/A has been working on a TP algorithm for its Air Traffic Management systems (Souza et al., 2017; Fattori et al., 2017). Initially, this algorithm has been devised as a part of a Medium-Term Conflict Detection Algorithm.

The algorithm presented by Souza et al. (2017) was integrated on an Air Traffic Flow Management (ATFM) system currently deployed on India. The ATFM system uses the algorithm to predict demand and capacity unbalance on regulated airspace elements (airdromes, airways, sectors) after the flight plan importing process. To accommodate available data the algorithm was changed and, after tests with real case scenarios, the algorithm was upgraded in order to be able to handle these scenarios.

The objective of this paper is presenting the needed changes and addressing implementation-based solutions. Therefore, this paper will not compare the results with other algorithms, since some solutions were implemented to comprise real operational scenarios.

Chapter 2 presents a brief description of previous versions of the algorithm and shortcomings that prevented its use in this system. Chapter 3 describes the changes on the algorithm to address those shortcomings. Chapter 4 describes the algorithm, input and output with details. Chapter 5 presents some real case scenarios used to upgrade the algorithm. Chapter 6 presents the validation with the client criteria and chapter 7 discusses possible changes to improve trajectory prediction results quality.

2. TP ALGORITHM PREVIOUS VERSION

In Souza et al. (2017) the algorithm is the part of the solution that receives a Flight Intent (sequence of flight trajectory set-points comprised of latitude, longitude, altitude and speed data) and estimates if that intention is possible and the time each set-point is flown. The flight aircraft is represented using the Total Energy Model (TEM), resulting in a six degree-of-freedom non-linear dynamic model. The set of state variables is the same used in Glover and Lygeros (2004): latitude, longitude, altitude, airspeed, heading and mass. The model inputs are defined by aircraft dynamic properties and the Flight Intention set-points. The inputs are aircraft engine thrust, roll angle and wind velocity. Aircraft dynamic properties are obtained from Eurocontrol Base of Aircraft Data (BADA) v.3 (Eurocontrol, 2015).

The Flight Intent is used because flight plans do not contain enough information to recreate an unambiguous flight path in 4D (Klooster et al., 2010). Flight intent is modeled after historic flight data and describes speed profiles, rates of climb and of descent. With the flight intent and set-points, the trajectory predictor defines a speed schedule and basically checks if that aircraft is able to perform that schedule.

Engine thrust saturation is considered and a control strategy was implemented to account for scenarios in which the engine thrust is not enough to achieve the intent speed and rate of climb/descent.

The ISA (International Standard Atmosphere) atmospheric model is integrated to the flight model. Meteorological data is integrated in the model by using wind speed and temperature on the algorithm. Wind data is a model input and the temperature data are used to account for non-ISA-compliant scenarios.

The dynamic model is represented as an Ordinary Differential Equation (ODE) and is solved with a numerical integration based on a 4th order Runge-Kutta integration method.

The trajectory prediction algorithm data flow is as follows: Procedure (SID and STAR) and Flight Plan data are retrieved from a

database. The data is processed in a process referred as flight plan extraction. The Flight Intent model receives the extraction output data and generates the flight intention set-points. The TP algorithm processes these set-points and meteorological data to provide the estimated trajectory, which is a sequence of points specifying latitude, longitude, altitude, speed and estimated time.

The main difficulty in using this algorithm is due the dependency of historic data in order to process the flight intent. The changes presented on the next chapter were mainly introduced because of said dependency.

3. TP ALGORITHM DEPLOYMENT VERSION

The deployed version of the algorithm does not work with an explicit flight intention concept. The TP algorithm receives the flight plan extracted data and provides an estimated trajectory. Instead of depending on historic data to estimate speed and rates of climb and descent, the deployed version uses the Energy Share Factor (ESF) (Schuster et al., 2012) concept and BADA defined look-up tables. Souza et al. (2017) claim that this solution is less effective than the Flight Intent modeling with historic flight data, but since such historic data may not be available, a more generic set of input data was specified for this algorithm.

The ESF specifies how much of the engine thrust force is used to horizontally accelerate the aircraft and how much of it is used on its climb or descent effort. For example, an ESF of 0.3 on an accelerated ascent movement means that 30% of the aircraft's engine net force will be used on climbing and 70% will be used on its acceleration. Glover and Lygeros (2004) specified a look up table with ESF as a function of the aircraft acceleration (Accelerating, Constant, Deaccelerating) and climb (Climb, Cruise, Descent) modes. This table was based on the BADA model and on HYBRIDGE project Flight Management System.

Each aircraft model has a typical set of speed, rate of climb and rate of descent values, each as a function of the flight level. On the deployed version, these values, provided as look-up tables, are used together to restrict the both calculated values of acceleration and of rate of climb or descent, which gives a realistic feature to the predicted trajectory as its geometry will obey the physical limitations the aircraft is subject to. These calculated values are given accordingly to the ESF adopted.

Since the algorithm does not need to meet a speed schedule, no saturation strategy was needed regarding engine thrust.

4. METHODOLOGY

Input description

For a given flight, the expected input data is comprised of the type of aircraft, starting speed, starting level, informed EET, the wake turbulence category and the engine type. It is also expected information about whether the flight starts and ends at an aerodrome and the coordinate points the aircraft flight should pass through.

Each coordinate is defined by its latitude and longitude, also by four complementary attributes: a target speed; a target level; a minimum level restriction and a maximum level restriction. The target speed and target level attributes specify which speed and which level must be reached, not specifically on that waypoint; they may be reached on the following ones. The minimum and maximum level restrictions are constraints of the given location that must be respected by the predicted trajectory. These level restrictions may be used during SID or STAR procedures. The flight plan extractor must provide all the above data to the trajectory predictor algorithm.

A flight trajectory may not necessarily start or end at a regulated aerodrome: such cases are those of international flights, where the flight reaches regulated airspace from an international aerodrome or leave the regulated airspace on cruise. Although the trajectory prediction is not limited to whole flight routes, its starting and ending waypoints must be provided. Without this information, it is not possible to predict the aircraft trajectory once the flight would not be delimitated. Also, is valid to note that the starting speed and starting level parameters are the flight initial conditions and must also be provided.

The engine type and wake turbulence category parameters must be provided so trajectory prediction is possible in case the requested aircraft type is not present on current

BADA dataset. In such case, an approximate solution will be given considering a similar available aircraft model previously defined as a standard aircraft type for the given wake turbulence category and engine type.

Meteorological data must be provided on a 3D grid format that represents spatial data and corresponds to the region where the flight will take place. Each of the coordinates specified by this dataset is represented by the triple latitude, longitude and altitude. Each of these triples must map to a tuple that consists of the decomposed wind velocity into its horizontal and vertical scalar components and the temperature. It is expected that the input wind data matrix is complete, that is, there are no missing data in it. Since it is a prediction problem, the meteorological data is the forecast for the time the flight will occur. Currently, this data is retrieved from NOAA Grib files. The latitude and longitude attributes on wind dataset are expected to be on decimal format.

Trajectory Calculation

Each two subsequent waypoints form a segment. If there is a direction difference between two subsequent segments, the algorithm will calculate a curve between these two. By such calculation, the algorithm will also obtain the point in which the aircraft should start turning and the necessary bank angle until the aircraft heading matches the direction of the next segment and its distance to this segment is within a given tolerance adjusted inside the algorithm. Currently, the algorithm only considers waypoints as fly-by ones.

The algorithm calculates the top of descent based on the speed and rate of descent profiles. It calculates the horizontal distance needed for a flight to descend from the cruise level to the airdrome height.

Like the previous version, the dynamic model adopted is represented by an ODE and is solved with numerical integration via a 4th order Runge-Kutta method. Since the ODE is a function of time, the integration process is calculated for a specific interval. The flight EET parameter relates to the maximum number of iterations for the integration process.

Two different outputs are possible: successful trajectory prediction and failed trajectory prediction.

If the flight reaches its final point (horizontal and vertical distance) within the specified time (since strong winds influence might extend the flight duration, the maximum time threshold considered for trajectory completion is twice the EET), the integration process is successfully finished and the obtained solution so far is given in the format of a sequence of points. Each point represents a latitude, longitude, height, speed and estimated time. These points are adjusted after the numeric integration process and are equivalent to the those given in the prediction request plus level change points and the top of descent point.

The trajectory prediction may fail due to four possible reasons: the route cannot be performed by that aircraft model; the EET parameter is too short; no aircraft model matching the input parameters was found; and the aircraft cannot reach the declared cruise level.

If the aircraft does not reach the final point within the specified time, the algorithm presents an error message. In this case, two different messages are possible: a bad geometry error or a badly specified EET error (the EET was too short). The bad geometry error might occur if the specified route is not feasible for the requested aircraft model (would be the case, for instance, if a turn too sharp or a climb too accentuated for the aircraft capabilities were necessary).

5. REAL CASE SCENARIOS

During the development of the algorithm some scenarios were found that demanded some changes on the algorithm. This chapter presents some of them.

Short Trajectory International Arriving Flight

This scenario presents a flight that enters the regulated airspace already on landing process. The algorithm had to be changed to considerate that the starting level may not be the one specified on the parameters, but it needs to be calculated.

Short Trajectory International Departing Flight

This scenario presents a flight that leaves the regulated airspace before reaching cruise level. Since the success condition calculates if

the flight has passed through the final point considering horizontal and vertical distance, initially flights with this behavior did not provide a result. The algorithm was changed to only check for horizontal distance if the flight is not ending on a regulated airdrome.

Insufficient Declared Level Change

The algorithm calculates the top of descent before the numeric integration process. If the flight has a level change to a lower level too close to the final point, the aircraft may not be able to perform that level change and descend to the airdrome height. The algorithm was changed to accommodate this scenario. The TP algorithm estimates if the last level change is feasible; if it is not, the last level change is ignored.

These were real scenarios that the client validated as possible scenarios, so the algorithm needed to provide a valid solution. Some scenarios that did not result in a successful prediction were analyzed with the client and regarded as flight plans with errors.

6. ALGORITHM VALIDATION

Besides the scenarios presented on the previous chapter, the algorithm was validated comparing actual flight data and the trajectory calculated by the predictor. Flights selected for the validation process attended the following rules to be considered eligible:

Actual surveillance data must have been received for the fight plan: actual data is used for comparison;

The difference between the mode of the cruising level values received in the surveillance data and the informed cruising level must be less than 5.000 feet: the flight performed the declared cruise level;

The difference between the mode of the cruising speed values received in the surveillance data and the informed cruising speed must be less than 10 knots: the flight performed the declared cruise speed;

At least 70% of the points that have been actually crossed by the flight must be in a 3NM radius from the planned trajectory: the SID and STAR procedures were the same (or at least close) as the declared ones;

Meteorological data must have been fetched for the time when the flight was supposed to operate: actual meteorological data is used.

The flights under the criteria above were then used to analyze the algorithm result. In order to be classified as a successful prediction, the following requirements were adopted: the Actual En Route Time and Calculated En Route Time difference must be less than 3 minutes; the actual climb time and calculated climb time difference must be less than 3 minutes; and the actual landing start time and calculated landing start time must be less than 3 minutes.

Some flights that met the comparison criteria did not achieve the validation result. These cases were analyzed to improve the comparison criteria and check if the comparison was valid. Not all valid comparison cases achieved the expected results and some improvements for the trajectory prediction algorithm are proposed on the next chapter to achieve the expected results.

Figure 1 presents a flight that should not be compared for the validation process. The red line corresponds to the calculated prediction and is on the FL350 cruise level. The blue line represents the actual flight. This flight had an initial FL380 cruise level and then a flight change to FL300. This was not the cruise level declared on the flight plan. Figure 2 presents a flight that must be used in the validation process. Once more, the red line represents the calculated flight and the blue line represents the actual flight. Both have FL340 as cruise level. The actual flight starts descending earlier, maybe du to some speed restriction not considered on the prediction model. This is a case that must be investigated in order to improve the algorithm.

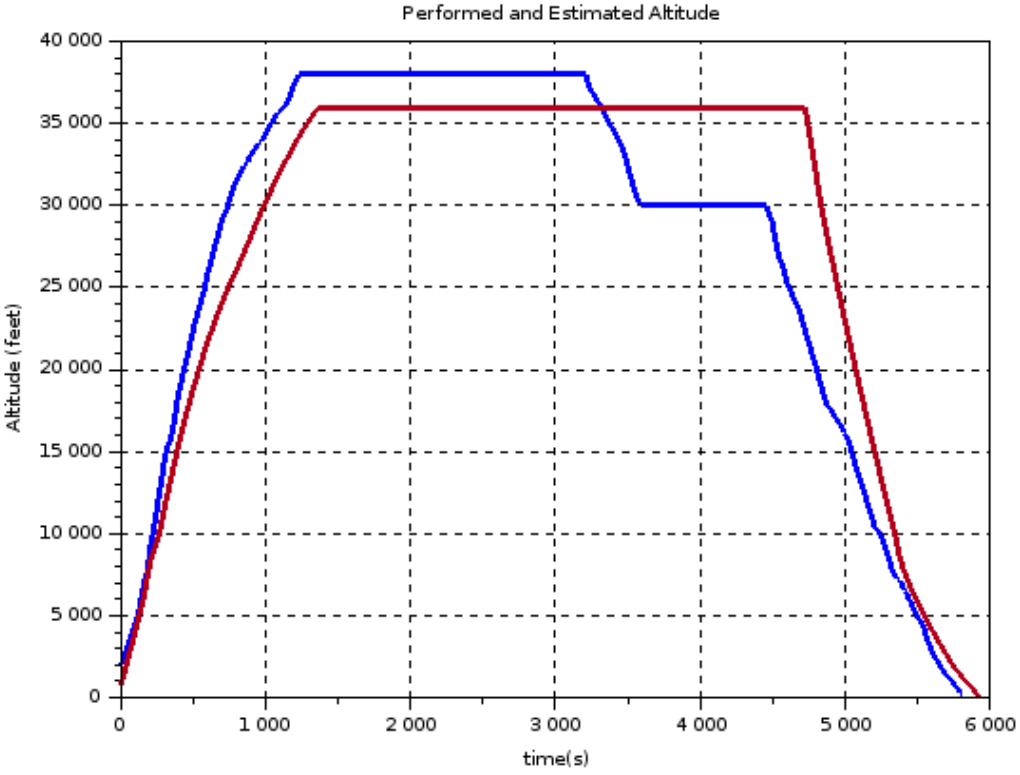


Figure 1: Invalid comparison flight because of level

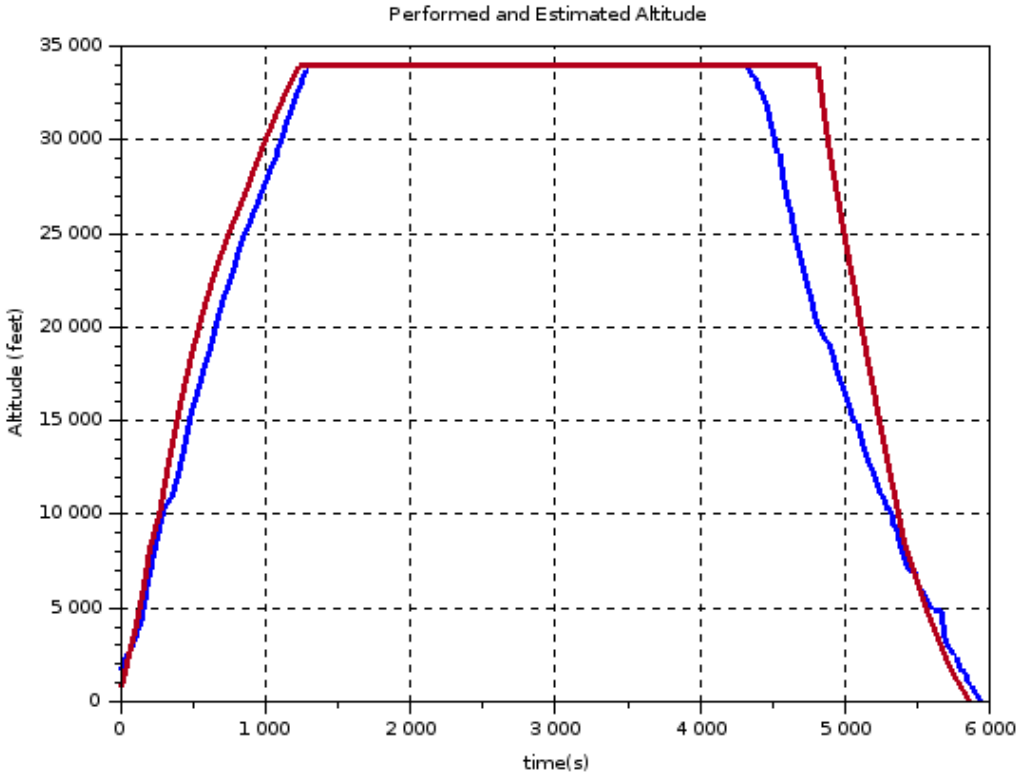


Figure 2: Valid comparison flight

7. FINAL REMARKS

A trajectory prediction algorithm was presented in this paper. This algorithm was based on a previous one developed at Atech on which changes were introduced in order to deploy the algorithm and accommodate unexpected scenarios and available data.

The main difference between the algorithms is that the previous one used historic data to model the Flight Intention. The deployed version of the algorithm does not use historic data, since it may not be immediately available. The deployed version uses a mix of the Energy Share Factor and speed, rate of climb and rate of descent mix-up.

Since its purposed was to be deployed on an ATFM system, the client demanded results regarding the algorithm's capacity to accurately estimate airspace elements usage. This algorithm was successfully deployed and tested with the client and, even though not all flights met the expected results, the client satisfaction with the algorithm was positive, although some development is still needed to achieve better results. The remainder of the text presents these suggested improvements that could be considered for future works.

The algorithm considers minimum and maximum level restriction. This represents procedures (SID and STAR) restriction. Other restriction that may be specified but it is not used by the model is the speed (minimum and maximum) restriction.

The trajectory segment transition of the current version of the algorithm does not consider if the waypoint is a fly-by or a fly-over case. The current standard approach the algorithm takes is that of a fly-by trajectory. Changes would improve the results if they made possible to calculate both fly-by and fly-over trajectories.

The current algorithm does not consider the runway in use. The actual adopted procedures are always related to a specific runway and results may differ depending on the procedure performed by the aircraft. Changes with respect to this would also improve the algorithm performance.

8. REFERENCES

Eurocontrol (2015). User Manual for the Base of AircraftData (BADA) Rev. 3.13. Technical report, Exp. Centre.

Fattori, C., Souza, E., Silva, S., Cremoneze, C., Shigueru, S., Aguchiku, F., and Oliveira, G. (2017). Analysis Framework for Improved Conflict Prediction in ATC System Modernization. In IFAC World Congress.

Glover, W. and Lygeros, J. (2004). A Stochastic Hybrid Model for Air Traffic Control Simulation. In Proc. of 7th Int. Workshop Hybrid Systems: Comp. and Control.

Klooster, J., Torres, S., Earman, D., Castillo-Effen, M., Subbu, R., Kammer, L., Chan, D., and Tomlinson, T. (2010). Trajectory synchronization and negotiation in trajectory based operations. In IEEE/DASC.

Schuster, W. and Porretta, M. (2010). High-Performance Trajectory Prediction for Civil Aircraft. In DASC.

Schuster, W., Porretta, M., and Ochieng, W. (2012). Highaccuracy four-dimensional trajectory prediction for civil aircraft. The Aeronautical Journal, 116(1175), 45–66.

Souza, E., Fattori, C., Silva, S. (2017) Improved Trajectory Prediction and Simplification Analysis for ATM System Modernization. IFAC-PapersOnLine, 50, 15627-15632.

A INOVAÇÃO AEROESPACIAL NA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA NA CONSTRUÇÃO DA VISÃO 2030

Victor Rafael Rezende Celestino
Departamento de Administração
Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas
Universidade de Brasília
Campus Darcy Ribeiro, Brasília/DF, Tel.: (61) 3107-0831, Email: vrcelestino@unb.br

Inez Lopes Matos Carneiro de Farias
Faculdade de Direito
Universidade de Brasília
Campus Darcy Ribeiro, Brasília/DF, Tel.: (61) 3107-0707, Email: inezlopes@unb.br

Luiz Guilherme de Oliveira
Faculdade de Planaltina
Universidade de Brasília
Campus de Planaltina, Brasília/DF, Tel.: (61) 3107-8005. Email: lgoliveira@unb.br

RESUMO:

A inovação aeroespacial possui aspectos que a torna bastante peculiar. O objetivo deste trabalho é investigar a inovação aeroespacial, a partir de uma revisão sistemática da literatura para a construção de uma visão prospectiva do papel que a Universidade de Brasília (UnB) pode ocupar nos próximos 10 anos até 2030. Conclui-se que a pesquisa aeroespacial na UnB deverá ser apoiada por uma cooperação da tripla hélice. A UnB e as empresas devem buscar as melhores práticas identificadas e o governo deve propiciar uma infraestrutura mínima necessária para a inovação aeroespacial. A visão 2030 é da UnB como um centro multiplicador de inovação no DF.

Palavras-chave: Pesquisa, Inovação, Aeroespacial, Governança, Desenvolvimento Regional.

ABSTRACT

Aerospace innovation has aspects that make it quite unique. This paper aims to investigate aerospace innovation from a systematic literature review, building up a perspective view of the role that the University of Brasilia (UnB) may play in the next ten years until 2030. The outcome shows that the aerospace research at UnB shall be supported by triple propeller cooperation. While UnB and companies shall pursue the best identifiable practices; the government shall provide the minimum infrastructure needed for aerospace innovation. The 2030 Vision of UnB is of a hub for aerospace innovation in the Federal District (FD).

Keywords: Research, Innovation, Aerospace, Governance, Regional Development.

1. INTRODUÇÃO

Os níveis de investimento em ciência, tecnologia e inovação de um país determinam o grau civilizatório de desenvolvimento humano. A educação é o alicerce para a inovação e, igualmente, para o crescimento socioeconômico sustentável de uma nação. Não há inovação sem educação de qualidade.

Atualmente, o Brasil se mantém entre as dez maiores economias do mundo. Ocupa a 9ª posição em PIB nominal e a 8ª colocação em PIB por Paridade de Poder de Compra (PPC), de acordo com o relatório anual do Fundo Monetário Internacional - FMI (STATISTICS TIMES, 2018). Entretanto, em termos de competitividade, o Brasil ocupa o 59º lugar entre 63 países avaliados pelo *IMD World Competitiveness Rankings* (CABOLIS, 2019). Os resultados antecipados de 2019 mostram, ainda, que a América Latina ocupa a última posição em competitividade regional (2013-2018). O Brasil é a maior economia da região, seguida por México, Colômbia e Chile e é um importante *global player* para o desenvolvimento socioeconômico da região.

A infraestrutura, incluindo a científica, é um dos quatro principais fatores para a competitividade, além da *perfomance* econômica, eficiência governamental e de negócios. O investimento na infraestrutura científica pode contribuir significativamente para reverter o atual quadro.

A infraestrutura de pesquisa, tecnológica e de inovação depende de instalações físicas, equipamento, manutenção e insumos. Um estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) revela que as instalações físicas necessitam de investimentos para melhor adequação aos serviços de produção do conhecimento (DE NEGRI; SQUEF, 2014). Além disso, há necessidade de formação de novos pesquisadores, uma vez que o atual número de pesquisadores ainda é pouco adequado às demandas na produção do conhecimento (DE NEGRI; SQUEF, 2014).

Em particular, a capacitação de pessoas para atuar no setor aeroespacial é uma ferramenta para a produção de pesquisas de qualidade e para a inovação tecnológica. Quanto maior for a taxa de investimentos em infraestrutura para ciência, tecnologia e inovação no setor aeroespacial, melhores serão os resultados na produção do conhecimento e da inovação. Mas, mais do que isso, a modernização de centros de pesquisa contribui na geração de riquezas, de empregos e no desenvolvimento socioambiental sustentável.

Assim, o objetivo deste trabalho é investigar a inovação aeroespacial, a partir de uma revisão sistemática dos ecossistemas, interno e externo, visando a construção de uma visão prospectiva do papel que a Universidade de Brasília (UnB) pode ocupar nos próximos 10 anos até 2030.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Conceituação de Inovação Aeroespacial

A Lei nº 10.973/2004, com redação alterada pela Lei nº 13.243/2016, define inovação como a introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo e social, que resulte em novos produtos, serviços ou processos, ou que compreenda a agregação de novas funcionalidades ou características a produto, serviço ou processo já existente, que possa resultar em melhorias e em efetivo ganho de qualidade ou desempenho (Artigo 2º, IV).

É importante ter claro, contudo, que a inovação para o setor aeroespacial possui uma série de aspectos que a torna bastante peculiar. Deve-se destacar que se trata de um setor caracterizado por produtos e serviços complexos (Hobday, 2003; Oliveira, 2009). Isto torna o processo de desenvolvimento e design distinto de outros setores tecnológicos. Neste setor, são considerados fatores relacionados com: i) característica do produto; ii) característica de produção; iii) processos inovativos; iv) estratégia competitiva - coordenação da inovação; v) coordenação e evolução industrial; e vi)

características do mercado. Todos estes fatores estão fortemente presentes e fazem com que a inovação aeroespacial possua características bastante únicas, levando a um desenho customizado da cadeia de produção e sua eventual internacionalização (OLIVEIRA, 2005; MARQUES; OLIVEIRA, 2009).

A peculiaridade da inovação aeroespacial está associada a altos custos e riscos. Uma das formas de justificar e viabilizar esses investimentos é a consideração da transferência de tecnologia do setor aeroespacial para outros setores tecnológicos. Uma revisão sistemática da literatura evidenciou a transferência de tecnologia aeroespacial (VENTURINI; VERBANO, 2014). Essas transferências de tecnologia do setor aeroespacial estimulam a inovação e o desenvolvimento socioeconômico regional, proporcionando retorno do investimento público em pesquisa.

Outra estratégia para viabilizar a inovação aeroespacial tem sido o fomento à inovação aberta. Uma inovação aberta consiste em uma integração sistemática de práticas colaborativas de criação e divulgação na estratégia organizacional (ARMELLINI et al, 2014). Quando aplicada a um cluster de pesquisa e inovação aeroespacial, esta permite um fluxo acelerado do conhecimento aplicado.

2.2. Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação

Para viabilizar uma infraestrutura, um sistema normativo adequado à dinâmica do setor produtivo no conhecimento nas áreas de ciência, tecnologia e inovação é crucial para fomentar políticas públicas para o desenvolvimento econômico e social no Brasil. Em 2015, a Emenda Constitucional nº 85 (EC n. 85/2015), altera e adiciona dispositivos para inserir a inovação juntamente com ciência e tecnologia.

A emenda da inovação trouxe reformulações para o desenvolvimento científico, a pesquisa e a capacitação no tripé ciência, tecnologia e inovação, com a participação de múltiplos *stakerholders*, tanto públicos quanto privados, nas diversas esferas de governo, podendo os entes firmar instrumentos de cooperação. Além disso, esta mudança buscou promover a "desconcentração e descentralização de poderes para fins da densificação regulamentar local e regional do sistema" (PRETE, 2018, p. 108), conforme dispõem os artigos 218 e 219, 219-A e 219-B.

O desenvolvimento de políticas públicas de apoio à inovação no Brasil teve início com a adoção da Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, que registra o marco legal para a adoção de medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, com vistas à capacitação e ao alcance da autonomia tecnológica. Inicialmente a lei tinha como destino o desenvolvimento industrial do país.

Esta lei foi modificada pela Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016, incluindo estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação, para adequá-la às reformas constitucionais nos termos dos artigos alterados pela EC n. 85/2015 (alteração dos artigos 23, 24, 167, 200, 213, 219 e 219-A).

Nesse contexto, as políticas de inovação "estiveram centradas no estímulo à interação universidade-empresa e na ampliação dos instrumentos de financiamento à inovação das empresas, principalmente às atividades de P&D (pesquisa e desenvolvimento)" (SZAPIRO et al, 2016). A crítica à Lei nº 10.973/2004 – não obstante seu caráter normativo, é que não conseguiu determinar uma mudança de prática social, de forma que o objetivo esperado, à época, que era o de que o núcleo de inovação tecnológica (NIT) garantisse a centralização das informações sobre os processos de geração de conhecimento, não logrou êxito (ARAÚJO, 2018, p. 76).

O Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação, com as alterações em 2016, estabelece como princípios norteadores: desenvolvimento socioeconômico; redução das desigualdades regionais; cooperação e interação entre os entes públicos, entre os setores público e privado e entre empresas; competitividade empresarial nos mercados nacional e internacional; estímulo à atividade de inovação nas Instituições Científica, Tecnológica e de Inovação (ICTs) e nas empresas, inclusive para a atração, a constituição e a instalação de centros de pesquisa, desenvolvimento e inovação e de parques e polos tecnológicos; facilitação na transferência de tecnologia, facultando à ICT pública celebrar contrato de transferência de tecnologia e de

licenciamento para outorga de direito de uso ou de exploração de criação por ela desenvolvida, isoladamente ou por meio de parceria; formação contínua e capacitação científica e tecnológica; e simplificação de procedimentos para gestão de projetos.

No contexto do atual marco regulatório, o Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI) é considerado o eixo estruturante para a promoção da inovação por meio do desenvolvimento científico e tecnológico. O Sumário Executivo da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI 2016-2022), do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), propõe uma mudança de paradigma de inovação colaborativa entre universidades e empresas e a interação com os diferentes componentes do SNCTI.

O setor aeroespacial é considerado uma área estratégica, entre outras, para o desenvolvimento do Brasil. Desse modo, observa-se que o Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação e a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação estão alinhadas com a promoção de políticas públicas que desenvolvam pesquisas em atividades aeroespaciais, colocando o Brasil entre os grandes centros de estudos.

2.3. Fomento à Pesquisa Aeroespacial no Distrito Federal (DF)

A Universidade de Brasília (UnB) está situada no Distrito Federal (DF), onde existe um fértil ecossistema de inovação.

No DF, cabe à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação (SECTI) - http://www.secti.df.gov.br/ - promover o desenvolvimento científico e tecnológico em setores estratégicos criando condições para facilitar e alavancar iniciativas inovadoras baseadas em novos conhecimentos, visando o progresso do Distrito Federal.

Para isso, a SECTI conta com a Fundação de Apoio à Pesquisa (FAPDF) - http://www.fap.df.gov.br/. A FAPDF possui disponibilidade de recursos para apoiar o ecossistema de pesquisa e inovação aeroespacial no DF. A tabela 1 apresenta um balanço dos investimentos da FAPDF na pesquisa, nos últimos cinco anos (2015-2019).

Tabela 1: Orçamento e Despesas da FAPDF na pesquisa, em milhões de R$ (2015-2019)

Exercício	*LOA*	*Empenho*	*%*
2015	156,18	68,60	44
2016	216,09	93,00	43
2017	268,18	83,03	31
2018	317,32	48,66	15
2019	366,35	19,06	5

3. METODOLOGIA

Seguindo um enfoque baseado em evidências, o conhecimento científico neste trabalho foi sintetizado por meio da revisão sistemática da literatura (TRANFIELD et al, 2003). Aqui foram conduzidos dois estudos de revisão integrativa (SOARES et al., 2014; SOUZA et al, 2010; WHITTEMORE; KNAFL, 2005) para a construção de uma visão prospectiva da inovação aeroespacial na UnB nos próximos 10 anos (visão 2030).

Para o trabalho de revisão sistemática, adotou-se o protocolo PRISMA – *preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses* (LIBERATI et al., 2009; MOHER et al., 2015; SHAMSEER et al., 2015). Na aplicação do PRISMA, o padrão usualmente adotado é o PICO – *population, intervention, comparison, outcome* (população, intervenção/efeito, comparação, resultado).

No primeiro estudo, foi avaliada a pesquisa aeroespacial na Universidade de Brasília (UnB), nos últimos 10 anos (2010-2019). Para isso, foi realizada uma busca na biblioteca digital de trabalhos de conclusão de cursos de graduação e especialização (TCC) - http://bdm.unb.br/ - e no repositório de dissertações e teses - http://repositorio.unb.br/.

Já no segundo estudo, sobre a publicação acadêmica global em pesquisa aeroespacial, considerou-se quatro bases de dados: *Scopus* (incluindo *ScienceDirect*), *Web of Science* – WoS e *Scielo Citation Index* (incluída na WoS). A justificativa da escolha destas bases está na relevância e abrangência para o estudo.

Como critério de inclusão no primeiro estudo, decidiu-se por TCCs, dissertações ou teses, defendidos entre 2010-2019, contendo, no título ou assunto, pelo menos um de 27 termos: aéreo(a); aeroacústica; aeroespacial(is); aerogeofísica; aerolevantamento; aeronave; aeronáutico(a); aeroporto; aeroportuário(a); ANAC; astrofísica; aviação; avião; cosmologia; *cubesat*; *drone*; foguete; helicóptero; ICAO ou OACI; lançador; lixo espacial; propulsão; propulsor; satélite; UNOOSA; ou VANT.

No segundo estudo, foram incluídos somente artigos científicos (*articles*), contendo os termos *aerospace* e *innovation* próximos um do outro, no título, no resumo, ou nas palavras-chave, publicados entre 2010-2019, nas bases de dados selecionadas, em português, espanhol e/ou inglês.

Como critérios de exclusão, a partir da análise de títulos, resumos e palavras-chave, foram excluídos estudos que não estavam relacionados diretamente à inovação aeroespacial, com base no padrão PICO.

Aqui optou-se por assegurar a qualidade dos artigos incluídos para evitar o risco de viés de estudos individuais, por meio de três filtros: 1) artigos que já passaram por filtro editorial (revisados por pares e disponíveis em bases de dados consagradas); 2) artigos publicados nos últimos dez anos; 3) impacto do periódico da publicação.

Após a busca e seleção, com base nos critérios de inclusão e exclusão definidos, os textos integrais foram recuperados e analisados. O procedimento de busca, seleção e análise foi realizado pelos autores. O primeiro autor realizou o processo completo, enquanto os demais verificaram o processo por amostragem. Ao final, buscou-se a concordância e o consenso.

Para o mapeamento proposto na síntese de uma revisão sistemática (BORREGO et al., 2014), empregou-se um método qualitativo de análise temática (FLICK, 2014). Para cada categoria temática, é apresentada uma síntese individualiza dos artigos. Além disso, buscou-se uma síntese conjunta na discussão (BORREGO et al., 2014).

4. RESULTADOS

4.1. Primeiro Estudo: Pesquisa Aeroespacial na UnB

Pesquisas relacionadas ao tema aeroespacial ocorrem na Universidade de Brasília (UnB) desde sua fundação em 1962.

Nos últimos 10 anos (2010-2019), foi possível identificar um total de 399 trabalhos (257 TCCs, 111 dissertações e 31 teses), com participação de 252 professores entre orientadores e coorientadores. A tabela 2 apresenta os 10 professores, ainda vinculados à UnB, com maior número de orientações.

Tabela 2: Professores da UnB - orientações na pesquisa aeroespacial (2010-2019)

Professor	***UnB***	***Total***
Weigang, Li	IE	14
Miserda, Roberto F.B.	FT	13
Shynkarenko, Olexiy	FGA	10
Fortes, José Augusto A.S.	FT	9
Barcelos Jr, Manuel N.D.	FGA	9
Borges, Renato Alves	FT	8
Aragão, Joaquim J.G. de	FT	8
Veras, Carlos A. Gurgel	FT	7
Borges, Geovany Araújo	FT	6
Carneiro, Sérgio H.S.	FGA	6

Desde 2012, a UnB oferece a graduação em Engenharia Aeroespacial na Faculdade do Gama (https://fga.unb.br/aeroespacial). Este curso vem liderando o ensino, a pesquisa e a extensão na área aeroespacial na UnB. Entre as iniciativas relevantes, cita-se o Encontro Regional Aeroespacial (ERA), realizado em parceria com a Agência Espacial Brasileira (AEB), e o lançamento do foguete protótipo Hermes.

Logo após a criação do curso de engenharia aeroespacial, diversos professores da UnB buscaram organizar o Laboratório de Aplicação e Inovação em Ciências Aeroespaciais (LAICA), que já tem publicações internacionais (DE MELO et al, 2019; SILVA et al, 2019).

Mais recentemente em 2019, o Decanato de Pesquisa e Inovação (DPI) decidiu pela

constituição de uma comissão para a criação do Centro de Pesquisa e Inovação Aeroespacial (CEPINAE) da UnB, com a missão de explicitar, harmonizar, integrar e institucionalizar o ecossistema de pesquisa e inovação aeroespacial na Universidade de Brasília.

O CEPINAE está sendo criado dentro do Parque Tecnológico da UnB - PCTec (http://www.pctec.unb.br/), instituído em 2013, cujo papel é desenvolver e gerar conhecimentos, produtos e serviços tecnológicos, para atender ao mercado, em parceria com instituições e empresas públicas e privadas, nacionais e internacionais, promovendo o desenvolvimento socioeconômico.

A criação do CEPINAE contribuirá para uma gestão adequada e coordenada das diversas pesquisas que vem se desenvolvendo em áreas afins ao conhecimento aeroespacial. Além disso, esta presença e atuação da Universidade de Brasília pode contribuir como indutor e catalisador da inovação e do desenvolvimento socioeconômico do Distrito Federal.

4.2. Segundo Estudo: Pesquisa Aeroespacial Global

No segundo estudo, foram identificados 48 artigos nas bases de dados citadas, nesta revisão sistemática da pesquisa aeroespacial a nível global. Somente um artigo foi repetido. A partir dos critérios de inclusão e exclusão, 22 artigos foram selecionados. Destes, mais um artigo foi excluído, em função da ausência de classificação de impacto do periódico. Os 21 artigos remanescentes foram divididos em quatro grupos temáticos e são analisados a seguir. Os dados estão nas tabelas 3 e 4 no final do artigo.

4.2.1. Contribuição ao Desenvolvimento Socioeconômico

Kojima et al (2018) discutem como o escritório das nações unidas para assuntos do espaço exterior (United Nations Office for Outer Space Affairs - UNOOSA) endereça o futuro das atividades especiais e seu papel no desenvolvimento. Em particular, em seu foco de acesso ao espaço, discute a educação espacial e o acesso a dados, tecnologias e instalações para a pesquisa espacial.

Varese e Cane (2017) discutem como estratégias de inovação alimentares podem emergir da pesquisa sobre desenvolvimento e logística da alimentação de astronautas.

4.2.2. Aprendizado em Inovação de Outros Setores

Coste e Gatzke (2017) propõem um novo enfoque para plataformas de inovação, com trabalho em simbiose entre um espaço interno a uma organização, fomentando a inovação incremental, e um espaço externo para a inovação disruptiva em uma rede de inovação, composta por universidades, outras indústrias, *start-ups* e o público em geral.

Leung (2010) discute a evolução da gestão da pesquisa e inovação, em termos de novos enfoques, técnicas, modelos e ferramentas. A autora relata seis perspectivas discutidas em conferência especializada, incluindo a gestão da pesquisa e inovação no setor aeroespacial. A autora identifica pontos convergentes em termos das tendências globais que afetam a operação de organizações de pesquisa e inovação. Entre estas, destaca a necessidade de adaptação dos modelos de negócios à nova economia, o trabalho em parcerias por meio de um ambiente de inovação aberta, e a diversidade de equipes globalizadas de pesquisa e inovação.

Ritala et al (2013) exploram os mecanismos (tangíveis e intangíveis) e estruturas utilizados por organizações líderes no setor aeroespacial e tecnológico, os quais podem facilitar a criação de valor e sua captura em ecossistemas de inovação.

4.2.3. Cooperação e Sinergia na Inovação Aeroespacial

Alberti e Pizzurno (2015) analisaram o papel do cluster de inovação em termos de conhecimentos compartilhados e papéis dos atores. Foram evidenciadas trocas tecnológicas mais abertas que o compartilhamento de mercado e gestão da inovação. Os autores sugerem que diferentes atores no cluster (empresas grandes, médias, pequenas, centros de pesquisa, universidades e instituições para o fomento da

colaboração) desempenham papéis diferentes em uma rede de inovação.

Alberti e Pizzurno (2017) avaliam o impacto do vazamento do conhecimento desenvolvido por startups em uma rede de inovação. O estudo indica a necessidade de uma governança apropriada em uma rede de inovação.

Armellini et al (2014) investiga a inovação aberta na indústria aeroespacial brasileira. Os autores encontram elementos de inovação aberta, porém, sem estratégias de suporte. Deficiências de fomento, maturidade de pesquisa e proteção à propriedade intelectual são identificadas.

Arnaldo Valdes et al (2019) discutem desafios da inovação aeroespacial quanto à sustentabilidade e ao desempenho em um ambiente tecnológico em rápida evolução. Os autores analisaram a estrutura das redes de inovação por meio de dois enfoques, uma análise bibliométrica de redes para mapear a colaboração na pesquisa aeroespacial e uma análise de patentes para avaliar a inovação no setor. Os autores propõem recomendações para políticas futuras de pesquisa e inovação aeroespacial com uma visão prospectiva de 30 anos até 2050.

Brandão Neto e Oliveira (2010) discutem a indústria aeroespacial brasileira e seu contexto da inovação tecnológica. Os autores exploram o efeito da interação da tripla hélice (governo, empresas e instituições de pesquisa), em um processo de inovação cumulativa, e da prospecção tecnológica (*technological foresight*) na governança do ecossistema de inovação.

Braziotis et al (2017) discutem como a indústria aeroespacial pode compartilhar riscos e recompensas por meio do paradigma da empresa estendida, o qual vem sendo adotado para aprimorar colaboração e inovação entre parceiros de uma cadeia logística aeroespacial.

Cerezo-Navaez et al (2019) analisam as oportunidades para as pequenas e médias empresas (PMEs) na indústria aeroespacial, sugerindo como gerir pesquisa e inovação no atual contexto da indústria 4.0 (I4.0).

Dewes et al (2010) apresentam a inovação no desenvolvimento de competência tecnológica no setor aeroespacial, por meio de uma rede de universidades e centros de pesquisa, empresas e o governo (tripla hélice). Os autores sugerem a inovação aberta como alternativa para melhorar a competitividade do setor.

Dewes et al (2015) identificam, comparam e discutem o papel do governo na inovação aeroespacial, por meio de uma comparação entre políticas públicas para fomentar a inovação aeroespacial, no Brasil e na Holanda. Os resultados indicaram, no caso holandês, a relevância do papel de comitês formados por representantes do governo, indústria e pesquisadores (tripla hélice), os quais buscam alinhar a pesquisa às necessidades de inovação das empresas. No Brasil, apesar da lei de inovação (Lei 10.973/2004) ter sido promulgada com o objetivo de fomentar semelhante colaboração da tripla hélice, os relacionamentos ainda são, em sua maioria, informais e incipientes. Os autores concluem que é necessário fomentar o aumento de atividades colaborativas entre universidades, empresas e o governo para melhorar a pesquisa e inovação aeroespacial brasileira.

Gao et al (2015) discutem o papel do padrão sinérgico de pesquisa no sucesso recente das iniciativas chinesas. Segundo os autores, a inovação sinérgica estrutura-se nos pilares de originalidade, integração e orientação para a aplicação. Os autores propõem ainda um método multicritérios para enfatizar os diferentes níveis de organização da inovação.

Jackson e Haulbelt (2017) descrevem uma cultura de inovação resiliente em uma empresa aeroespacial norte-americana, de forma a endereçar uma ampla gama de tecnologias. O modelo de inovação adaptativa incorpora múltiplas informações: parcerias com clientes; pesquisa transformacional; monitoramento tecnológico global; investimentos de risco; e desafios abertos à comunidade.

McGuire e Islam (2015) investiga se países emergentes estão desenvolvendo capacidade tecnológica aeroespacial, posterior a realização de investimentos externos diretos e de programas de contrapartidas (*offset*) para viabilizar o ingresso na cadeia produtiva aeroespacial global. O estudo avaliou dados de patentes da base de dados *Thomson Innovation*, demonstrando um grande avanço da China na capacidade de inovação aeroespacial. Os resultados mostram, contudo, maior sucesso de novas empresas entrantes europeias e norte-americanas. Isto sugere que a complexidade da inovação aeroespacial continua sendo uma barreira relevante, a qual necessita, para ser ultrapassada,

de foco dos países emergentes em políticas públicas efetivas e empresas âncoras equipadas com substancial infraestrutura de inovação.

Terrile (2011) discute os empecilhos à inovação aeroespacial resultantes da natureza inerentemente conservadora do setor, em função dos custos e riscos envolvidos. O autor conclui que há lições importantes que podem ser aplicadas no tema aeroespacial, a partir do benchmarking de melhores práticas inovadoras. Além disso, o autor incentiva aplicações multidisciplinares e multi-usuários e enumera três pontos a serem perseguidos: introjeção da inovação na organização; adaptação da inovação à cultura organizacional; e criação de oportunidades e de um ambiente inovador.

Zeng et al (2017) analisam o caso de uma empresa aeroespacial chinesa na gestão de paradoxos na exploração da inovação, entre uma atitude de exploração de retornos financeiros ou de um ecossistema sustentável de inovação. Os autores indicam que empresas que atuam na inovação em nichos tecnológicos, como o caso da pesquisa aeroespacial, devem desenvolver capacidades estruturais, contextuais e de coordenação para lidar simultaneamente com ambas as explorações ("ambidestras"). Neste sentido, proveem um guia para estabelecer duplas estratégias de inovação, no sentido de fortalecer a co-criação e a colaboração, tanto interna como externa com o ecossistema.

4.2.4. Soluções Inovadoras

Pelicioni et al (2018) analisaram tendências de inovação aeroespacial por meio de uma análise bibliométrica, no período de 2008 a 2015. Da análise de patentes, os resultados indicaram o foco em nanosatélites e lançadores.

Silva et al (2019) descreve o desenvolvimento de uma bancada de testes de nanossatélites. Esta foi projetada no Laboratório de Aplicação e Inovação em Ciências Aeroespaciais (LAICA), visando a simulação no solo de condições do ambiente espacial.

5. DISCUSSÃO: PESQUISA AEROESPACIAL SUSTENTÁVEL NA UNB – VISÃO 2030

Os achados deste trabalho evidenciam como a inovação aeroespacial deve ser construída, a partir de uma revisão da literatura científica. Destes pode-se construir uma visão para uma pesquisa aeroespacial sustentável na UnB nos próximos dez anos até 2030.

Primeiramente, esta pesquisa na UnB terá efeitos no desenvolvimento socioeconômico regional, com impactos na educação e saúde. De forma similar, as trocas sinérgicas com outros setores permitirão acelerar a inovação em todo o ecossistema regional.

A pesquisa aeroespacial na UnB deverá ser apoiada por algumas medidas mais focadas. Será preciso alavancar o papel de cooperação da tripla hélice (universidade, empresas e governo). A UnB e as empresas devem buscar as melhores práticas de gestão da inovação e ao governo caberá um papel essencial de propiciar a infraestrutura mínima para viabilizar a superação de barreiras de entrada do ecossistema de inovação aeroespacial.

Desta forma, a visão 2030 é da UnB como um centro multiplicador de inovação no DF

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As tecnologias aeroespaciais contribuem para a realização da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Entre os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), as atividades aeroespaciais podem: ajudar a monitorar as mudanças climáticas (ODS 13); aumentar a eficiência para acabar com a fome (ODS 2); implantar a telemedicina em áreas remotas (ODS 3); e aumentar o número de mulheres na indústria aeroespacial (SG 5).

Os ODS 17 objetivam fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global, melhorando a cooperação internacional e o acesso à ciência, tecnologia e inovação. Destaca-se a importância de uma parceria global (SDG 17), com participação conjunta dos stakeholders envolvidos na indústria aeroespacial (SDG 17.16), por meio de cooperação técnica e científica entre os países.

7. REFERÊNCIAS

ALBERTI, F. G.; PIZZURNO, E. Knowledge exchanges in innovation networks: evidences from an Italian aerospace cluster. **Competitiveness Review,** v. 25, n. 3, p. 258-287, 2015.

_____. Oops, I did it again! Knowledge leaks in open innovation networks with start-ups. **European Journal of Innovation Management,** v. 20, n. 1, p. 50-79, 2017.

ARAÚJO, T. S. de. O Protagonismo das Fundações de Apoio na Cadeia de Ciência, Tecnologia e Inovação o e seus Desafios para uma Regulamentação Jurídica Adequada. In: SOARES, F. de M. e PRETE, E. K. E. (Ed.). **Marco regulatório em ciência, tecnologia e inovação: texto e contexto da Lei nº 13.243/2016**. Belo Horizonte: Arraes Editores, 2018. p.76.

ARMELLINI, F.; KAMINSKI, P. C.; BEAUDRY, C. The Open Innovation Journey in Emerging Economies: An Analysis of the Brazilian Aerospace Industry. **Journal of Aerospace Technology and Management,** v. 6, n. 4, p. 462-474, 2014.

ARNALDO VALDÉS, R. M.; BURMAOGLU, S.; TUCCI, V. A. Flight path 2050 and ACARE goals for maintaining and extending industrial leadership in aviation: A map of the aviation technology space. **Sustainability (Switzerland),** v. 11, n. 7, p. 2065, 2019.

BORREGO, M.; FOSTER, M. J.; FROYD, J. E. Systematic Literature Reviews in Engineering Education and Other Developing Interdisciplinary Fields. **Journal of Engineering Education,** v. 103, n. 1, p. 45-76, 2014.

BRANDÃO NETO, N.; OLIVEIRA, L. H. D. de. Proposta de um método para uma atuação pró-ativa na gestão da inovação tecnológica em uma instituição pública de pesquisa aeroespacial. **Journal of Aerospace Technology and Management,** v. 2, n. 2, p. 237-246, 2010.

BRAZIOTIS, C.; TANNOCK, J. D. T.; BOURLAKIS, M. Strategic and operational considerations for the Extended Enterprise: insights from the aerospace industry. **Production Planning & Control,** v. 28, n. 4, p. 267-280, 2016.

CABOLIS, C. In Anticipation of the 2019 IMD World Competitiveness Yearbook, 2019. Disponível em: https://www.imd.org/research-knowledge/articles/com-may-2019/. Acesso em: 25 jul. 2019.

CEREZO-NARVÁEZ, A. et al. Standardizing Innovation Management: An Opportunity for SMEs in the Aerospace Industry. **Processes,** v. 7, n. 5, p. 282, 2019.

COSTE, J.-D.; GATZKE, S. A Novel Approach to Innovation Platforms: Symbiotic On/Off Spaces, Cross-Industry Sponsor. **New Space,** v. 5, n. 3, p. 155-162, 2017.

DE MELO, A. C. C. P. et al. Design Analysis of a New On-Board Computer for the LAICAnSat Platform. In: **2019 IEEE Aerospace Conference**. IEEE, 2019. p. 1-8.

DE NEGRI, F.; SQUEF, F. de H. S. **Infraestrutura científica e tecnológica no Brasil**: análises preliminares, Nota Técnica nº 21, Brasília: IPEA, 2014.

DEWES, M. D. F.; DALMARCO, G.; PADULA, A. D. Innovation policies in Brazilian and Dutch aerospace industries: How sectors driven by national procurement are influenced by its S&T environment. **Space Policy,** v. 34, p. 32-38, 2015.

DEWES, M. D. F.; GONÇALEZ, O. L.; PÁSSARO, A. Open innovation as an alternative for strategic development in the aerospace industry in Brazil. **Journal of Aerospace Technology and Management,** v. 2, n. 3, p. 349-360, 2010.

FLICK, U. **An introduction to qualitative research**. 5. Los Angeles: SAGE, 2014.

GAO, P. et al. Unraveling the technological innovation pattern of China's aerospace: synergy innovation. **Chinese Management Studies,** v. 9, n. 4, p. 501-527, 2015.

JACKSON, K.; HAUBELT, L. Adaptive Innovation. **Research-Technology Management,** v. 60, n. 6, p. 36-41, 2017.

KOJIMA, A.; YÁRNOZ, D. G.; DI PIPPO, S. Access to space: A new approach by the united nations office for outer space affairs. **Acta Astronautica,** v. 152, p. 201-207, 2018.

LEUNG, F. New paradigms for the future: keynote perspectives from The R&D Management Conference 2008. **R&D Management,** v. 40, n. 1, p. 4-9, 2009.

LIBERATI, A. et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. **Annals of Internal Medicine,** v. 151, n. 4, p. W65-W94, Aug 2009.

MARQUES, R. A.; OLIVEIRA, L. G. de. Sectoral system of innovation in Brazil: reflections about the accumulation of technological capabilities in the aeronautic sector. In: MALERBA, F.; MANI, S. (Ed.). **Sectoral systems of innovation and production in developing countries**: actors, structure and evolution. Edward Elgar Publishing, p. 156-206, 2009.

MCGUIRE, S.; ISLAM, N. Indigenous technological capabilities, emerging market firms and the aerospace industry. **Technology Analysis & Strategic Management,** v. 27, n. 7, p. 739-758, 2014.

HOBDAY, M. The business of systems integration. London, UK. Oxford University Press, 2003.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Syst Rev,** v. 4, n. 2, p. 1, Jan 1 2015.

OLIVEIRA, L. G. de. **A Cadeia de Produção Aeronáutica no Brasil: uma análise sobre os fornecedores da Embraer**. 2005. 246p. Tese (doutorado). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

_____. O desenvolvimento de projetos de sistemas complexos na indústria aeronáutica: o caso de gestão integrada aplicada ao programa Embraer 170. **CADERNOS EBAPE.BR (FGV)**, v. 7, p. 19-33, 2009

PELICIONI, L. C. et al. Application of a Bibliometric Tool for Studying Space Technology Trends. **Journal of Aerospace Technology and Management,** v. 10, 2018.

PRETE, E. K. E. Considerações para uma Abordagem Sistemática da Emenda Constitucional 85 de 2015. In: SOARES, F. de M. e PRETE, E. K. E. (Ed.). **Marco regulatório em ciência, tecnologia e inovação: texto e contexto da Lei nº 13.243/2016**. Belo Horizonte: Arraes Editores, 2018. p.108.

RITALA, P. et al. Value creation and capture mechanisms in innovation ecosystems: a comparative case study. **International Journal of Technology Management,** v. 63, n. 3/4, p. 244, 2013.

SHAMSEER, L. et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. **BMJ,** v. 350, n. jan02 1, p. g7647, Jan 2 2015.

SILVA, R. C. D. da et al. Tabletop Testbed for Attitude Determination and Control of Nanosatellites. **Journal of Aerospace Engineering,** v. 32, n. 1, p. 04018122, 2019.

SOARES, C. B. et al. Integrative review: concepts and methods used in nursing. **Revista da Escola de Enfermagem da USP,** v. 48, n. 2, p. 335-345, 04 2014.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Integrative review: what is it? How to do it? **Einstein (Sao Paulo),** v. 8, n. 1, p. 102-6, Mar 2010.

STATISTICS TIMES. **GDP Indicators**, 2018. Disponível em: http://statisticstimes.com/economy/gdp-indicators-2018.php. Acesso em: 25 jul. 2019.

SZAPIRO, M.; VARGAS, M. A.; CASSIOLATO, J. E. Avanços e limitações da política de inovação brasileira na última década: Uma análise exploratória. **Revista Espacios**, v. 37, n. 5, 2016.

TERRILE, R. J. Pathways and challenges to innovation in aerospace. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine,** v. 26, n. 12, p. 4-9, 2011.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management

Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management,** v. 14, n. 3, p. 207--222, 2003.
VARESE, E.; CANE, P. From space food research and innovation to immediate advantages for Earth eating habits. **British Food Journal,** v. 119, n. 11, p. 2448-2461, 2017.
VENTURINI, K.; VERBANO, C. A systematic review of the Space technology transfer literature: Research synthesis and emerging gaps. **Space Policy,** v. 30, n. 2, p. 98-114, 2014.
WHITTEMORE, R.; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. **J Adv Nurs,** v. 52, n. 5, p. 546-53, Dec 2005.
ZENG, D.; HU, J.; OUYANG, T. Managing Innovation Paradox in the Sustainable Innovation Ecosystem: A Case Study of Ambidextrous Capability in a Focal Firm. **Sustainability,** v. 9, n. 11, p. 2091, 2017.

Tabela 3: Artigos Incluídos na Revisão Sistemática

Grupo	Ano	Autor	Título	Citações	Periódico
4.1.1	2018	Kojima et al	Access to space: A new approach ...	0	ACTA ASTRONAUT
4.1.1	2017	Varese e Cane	From space food research and ...	0	BRIT FOOD J
4.1.2	2017	Coste e Gatzke	A novel approach to innovation ...	0	NEW SPACE
4.1.2	2010	Leung	New paradigms for the future ...	3	R&D MANAGE
4.1.2	2013	Ritala et al	Value creation and capture ...	45	INT J TECHNOL MANAGE
4.1.2	2011	Terrile	Pathways and challenges to ...	2	IEEE AERO EL SYS MAG
4.1.3	2015	Alberti e Pizzurno	Knowledge exchanges in ...	15	COMPET REV
4.1.3	2017	Alberti e Pizzurno	Oops, I did it again! Knowledge ...	6	EUR J INNOV MANAG
4.1.3	2014	Armellini et al	The open innovation journey ...	3	J AEROSP TECHNOL MAN
4.1.3	2019	Arnaldo Valdes et al	Flight path 2050 and ACAE goals ...	0	SUSTAINABILITY-BASEL
4.1.3	2010	Brandão Neto e Oliveira	Proposta de um método para ...	0	J AEROSP TECHNOL MAN
4.1.3	2017	Braziotis et al	Strategic and operational ...	0	PROD PLAN CONTROL
4.1.3	2019	Cerezo-Navaez et al	Standardizing innovation manag ...	0	PROCESSES
4.1.3	2010	Dewes et al	Open innovation as an alternative ...	3	J AEROSP TECHNOL MAN
4.1.3	2015	Dewes et al	Innovation policies in Brazilian ...	2	SPACE POLICY
4.1.3	2015	Gao et al	Unravelling the technological ...	3	CHIN MANAG STUD
4.1.3	2017	Jackson e Haulbelt	Adaptive innovation the fabric ...	0	RES TECHNOL MANAGE
4.1.3	2015	Mcguire e Islam	Indigenous technological capab ...	4	TECHNOL ANAL STRATEG
4.1.3	2017	Zeng et al	Managing innovation paradox ...	3	SUSTAINABILITY-BASEL
4.1.4	2018	Pelicioni et al	Application of a bibliometric ...	1	J AEROSP TECHNOL MAN
4.1.4	2019	Silva et al	Tabletop testbed for attitude ...	0	J AEROSPACE ENG

Tabela 4: Periódicos Incluídos na Revisão Sistemática

Periódico	Artigos	ISSN	Qualis	JCR	Citescore	SJR
ACTA ASTRONAUT	1	0094-5765	A2	2,482	2,99	0,907
BRIT FOOD J	1	0007-070X	A2	1,717	2,08	0,485
CHIN MANAG STUD	1	1750-614X	-	0,936	1,18	0,248
COMPET REV	1	1059-5422	-	-	2,15	0,632
EUR J INNOV MANAG	1	1460-1060	A1	1,793	2,08	0,618
IEEE AERO EL SYS MAG	1	0885-8985	-	2,113	1,87	0,432
INT J TECHNOL MANAGE	1	0267-5730	B3	1,160	-	0,502
J AEROSPACE ENG	1	0893-1321	-	-	1,75	0,429
J AEROSP TECHNOL MAN	4	1984-9648	B2	-	1,03	0,263
NEW SPACE	1	2168-0256	-	-	0,78	0,320
PROCESSES	1	2227-9717	B4	1,963	-	-
PROD PLAN CONTROL	1	0953-7287	A1	3,340	4,38	1,427
R&D MANAGE	1	0033-6807	B1	2,354	2,99	1,163
RES TECHNOL MANAGE	1	0895-6308	-	1,407	1,14	0,620
SPACE POLICY	1	0265-9646	A2	0,582	0,70	0,286
SUSTAINABILITY-BASEL	2	2071-1050	A2	2,592	3,01	0,549
TECHNOL ANAL STRATEG	1	0953-7325	A1	-	2,050	0,724

CONCESSÃO DE AEROPORTOS E QUALIDADE DE SERVIÇOS – CASO BRASIL

Priscilla Thábata Alves da Silva
Mestre em Governança e Desenvolvimento pela Escola Nacional de Administração Pública, Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, SCS Quadra 09, Lote C, Edifício Parque Cidade Corporate, Torre A – Asa Sul – Brasília, Cep 70.308-200, Telefone: (61) 3314-4470, e-mail: priscilla.silva@anac.gov.br

Resumo: O artigo pretende apresentar, brevemente, as informações acerca do processo de Concessão de Infraestrutura Aeroportuária no Brasil, em especial, as relacionadas ao monitoramento da qualidade dos serviços prestados. As conclusões deste esforço demonstram que ao longo dos últimos anos o instituto da Concessão tem sido a escolha governamental para lidar com as questões de realização de investimentos em infraestrutura e a promoção da qualidade dos serviços prestados nos terminais aeroportuários no Brasil.

Palavras-chave: Aeroportos; Agências Reguladoras; Concessão de Infraestrutura Aeroportuária, Qualidade de serviço; Qualidade de serviço em aeroportos.

Introdução

O presente artigo apresenta informações sobre o processo de concessão de infraestrutura aeroportuária no Brasil, assim como discute a atuação exercida pela Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC na implementação dessa política pública setorial.

Desta forma, cumpre assinalar que os aeroportos constituem, juntamente com as facilidades para navegação aérea, a infraestrutura do sistema de transporte aéreo (BRASIL, 1973). Como tal, representam componentes críticos para o crescimento sustentável deste sistema. Nesse contexto, a aptidão dos aeroportos em oferecer capacidade e qualidade de serviços a custos razoáveis é determinante para uma resposta efetiva ao crescimento da demanda nos últimos anos, bem como atender a demanda prevista (HOLT et al., 2006)

No caso brasileiro, o advento das concessões buscou estimular a participação da iniciativa privada na operação dos aeroportos com o objetivo de propiciar que fossem adotadas melhores práticas na gestão destes ativos, bem como permitir a adoção de soluções criativas voltadas a melhoria da infraestrutura e da qualidade dos serviços prestados.

Observa-se, ainda, a estratégia governamental de manter como sócia destes ativos a Infraero – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária e até 2011 responsável pela administração e gestão dos principais aeroportos brasileiros. Infere-se que o objetivo seria permitir que a estatal tivesse acesso a estas boas práticas e pudesse reproduzi-las nos aeroportos que permaneceram sob a gestão do Estado. Deste modo, seria possível promover o estímulo à concorrência e, por conseguinte, a melhoria da infraestrutura e da qualidade dos serviços públicos prestados.

Diante deste contexto, a descentralização de serviços públicos, por meio de concessões ao setor privado, foi a alternativa escolhida para estimular a concorrência e promover melhorias no setor (SALGADO; 2010). A adoção dessa política para exploração da infraestrutura aeroportuária pressupõe a presença do Poder Público na elaboração de metas e na definição das políticas regulatória e fiscalizatória a serem observadas e aplicadas aos aeroportos brasileiros.

Do arcabouço jurídico relacionado à Concessão de Infraestrutura Aeroportuária no Brasil

Para melhor compreender como ocorre o processo de transferência da execução do serviço público do Estado para um agente privado, torna-se importante externar o conceito do que seria concessão de serviço público.

Para Bandeira de Mello, concessão é o instituto em que um serviço público é delegado pelo Estado à iniciativa privada, por sua livre vontade, através de um contrato (BANDEIRA DE MELLO, 2010). Complementarmente, seguindo esse raciocínio, Justen Filho (2011) perfilha que *"a concessão de serviço público é um instrumento de implementação de políticas públicas"* e pode ser vista como a união de esforços entre o poder público e a iniciativa privada com o objetivo de alcançar eficácia na aplicação dos recursos econômicos, bem como melhorar a qualidade e eficiência na prestação destes serviços.

Sob o aspecto legal, o instituto da concessão está previsto no art. 175 da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, que dispõe *"incumbe ao poder público, na forma da lei, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, sempre através de licitação, a prestação de serviços públicos"*. Em complemento ao dispositivo constitucional ora citado, a regulamentação destes institutos ocorreu por meio da edição da Lei nº 8.987/95, ou, como é comumente conhecida, "Lei Geral das Concessões", que determina como esses regimes devem ser aplicados nos processos de desestatização, em consonância com o Programa Nacional de Desestatização - PND, reformulado na gestão gerencial pela Lei 9.491 de 1997.

Observa-se ainda que o art. 21. XII "c", da Constituição da República Federativa do Brasil – CRFB de 1988, dispõe que é de competência da União explorar, diretamente ou mediante autorização, concessão ou permissão, entre outros serviços, a navegação aérea, aeroespacial e a infraestrutura aeroportuária, sendo, assim, permitido que a União transfira, por meio de autorização, concessão ou permissão, a exploração da infraestrutura aeroportuária para a iniciativa privada.

No caso do setor aéreo, o regime de concessão também está previsto no Código Brasileiro de Aeronáutica – CBA/86, o qual prevê em seu art. 36, IV, que os aeródromos públicos serão construídos, mantidos ou explorados, dentre outros, por meio de concessão ou autorização, reiterando o papel da iniciativa privada na administração e exploração do serviço público.

Com relação à atuação da Agência Nacional de Aviação Civil no processo de concessão, depreende-se da leitura conjunta do artigo 3º, inciso II, e do artigo 8º, inciso XXIV, da Lei 11.182, de 27 de setembro de 2005, que é competência da ANAC conceder a infraestrutura aeroportuária brasileira, observadas, para tanto, as orientações, diretrizes e políticas estabelecidas pelo governo federal, especialmente aquelas advindas de decreto presidencial ou demandadas pelo Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil.

Neste cenário, pontua-se que a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC exerce a função regulatória, com o objetivo de promover a eficiência e a defesa do mercado e das liberdades econômicas das pessoas vinculadas à prestação de serviços públicos, bem como atuar para que a cobrança por esses serviços seja pautada, dentre outros, nos princípios da razoabilidade e da modicidade das tarifas.

Outrossim, o instituto da Concessão de serviços públicos no Brasil, em conformidade com o disposto na legislação vigente, deverá ser formalizado mediante contrato, e terá de ser precedido de licitação, estando o futuro vencedor sujeito à fiscalização do poder concedente, responsável legal pelo gerenciamento dos contratos de concessão decorrentes da desestatização de aeroportos.

Logo, a partir do ano de 2011, em decorrência do fortalecimento do programa de concessões de diversos setores de infraestrutura, coube à ANAC uma atuação mais significativa quanto à implementação das políticas públicas referentes às concessões de infraestrutura aeroportuária, com a finalidade de estimular os benefícios e retornos esperados ao Estado e à sociedade.

Desse modo, a atual regulamentação para aeroportos brasileiros objetos de concessão contempla questões de qualidade de serviços e tem por objetivo estimular os benefícios e retornos esperados ao Estado e à sociedade. Assim, e a partir dos marcos legais e institucionais definidos, identifica-se uma transformação da maneira que Infraestrutura Aeroportuária no Brasil passa a ser gerenciada.

Contextualização das questões afetas à Infraestrutura Aeroportuária no Brasil

No que tange à Concessão de Aeroportos, destaca-se que, no trilhar processual, embora haja legislação específica sobre a matéria de licitações e contratos para permissão ou concessão de serviço públicos relacionados à infraestrutura aeroportuária, aplica-se, de maneira subsidiária, os procedimentos de licitação dispostos na Lei nº 8.666/93, desde que não conflitem com a legislação específica sobre o assunto.

Além disso, tendo em vista a importância social que recai sobre o tema, legitimou-se, por meio da lei de processo administrativo, a participação administrativa de indivíduos e de grupos sociais externos à Administração Pública – por meio de processos de consulta pública e/ou audiência pública, em momento anterior à publicação do edital e contrato, como forma de se obter às mais variadas opiniões, aproximando, assim, as decisões do Poder Público aos anseios populares e do mercado.

Com relação às condições para à concessão, elencadas no Decreto n° 7.624, de 22 de novembro de 2011, vale pontuar que houve a intenção do poder público em prever, para fins de exploração da infraestrutura aeroportuária pela iniciativa privada, a correlação direta entre a remuneração por meio das tarifas aeroportuárias com a qualidade do serviço prestado, conforme segue:

> Art. 7º Na exploração de aeródromo concedido**, as tarifas aeroportuárias serão aplicadas conforme regime tarifário estabelecido pela ANAC**.
> § 1° **O regime tarifário dos contratos de concessão deverá** prever a transferência de ganhos de eficiência e produtividade aos usuários, e **considerar aspectos de qualidade na prestação de serviço. (grifo nosso)**

Por derradeiro, o amadurecimento das regras dispostas nos Contratos de Concessão, em especial àquelas afetas à qualidade dos serviços prestados, começou em 2011 com o primeiro aeroporto concedido no Brasil – São Gonçalo do Amarante (SBSG), teve continuidade em 2012, com as concessões dos aeroportos de Brasília (SBBR), Guarulhos (SBGR) e Campinas (SBKP), avançou com o terceiro ciclo de concessões ocorrido em 2014, com os aeroportos de Confins (SBCF) e Galeão (SBGL) e seguiu com as concessões ocorridas em 2017 que contemplaram os aeroportos de Porto Alegre (SBPA), Florianópolis (SBFL), Salvador (SBSV) e Fortaleza (SBFZ).

Já, no ano de 2019, foi realizada a concessão de mais 12 (doze) aeroportos localizados nas regiões Centro-Oeste (Cuiabá, Sinop, Rondonópolis e Alta Floresta, todos em Mato Grosso), Nordeste (Recife/PE, Maceió/AL, João Pessoa/PB, Aracaju/SE, Campina Grande/PB e Juazeiro do Norte/CE) e Sudeste (Vitória/ES e Macaé/RJ). Neste caso, o governo brasileiro migrou da modelagem de concessão individual para a concessão de ativos por meio de blocos. Os processos administrativos encontram-se em curso e a expectativa é que os contratos de concessão sejam assinados ainda no segundo semestre de 2019. Caso isso ocorra, o Brasil terá, ainda em 2019, o total de 22 (vinte e dois) aeroportos concedidos à iniciativa privada por meio de concessão.

Concessão de Infraestrutura Aeroportuária no Brasil e a melhoria da qualidade dos serviços

No escopo brasileiro, cumpre assinalar que a imperiosa necessidade de se considerar os aspectos de qualidade de serviços na exploração de infraestrutura submetida ao regime de Concessão consta expressamente da Lei 8.987/95:

> Art. 23. São cláusulas essenciais do contrato de concessão as relativas:
> (...)
> III - aos critérios, indicadores, fórmulas e parâmetros definidores da **qualidade do serviço**;
> (...)
> (grifo nosso)

Adicionalmente, foi determinado pelo Poder Público, no bojo do Decreto nº 7.624, de 2011, que o regime tarifário adotado nos Contratos de Concessão de infraestrutura aeroportuária deveria considerar aspectos de qualidade na prestação de serviço.

Para materializar o comando legal e firmar a importância da questão para o país, os Contratos de Concessão de Aeroportos estabelecem os critérios relacionados ao monitoramento da qualidade dos serviços, sendo que, dentre estes e a depender do aeroporto, encontra-se a figura dos Indicadores de Qualidade de Serviço – IQS, os quais poderão ter seus resultados de desempenho como componentes da fórmula de reajuste das seguintes tarifas aeroportuárias: embarque, conexão, pouso e permanência.

Portanto, compete à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) acompanhar a aferição dos resultados mensais do IQS coletados nos aeroportos para determinar o Fator de Qualidade - Fator Q das Concessionárias, a ser considerado na determinação do reajuste anual das tarifas aeroportuárias.

Sendo assim, por meio de um mecanismo de incentivo instituído nos contratos de concessão, denominado como Fator de Qualidade de Serviço (Fator Q) que, será realizada avaliação do desempenho através dos IQS mensurados nos Terminais de Passageiros dos aeroportos. O Fator Q poderá afetar de forma positiva ou negativa o resultado do reajuste anual das tarifas aeroportuárias e varia de 7,5 % (sete e meio por cento) de decréscimo a 2% (dois por cento) de acréscimo no reajuste anual das tarifas.

Em face do exposto, a primeira modelagem de regulação de qualidade de serviço em aeroportos foi positivada em instrumento contratual e teve origem no processo de concessão do Aeroporto de São Gonçalo do Amarante, em 2011, Naquele Contrato, o Estado dispôs sobre a forma de mensurar o desempenho com relação as instalações e serviços disponibilizados aos usuários pelo aeroporto.

A primeira proposta de modelagem do mecanismo de incentivo voltado a melhoria da qualidade teve como premissas básicas: (i) incorporar questões relacionadas à qualidade de serviço para o lado ar a serem aferidas por meio de parâmetros objetivos (sendo que o enfoque eram as questões relacionadas ao tempo de espera (atraso) nos componentes pista e pátio); (ii) possibilitar que determinados pontos fossem considerados para fins de avaliação (tais como a medição objetiva da disponibilidade de equipamentos e do tempo de espera em componentes operacionais do Terminal de Passageiros); (iii) definir as métricas de decréscimos para cada indicador integrante do Fator de Qualidade – Fator Q e, consequentemente, estabelecer o valor máximo de decréscimo deste Fator; e (iv) delimitar a regra de bonificação da Concessionária, atrelada ao alcance simultâneo de todas as métricas dispostas no contrato para todos os componentes, sendo definido ainda o valor máximo de bonificação do Fator Q.

Porém, e considerando como intrínsecas às questões de qualidade o objetivo de prover melhorias e aprimorar as práticas regulatórias, identifica-se que no processo de concessão dos aeroportos de Brasília, Guarulhos e Viracopos (2012) foram realizadas adequações ao modelo de regulação no intuito de tornar o mecanismo de incentivo mais representativo com a realidade observada nos aeroportos.

As principais adequações observadas naqueles processos referem-se basicamente: (i) à criação de um Plano de Qualidade de Serviço – PQS e sua correlação direta com o Fator Q; (ii) o Fator Q que passa a ser medido por meio de 15 indicadores, sendo que, dentre estes, apenas alguns serão considerados para bonificação; (iii) adequação do mecanismo de bonificação por meio do Fator Q, que passará a ser o resultado da soma dos valores de acréscimos associados aos itens selecionados, assim como ocorre nos casos de decréscimo do Fator Q; (iv) nova disposição sobre como deverão ser aferidos os itens relacionados aos IQS nomeados como “serviços diretos”; “disponibilidade de equipamentos e instalações” e, “pesquisa de satisfação dos passageiros”.

Ainda neste trilhar de aprendizagem, durante as discussões acerca do processo de desestatização dos Aeroportos de Galeão e Confins, que compuseram a rodada de concessões realizada no ano de 2014, e após a coordenação e diálogo com os órgãos do Governo Federal, que compõe o arranjo institucional que permeia o processo de concessão, restou consignada a demanda

para que as obrigações contratuais referentes à melhoria na qualidade dos serviços prestados fossem fortalecidas.

Deste modo, e em função da diretriz política estabelecida, verifica-se que, no bojo dos novos instrumentos jurídicos, passou a vigorar a figura de dois novos planos a serem desenvolvidos e apresentados pelas Concessionárias, quais sejam, o Plano de Eventos Especiais – PEE e o Plano de Contingências para Situações Excepcionais – PCSE.

Destaca-se que foram promovidas, ainda, adequações no Plano de Qualidade de Serviço – PQS, a fim de tornar o documento mais robusto e diretivo, além de incorporar práticas tais como a previsão de definição de padrões de desempenho acordados entre a Concessionária e as companhias aéreas.

O aprimoramento da regulação da qualidade dos serviços prestados foi composto, ainda, pela inclusão de dois indicadores de monitoramento diretamente relacionados com a performance das questões afetas ao lado ar, quais sejam, o atendimento em ponte de embarque (percentual de passageiros atendidos em ponte de embarque por tipo de operação – doméstica ou internacional) e a taxa de fluxo de pistas (acompanhamento das situações que poderiam levar a redução da capacidade do sistema de pistas e que possam impactar nas operações).

Outro ponto de grande relevância desta modelagem é a forma de incidência do fator Q nos reajustes tarifários anuais. Ao contrário da proposta adotada nas Concessões dos aeroportos de Brasília, Guarulhos e Viracopos, na qual a incidência deste fator, para fins de decréscimo tarifário, ocorreria de maneira escalonada, para os aeroportos de Confins e Galeão optou-se por definir a incidência direta do fator Q nos reajustes tarifários já no início das Concessões.

Por fim, e no que concerne às obrigações que compõem a rodada de concessões ocorrida no ano de 2017, vale marcar que também foram realizados ajustes ao texto contratual no intuito de prover melhor clareza e sintonia entre a regulação proposta e os objetivos esperados.

Dentre os pontos que foram objeto de intervenção, cabe destaque para as adequações às disposições afetas ao Plano de Qualidade de Serviço – PQS e ao Relatório de Qualidade de Serviço – RQS com a finalidade de propiciar maior clareza quanto à aplicabilidade das obrigações contratuais. Para os Indicadores de Qualidade de Serviço – IQS, procedeu-se a alteração (inclusão/supressão/ajustes) de componentes/indicadores que iriam compor o Fator de Qualidade – fator Q e assinalou-se algumas novas diretrizes para sua coleta e cálculo.

Já a definição sobre a incidência do Fator Q nos reajustes tarifários, o modelo de concessão adotado optou por prever que a aplicação deste fator ocorrerá, com 100% de seus efeitos, a partir do 4º reajuste anual das tarifas e a partir de então, diferentemente do modelo escalonado ou do modelo de aplicação parcial já adotados.

Em face do acima exposto, e a fim de possibilitar uma visão geral das referências até aqui apresentadas, a figura abaixo compila os principais aspectos de qualidade de serviço estabelecidos nos Contratos de Concessão de aeroportos no período de 2011 a 2017:

Figura 1 – Principais aspectos de qualidade de serviço – Contratos de Concessão de aeroportos/Brasil: período de 2011 a 2017.



Fonte: dados compilados pela autora

Em face do acima exposto, pontua-se que o marco regulatório brasileiro teve origem em 2011 e, quando do estabelecimento da regulação técnica, selecionou os indicadores que melhor correspondiam ao atendimento do objetivo regulatório.

Com relação à classificação dos aspectos coletados nos aeroportos, resta demonstrado nos Contratos de Concessão que, no Brasil, a medição por desempenho reside basicamente nos aspectos objetivos – relacionados com a questões de disponibilidade de equipamentos e instalações (elevadores, escadas rolantes, etc.) e aqueles afetos a aspectos como tamanho da fila e o tempo de espera – e aspectos subjetivos – com enfoque na satisfação dos passageiros e que podem ser monitorados por meio de pesquisas de satisfação.

No intuito de apresentar, de maneira consolidada, os aspectos referentes à qualidade de serviços coletados nos aeroportos concedidos e a prática regulatória em uso, a tabela abaixo retrata os aspectos gerais de qualidade de serviço monitorados no período de 2011 a 2017.

Quadro 1: Indicadores de qualidade de serviço e a incidência da regulação por incentivo

BRASIL (2011-2017) Brasília; Confins; Florianópolis; Fortaleza; Galeão; Guarulhos; Porto Alegre; Salvador; São Gonçalo do Amarante e Viracopos	
ASPECTOS MEDIDOS POR MEIO DOS IQS	REGULAÇÃO POR INCENTIVO
Serviços Diretos (% tempos de espera)	Fator Q - Incidência no Reajuste tarifário anual Até 7,5% de decréscimo e até 2% de bônus
Disponibilidade de Equipamentos e Instalações (consideradas também as Instalações de lado ar % disponibilidade)	Falha de desempenho permanente (penalidade – por indicador com baixo desempenho por determinados períodos consecutivos ou alternados)
Pesquisa de Satisfação dos Passageiros (Percepção dos passageiros)	Falha persistente no desempenho dos IQS – incidência no fator Q anual

Fonte: dados compilados pela autora

Desta maneira, medir o desempenho do aeroporto pode ser visto como uma atividade crítica de gerenciamento e se propõe a auxiliar tanto os gestores dos aeroportos quanto os governos na medição do desempenho aeroportuário direcionados, em especial, para três objetivos principais: medir a eficiência financeira e operacional, avaliar estratégias alternativas de investimento e permitir que os governos regulem a atividade aeroportuária (FEURER; CHAHARBAGHI, 2015).

Contudo, não existe uma metodologia padrão baseada em um conjunto completo de indicadores capaz de avaliar o desempenho do serviço aeroportuário. Por esta razão, e considerando a importância de que seja possível o aprimoramento das ferramentas de regulação ao longo do tempo, os contratos de concessão preveem o instituto denominado Revisão dos Parâmetros da Concessão – RPC, prerrogativa que permite, ao regulador, incorporar aos Contratos de Concessão as melhorias de prática regulatória e promover, ainda, os ajustes nos incentivos contratuais.

Para as questões de qualidade de serviço, este mecanismo possibilita que a experiência adquirida na gestão e fiscalização dos contratos de concessão, assim como os eventuais avanços científicos e tecnológicos acerca da qualidade de serviços e seus conceitos, sejam atualizados para melhoria da qualidade dos serviços prestados e, por consequência, ao atendimento da política pública setorial.

Por fim, e como reflexo do processo de aprimoramento e evolução da regulação, para as concessões realizadas no ano de 2019, o Regulador optou por estabelecer uma modelagem diferenciada de concessão que abarca no mesmo bloco aeroportos de uma mesma região, mas que apresentam diferentes perfis de movimentação de passageiros/ano.

Nesta nova forma de regulação existe a previsão de um Fator de Qualidade – Fator Q, apenas para os aeroportos com processamento igual ou superior a 5 milhões de passageiros/ano. Os demais aeroportos, a depender de seu porte (aeroportos com processamento de pax/ano de valor igual ou maior de 1mi a 5mi/pax/ano, e aeroportos com processamento inferior a 1 mi/pax/ano) terão aspectos de qualidade monitorados por meio de pesquisa de satisfação de passageiros vinculados e/ou por

sistemas de registros de reclamações dos usuários, porém sem incidência de um fator de qualidade anual – Fator Q.

Vale destacar que a composição do conjunto que irá formar cada bloco é caracterizada por ativos com perfis bastante heterogêneos, de modo que os aspectos de qualidade de serviço a serem monitorados deverão ser capazes de abordar não apenas as demandas relacionadas à prestação do serviço, mas também estejam aptos a gerar informações que permitam a identificação, classificação e tratamento estruturado dos eventuais gargalos, no intuito de garantir que haja o planejamento de ações mitigadoras para os problemas apontados.

Conclusão

Este trabalho buscou apresentar, brevemente, como ocorre o processo de Concessão de aeroportos no Brasil e o modelo regulatório de qualidade de serviço. Os temas "Regulação" e "Qualidade de serviços", objetos deste estudo, são assuntos recorrentes e relevantes na literatura e se mostram como ferramentas de desenvolvimento consideradas essenciais para a economia dos países.

No que se refere à realidade observada no setor de aeroportos, foram apresentadas informações sobre como ocorre o monitoramento da qualidade dos serviços prestados nos aeroportos concedidos, o que inclui a utilização de indicadores objetivos e subjetivos. Desta maneira, é possível observar a adoção de melhores práticas no setor com o objetivo de definir incentivos voltados à melhoria dos serviços prestados.

Com base no acima exposto, pode-se verificar que no contexto da concessão de aeroportos, a regulação econômica por incentivos tem sido utilizada como forma de intervenção no mercado brasileiro. Desta forma, o modelo utilizado no Brasil encontra-se alinhado com as políticas setoriais e propõe-se a ir além de realizar apenas o monitoramento da qualidade dos serviços prestados, pois, por meio da avaliação dos aspectos que compõem a qualidade dos serviços ofertados aos usuários, a regulação posiciona-se, também, como instrumento de apoio à gestão aeroportuária.

Conclui-se, então, que a regulação de qualidade de serviços em aeroportos é inovação trazida pela política pública setorial, materializada no bojo dos Contratos de Concessão, e decorre do empenho e esforço da ANAC em definir uma ferramenta regulatória compatível com o endereçamento e mitigação da problemática identificada.

Referências Bibliográficas

ANAC. Concessões de aeroportos. Disponível em: < http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/concessoes> Acesso em mai. 19.

BANDEIRA DE MELLO, Celso Antônio. **Curso de Direito Administrativo**. 27 ed. São Paulo: Malheiros Editores, 2010.

BRASIL, 1973. Lei nº 6.009, de 26 de dezembro de 1973. Dispõe sobre a utilização e a exploração dos aeroportos, das facilidades à navegação aérea e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/1970-1979/L6009.htm> Acesso em set. 2018.

_____, 1986. Lei nº 7.565 de dezenove de dezembro de 1986. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 19 dez. 1986. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7565.htm

_____, 1988. Constituição. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

_____, 1993. Lei n° 8.666, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 21 jun. 1993. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8666cons.htm

_____, 1995. Lei nº 8.987 de 13 de fevereiro de 1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 13 fev. 1995. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8987cons.htm

_____, 1997. Lei nº 9.491, de 9 de setembro de 1997. Altera procedimentos relativos ao Programa Nacional de Desestatização, revoga a Lei n° 8.031, de 12 de abril de 1990, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 9 set. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9491.htm

_____, 2005. Lei nº 11.182 de vinte e sete de setembro de 2005. Cria a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 27 set. 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11182.htm

_____, 2011. Decreto n° 7.624, de 22 de novembro de 2011. Dispõe sobre as condições de exploração pela iniciativa privada da infraestrutura aeroportuária, por meio de concessão. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 22 nov. 2011. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Decreto/D7624.htm

FEURER, R.; CHAHARBAGHI, K. Performance Measurement in Airports: A Critical International Comparison. v. 6, n. 4, p. 264–275, 2015.

HOLT, D.; HORNCASTLE, A.; PHILLIPS, J. Capital efficiency at airports and related services. Utilities Policy, v. 14, n. 4, p. 251–261, 2006.

JUSTEN FILHO, Marçal. **Curso de Direito Administrativo**. 7. ed. rev. e atual. 1 reimp. Belo Horizonte: Fórum, 2011.

SALGADO, L.H., Borges, E.B.P. **Análise de Impacto Regulatório: uma abordagem exploratória.** Texto para Discussão nº 1463. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Rio de Janeiro; IPEA. 2010.

PREVISÃO DA DEMANDA DE PASSAGEIROS PARA O AEROPORTO REGIONAL DE UBERABA A PARTIR DA APLICAÇÃO DE MODELO GRAVITACIONAL

Matheus Zamboni Zaffalon, Eng. Master Student
C-MAT, University of Antwerp, Belgium
matheuszaffalon07@hotmail.com

Nathane Ana Rosa Negri, Engenheira Mestre
INFRAWAY Engenharia
nathanenegri@gmail.com

Viviane Adriano Falcão, Professora Doutora
Universidade Federal de Pernambuco
viviane.afalcao@ufpe.br

RESUMO

A movimentação de passageiros no Aeroporto de Uberaba vem diminuindo desde 2014, diferente dos aeroportos concorrentes. Sabendo que aconteceram muitas mudanças nas rotas, inclusive com a saída de companhias aéreas. Este estudo tem como objetivo validar o modelo gravitacional para previsão da demanda de passageiros entre Uberaba e outras cidades. O estudo partiu de uma análise do cenário econômico e social da região e das cidades de destino para depois ser aplicado o modelo gravitacional, que nunca fora aplicado para estimar a demanda de passageiros em aeroportos brasileiros. Com base nessas previsões, as companhias aéreas podem tomar decisões sobre novas rotas ou voos adicionais em rotas existentes. A estimativa do modelo gravitacional mostra que o destino mais demandado em Uberaba é para Campinas e o mesmo havia sido excluído em 2017/2018, causando uma grande diminuição de seus usuários em um curto período, porém caso ainda existisse poderia atrair um movimento de cerca de 45 mil passageiros em 2018. **Palavras-chave**: Passageiro Demanda, modelo de gravidade, aeroporto regional, origem-destino, atração.

ABSTRACT

The flow of passengers at Uberaba Airport had decreasing since 2014 unlike competing airports. There have been many changes in routes, including leaving airlines. This study aims to validate the gravitational model to forecast passenger demand between Uberaba and other cities. The study started from an analysis of the economic and social scenario of the region and the destination cities and then we applied the gravitational model, which was never applied to estimate passenger demand at Brazilian airports. Based on these forecasts, airlines can make decisions about new routes or additional flights on existing routes. The estimate of the gravitational model shows that the most demanded destination in Uberaba was Campinas had been excluded in 2017/2018, causing a large decrease in a short period, but if Campinas route existed yet, would have a flow of around 45 thousand passenger in 2018. **Keywords:** Passenger Demand, Gravity Model, Regional Airport, Origin-Destination, Attraction.

1. INTRODUÇÃO

O modal aéreo, além de desempenhar um papel muito importante no cenário econômico de um país, é o meio de transporte mais rápido e eficiente para cargas de alto valor agregado, mas também para passageiros, em grandes distâncias vem superando qualquer outro modal na era denominada de alta globalização.

Segundo o relatório da Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC, 2017), em 2017 o Brasil teve um fluxo de 205,91 milhões de passageiros nos aeroportos (embarque e desembarque). Retratando do Aeroporto de Uberaba - Mário de Almeida

Franco, o mercado interno cresceu 2,12% no respectivo ano.

Entender os principais fluxos, isto é, de origem e destino de um aeroporto é um dos principais fatores para o bom planejamento do sistema aeroportuário. Segundo Kodanda e Verma (2011), a busca de origem-destino de um aeródromo é crucial para sua previsão de tráfego anual, assim como para a sua hierarquia em relação a outros aeroportos, seja ele regional ou não e se tem potencial para ser um *hub* para alguma companhia aérea.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), em 2018 Uberaba apresentava uma população de 330.361 habitantes, consolidando-se como a oitava cidade mais populosa de Minas Gerais. Seu aeroporto, em 2017, teve fluxo de apenas 61.494 passageiros regulares e não regulares (INFRAERO, 2018). Vale ressaltar que a sua movimentação de passageiros vem caindo ano após ano.

Muitos passageiros do aeroporto relatam dificuldades em aceder a destinos, devido ao pequeno número de voos que o aeroporto em questão fornece. Em 2018, o aeroporto operava voos para apenas um destino, o Aeroporto Internacional de Belo Horizonte - Confins, e apenas uma empresa atendia a cidade, a Azul Brazilian Airlines.

Portanto, este trabalho tem como foco buscar entender o estado atual do Aeroporto de Uberaba, pois, considerando a população da cidade, considera-se que há uma demanda inexpressiva. Até pelo caso, de existir cidades com similar população onde o aeroporto é bem mais movimentado do que o Aeroporto de Uberaba.

Sendo assim, há a necessidade de identificar a demanda provável para cada destino e com isso suscitar o interesse de novas rotas por parte da administração do aeroporto, o que pode contribuir com benefícios na economia regional, além de aumentar a demanda do aeroporto como um todo.

Desta forma, este trabalho tem por objetivo validar o modelo gravitacional para prever demanda por transporte aéreo do Aeroporto de Uberaba para cidades destinos. Buscando identificar as variáveis que influenciam na demanda de passageiros em voos domésticos por meio de um estudo econométrico.

2. TRANSPORTE AÉREO

O transporte aéreo mundial movimenta ao longo do ano bilhões de passageiros e toneladas de cargas, sendo que, a Europa e América do Norte se destacam como usuários do serviço. Já na Ásia, impulsionados por China, Japão, Oriente Médio e Tigres Asiáticos (Hong Kong, Coreia do Sul, Cingapura e Taiwan) o crescimento no mercado aéreo tam bém é notável (IATA, 2017).

Investimentos em infraestrutura de transporte são transformados em crescimento econômico. Nos países desenvolvidos, isto é, que apresentam melhores infraestruturas, o transporte representa 6% a 12% do PIB nacional (Produto Interno Bruto). Isso porque a mobilidade gera maior produtividade e competitividade de bens e serviços na macroeconomia (SENNA, 2014). Além disso, garante maior disponibilidade de recursos e mercados para mais pessoas.

Analisando outra perspectiva, quanto maior a infraestrutura aeroportuária, maior a demanda por esse meio de transporte, consequentemente, maior a produção, a empregabilidade e a disponibilidade de créditos do setor. Todos estão relacionados a um melhor desempenho macroeconômico, principalmente por meio do crescimento do PIB. Portanto, o impacto do sistema de transporte aéreo sobre o crescimento econômico é um processo cíclico, dependendo não apenas da demanda de passageiros, mas de outras atividades econômicas.

De acordo com a IATA (2019), como mostra a Figura 1, os mercados de viagens aéreas estão atingindo a maturidade na maioria das regiões em que os países apresentam economia desenvolvida, como França, Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos. O aumento na frequência de viagens aéreas, por cidadão médio, ocorrerá principalmente nos mercados emergentes do mundo (Brasil, China, Etiópia, Índia, Indonésia, México, Nigéria e Rússia). Essa é uma das conclusões da análise da IATA em

sua mais recente previsão de passageiros aéreos

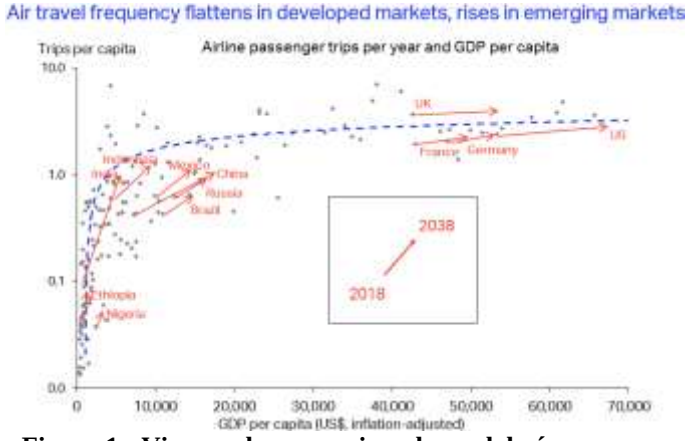


Figura 1: Viagens de passageiros do modal aéreo por ano (2018-2038) e PIB per capita (IATA, 2019).

3. TRANSPORTE AÉREO BRASILEIRO

Segundo a ANAC (2017), as empresas brasileiras transportaram 98,98 milhões de passageiros pagantes em 2017, incluindo voos domésticos e internacionais. A ocupação de aeronaves para voos domésticos foi de 81,5%, em que apresentou um crescimento de 1,8% em relação ao ano anterior.

Uma característica das indústrias intensivas em capital é o alto custo fixo de operação. O mesmo ocorre ao mercado aéreo. Hoje, o Brasil é o terceiro país com o maior mercado doméstico de transporte aéreo. Essa realidade só foi possível devido ao aumento gradual da demanda no setor e, consequentemente, maior produtividade na operação das companhias aéreas. Isso provoca uma redução nos custos médios das passagens aéreas pois, quanto maior a produtividade no setor, menores são os custos em grande escala. Portanto, de 2000 a 2014, o número de passageiros no setor aumentou em 210,8% no Brasil (CNT, 2015).

A infraestrutura aeroportuária é essencial para o transporte aéreo, uma vez que existe uma necessidade básica de serviços para a mobilidade de passageiros e transporte de cargas. A instalação e expansão de um aeroporto tem um impacto direto na qualidade de vida da região próxima a ele, além de impactar o ambiente ao seu redor. Além disso, todo o aeroporto interfere na economia, sociedade e política da cidade onde está localizado. O terminal de passageiros de um aeroporto já é entendido como um empreendimento comercial e não mais apenas para o uso do passageiro "exclusivo".

Como o Brasil é um país de dimensões continentais, o 5º maior do mundo, a aviação é de extrema importância para a operação do país (CNT, 2015).

Existe um programa chamado "Programa Regional de Aviação", lançado em dezembro de 2012 com o objetivo de conectar o Brasil e levar o desenvolvimento e serviços sociais a lugares distantes dos grandes centros (SAC, 2017). Nesses meios, a aviação regional vem seguindo a mesma lógica, é um importante catalisador no processo de internacionalização de um país.

A economia do transporte aéreo no Brasil apresenta condições de desenvolvimento favoráveis em relação ao cenário mundial (McKinsey & Company, 2010). Apesar dos gargalos de infraestrutura, o setor tem visto um aumento na demanda no último ano. Segundo a ANAC (2018), em dezembro de 2017, o número de passageiros em relação a 2016 aumentou 5,6%.

Na perspectiva de Macário e Silva (2009), os aeroportos regionais são importantes catalisadores no processo de integração de mercado e globalização. Ademais, a indústria local se beneficia da redução dos custos de transporte nesses aeroportos, aumenta seu alcance de mercado e se torna mais competitiva.

4. MODELOS GRAVITACIONAIS NO TRANSPORTE AÉREO

Entender a demanda é fundamental no desenvolvimento de redes de transportes, principalmente para a aviação. Existem muitos métodos para analisar a demanda, e as metodologias convencionais têm altos custos e tempo de execução que restringem a frequência de sua aplicação (IATA, 2017).

Preparar uma matriz origem/destino por aeroporto é importante pois, permite que o aeroporto descubra para quais destinos seus clientes estão mais viajando e de qual aeródromo a maioria dos passageiros opta por usar. Os resultados obtidos são consistentes e ajudam as companhias aéreas, juntamente com as administrações aeroportuárias, a

calcular novas rotas ou até mesmo desativar as existentes.

De acordo com Grosche, Rothlauf e Heinzl (2007) há vários modelos que ajudam a determinar a previsão futura estimada de uma matriz de origem/destino nos aeroportos. Exemplos desses modelos são o Modelo Gravitacional.

Neste estudo será empregado o modelo gravitacional. Os modelos gravitacionais originaram-se da Lei da Gravitação Universal enunciada por Isaac Newton em 1686. Para estudar a demanda de transporte aéreo, o economista holandês Jan Tinbergen introduziu o modelo gravitacional neste campo em 1962 (Olariaga, Bolívar, Gutiérrez e Galeana, 2018).

O modelo gravitacional pode ser usado para calcular o número de viagens entre dois aeroportos, como mostra a Equação 1:

$$Tij = (k \times Oi \times Dj)/dij^2 \quad (1)$$

Onde Tij = número de viagens entre a cidade i e j, k = constante, Oi = número de viagens com origem na cidade i, Dj = número de viagens com origem na cidade j e dij = distância entre as cidades i e j.

Por meio dessa equação, deve-se analisar o número de viagens necessárias do Aeroporto de Uberaba com os seus principais destinos e averiguar se o resultado calculado está próximo do que é colocado em prática.

Segundo Grosche, Rothlauf e Heinzl (2007) existem dois métodos que utilizam o modelo gravitacional para estimar o volume de passageiros entre aeroportos. Esses modelos incluem variáveis econômicas, características geográficas das cidades e variáveis de transporte aéreo. Elas podem ser aplicadas quando o serviço de transporte aéreo está se deteriorando entre as duas rotas, quando há previsão de demanda do aeroporto estudado, ou quando um novo aeroporto será introduzido na área para que possa, antes de sua construção, fazer uma previsão de demanda, ou seja, se o aeroporto será viável ou não.

A equação simples do modelo gravitacional para prever a demanda entre duas cidades é representada pela Equação 2:

$$Vij = k \times (Ai \times Aj)^{\alpha} \div dij^{\gamma} \quad (2)$$

Onde Vij é o volume de passageiros entre as cidades i e j, Ai e Aj são os fatores de atratividade das cidades i e j, k é constante, γ e α são os parâmetros de influência da demanda por viagens e das atratividades, respectivamente. Além disso, dij = dji, são a distância entre i e j.

O primeiro modelo gravitacional desenvolvido para estimar o volume de passageiros é chamado de *Basic Gravity Model* (BM), que minimiza os efeitos da competição entre destinos, por exemplo, excluindo cidades que possuem vários aeroportos e servem como *hub* para outros destinos no mundo, como Berlim e Londres. A Equação 3 indica o modelo BM:

$$Vij = e^{\varepsilon} Pij^{\pi} Cij^{\chi} Bij^{\beta} Gij^{\gamma} Dij^{\delta} Tij^{\tau} \quad (3)$$

Onde Vij é o total de vendas de passagens entre as cidades i e j, Pij = PiPj (População), Cij = CiCj (Destinos – área de captação), Bij = Bi + Bj força atrair compradores de outras cidades, Dij = distância entre as cidades, Tij = tempo de viagem entre duas cidades sem conexão e Gij = (GiGj) e por fim, o produto Interno Bruto de cada cidade (PIB).

O segundo modelo gravitacional é classificado como *Extended Gravity Model* (EM), Equação 4, que é uma extensão do BM, incluindo cidades que possuem vários aeroportos e servem como um link para muitos destinos no planeta.

$$Vij = e^{\varepsilon} Pij^{\pi} Cij^{\chi} Bij^{\beta} Gij^{\gamma} Dij^{\delta} Tij^{\tau} Nij^{\upsilon} Aij^{\alpha} Wij^{\omega} \quad (4)$$

Onde é adicionado: Nij (NiNj) = Número de aeroportos em competição, Aij (AiAj) = Distância entre os aeroportos líderes e Wij (WiWj) = Quantidade de aeroportos.

A metodologia e o estudo de caso utilizarão os três métodos mencionados anteriormente a fim de prever a Origem - Destino do Aeroporto de Uberaba. Com o auxílio da regressão, o objetivo é de encontrar uma transmissão mais próxima da Origem Matriz - Destino do Aeroporto Regional Mário de Almeida Franco.

Segundo Cohen (2016), os modelos gravitacionais podem ser usados para exemplificar as mudanças nos negócios internacionais. Na aviação, o modelo pode determinar o potencial de mercado entre as duas cidades.

A Tabela 1 mostra as principais referências sobre os modelos de gravidade da demanda aérea que foram utilizados neste estudo.

Tabela 1- Principais estudos que aplicaram modelo gravitacional

Autores	Objetivo	Conclusões
Kodana e Ashish (2011)	Estimar a movimentação de passageiros origem/destino entre cidades com base nas estatísticas dos aeroportos dos dados das companhias aéreas.	A abordagem seguida para determinar os fluxos de tráfego de passageiros de Origem-Destino e os dados das companhias aéreas foram úteis para chegar a uma matriz de tráfego de passageiros O-D de tamanho 65x65 (aeroportos), para 314 pares de cidades indianas.
Thelle (2017)	Analisar o desenvolvimento dos aeroportos europeus em condições de concorrência face a alterações no mercado europeu da aviação nos últimos 20 anos.	Demonstrou que o mercado europeu da aviação é extremamente dinâmico e os passageiros tiveram mais opções de aeroportos em 2011 do que em 2002.
Grosche, Rothlauf e Heinzl (2007)	Estimativa do volume de passageiros aéreos entre pares de cidades.	Ambos os modelos mostraram um bom ajuste aos dados observados no qual foram testados e validados estatisticamente.
Cohen (2016)	Explicar a demanda global de viagens aéreas em par de cidades.	Os resultados apontaram que a renda per capita e a população são importantes impulsionadores da demanda de viagens aéreas. Consequentemente, isso exclui todas as rotas de baixa demanda, uma vez que elas não são interessantes para os previsores da aviação.
Çuhadar (2014)	Construir um modelo adequado para prever a demanda diária de passageiros aéreos para o Aeroporto Internacional de Antalya.	O modelo final foi identificado como ARIMA (5,1,6). O uso do método de construção de modelos ARIMA para a previsão de curto e médio prazo tem sido reconhecido há muito tempo por sua versatilidade e precisão.

Fonte: Dos autores (2019)

5. MÉTODO

Com o aumento do fluxo de passageiros no transporte aéreo, os aeroportos regionais tornam-se sistemas estratégicos para consolidar o modal aéreo. Assim, é necessário avaliar a demanda por aeroportos regionais a fim de garantir uma conexão mais rápida e segura a outros locais e sua integração por meio da aviação (ABAETAR, 2011).

Uberaba é uma cidade localizada na Região do Triângulo Mineiro, que é uma região estratégica, dentro de um raio de 500 km das principais capitais das regiões sudeste e centro-oeste e do Distrito Federal (GOMES, 2016). Portanto, vale ressaltar que o estudo da demanda por transporte aéreo no Aeroporto Mário de Almeida Franco pode gerar mais investimentos e, consequentemente, uma melhora na economia.

Além disso, segundo a INFRAERO (2019), Uberaba é um dos aeroportos regionais com maior potencial de crescimento. Em 2009, o número de passageiros no Aeroporto Mário Almeida Franco foi 43.104, e a previsão em 5 anos era de 370.315 passageiros. No entanto, em 2014, Uberaba teve uma demanda de 141.762 passageiros, não atingindo as expectativas de crescimento para o mesmo ano. Em 2017, a demanda caiu para 64.445 passageiros (INFRAERO, 2019). Acredita-se que a diminuição de passageiros tenha ocorrido devido à crise político-econômica e ao baixo número de rotas encontradas no Aeroporto Mario de Almeida Franco.

Uberaba é mundialmente conhecida como a capital do Zebu (uma raça bovina). É também o maior produtor agrícola do estado de Minas Gerais. Sua localidade possui três distritos industriais de grande importância econômica. No município, existem fábricas de móveis, alimentos, calçados e produtos químicos. Segundo estudo do IBGE, em 2018, o município tinha uma população de 330.200 habitantes, sendo o 8º município mais populoso do estado, e os dados de 2016

indicavam um PIB/município de R$ 13,5 bilhões.

Segundo a INFRAERO (2019), as características técnicas do Aeroporto de Uberaba (IATA/ICAO: UBA/SBUR) são: uma pista com dimensões de 1759 metros x 45 metros, 2030m² de área de terminal de passageiros, estacionamento para 20 aeronaves pequenas (por exemplo, ATR - 42 , ATR - 72), estacionamento para 63 carros, capacidade de 1,7 milhão de passageiros por ano, pátio de aeronaves de 13.450 m² e a área do aeroporto tem 1.182 milhões de m². A INFRAERO que é uma empresa federal brasileira opera este terminal.

A INFRAERO forneceu dados do movimento de passageiros entre o Aeroporto de Uberaba para outros aeroportos durante 2003 a 2018, com esses dados, foi obtido o gráfico (Figura 2) do período de movimentação de passageiros. Pode-se perceber uma diminuição do número de passageiros no ano de 2017 com a retirada da rota para Campinas (SBKP).

Este estudo teve como base o trabalho de Grosche, Rothlauf e Heinzl (2007). Para a calibração do modelo gravitacional foram utilizados dados anuais de movimentação de passageiros de 2003 a 2018, a população da cidade onde o aeroporto está inserido, por ano, o PIB da cidade por ano (em reais), tempo de viagem de carro de Uberaba até a cidade destino (em horas), tempo de viagem de ônibus de Uberaba para as cidades destinos (em horas), distância entre Uberaba e as cidades destinos (em km) e o movimento de passageiros entre as duas cidades como variável dependente (número de passageiros).

Aeroportos considerados como destino e analisados foram: Pampulha e Confins em Belo Horizonte - MG, Congonhas e Guarulhos em São Paulo -SP, Viracopos em Campinas-SP, Brasília-DF e Santos Dumont e Galeão no Rio de Janeiro-RJ.

Foi considerado o modelo gravitacional *Basic Gravity Model* (BM), conforme Equação 3 e foi o utilizado o software GRETL, que é um pacote estatístico de código aberto, principalmente para econometria. O nome é um acrônimo para Gnu Regression, Econometrics e Time-series Library (Cottrell e Lucchetti, 2019). Para tanto foi necessário usar o artifício de linearização da equação, portanto todos as variáveis inclusive a dependente foi para a base logarítmica.

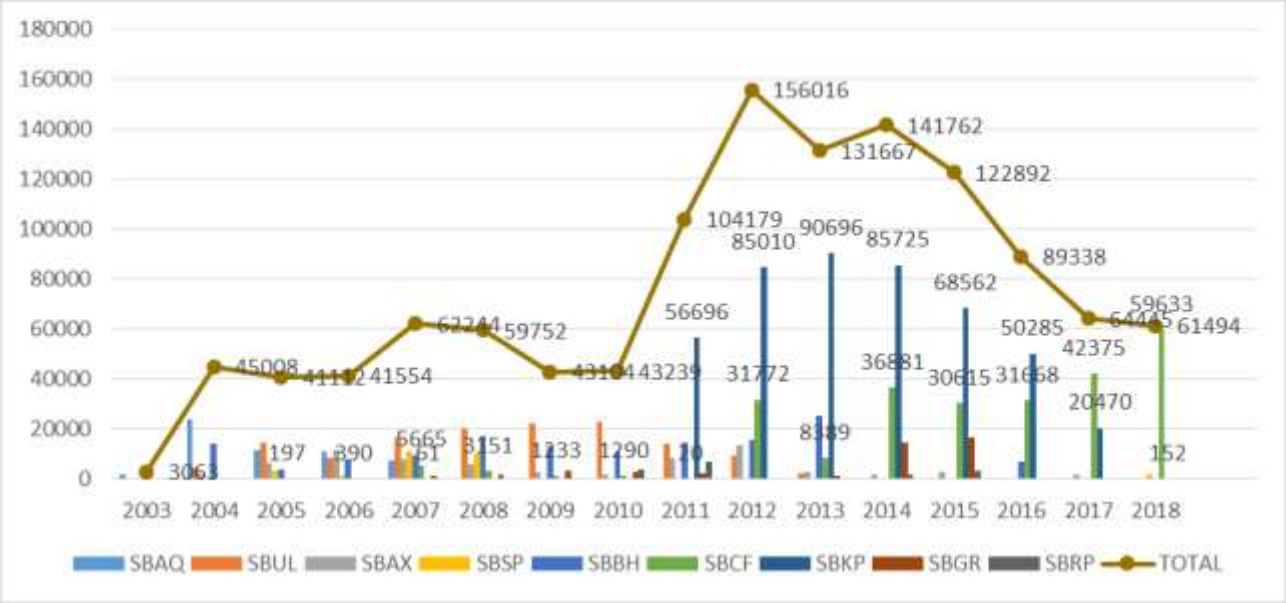


Figura 2: Movimentação de Passageiro do Aeroporto de Uberaba (2003 – 2018) para as cidades pares (INFRAERO, 2019).

6. RESULTADOS

A base de dados para o estudo foi apresentada na metodologia, em seguida, será ressaltado discussões sobre os modelos analisados e uma apresentação do melhor modelo que descreve a previsão do volume de passageiros de Uberaba para cidades-destinos. Finalmente, os resultados do estudo serão descritos.

No estudo econométrico, para utilizar o método dos Mínimos Quadrados Ordinários estão agrupados e os Mínimos Quadrados Ponderados estão em um único tipo de modelo foi necessário a transformação das variáveis dependentes e independentes na forma logarítmica.

Na primeira análise, o modelo foi aplicado a todas as variáveis escolhidas, conforme apresentado na Tabela 2 (69 observações, variável dependente: logaritmo da movimentação de passageiros). As variáveis com maior significância para o modelo são aquelas com menor p-valor e os asteriscos assinalam quando o p-valor está dentro do esperado, quanto maior o número de asteriscos mais representativa é a variável.

Tabela 2: Modelo 1 - MQO (Mínimos Quadrados Ordinários)

Variável	**Coef.**	**P-Valor**	**(*):**
constante	-4262,98	0,0895	*
aeroporto	-2,90456	0,1085	-
log_ano	561,565	0,0896	*
log_populacao	0,418420	0,8716	-
log_PIB_cidade	-0,745755	0,7031	-
log_tempo_carrro	3,11353	0,8585	-
log_tempo_bus	-14,0277	0,4337	-
log_distancia	5,75962	0,4415	-
R^2 : 0,528363	**R^2 ajustado**: 0,474241		

O Teste VIF (*Variance Inflation Factor*), sugerido por Grosche et al. (2007), Tabela 3, foi feito para verificar qualquer problema de colinearidade no Modelo 1.

Tabela 3 – Teste VIF

Aeroporto	8,193
log_ano	2,514
log_populacao	9,602
log_PIB_cidade	9,675
log_tempo_carrro	318,815
log_tempo_bus	191,995
log_distancia	51,243

A partir da Tabela 3, é possível verificar a multicolinearidade das variáveis, o que pode interferir no modelo. O fator de inflação da variância (VIF) tem um valor VIF = 1,00 quando há ausência de multicolinearidade e quando VIF> 10, indica problemas de multicolinearidade, que podem interferir no modelo. É possível notar que as variáveis l_time_car_Hour (tempo de carro) e l_time_bus_hour (tempo de ônibus) têm o maior VIF, como era de se esperar.

Segundo Silva e Falcão (2018), a multicolinearidade gera um problema no modelo econométrico quando os regressores são correlacionados. Assim é o caso com o tempo por uma viagem de carro (horas) e tempo por uma viagem de ônibus (horas). Isso acontece porque são séries temporais. O R^2 representa quanto o modelo adere às variáveis, então quanto mais próximo de 1,00, mais ajustado é o modelo. O R^2 ajustado é a medida do grau de variação da configuração do modelo. No modelo apresentado há um ajuste razoável.

Para corrigir a multicolinearidade, o Modelo 2 foi aplicado pelo método dos mínimos quadrados ponderados e retirados as variáveis de Tempo de ônibus e distância.

Tabela 4: Modelo 2 - MQP (Mínimos Quadrados Ponderados) removendo as variáveis log_tempo_bus e log_distancia

Variável	**Coef.**	**P-Valor**	**(*):**
constante	-6926,82	<0,0001	***
aeroporto	-0,900402	0,0653	*
log_ano	913,820	<0,0001	***
log_populacao	3,68213	0,0018	***

log_PIB_cidade	-3,25459	0,0008	***
log_tempo_carrro	-5,65004	0,0005	***
R^2: 0,648008	**R^2 ajustado:** 0,620072		

O Modelo 2 (Tabela 4) é o modelo que melhor se ajustou aos dados pois, indicou valores aceitáveis para o p-valor, em todas as variáveis. Além dos valores de R^2, que são, de 0,648008 para o R^2 e de 0,620072 para o R^2 ajustado. Dentre os modelos 1 e 2, o Modelo 2 tem variáveis com maior significância se comparado ao Modelo 1.

Ao analisar os sinais dos coeficientes do Modelo 2, tem-se que PIB da cidade de destino é negativo, o que não era esperado, mas pode ser explicado pelo baixo número de ofertas de rotas no aeroporto em questão, por exemplo, as rotas para as cidades de São Paulo (Congonhas e Guarulhos), onde se tem o maior PIB foram retiradas, fazendo com o movimento de passageiros nessas cidades fossem zero em alguns anos. O tempo de viagem, também tem um coeficiente negativo, o que poderia ser esperado para o transporte rodoviário, mas não para o aéreo, visto que, quanto mais tempo leva para chegar a um destino de carro, maior a chance de os usuários optarem pelo transporte aéreo. Já o sinal do coeficiente da população, por ser positivo é considerado coerente, ou seja, quanto maior a população da cidade destino maior a possibilidade por transporte aéreo entre as cidades.

Tabela 5. Modelo 3: MQO Removendo as variáveis log_tempo_bus e log_distancia do Modelo 1.

Variável	Coef	P-Valor	(*):
constante	-6128,30	0,0010	***
aeroporto	-1,06449	0,0397	**
log_ano	808,687	0,0009	***
log_populacao	2,71262	0,0691	*
log_PIB_cidade	-2,38452	0,0578	*
log_tempo_carro	-5,70852	0,0002	***
R^2: 0,518975	**R^2 ajustado:** 0,480799		

Os modelos 2 e 3 podem ser considerados os modelos mais representativos.

A Tabela 6 representa a previsão de fluxo para aeroporto de Uberaba entre as cidade-destinos considerando o modelo 3 que foi estabelecido através do método dos Mínimos Quadrados Ordinários. Esta tabela compara a previsão baseada no modelo de gravidade proposto neste trabalho com o movimento de passageiros observado no Aeroporto de Uberaba nos anos de 2007, 2012 e 2018.

Tabela 6. Previsão de volume de passageiros do aeroporto de Uberaba – MQO – Modelo 3.

Aeroportos	**Real**			**Previsão**		
	2007	**2012**	**2018**	**2007**	**2012**	**2018**
Pampulha/BH	9342	15779	0	4105	8103	0
Confins/BH	5665	31772	59633	1313	2592	21590
Congonhas/SP	11291	0	0	1480	0	0
Guarulhos	1447	36	0	1043	2101	0
Viracopos/SP	61	85010	152	2592	5014	44356
Brasília	325	195	0	95	242	0
Galeão/RJ	0	0	0	0	0	0
Santos Dumont/RJ	66	0	0	25	0	0
Total	**28.197**	**132.792**	**59.785**	**10.652**	**18.052**	**65.946**

Analisando a Tabela 6 percebe-se que o modelo tem uma previsão significativa para o ano de 2018 e que nesse mesmo ano, as cidades mais procuradas pelos usuários do aeroporto de Uberaba são Belo Horizonte e Viracopos, que, apesar de estar em Campinas, recebe passageiros com destino a outros lugares visto que é hub da Azul Linhas Aéreas. Valendo ressaltar que se continuesse ofertando essa rota a Azul poderia ter tido um movimento de quase 45 milhões de passageiros no ano de 2018.

Além disso, as previsões de Belo Horizonte - Confins e Viracopos mostram que o volume previsto para esses aeroportos pode se dever ao fato, que a única linha que tem operado durante todo o tempo pesquisado foi Azul Linhas Aéreas que fazia a rota para Belo Horizonte e Viracopos; e Passaredo Linhas Aéreas para a Pampulha - Belo Horizonte. Diante desses fatos, pode-se observar que as companhias aéreas têm grande importância para a previsão da Tabela 6.

7. CONCLUSÕES

Com a crescente preferência pelo uso do transporte aéreo, as pesquisas e estudos nessa área têm crescido. A aviação regional tornou-se um tema amplo nesses estudos, especialmente considerando o potencial de crescimento e as influências que ele pode gerar na economia local e nacional. Este estudo teve como objetivo validar o modelo de previsão do volume de passageiros do aeroporto regional Mário de Almeida Franco (Uberaba-MG) para cidades de destino.

Analisando o modelo econométrico, foi possível identificar que o PIB da cidade tem grande significância na análise do modelo, porém no caso de Uberaba, por conta das exclusões de algumas rotas ao longo dos anos, que o crescimento econômico de uma cidade gera impactos negativos no transporte aéreo regional. Uberaba está em uma localização estratégica para o desenvolvimento econômico do país, já que se encontra em um raio de aproximadamente 600 quilômetros das principais cidades brasileiras, como Campinas, Uberlândia, São José dos Campos, Ribeirão Preto, Brasília, Belo Horizonte, São Paulo e Goiânia. Esta localização estratégica cria mais conexões e desenvolvimento econômico. Outra variável independente que possui alta significância, no modelo, foi o tempo de viagem do carro. No qual pode interferir diretamente da escolha do modal pelo qual o usuário irá utilizar, seja o transporte terrestre ou aéreo.

Portanto, pode-se concluir que o estudo de previsão do volume do aeroporto regional Mário de Almeida Franco para pares de cidades mostrou que as variáveis independentes PIB do Município, População e Tempo de Viagem, por carro, no modelo gravitacional proposto, são significativas. No entanto, para obter resultados mais complexos e precisos no estudo da previsão seriam necessárias um maior número de observações, porém percebe-se claramente que a rota Uberaba- Campinas é uma rota que pode atrair um grande número de passageiros.

REFERÊNCIAS

ABAETAR. Associação Brasileira das Empresas de Transporte Aéreo Regional. Estudo para adequação da Infraestrutura Aeroportuária nas Regiões de Interesse Turístico. Brasília, DF: 2011.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Empresas Brasileiras transportam 98,8 milhões de passageiros pagos em 2017. Brasília, DF: 2018. Disponível em: < http://www.anac.gov.br/noticias/empresas-aereas-brasileiras-transportam-98-9-milhoes-de-passageiros-pagos-em-2017>.

Brida, J. G.; Moreno-Izquierdo. L e Zapata-Aguirre, S. Customer perception of service quality: The role of Information and Communication Technologies (ICTs) at airport functional areas. Tourism Management Perspectives 20 (2016) 209 – 216. https://doi.org/10.1016/j.tmp.2016.09.003

CNT. Confederação Nacional dos Transportes. **Transporte e economia:** transporte aéreo de passageiros. Brasília., 2015.

Cohen, Shamai. (2016). A Gravity Model for Aviation Forecasting. 10.13140/RG.2.1.1830.0401.

Cottrell, A; Lucchetti, R. Gretl User´s Guide "Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library". Department of Economics and Dipartimento di Economia. Wake Forest University and Università Politecnica delle Marche. 2019

Çuhadar, Murat. (2014). Building Proper Forecast Model for Daily Air Passenger Demand: A Study of Antalya International Airport. 10.13140/RG.2.1.4564.5841.

Diaz Olariaga, Oscar & Bolívar, Nicolás & Gutiérrez, Rafael & Rico, Oscar. (2017). Gravitational analysis of the Colombian air transport network. 10.13140/RG.2.2.14222.25927.

Diniz, A.M.A; Diniz, L.C.A. Analysis of the main air flows of Belo Horizonte airports and their recent transformations. Redalyc, Uberlandia, v. 34, n. 18, p.31-43. 2006. Brazil. DOI=http://www.redalyc.org/html/3213/321327188003/.
GOMES, M. T. S. Dinâmica econômica e cidades médias: uma análise sobre a cidade de Uberaba na região do Triângulo Mineiro. Geousp – Espaço e Tempo (Online), v.19, n. 3, p. 516-534, mês. 2016. ISSN 2179-0892.
Grosche, T; Rothlauf, F and Heinzl, A. Gravity models for airlines passenger volume estimation. Journal of Air Transport Management 13 (2007) 175–183.
IBGE Cidades. Disponível em https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberaba/panorama. Acessado em 04 de maio de 2019.
INFRAERO Aeroporto de Uberaba. Disponível em: https://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-de-uberaba-mario-de-almeida-franco/. Acessado em 05 de maio de 2019.
INFRAERO. Estatísticas 2018. Brasil. Disponível em https://transparencia.infraero.gov.br/estatisticas. Acessado em 08 de abril de 2019.
International Air Transport Association (IATA) ANNUAL REVIEW 2017. Statistic data. Disponível em https://www.iata.org/publications/Documents/iata-annual-review-2017.pdf. Acessado em 04 de maio de 2019.
International Air Transport Association (IATA). State of the region: The Americas. Disponível em https://www.iata.org/publications/economics/Reports/regional-reports/Americas-Apr19.pdf. Acessado em 04 de maio de 2019.
Kodanda B. and Verma A. Estimation of Origin-Destination air traffic flows from air transport movement data: An application to Indian domestic airport network system. World Conference of Air Transport Research Society (ATRS 2011), Sydney, Australia, June 29 - July 2, 2011. Disponível em: https://core.ac.uk/download/pdf/151646047.pdf.
Macário, R and Silva, J. Regional Airports and local development: "The challenging balance between sustainability and economic growth". International Conference on Prospects for Research in Transport and Logistics on a Regional – Global Perspective. Dogus University Publications. Istanbul – Turkey. 2009.
MCKINSEY & COMPANY. Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil: Relatório Consolidado. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Rio de Janeiro: 2010
Secretaria Nacional de Aviação Civil (Org.). **Aeroportos.** 2016. Disponível em: <http://www.aviacao.gov.br/assuntos/aeroportos>. Acesso em: 29 mar. 2018.
SENNA, Luiz Afonso dos Santos. Economia e Planejamento dos Transportes. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
Silva, A.L.C. e Falcão, V.A. A Demanda Aeroportuária de Uberaba e suas Influências para Economia Regional. XVII Sitraer. São Paulo. Brazil. 2018.
Thelle H.M. e Sonne, M.C. Airport Competition in Europe. Journal of Air Transport Management. Copenhagen. 2017.g. https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.03.005

CARACTERIZAÇÃO DO MERCADO DO AEROPORTO MÁRIO DE ALMEIDA FRANCO - UBERABA, MINAS GERAIS

Caroline Gobbo Almeida
Universidade Federal do Triângulo Mineiro
Av. Randolfo Borges Júnior, 1400 - Univerdecidade, Uberaba – MG, (34) 998785505
carolinegobbo@hotmail.com
Ailton Cicero dos Santos Junior
Universidade Federal do Triângulo Mineiro
Av. Randolfo Borges Júnior, 1400 - Univerdecidade, Uberaba – MG, (34) 99925-7226
ailton.cicerojr@gmail.com
Viviane Adriano Falcão
Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária. Recife – PE, (85)99900-8559
viviane.afalcao@ufpe.br

RESUMO

Desde 2015 constatou-se uma diminuição no movimento de passageiros do Aeroporto de Uberaba, atingindo em 2017 cerca de 60.000 passageiros. Em contrapartida, o Aeroporto de Uberlândia, apresentou um crescimento considerável na mesma época. O objetivo do trabalho é caracterizar a demanda por transporte aéreo de Uberaba, identificando um destino prioritário, horário e preço. Para isso, foi elaborado um questionário on-line que contou com a participação de 2.000 pessoas. Conclui-se que a rota mais demandada para a região é cujo destino é a cidade de São Paulo com uma aceitação de pagar 300 reais por trecho por mais de 60% dos entrevistados.

Palavras-chave: Aeroporto de Uberaba, Passageiro, Demanda

ABSTRACT

Since 2015 there has been a decrease in passenger movement at Uberaba Airport, reaching in 2017 around 60,000 passengers. On the other hand, Uberlândia Airport presented a considerable growth at the same time. The objective of this work is to characterize the demand for air transport from Uberaba, identifying a priority destination, time and price. For this an online questionnaire was prepared with the participation of 2,000 people. The conclusion is that the most demanded route to the region is destined to the city of São Paulo with an acceptance of paying 300 reais per stretch for more than 60% of respondents.

Keywords: Uberaba Airport, Passenger, Demand

1. INTRODUÇÃO

Países desenvolvidos apresentam uma média de 1,7 viagens anuais por habitante, enquanto a realidade brasileira chega-se a 0,5. Entre os anos de 2003 a 2013 a movimentação de passageiros triplicou. Além do mais se prevê um crescimento considerável para os próximos 20 anos (SAC, 2015).

O aeroporto Mário de Almeida Franco, localizado na capital mundial do gado zebu e polo agroindustrial do estado, Uberaba - Minas Gerais é considerado um dos aeroportos regionais com grandes potenciais de crescimento (ABAETAR, 2011).

Em 2009 movimentou 69.619 passageiros e em 2014 teve 141.676 passageiros (SAC, 2016). Porém desde 2015 essa movimentação só decresce e em 2017 atingiu a marca de um pouco mais de 60.000 passageiros anos.

Com o crescimento da movimentação de passageiros no transporte aéreo, os aeroportos regionais se tornam estratégicos para consolidação desse modal. Assim é necessário avaliar a demanda de aeroportos regionais para garantir uma conexão, mais rápida e segura de demais localidades, e sua integração através da aviação (ABAETAR, 2011).

O objetivo desse trabalho é avaliar a demanda de passageiros para o aeroporto de Uberaba, MG - Mário de Almeida Franco e propor novas rotas que atraiam novos passageiros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Transporte Aéreo

Os sistemas de transporte têm uma grande importância para a promoção do desenvolvimento econômico de uma região ou de um país, pois é através do escoamento de pessoas, de bens e de mercadorias que se consegue alavancar a economia.

O sistema de transporte aéreo caracteriza-se pela capacidade de transportar pessoas entre regiões afastadas com maior rapidez, quando comparado a outros modais como rodoviário, hidroviário e ferroviário. Desse modo, devido às diversas mudanças que estão ocorrendo em nível mundial, como a globalização, os avanços da tecnologia, as relações estreitas proporcionadas pelo mundo virtual, o desenvolvimento do setor aéreo torna-se necessário para possibilitar agilidade entre as relações econômicas do mercado brasileiro e internacional (SOUZA, 2010).

2.2 Aeroportos Regionais

Uma questão importante para os gestores de aeroportos é se o aeroporto está atraindo um número suficiente de passageiro para o qual foi projetado. Se, por exemplo, o número de passageiros usando um aeroporto é substancialmente inferior ao que o aeroporto deveria atrair, o aeroporto pode não ter o número necessário de companhias aéreas para fornecer um nível adequado de serviço aéreo e, por esse motivo, não ter tarifas competitivas para a região. Por esta razão, os gestores aeroportuários precisam conhecer os critérios de

escolha de passageiros aéreos (SUZUKI et al. 2003).

Conforme definição do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (MCKINSEY & COMPANY, 2010) um aeródromo é qualquer área com infraestrutura destinada ao pouso, decolagem e movimentação de aeronaves, e um aeroporto é todo aeródromo público provido de instalações e recursos para apoio a aeronaves e ao embarque e desembarque de pessoas e cargas.

Segundo Ashford e Wright (1984), o aeroporto é a parte física do sistema de transporte aéreo, no qual ocorre a transferência do modo aéreo para o modo terrestre, relacionando-se a companhia aérea e o usuário.

2.3 Técnicas de Amostragem

Em um estudo estatístico, os métodos de amostragem estão relacionados ao modo em que selecionamos os membros de uma determinada população a entrarem neste estudo. É importante selecionar os dados de maneira aleatória para que o resultado não seja tendencioso ou realizar uma pesquisa de campo, como no caso do Decola Uberaba.

Através do teorema do limite central, também conhecido como curva de Gauss (Montgomery, 2016), é possível calcular uma média ou uma proporção de uma amostra. Admitindo grau de confiança de 99% e margem de erro de 3%, é possível obter a amostra necessária para a pesquisa ser válida, através da Equação 1:

$$n = \frac{Z^2 * p * (1-p)}{e^2} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

n = o tamanho da amostra que queremos calcular;

N = Tamanho do universo;

Z = é o desvio do valor médio que aceitamos para alcançar o nível de confiança;

e = é a margem de erro máximo utilizado;

p = é a proporção que esperamos encontrar.

3. METODOLOGIA

Inicialmente foram estabelecidos os principais aeroportos concorrentes ao aeroporto de Uberaba, que sejam Aeroporto de Uberlândia (100 km de distância) e Aeroporto de Ribeirão Preto (cerca 150 km de distância). Posteriormente foi realizada uma breve revisão de literatura com o objetivo de estabelecer um referencial teórico sobre os assuntos, Transporte Aéreo, Aeroportos Regionais e Técnicas de Amostragem.

Em seguida, foi realizada a análise estatística dos aeroportos concorrentes, relacionando movimentação de passageiros, fatores socioeconômicos, movimentação de transporte rodoviário, quantidades de voos e rotas principais. O intuito dessa etapa, foi averiguar a existência da demanda desviada do aeroporto de Uberaba.

Com isso, houve uma primeira pesquisa de campo no aeroporto de Uberaba a qual foi

considerada como piloto. Os dados dessa pesquisa foram analisados e a partir deles, foi estabelecido um novo questionário que seria enviado, via internet, a toda população de Uberaba. Para se obter uma pesquisa representativa e uma amostra confiável, foi definido o espaço amostral representativo da população da cidade de Uberaba.

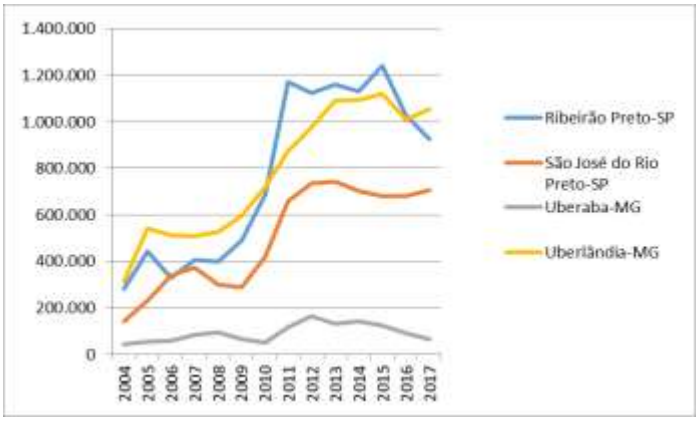
Segundo o IBGE (2018), a população de Uberaba para o ano de 2018 é de 330.361 pessoas, valor este que será o nosso universo. Utilizando o nível de confiança de 99% e a margem de erro de 5% e Z equivalente a 2,58 (para o nível de confiança utilizado), é possível obter o tamanho da amostra necessária para a pesquisa ser válida, que corresponde a 665 pessoas.

De posse da coleta de dados, que fora concretizada, entre os meses, de maio, junho e julho de 2019, iniciou-se a avaliação dos dados, análise dos resultados de forma a propor soluções para o aumento da demanda do Aeroporto de Uberaba.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Realizou-se de início uma análise da movimentação dos aeroportos concorrentes, onde percebeu-se claramente que o aeroporto de Uberaba estaria tendo um desvio de demanda para outros aeroportos ou outros modais. Conforme Figura 1.

Figura 1 - Movimentação de Passageiros dos Aeroportos Concorrentes



Fonte: Horus (2018)

4.1 Pesquisa Piloto passageiros do aeroporto de Uberaba

Aproximadamente a metade dos passageiros entrevistados no aeroporto de Uberaba são residentes na cidade e a outra metade dividida entre cidades diversas, não estabelecendo nenhuma característica em comum (estados, proximidade de Uberaba, entre outros). A maioria dos passageiros entrevistados são adultos quase 25 do total de 51, na idade geralmente “ativas” no trabalho.

Mais da metade dos passageiros tem Ensino Superior completo, o que comparando com a faixa etária é algo positivo. Porém, chama a atenção que 3 passageiros tenham ensino

fundamental incompleto, correlacionando os dados obtidos, nota-se que 2 desses 3 passageiros tem 23 e 37 anos, respectivamente, ambas do sexo feminino e ambas têm renda máxima de um salário mínimo. Com relação a renda, 23 passageiros recebem mais de 6 salários mínimos mensalmente, comparando estas mesmas respostas, observa-se que estes também têm Ensino Superior completo ou são pós-graduados.

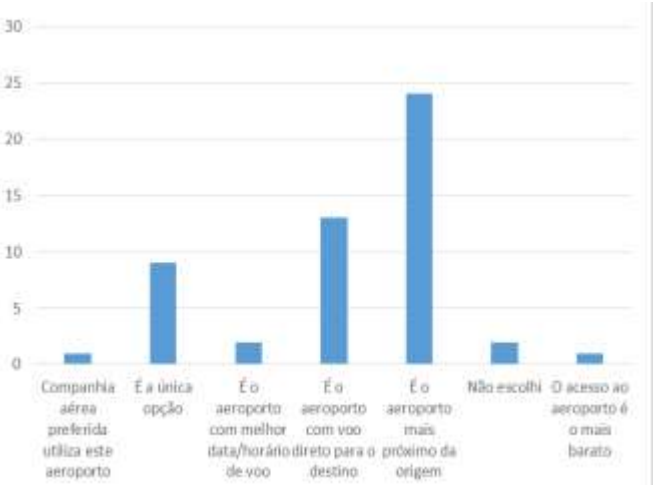
Figura 2 - Principais destinos dos passageiros do Aeroporto de Uberaba.



Fonte: Dos autores, 2019.

Conforme a Figura 2 mostrada acima, mais da metade dos passageiros tem como destino final a cidade de Belo Horizonte, o que já era de se esperar em função de ser a única rota direta saindo do aeroporto de Uberaba. O que é surpreendente são os 13% que mesmo com a conexão em Belo Horizonte, tem como destino final a cidade de São Paulo. Além disso, cerca de 41 passageiros compram somente um só trecho de passagem. Do total de passageiros pesquisados, cerca de 77% pagaram pela passagem, o restante usou milhas ou outros recursos.

Figura 3 - Motivo de escolha do aeroporto



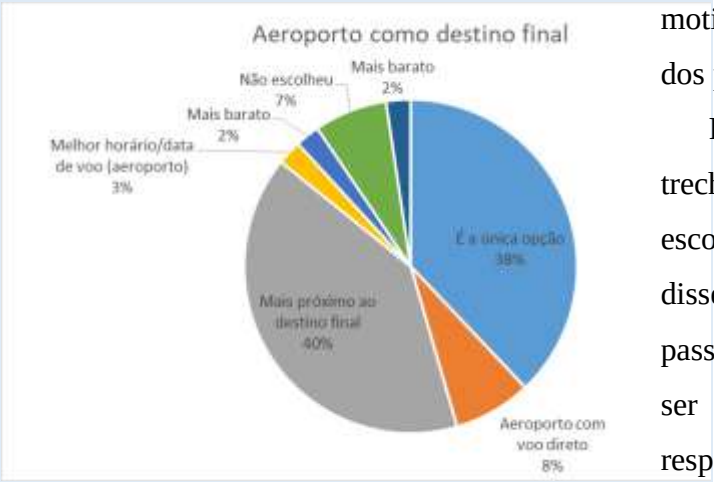
Fonte: Dos autores, 2019.

Os principais motivos de escolha de aeroporto são as possibilidades de voo direto e proximidade da origem, conforme Figura 3.

Posteriormente foi questionado se o aeroporto é a melhor opção de embarque entre os aeroportos da região onde mais de 70% dos passageiros disseram que sim. Nota-se que o aeroporto pode ser considerado a melhor opção pela comodidade de deslocamento para pegar o voo.

Também foi perguntado aos passageiros se eles teriam interesse em um voo disponível em outro a horário, mais de 50% achou indiferente. Provavelmente pelo fato do horário atual ser interessante para os passageiros a trabalho, nas primeiras horas da manhã.

Figura 4 - Aeroporto Destino Final



Fonte: Dos autores, 2019

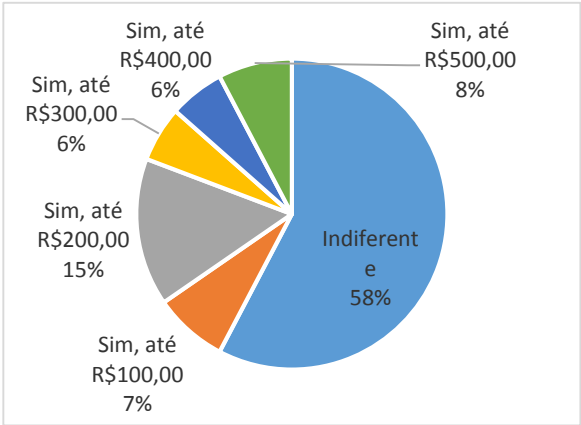
Com relação ao aeroporto no destino final, foi perguntado o porquê desse destino. A Figura 4 mostra que 40% escolheu por ser o mais próximo ao destino final, que consequentemente se intercala com a única opção de voo disponível hoje.

Também foi questionado a quantidade de dias que permaneceria no destino, quase 50% ficariam até cinco dias no destino, caracterizando dessa forma que a maioria dos passageiros de Uberaba realizam viagens a trabalho. Foi questionado também quantas vezes fizeram esse trecho no último ano. Dos entrevistados cerca de 16% fez esse trecho pelo menos 5 vezes ao ano. E desses 16%, cerca de 60% já usou outro modal para realizar esse trajeto. Além disso, foi questionado se haviam usado outro aeroporto para esse trecho, quase 55% usaram o aeroporto de Uberlândia, demonstrando que há uma demanda desviada para outros modais e para o aeroporto de Uberlândia.

Também foi perguntado qual o principal motivo da viagem e como esperado quase 50% dos passageiros tem como motivo o trabalho.

Por fim, foi questionado se existisse esse trecho no aeroporto de Uberaba eles escolheriam o aeroporto de Uberaba, quase 42% disse que escolheria, mas em função do valor da passagem, conforme Figura 5. O restante disse ser indiferente. Percebe-se que entre as respostas positivas para a utilização do aeroporto de Uberaba, predomina-se o valor de R$200,00, que não dista do valor pago para passagens de ônibus.

Figura 5 - Caso tenha o trecho no aeroporto de Uberaba



Fonte: Dos autores, 2019

4.2 Pesquisa população de Uberaba

Foi realizado um questionário por meio da plataforma *Google Forms* e divulgado com o objetivo de mensurar e avaliar o interesse das pessoas de Uberaba e região, possíveis passageiros do Aeroporto de Uberaba. A amostra coletada foi de cerca de 2.010 respondentes, ou seja, uma amostra representativa conforme calculada no item 3.

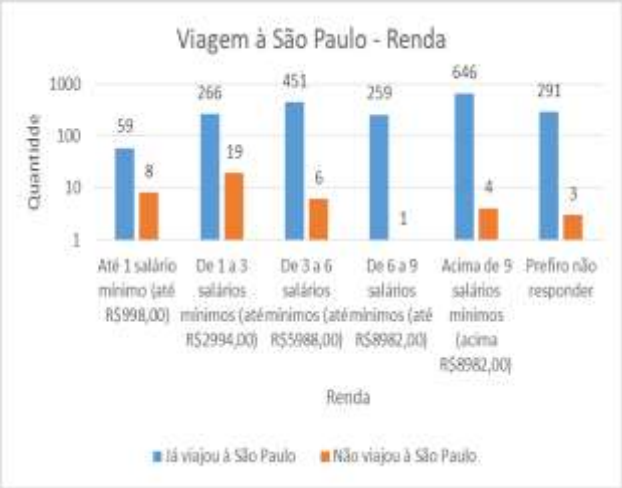
Porém desse total, só foram utilizados 1.607 que são os residentes na cidade de Uberaba.

Quanto à análise do perfil da amostra, foram retirados que, não há uma faixa etária majoritária nas respostas analisadas. Cerca de 82% se concentram entre 31 a 65 anos. Em relação ao gênero tem-se uma proporção de 49% do sexo masculino e 51% do sexo feminino.

Com um total de 2013 respostas, 1607 pessoas residentes em Uberaba, e o restante dividido tanto em cidades próximas à Uberaba (como Araxá, Araguari, Igarapava, Ituiutaba - possíveis passageiros que utilizam ou podem utilizar o Aeroporto de Uberaba) quanto em cidades distantes e até de outros países, porém tem suas respostas válidas uma vez que podem sempre opinar sobre faixas de preço, horário preferenciais de viagens e etc.

Como a cidade de São Paulo foi a segunda opção mais votada de destino na pesquisa piloto, escolheu-se essa opção como provável destino saindo do aeroporto de Uberaba. Fez-se uma pergunta se as pessoas já haviam viajado para São Paulo, praticamente 100% da amostra respondeu sim. No tocante a escolaridade, percebe-se que conforme a Figura 6, a maioria daqueles que viajam para São Paulo, cerca de 90%, tem ensino superior completo ou estão cursando.

Figura 6 - Quantidade de pessoas que já viajaram ou não para São Paulo separadas por sua renda



Fonte: Dos autores, 2019.

Há uma distribuição equilibrada entre as faixas de renda e a quantidade de viajantes, porém analisando o percentual, aproximadamente 69% das pessoas que já viajaram à são Paulo recebem mais de 3 salários mínimos

Essa segunda parte do questionário foi para as pessoas que já viajaram à São Paulo. A primeira pergunta dessa parte era a frequência de viagens para São Paulos nos últimos 12 meses. A maioria dos passageiros, 1138 viajam pelo de uma a 5 vezes por ano a São Paulo. Entre 6 e 10 vezes também uma parcela considerável dos entrevistados, cerca de 433. Conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Frequência de viagens nos últimos 12 meses x Quantidade



Fonte: Dos autores, 2019.

Mesmo com aproximadamente 57% dos viajantes tendo uma frequência de 1 a 5 vezes durante o ano, os outros 43% estão bem distribuídos em relação à frequência anual de viagens, essa necessidade pede uma boa distribuição de ofertas de viagens Uberaba x São Paulo, visto que há grande demanda.

Outra questão feita foi concernente ao modo de transporte utilizado para ir para São Paulo, quase 1300 pessoas vão de carro, 705 pessoas de ônibus e 810 pessoas de avião, ou seja, há uma demanda desviada para o transporte individual ou de ônibus. Pode-se observar também que, mesmo não havendo um voo para São Paulo, há uma grande quantidade de pessoas utilizando o modo aéreo, com uma quantidade até maior do que o modo rodoviário mesmo este tendo um menor valor do que o modo aéreo.

Sabendo que há uma grande frequência de viagens à São Paulo e há interesse em voos, iniciou-se o foco nas perguntas para o voo em si. A primeira pergunta dessa parte do questionário foi: se houvesse um voo Uberaba - São Paulo, você se interessaria (considerar valor só para 1 trecho, ida ou volta)?

A maioria das respostas se limita a pagar até R$300,00 por trecho, conforme Figura 8. Em consulta ao site da Azul – Linhas Aéreas, única empresa operante no Aeroporto de Uberaba, um voo Uberlândia (aeroporto mais próximo de Uberaba) é possível obter passagens de até R$136,69, o que é menos da metade de R$300,00. Ou seja, pessoas se interessam em pagar bem mais no voo para que não precisariam se deslocar à Uberlândia, por conforto, rapidez, segurança, praticidade, entre outros fatores. É importante observar também que considerando essa amostra de entrevistados, caso existisse a rota Uberaba-São Paulo, haveria uma demanda de um pouco mais 60 % passageiros pagando uma tarifa superior a 300 reais, ou seja, quase duas vezes a tarifa ofertada no aeroporto de Uberlândia.

Figura 8 - Faixa de preço de interesse de um voo Uberaba – São Paulo



Fonte: Dos autores, 2019.

Posteriormente foi questionado sobre o horário desse voo, quase 1500 pessoas entrevistadas têm preferência para o horário da manhã.

Caso houvesse a impossibilidade de oferta de um voo Uberaba x São Paulo, ainda foi pesquisado se a opção, Uberaba x Campinas atenderia a demanda por São Paulo. Há um aumento considerável na falta de interesse por essa rota se comparado com a rota Uberaba x São Paulo, percebe-se mais de 600 pessoas com esse novo destino (de 26 para 628 pessoas), porém para aquelas que ainda se interessam, o horário seria predominantemente na parte da manhã, com 745 pessoas pagando no máximo R$200,00.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se um retorno positivo e um grande interesse na sugestão do voo Uberaba x São Paulo tanto no aspecto quantitativo como no aspecto financeiro.

Considerando que apenas 26 pessoas de um total de 2013 respostas não teriam interesse, todo o restante representa um grande movimento de passageiros que atualmente não frequentam o Aeroporto de Uberaba; estes trariam um impacto positivo não só em uma rota em específico, mas em todo o Aeroporto, trazendo mais visibilidade, aumentando o percentual não só de passageiros mas de consumidores dos outros serviços que o aeroporto presta aos clientes (como por exemplo lanchonetes, conveniências, etc), aumentando a concorrência com aeroportos de cidades próximas, ainda soma-se o fato de que pessoas residentes em Uberaba deixariam de se deslocar para Uberlândia (aeroporto mais próximo) uma vez que a rota seria oferecida pela cidade em que reside.

Financeiramente a viabilidade pode ser observada uma vez que os preços com maior aprovação – de R$200,00 a R$300,00 reais – são iguais ou até maiores do que os preços encontrados no aeroporto mais próximo.

Portanto, o presente estudo sugere que a rota para São Paulo ou Viracopos, saindo pela manhã e com faixa de preço entre R$200,00 – R$400,00 reais haverá uma demanda considerável e será muito relevante para a cidade de Uberaba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAETAR. Associação Brasileira das Empresas de Transporte Aéreo Regional. Estudo para adequação da Infraestrutura Aeroportuária nas Regiões de Interesse Turístico. Brasília, DF: 2011.

ASHFORD, N; WRIGHT, P. H. Airport Engineering. John Wiley & Sons, Nova York, 1984.

Azul Linhas Aéreas, <https://www.voeazul.com.br/>, acesso em 25 de julho de 2019>;

Horus. Labtrans. Ministério da Infraestrutura. Secretaria Nacional de Aviação Civil. Disponível em https://horus.labtrans.ufsc.br. Acesso em 15 de julho 2018.

MCKINSEY & COMPANY (2010). Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil: Relatório Consolidado. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Rio de Janeiro.

MONTGOMERY, DC; Runger, GC. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2016 (6ª Edição)

Secretaria Nacional de Aviação Civil (Org.) e EPL. Relatório Executivo o Brasil que Voa 2015. www.aviacao.gov.br/obrasilquevoa. Acesso em: 25 maio 2018.

Secretaria Nacional de Aviação Civil (Org.). **Aeroportos.** 2016. Disponível em: <http://www.aviacao.gov.br/assuntos/aeroportos>. Acesso em: 29 mar. 2018.
SOUZA, A. L. L. Análise Comparativa de aeroportos a nível mundial utilizando conceitos DEA. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.
Suzuki, Yoshinori; Crum, Michael R.; and Audino, Michael J. Airport Choice, Leakage, and Experience in Single-Airport Regions. Journal of Transportation Engineering, Vol. 129, No. 2, March 1, 2003. ©ASCE, ISSN 0733-947X/2003/2-212–218
abr. 2018.

PRISONER'S DILEMMA GAME APPROACH TO DECISION OPTIMIZATION IN COLLABORATIVE TRAJECTORY OPTIONS PROGRAM

Leonardo Cruciol
TransLab, University of Brasilia
Brasília, DF, Brazil, 70910-900
leocruciol@gmail.com

John-Paul Clarke
Daniel Guggenheim School of Aerospace Engineering, Georgia Institute of Technology
Atlanta, GA, USA, 30332
johnpaul@gatech.edu

Li Weigang
TransLab, University of Brasilia
Brasília, DF, Brazil, 70910-900
weigang@unb.br

ABSTRACT

Using the Collaborative Trajectory Options Program (CTOP), one important action to achieve the airlines' business goals is to allocate available slots for flight to fly through a Flow Constrained Area (FCA) by combining rerouting and delay at the same restrictive measure. Although, the Federal Aviation Administration (FAA) turned this collaborative environment possible, when a CTOP demand is initiated, each airline has knowledge only about its own flights related to CTOP. The lack of decision knowledge from other airlines is the challenge in CTOP application. This paper presents a Prisoner's Dilemma Game approach to indicate how many route preferences should be sent by each airline to reduce its delay in continuous operation. The novel solution is developed with learning capacity by the CTOP negotiations and adapting the Decision Support System (DSS) behavior to improve the results in every game round. With predicting the possible future scenarios and airline competitors' strategies, the learning process is well conducted not only depending on more information from other airlines. Comparing with the traditional allocation strategy in case study of two airlines A and B, it is possible to get an improvement rate in delay allocation about 21%, achieving a delay reduction up to 649 hours for Airline A.

Keywords: Air Traffic Management, CTOP, Decision Support System, Game Theory, Uncertain Systems.

1. INTRODUCTION

During last three decades, the advances in Air Traffic Management (ATM) increased significantly by using techniques such as Artificial Intelligence, Operation Research and Game Theory. The Federal Aviation Administration (FAA) keeps improving the ATM programs and procedures to provide better conditions for the airspace control and management in the USA. Some of most important programs, such as Collaborative Decision-Making (CDM); Ground Delay Problem (GDP) and Airspace Flow Program (AFP), were evolved to take a new step in the Next Generation Air Transportation System (NextGen) with the Collaborative Trajectory Options Program (CTOP) (FAA, 2014; FAA, 2015; KOSE et al., 2017; GALLEGO et al., 2018; FAA, 2016; FAA, 2017; HOFFMAN et al., 2018; GUO et al., 2017).

Using the CTOP by FAA, one important action to achieve the airlines' business goals is to allocate available slots to fly through a Flow Constrained Area (FCA) by combining rerouting and delay at the same restrictive measure. This evolution of ATM was important for the users of National Airspace System (NAS), since now the airlines could share their route preferences by sending Trajectory Option Set (TOS) messages for every affected flight to the FAA. The airlines could also improve their business results, considering every individual flight condition. Although, the FAA turned this collaborative environment possible, when a CTOP demand is initiated each airline has knowledge only about its own flights related to CTOP. This makes the strategy definition more important about how many route preferences will be send, once the final sort list to be allocated is defined from the earliest Estimated Time of Arrival (ETA) of each route preference informed in the TOS. The strategy could decreases up to 7 times the delay suffered in its CTOP captured flights, which turns this approach important to handle with the overall uncertainty involved during the TOS definition process.

Considering that the CTOP process is similar as the game activities between airlines and air traffic controllers, the lack of decision knowledge from other airlines is the challenge in CTOP application. Our research developed a Prisoner’s Dilemma game approach to indicate how many route preferences should be sent by each airline to reduce its delay in continuous operation. On the other hand, the Decision Support System (DSS) is included as a fundamental part of the overall management by improving the fluency and safety, and supporting daily activities of NAS users.

The proposed novel models uses a Prisoner’s Dilemma game principle to reduce the risks to increase its delay and predict competitors' game moves by reducing its gain over big loss, which makes the DSS results more balanced. The first approach, named SG-Game, was based on to indicate the best TOS message to be sent when each airline had no history about CTOP negotiations with other airline competitors (CRUCIOL et al., 2015). In this

paper, we present a second approach with learning capacity by the CTOP negotiations and adapting the DSS behavior to improve the results in every game round. By predicting the possible future scenarios and airline competitors' strategies, the learning process is well conducted not only depending on more information from other airlines. As the main contribution of this research, the developed CTOP approach uses a predictive model to estimate the historical environment to develop an expected reputation and likelihood of in-game movement. Once a CTOP demand is done, each airline keeps not having knowledge about the other flights and airlines involved in the negotiation.

This paper is organized as follows. In section 2, we review the relevant research and concepts of CTOP. In section 3, the Prisoner's Dilemma Game approach is adapted as learning model for CTOP application. In section 4, we present the case studies and results using data from the scenario of USA to demonstrate the effective of the developed model. In section 5, we conclude the paper and present directions for future study.

2. COLLABORATIVE TRAJECTORY OPTIONS PROGRAM

The CTOP is initiated when a specific geographic area will be restricted to fly, partially or fully, with reducing the *en* route capacity during a predetermined time. This area is called as Flow Constrained Area (FCA), and more than one FCA could happen in a same CTOP demand with different capacity and demand. At that time, the FAA informs to every airline, who have affected flights by the CTOP, which flights; capacity in each FCA for every 15 minutes window; and the start/end period of restrictions (XUE and ZELINSKI, 2016; MOEHLENBRINK, 2017).

An example of a CTOP demand is presented in Figure 1, with a single flight from Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport (ATL) to Denver International Airport (DEN). It was defined three FCAs in this example, which makes possible four cases: to fly with the least costly route through the *FCA1* or the *FCA2* or the *FCA3* or fly around avoiding the flow constrained areas defined.



Figure 1. CTOP example from ATL to DEN

The main strategic question for the airlines is which TOS message will be sent for every flight, once each airline has no knowledge about its competitors. It is verified that the delay could be increased if the airline send for every flight more route options than the amount of FCA's, plus one NOSLOT option to fly around. For example, if there are 2 FCA's the airline should send 2 routes + 1 NOSLOT option. Thus, verifying the Figure 1, there are four options to send: 1- the best option (least costly) for the

FCA1, 2- the best option for the *FCA2*, 3- the best option for the *FCA3*, or 4- the best option to avoid the FCA's.

The final sort list is defined by the ETA of each route in every FCA and is executed by the CTOP algorithm (GOLIBERSUCH, 2012). The amount of route options an airline send in each CTOP demand will likely define its position to be allocated and receive less delay in its CTOP captured flights.

The CTOP decision is a complex procedure for the airlines because there are many unknown or poorly estimated factors and variables. Information such as the number of captured flights of other airlines, demand and capacity for each FCA, strategy used by others airlines to define their TOSs, and others. These information are hardly estimated to take better strategies.

The proposed Prisoner's Dilemma game approach will work exactly in this part, supporting the airlines operational team to define how many route preferences will be sent in that specific CTOP demand. The developed game model together with DSS will learn and treat the competitor reputation to make adjustments in its strategy for every demand.

3. PRISONER'S DILEMMA GAME APPROACH FOR CTOP MODEL

During the development of the Prisoner's Dilemma game model, we make the following assumptions regarding the strategies of the two airlines, *A* and *B*, i.e., the players. It was assumed that each player would have three strategy options: 1- send NOSLOT for all flights and fly around the FCAs; 2- send one trajectory for every flight to fly through only one FCA plus a NOSLOT option, which will be allocated if the assigned delay is worse than the delay to fly through the FCA; and 3- send two trajectories, i.e., one through each FCA, plus a NOSLOT option. The *Airline A* was selected as the main player and the *Airline B* as the competitor player. The players were assumed to be rational and therefore will send the best trajectory option set for every flight. The NOSLOT option will not be suggested, because the cost to send this option in specific games is too high and unbalances the strategy used by the model.

Once the airline has history knowledge to adapt its strategies, it is possible to learn and improve the expected results. Thus, this approach aims to suggest to the airline operation centers how many trajectory options will likely reduce the involved risks of increase the delay on CTOP captured flights. It was modeled to work dynamically with a learning process that adapts its strategies against competitors, and so, be allocated in better available slots in each CTOP demand (NASH, 1950).

It is a non-cooperative, non-repeated game with incomplete information, which is analogous to the Prisoner's Dilemma game. The CTOP negotiations learning approach overview is presented in Figure 2.

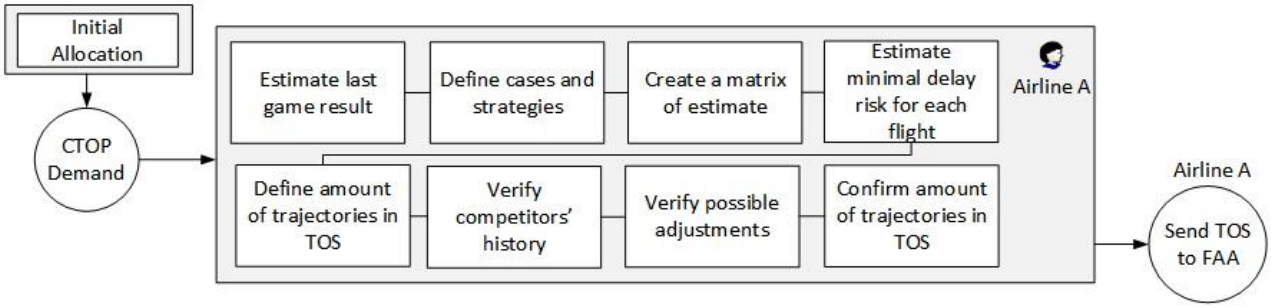


Figure 2. CTOP Negotiations Learning Approach Overview

It was used data mining techniques to analyze the historical CTOP demand data available. Based on this analysis result, it was specified five cases in terms of the fraction of demand contributed by each airline and three scenarios regarding to the flights from each airline. So, the flights were allocated to the first and second half of the demand list as specified by the IAT at the earliest FCA.

Considering that each case and scenario had the same probability to happen, as well as each move of *Airline B*, it was defined 5 cases: 1- *Airline A* had 50% of CTOP captured flights and *Airline B* had 50%, 2- *Airline A* had 67% of CTOP captured flights and *Airline B* had 33%, 3- *Airline A* had 33% of CTOP captured flights and *Airline B* had 67%, 4- *Airline A* had 75% of CTOP captured flights and *Airline B* had 25%, and 5- *Airline A* had 25% of CTOP captured flights and *Airline B* had 75%. The cases and scenarios overview are presented in Figure 3.

Considering the scenarios, it was defined 3 for each case regarding the number of flights of *Airline A* and *Airline B* in each half of IAT order. For example, the second scenario presented in Figure 3 represents: first half of IAT order contains 50% of *Airline A* flights and 50% of *Airline B*, and second half contains 50% of *Airline A* and 50% of *Airline B*.

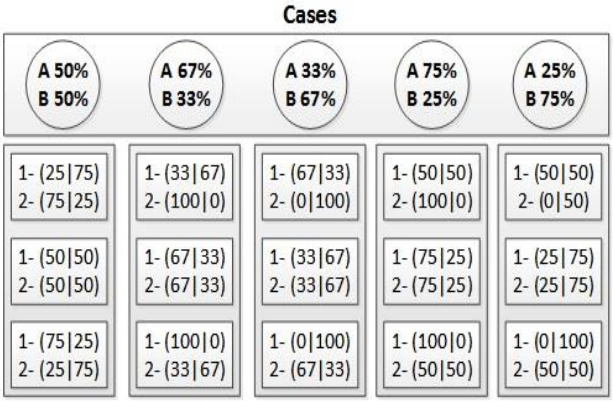


Figure 3. Cases and Scenarios Overview

Considering the Prisoner's Dilemma game, it was possible to make some assumptions to construct the matrix of estimate: 1- The estimated delay cost, if *Airline A* sends NOSLOT for every its flights, 2- The estimated delay cost, if *Airline A* sends one trajectory plus NOSLOT for every its flights and *Airline B* sends NOSLOT for every its flights, and 3- The estimated delay cost, if *Airline A* sends two trajectories plus NOSLOT for every its flights and *Airline B* sends NOSLOT for every its flights.

The game strategy regards strictly available information for each airline and is defined by a payoff function, which is presented by the following equations. The NL_{payoff} considers the SG_{payoff} to calculate its

final result, which was previously defined in CRUCIOL et al. (2015) and is given here by Eq. 1.

$$SG_{Payoff} = \left[E(TC,TS) + \left(|E(TC,TS)| * \frac{RD(TC,TS)}{10^{-4}}\right)\right] \quad (1)$$

$$\mathrm{SG}_{Payoff} = \begin{cases} \mathrm{SG}_{Payoff} \leq 0, \text{ GM = 2 Trajectories + NOSLOT} \\ \mathrm{SG}_{Payoff} > 0, \text{ GM = 1 Trajectory + NOSLOT} \end{cases}$$

Where:

- RD(TC,TS) = Relationship among all estimated delays, as each possible move for *Airline A* and *Airline B*'s move equals 0 (NOSLOT).
- E(TC,TS) = The delay difference between one trajectory plus NOSLOT and two trajectories plus NOSLOT, for each case and scenario. The β represents the move 1 and χ the move 2. The *TC* represents the total of cases and the *TS* the total of scenarios.
- SG_{Payoff} = It represents the payoff. Considering its value, if SG_{Payoff} is higher than 0, game move (GM) might send one trajectory plus NOSLOT option for each flight, otherwise it might send two trajectories plus NOSLOT option.

Once the initial steps, the estimation and analysis of risks are done by the Eq. 1. The Detective Agent (DA) is responsible to estimate which case and strategy likely happened in the last game. The DA's payoff function is given by Eqs. 2, 3 and 4.

$$DRL(C,S,M) = dy \quad (2)$$

$$EMD(C,TSL) = \frac{\sum_{K_{1\rightarrow TSL}} \left[\sum_{M_{0\rightarrow 2}} DRL(C,K,M)\right]}{(DRL(C,S,\alpha) - DRL(C,S,\chi))} \quad (3)$$

$$DA_{Payoff} = \frac{\sum_{C_{1\rightarrow TCL}} [EMD(C,TSL)]}{\sum_{K_{1\rightarrow TSL}} \left[\sum_{M_{0\rightarrow 2}} DRL(C,K,M)\right]} \quad (4)$$

$$\mathrm{DA}_{Payoff} = \begin{cases} \mathrm{DA}_{Payoff} \leq \text{-3}, \textit{ Detective} = 0 \\ -2 \leq DA_{Payoff} < 2\ , \textit{ Detective} = 2 \\ 2 \leq DA_{Payoff} < 5, \textit{ Detective} = 3 \\ \mathrm{DA}_{Payoff} \geq 5, \textit{ Detective} = 1 \end{cases}$$

Where:

- DRL(C,S,M) = *Airline A*'s delay in the last game, in minutes, given by *dy* for each case, scenario and move when *Airline B* sent NOSLOT for every its flight. The *Airline A*'s moves are given by: 0- (NOSLOT), 1- (1 trajectory + NOSLOT) and 2- (2 trajectories + NOSLOT). The α represents the move 0, β represents the move 1 and χ represents the move 2.
- EMD(C,TSL) = Estimated mean delay for each case, regarding its scenarios and moves in the last game for *Airline A*.
- DA_{Payoff}: It estimates which case and strategy likely happened in the last game. Considering the DA_{Payoff} value, the *Detective* will be equals: 0- if ($DA_{Payoff} \leq$ -3), 1- if ($DA_{Payoff} \geq 5$), 2- if ($-2 \leq DA_{Payoff} < 2$) and 3- if ($2 \leq DA_{Payoff} < 5$).
- TCL = Total of cases in the last game. It was defined 5 cases, regarding the flights proportion of each airline during the CTOP: 1-(A=50%, B=50%), 2-(A=67%, B=33%), 3-(A=33%,B=67%), 4-(A=75%, B=25%) and 5- (A=25%, B=75%).

- TSL = Total of scenarios in the last game.

The Learner Agent (LA) is responsible to estimate which *Airline B*'s strategy likely was taken during last 5 games. The LA's payoff function is given by Eqs. 5 and 6. Thus, the NL_{Payoff} function is given by Eq. 7.

$$EDF(C,K,M) = \frac{\sum_{K_{\delta\to\epsilon}} \left[\sum_{M_{0\to2}} DRL(C,K,M)\right]}{DRL(C,K,M)} \quad (5)$$

$$LA_{Payoff} = EDF(C,K,M) * (DRL(C,\delta,\alpha)/DRL(C,\epsilon,\chi)) \quad (6)$$

$$\mathrm{LA}_{Payoff} = \begin{cases} \mathrm{LA}_{Payoff} < 0, \; Learner = 0 \\ 0 \leq LA_{Payoff} < 2\,, \; Learner = 1 \\ \mathrm{LA}_{Payoff} \geq 2, \; Learner = 2 \end{cases}$$

$$NL_{Payoff} = SG_{Payoff} + (Detective * Learner) \quad (7)$$

$$\mathrm{NL}_{Payoff} = \begin{cases} \mathrm{NL}_{Payoff} \leq 0, \text{ GM = 2 Trajectories + NOSLOT} \\ \mathrm{NL}_{Payoff} > 0, \text{ GM = 1 Trajectory + NOSLOT} \end{cases}$$

Where:

- EDF(C,K,M) = Estimated mean delay for each case, regarding its scenarios and moves in the last 5 games for *Airline A*. The α represents the move 0, β represents the move 1 and χ represents the move 2. The δ represents the last 1st game and ε the last 5th game.
- LA_{Payoff}: It estimates which *Airline B*'s strategy likely was taken during last 5 games. Considering the LA_{Payoff} value, the *Learner* will be equals: 0- if ($LA_{Payoff} < 0$), 1- if ($0 \leq LA_{Payoff} < 2$) and 2- if ($LA_{Payoff} \geq 2$).
- *Detective* = It represents the *Detective* value, given by DA_{Payoff}'s payoff.
- *Learner* = It represents the *Learner* value, given by LA_{Payoff}'s payoff.
- NL_{Payoff} = It represents the payoff. Considering its value, if NL_{Payoff} is higher than 0, game move (GM) might send one trajectory plus NOSLOT option for each flight, otherwise it might send two trajectories plus NOSLOT option.

4. EXPERIMENTAL CASE STUDIES

The CTOP demand was created with two FCAs, *FCA001* and *FCA002*, which every aircraft flying through would have some restriction based on available capacity and excluding exempt flights. There was a total of 331 flights destined to the New York metropolitan area from airports in Miami, Dallas, Chicago, San Francisco, Los Angeles and Las Vegas. The flights were randomly assigned to each airline and airport.

It is defined 3 scenarios for each case, regarding the partition of airlines' flights in the IAT order; 3 possible moves for each player, resulting 9 possible combinations for each game; and regarding the amount of CTOP captured flights, it was defined 5 cases. Considering that both airlines do not know which case or scenario is being played, there were 135 possible final results for the game.

A case study was conducted involving two airlines and 100 different CTOP demands, called as cycle. Thus, it was performed 100 cycles, generating 10.000 CTOP negotiations for each case study, to verify the model behavior by the time. The CTOP period was randomly defined between 6 and 8 hours. The capacity to fly through

each FCA was randomly defined as 3 or 5 aircraft per each 15 minutes during the CTOP period.

To evaluate the game, it was defined four parameters that influence the final outcome: 1- final case, defined by the amount of CTOP captured flights of both airlines; 2- final scenario as chosen case, defined by the partition of flights in the IAT order; 3- *Airline B* move, defined by case and scenario chosen; and 4- *Airline A* move, defined by the combination of all others final parameters and its move.

Considering that *Airline A* could estimate its delay when *Airline B* sends NOSLOT for every flight, there are 3 possible moves for the game and 4 game strategies to choose: 1- *Airline A* would send NOSLOT for every its flights in every game, 2- *Airline A* would send one trajectory plus NOSLOT option for every its flights in every game, 3- *Airline A* would send two trajectories plus NOSLOT option for every its flights in every game, and 4- *Airline A* would choose the game move based on the payoff functions proposed by this approach.

It was defined two categories regarding the model behavior to evaluate the results: 1- Each case has 33.3% to happen during each game, and 2- The amount of flights of *Airline A* is the same in every game. There were 4 possible strategies for every CTOP flight: NOSLOT (NS), one trajectory + 1 NS, two trajectories + 2 NS or decide the move according to second phase payoff.

Considering the case 2 and a 33% strategy, i.e., *Airline A* will change the strategy in each one third of game total amount following the sequence: 1 trajectory + NOSLOT, 2 trajectories + NOSLOT, and NOSLOT, the accumulated delay in hours after 100 cycles is presented in Figure 4 by the normal probability distribution function for the Game Theory approach and others possible strategies for *Airline A*.

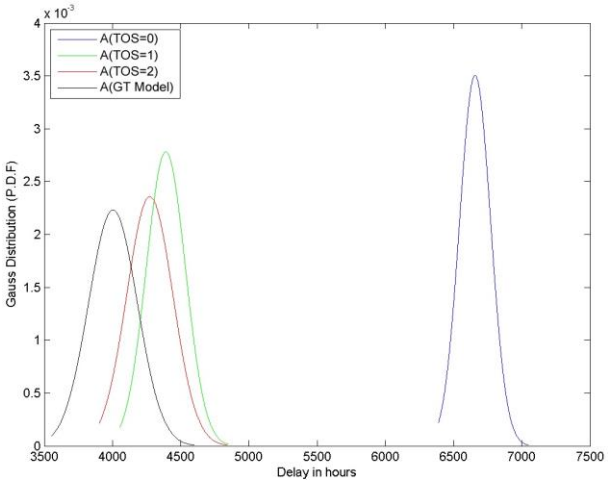


Figure 4. PDF of Game Theory and others possible strategies for Case 2 and 33% strategy of *Airline A*

Analyzing Figure 4, this approach reduced the global delay in about 16%. Considering the case 3 and the 33% strategy, i.e., *Airline A* will change the strategy in each one third of game total amount following the sequence: NOSLOT, 1 trajectory + NOSLOT, and 2 trajectories + NOSLOT. The scenario is presented in Figure 5 and reduced the global delay in about 21%, achieving a delay reduction up to 649 hours for *Airline A*.

During the case study, it was analyzed the behavior of each strategy and final results regarding the possibility to identify a Nash Equilibrium in CTOP and verify if there is

some equilibrium that would be the same for every case.

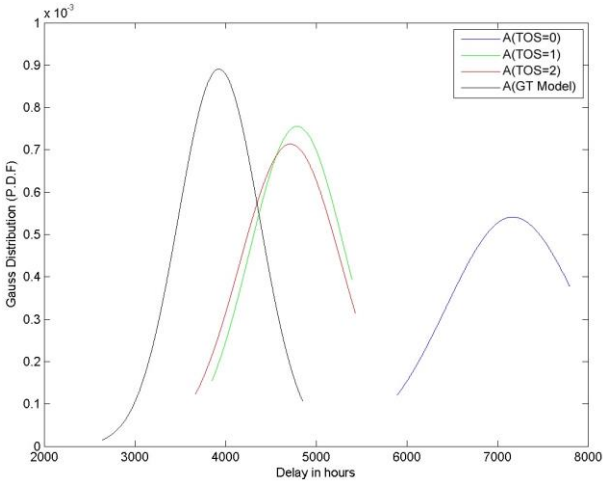


Figure 5. PDF of Game Theory and others possible strategies for Case 3 and 33% strategy of *Airline A*

The Nash Equilibrium for cases 1; 2 and 3 of the first phase, including the approach that every case would have the same probability to happen, is presented in Figure 6.

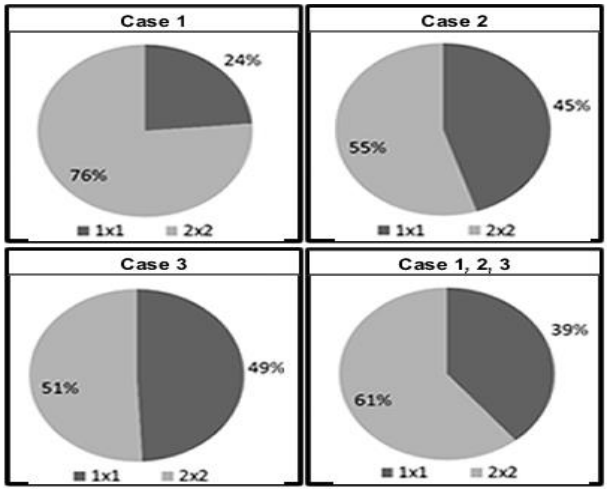


Figure 6. Nash Equilibrium for cases 1, 2 and 3

Analyzing Figure 6, it is possible to verify that Nash Equilibrium happened in two cases: 1- (1x1) both airlines would choose to send 1 trajectory + NOSLOT for every flight, and 2- (2x2) both airlines would choose to send 2 trajectories + NOSLOT for every flight. Considering this, it would be possible to deduce that the higher the proportion of flights most likely to achieve better results sending 2 trajectories + NOSLOT.

5. CONCLUSION

The CTOP initiative introduced a great opportunity to improve airline business results. A large uncertainty involving a better slot allocation is handled in the TOS. The TOS planning process involves how many options per TOS and which is the best strategy to choose. Each TOS message sent by airlines will determine the final assignment order for each available time slot to fly through a FCA, regarding to each airline has only information about its own flights to take its decisions when a CTOP demand is created.

In this research, we identified that, in general, if an airline does not have any information about the CTOP demand, minimum delay would be achieved sending one trajectory option for each FCA plus a NOSLOT. However, it is possible to make an optimization when some attributes of a CTOP demand indicates a better strategy to be taken in specific cases. Thus, a case study was conducted to evaluate the historical information on negotiations. It was generated 10.000 CTOP negotiations, considering 331 flights destined to the New York metropolitan area from airports in Miami, Dallas, Chicago, San Francisco, Los Angeles and Las Vegas. It was considered 2 airlines, 2 FCAs and 135 possible scenarios for every game.

It is important to verify that when an airline took the same strategy for every flight

in 100 cycles, the strategy of sending one trajectory in the TOS message for each FCA plus a NOSLOT option to fly around achieved the best results. Considering this strategy and comparing with our proposal, it was used a learning process by adapting its strategies against competitors to be allocated in better available slots in a CTOP demand. The results show the possibility of getting the improvement rate about 21% for an airline using the model and achieving a delay reduction up to 649 hours for the *Airline A.*

As the main contribution of this research, the CTOP model with learning capacity was developed and achieved satisfactory results using the Prisoner's Dilemma game approach.

It is possible to reduce the assigned delay and support the airline decision process for TOS decision by learning and adapting dynamically its strategies. For the future work, it will be considered new methods such as genetic algorithms to improve the results of the game theory model presented in this paper. We intend to use more than two airlines and multiple FCAs *en* route, which will improve the current airline decision-making process.

ACKNOWLEDGMENT

This research is partially supported by the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) under grants No. 150856/2017-2 and No. 311441/2017-3.

6. REFERÊNCIAS

CRUCIOL, L. L. B. V. ; Clarke, J-P; and Weigang, L. Trajectory Option Set Planning Optimization under Uncertainty in CTOP. In: 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2015, Canary Islands, Spain, pp. 2084–2089, 2015.

FAA, Federal Aviation Administration, "Introduction to CTOP", Technical Report, Available at: http://cdm.fly.faa.gov/?pageid=983, Washington DC, USA, 2014.

FAA, Federal Aviation Administration, "Workforce of the Future Strategic Plan FY2015-FY2018", Technical Report, Available at: https://my.faa.gov/content/dam/myfaa/org/staffoffices /ahr/workforce of the future/wi-strategic-plan-final.pdf, Washington DC, USA, 2015.

FAA, Federal Aviation Administration, "The Future of the NAS", Technical Report, Available at: https://www.faa.gov/nextgen/media/futureofthenas.pdf, Washington DC, USA, 2016.

FAA, Federal Aviation Administration, "NextGen Implementation Plan", Technical Report, Available at: https://www.faa.gov/nextgen/media/NGPriorities-2017.pdf, Washington DC, USA, 2017.

GALLEGO, C.; COMENDADOR, V.; NIETO, F.; IMAZ, G.; and VALDES, R. Analysis of air traffic control operational impact on aircraft vertical profiles supported by machine learning. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 95, pp. 883–903, 2018.

GOLIBERSUCH, M. CTOP Assignment Algorithm and Substitution Processing, FAA PMO – Industry Forum 2012, Available at: http://www.faaindustryforum.org/5\%20\%20MIKE\%20GOLIBER SUCH---Industry\%20Forum\%20CTOP\% 20Technical\%20Brief\% 20 (Final).pdf , Washington DC, USA, 2012.

GUO, H.; SHEN, C.; DAI, D.; ZHANG, M.; CHU, C.; and SHI, L. Environment promotes the evolution of cooperation in spatial voluntary prisoner's dilemma game, Applied Mathematics and Computation, Vol. 315, pp. 47–53, 2018.

HOFFMAN, R.; HACKNEY, B.; KICINGER, R.; BALL, M.; and ZHU, G. Computational Methods for Flight Routing Costs in Collaborative Trajectory Options Programs, In AIAA 2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Atlanta, GA, USA, 2018.

KOSE, E.; ERBAS, M.; and ERSEN, E. An integrated approach based on game theory and geographical information systems to solve decision problems. Applied Mathematics and Computation, Vol. 308, pp. 105–114, 2017.

MOEHLENBRINK, C.; PARKE, B.; YOO, H.; BRASIL, C.; BUCKLEY, N.; SPERIDAKOS, C.; MURO, F.; HODELL, G., LEE, P.; and SMITH, N. Evaluation of Integrated Demand Management looking into Strategic & Tactical Flow Management. In: Twelfth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2017), Seattle, USA, 2017.

NASH., J.F. Equilibrium points in N-person games, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 36, pp. 48–49, 1950.

XUE, M.; and ZELINSKI, S. Route optimization for offloading congested meter fixes. In: IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference (DASC), Sacramento, USA, pp. 1–8, 2016.

ANÁLISE ESTRATÉGICA DA FUSÃO DAS COMPANHIAS LAN E TAM: UMA ABORDAGEM DA STRATEGIC VARIANCE ANALYSIS

Luiz Augusto da Silva Alves
Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em Transportes
Anexo SG-12, 1° andar, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, Distrito Federal, Brasil, luiz.aug.alves@gmail.com

Carlos Henrique Rocha
Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em Transportes
Anexo SG-12, 1° andar, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, Distrito Federal, Brasil, chrocha@unb.br

RESUMO

Este artigo analisa a fusão de duas companhias aéreas da América Latina, a chilena LAN e a brasileira TAM, que formaram um dos maiores grupos de transporte aéreo de passageiros da região. É abordado o conceito de *Strategic Variance Analysis* (SVA), usado no meio acadêmico para avaliar a evolução do lucro operacional de uma empresa entre dois períodos (2010-2013). Em seguida, os dados financeiros, operacional e de combustível da empresa são levantados, reclassificados e usados para calcular a SVA. Ao final, a SVA demonstra que esta fusão foi insuficiente para cobrir o aumento de combustíveis deste período.

Palavras-chave: fusão, aquisição, sinergia, incorporação, SVA

ABSTRACT

This article analyzes the merge of two Latin America airlines, the Chilean LAN and the Brazilian TAM, that formed one of the largest passenger air transport groups in the region. The concept of Strategic Variance Analysis (SVA), used in the academic environment to evaluate a company's operational revenue between two time periods (2010-2013), is discussed. Then, the financial, operational and fuel data are gathered, reclassified and applied to calculate SVA. At the end, the SVA demonstrates that this merge was insufficient to cover the rise of the fuel price during these years.

Keywords: merge, acquisition, sinergy, incorporation, SVA

1. INTRODUÇÃO

A aviação civil mundial atravessou momentos financeiramente difíceis após os ataques terroristas de 11 de setembro de 2001. A demanda por transporte aéreo diminuiu significativamente nos meses subsequentes devido ao receio e às incertezas que pairavam sobre a segurança de voo. Este fato atingiu a reputação da imagem do transporte aéreo, e a percepção dos passageiros sobre segurança no ar. Conforme novas medidas eram adotadas pelas autoridades de aviação civil no mundo inteiro, a atividade aérea voltou gradativamente a crescer.

Mesmo assim, tradicionais empresas aéreas que atuavam há muitos anos no mercado viram suas já apertadas margens de lucro reduzirem-se bastante, enquanto novas apareciam no mercado propondo novos modelos de negócio. Entre 2000 e 2019, várias dessas empresas de aviação civil, na busca pela sobrevivência, fundiram-se, tais como a Air France e a KLM (2004); a Continental e United Airlines (2010); a British Airways e a Iberia (2011); e a Gol e Webjet (2011).

Outro fator relevante foi a popularização das empresas low-cost/low-fare, com uma proposta agressiva de operar com custos baixos e oferecer serviços aéreos com tarifas reduzidas, forçando uma competição não somente com as tradicionais empresas do setor, mas também com outros modos de transporte. As empresas aéreas mais antigas e tradicionais foram pressionadas pelo próprio mercado para operar de forma mais eficiente financeiramente e oferecer serviços a preços mais competitivos, para encarar a concorrência. Caso contrário, suas fatias de mercado tenderiam a ser diminuídas pelas empresas low-cost.

Finalmente, as oscilações do preço do petróleo impactaram diretamente o resultado operacional das companhias aéreas. Somente no Brasil, a Associação Brasileira das Empresas Aéreas estimou que em 2012, 37,8% dos custos operacionais das linhas aéreas nacionais foram relacionados a combustível, sendo o maior valor historicamente registrado (ABEAR, 2019), o que demonstra o peso que este insumo representa nas contas de cada empresa, especialmente. No caso de empresas brasileiras cuja maior parte da receita é em real e boa parte da despesa é em dólar americano, fatalmente a componente taxa de câmbio implica ainda mais em aumento dos custos e diminuição da margem de lucro.

1.1 Problemas e Objetivo

Este estudo tem como problema a seguinte questão: como identificar de forma objetiva as causas favoráveis ou desfavoráveis à sinergia da fusão LAN (Chile) e TAM (Brasil) anunciada em 2010.

O objetivo principal é avaliar a fusão entre a LAN e a TAM por meio da metodologia Strategic Variance Analysis (SVA), formulada por Horngren, Foster e Datar (2000) e estendida por Sopariwala (2003). Investiga-se, portanto, se esta fusão foi, financeiramente correta, e quais foram suas fontes de sucesso e insucesso. Um objetivo secundário é verificar qual foi a estratégia corporativa adotada entre o período da fusão e a consolidação da nova companhia. Escolheu-se a LAN-TAM pois trata-se da fusão da maior empresa aérea brasileira da época, tanto em relação ao número de passageiros transportados quanto em receitas, demonstrando-se a relevância do tema (ANAC, 2010).

A seção 1 apresenta uma introdução ao cenário de fusões e incorporações no mercado de empresas aéreas em que a LAN e a TAM estavam inseridas à época; em seguida, é traçado um breve histórico de como se desenvolveu a fusão. Na seção 2 são discutidos o referencial teórico da pesquisa e importantes estudos aplicados da metodologia SVA ao setor de aviação civil. A seção 3 detalha a metodologia da SVA, e descreve sobre a origem dos dados usados na pesquisa. A seção 4 comenta sobre os resultados obtidos. A seção 5 encerra o artigo.

1.2 Histórico da fusão LAN-TAM

Em 2010 o mercado de transporte aéreo de passageiros no Brasil contava com sei empresas aéreas principais: TAM, Gol, Webjet, Azul, Avianca e TRIP (ANAC, 2010). Em agosto do mesmo ano, as empresas TAM e LAN anunciaram publicamente um acordo de fusão das duas companhias, integrando as operações

brasileiras e chilenas nos anos seguintes. Segundo declaração do vice-presidente da LAN Enrique Cueto em entrevista a um jornal de Santiago, *"em valores atuais (de 2010), sem as sinergias, o valor combinado das duas companhias é de cerca de 11,5 bilhões de dólares"* (SOTO, 2010).

A ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) aprovou em março de 2011 o acordo de fusão das duas empresas; nesse mesmo ano é assinado o acordo vinculatório entre as famílias Amaro (controladora da TAM) e Cueto (controladora da LAN) para combinar os negócios entre as duas empresas (LATAM, 2019). Os órgãos de defesa da livre concorrência dos dois países aprovaram a fusão, ainda que com algumas medidas de mitigação: em setembro, o *Tribunal de Defensa de la Libre Conpetencia (TDLC)* do Chile e em dezembro o Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE), do Brasil.

Ainda em 2011, em novembro, LAN e TAM se registram no *Securities and Exchange Comission (SEC)* nos Estados Unidos, para poderem negociar ações na Bolsa de Nova York. No ano seguinte, em janeiro de 2012, os acionistas da TAM concordam em fazer a permuta de ações, sendo 0,9 ação da LAN para cada papel da TAM (Fernández, 2012). Em maio deste ano, a Comissão de Valores Mobiliários (CVM), órgão brasileiro responsável pelo mercado de ações, autoriza a permuta de ações entre as companhias. Em 22 de junho, a fusão é concluída e nasce o Latam Airlines Group S.A., maior companhia aérea da América Latina. Fernández (2012) detalha em ordem cronológica os acontecimentos dessa operação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fusões e aquisições de empresas aéreas

As transformações do mercado de transporte aéreo de passageiros nos últimos 20 anos tem despertado o interesse de pesquisadores nesse tema em todo o mundo: o caso da Delta-Northwest em 2008 (Park, 2014); a compra da Webjet pela Gol (Rocha *et. al.*, 2018); e a alavancagem financeira das principais empresas aéreas brasileiras (Godoi *et. al.*, 2016). As tarifas aéreas para companhias fundidas na década de 1980 foram estudadas por Kim *et. al* (1993).

2.2 *Strategic Variance Analysis (SVA)*

O artigo adota o método **SVA (*Strategic Variance Analysis*)**, ou Análise Estratégica de Variância, em tradução livre, como técnica para avaliar a diferença de resultados financeiros de uma empresa entre períodos de tempos (geralmente anos). A SVA, segundo Horngren *et al.* (2000) leva em conta o detalhamento de alguns componentes estratégicos: componente de crescimento, componente de recuperação de preços e componente de produtividade. Posteriormente, Sopariwala (2003) amplia a análise e inclui um quarto componente, chamado subutilização de capacidade. É importante ressaltar que o conceito de variância em SVA, aqui discutido, em nada se confunde com o tradicional conceito de variância aplicado às ciências estatísticas.

Buscas em tradicionais bases de periódicos e serviços de indexação de artigos como Scopus, Web of Science e Google Scholar retornam apenas alguns poucos resultados de uso da SVA aplicados ao mercado aéreo americano.

A seguir levanta-se exemplos de pesquisas em que foram utilizados a SVA: estudos elaborados por Caster *et. al.* (2011 e 2013): ambiente do mercado aéreo americano, onde a análise foi feita para 7 empresas aéreas da época; os mesmos autores ainda analisaram em outro artigo o plano de transformação estratégica da Alaska Airlines em 2010; Mudde *et. al.* (2008, 2010 e 2014) trabalharam em cima da execução estratégica da Southwest Airlines em 2005; estes ainda desenvolveram um estudo (2014) sobre o caso da American Airlines; e ainda publicaram um artigo acerca da fusão US Airways e America West.

Basicamente, a SVA é uma avaliação técnica da situação operacional em um certo ano, em relação a um ano anterior (não necessariamente o ano imediatamente anterior), avaliando-se as mudanças nos números financeiros-operacionais. Apesar de Horngren *et al.* (2000) terem desenvolvido esse conceito de SVA para aplicação à indústria, Mudde e Sopariwala adaptaram o *framework* para as especificidades

das empresas aéreas. Para reforçar o entendimento, a expressão "análise de variância" é o termo aplicado ao processo de especificar razões para o porquê de a renda operacional real, para um dado período, ser diferente da renda operacional estimada ou planejada (Shank *et. al.*, 1977).

Uma das ideias derivadas da SVA é relacionar o que dizem os números financeiros/operacionais de uma empresa em relação às estratégias de mercado utilizadas. Porter (2008) elenca três estratégias para obter vantagem competitiva: a) liderança de custos, onde uma empresa perseguirá a eficiência operacional para baixar seus custos; b) diferenciação de produtos/serviços, estratégia focada em fornecer um serviço ou produto com qualidades que o difere dos concorrentes; e c) nicho de mercado, onde uma parcela reduzida dos consumidores desejam produtos específicos, mas não é atendida pelos produtores/fornecedores, estratégia caracterizada por baixo volume de vendas, e altas margens de lucro.

Entre as limitações, os autores Caster *et. al.* (2011) mencionam que *"a SVA feita para apenas uma empresa, por si só, pode levar a resultados equivocados"*, e que *"a SVA para a Delta Airlines é interessante, mas é uma análise incompleta sem levar em consideração o que estava acontecendo com seus competidores mais próximos"*. Portanto, apesar de não ser o foco deste artigo, é importante salientar que uma a análise completa da estratégia de mercado da fusão LAN e TAM deve considerar o estudo de SVA dos demais competidores daquele momento.

3. METODOLOGIA

3.1 Componentes da SVA

Para situar melhor o tempo, foi definido uma janela de quatro anos (2010-2013) para o estudo, exatamente entre o momento do anúncio da fusão, revelada em 2010 e o momento seguinte à fusão, concluída em 2012. A justificativa para esse período, é que as mudanças provocadas pela fusão precisam de um certo tempo para provocar impactos financeiros e operacionais na nova empresa.

Como mencionado anteriormente, Mudde *et. al.* (2008) explicam que a SVA deve ser feita com a decomposição em quatro componentes, a serem detalhadas a seguir. A **componente de crescimento** mede a mudança no lucro operacional causada pela variação nos valores da Receita de Passageiro-Kilômetros Transportados (RPK), considerando preços de venda, custos de entrada e relacionamentos entradas-saídas constantes. A variância nesta componente é causada por mudanças na participação ou no tamanho de mercado. Esta componente é calculada pelas equações de (1) a (4), do ano i para o ano j :

a. Efeito das Receitas na Componente de Crescimento:

$$variância = (receitas_i/RPK_i) \times (RPK_j - RPK_i) \quad (1)$$

b. Efeito dos Custos dos Combustíveis na Componente de Crescimento:

$$variância = (custo\ de\ combustível/litro_i) \times (média\ litros\ usados/ASK_i) \times (ASK_{i\ (real)} - ASK_{j(esperado)}) \quad (2)$$

c. Efeito dos Custos Relacionados aos Voos na Componente de Crescimento:

$$variância = (custos\ relacionados\ ao\ voo/ASK_i) \times (fator\ de\ carga\ de\ passageiros_i) \times (ASK_{i\ (real)} - ASK_{j(esperado)}) \quad (3)$$

d. Efeito dos Custos Relacionados aos Passageiros na Componente de Crescimento:

$$variância = (custo/passageiro\ pago\ embarcado_i) \times (passageiros\ pagos\ embarcados_{i(real)} - passageiros\ pagos\ embarcados_{j(esperada)}) \quad (4)$$

A **componente de recuperação de preços** avalia a variância no lucro operacional causada por variações em preços de venda e custos unitários de entrada, mantendo constantes unidades de vendas e os relacionamentos entradas-saídas). Horngren *et al.* (2000) sugerem que essa componente indica uma estratégia de diferenciação de produtos da empresa: um valor positivo na componente de recuperação de preços significa que essa estratégia de diferenciação forneceu poder de precificação suficiente para a empresa, tal que os passageiros foram induzidos a pagar uma quantidade maior que o aumento de custos que essa empresa teve. Esta componente é calculada de (5) a (6), do ano i para o ano j:

e. Efeito das Receitas na Componente de Recuperação de Preços:

$$variância = \left(RPK_j\right) \times \left(receita_j/RPK_j - receita_i/RPK_i\right) \quad (5)$$

f. Efeito dos Custos do Combustível na Componente de Recuperação de Preços:

$$variância = \left(ASK_{j\ (esperado)}\right) \times (litros\ de\ combustível\ usados/ASK_i) \times \left(custo\ de\ combustível/litros_i - custo\ de\ combustível/litros_j\right) \quad (6)$$

g. Efeito dos Custos Relacionados aos Voos na Componente de Recuperação de Preços:

$$variância = \left(fator\ de\ carga\ de\ passageiros_j\right) \times \left(ASK_{j\ (real)}\right) \times \left(custos\ relacionados\ ao\ voo/ASK_i - custos\ relacionados\ ao\ voo/ASK_j\right) \quad (7)$$

h. Efeito dos Custos Relacionados aos Passageiros na Componente de Recuperação de Preços:

$$variância = \left(passageiros\ pagos\ embarcados_{j\ (esperada)}\right) \times \left(custo/passageiro_i - custo/passageiro_j\right) \quad (8)$$

A **componente de produtividade** mede a mudança no lucro operacional causada por variações no relacionamento entrada-saída, mantendo constantes os preços de venda e os custos de entrada. Horngren *et. al.* (2000) sugere que essa componente indica a tendência da empresa em escolher uma estratégia de baixos custos. Isto é, um valor positivo na componente de produtividade indica que o lucro operacional advém do aumento de produtividade da empresa. Esta componente é calculada assim de (9) a (11), do ano i para o ano j:

i. Efeito dos Custos de Combustível na Componente de Produtividade:

$$variância = (custo/litro)_j \times \left(ASK_{j(esperada)}\right) \times \left((litros\ usados/ASK)_i - (litros\ usados/ASK)_j\right) \quad (9)$$

j. Efeito dos Custos de Combustível (ASK) na Componente de Produtividade:

$$variância = (custo/litro)_j \times (litros\ usados/ASK)_j \times \left(ASK_{j(esperado)} - ASK_{i(real)}\right) \quad (10)$$

k. Efeito dos Custos Relacionados aos Passageiros na Componente de Produtividade:

$$variância = (custo/passageiro\ embarcado)_j \times \left(passageiros\ embarcados_{j(esperada)} - passageiros\ embarcados_{j(real)}\right) \quad (11)$$

Finalmente, a **componente de subutilização de capacidade** avalia a variância no lucro operacional devido a variação nos custos de capacidade não utilizada ao longo do período. Sopariwala (2003) indica que essa componente revela se uma empresa consegue sucesso em gerenciar a relação entre sua capacidade usada e não usada. Esta componente é calculada de (12) a (14), do ano i para o ano j:

l. Variações nos Custos Relacionados ao Voo em Relação à Capacidade Inutilizada:

$$variância = \left(ASK_{j\,(real)} - RPK_{j(real)}\right) \times \left((custo/ASK)_i - (custo/ASK)_j\right) \quad (12)$$

m. Variações nos Custos de Capacidades Disponíveis Relacionados ao Voo:

$$variância = (custo/ASK)_i \times \left(ASK_{i(real)} - ASK_{j(real)}\right) \quad (13)$$

n. Variações nos Custos de Capacidades Usadas Relacionados ao Voo:

$$variância = (custo_i/ASK) \times \left(RPK_j - RPK_i\right) \quad (14)$$

Se fossem comparadas mais de uma empresa aérea, recomenda-se que os valores calculados das equações de (1) a (14) sejam normalizados dividindo-se as variâncias pelo valor de Passageiros-Kilômetros Transportados (RPK).

De acordo com o estudo de Caster *et. al.* (2011), foram levantados as seguintes informações: dados financeiros (receitas e despesas operacionais, depreciação, amortização, lucro, etc.), dados operacionais (receita passageiros embarcados, receita passageiros kilômetros e assentos disponíveis kilômetros), dados sobre combustível (total de litros utilizados, custos totais com combustíveis e custo médio de combustível por galão). Por isso considera-se suficientes esses tipos de informações para seguir com a análise.

3.2 Levantamento dos dados

A fonte primária de dados são os Anuários da ANAC (2010, 2013) e os Dados Estatísticos da ANAC (2010, 2013), sendo essas duas fontes disponibilizadas na página da agência.Os dados para este trabalho precisaram ser organizados melhor em várias tabelas, com o objetivo de facilitar o entendimento dos cálculos.

A Tabela 1 mostra os **dados operacionais** para a antiga TAM (2010) e para a nova LATAM (2013); em seguida, estão tabulados os **dados de combustível** relativo aos períodos estudados, na Tabela 2. Finalmente, os **dados financeiros** obtidos nos DRO – Demonstrativos de Resultado Operacional foram organizados e reclassificados de acordo com a Tabela 3. Esta tabela é muito similar à usada no trabalho de Caster *et. al.* (2011). Finalmente, alguns dados adicionais necessários para executar a SVA são calculados e expostos na Tabela 4.

As equações de (1) a (14), que calculam as variâncias a serem analisada, são usadas para a elaboração da Tabela 5, baseada nos dados das Tabelas de 1 a 4. Para cada componente da SVA calculado, os valores são somados e o total da componente é obtido.

Ao final, os números da tabela 5 indicaram o que a nova empresa, LATAM, provavelmente fez estrategicamente durante os anos da fusão, e os indícios de que levaram ao lucro ou prejuízo financeiro, conforme as análises posteriores.

Tabela 1: Dados Operacionais

	2010	2013
Passageiros Pagos Embarcados	31.515.633	35.902.761
Receita Passageiros-Kilômetros Transportados (RPK)	50.467.259.599,00	59.261.578.110,00
Assentos-Kilômetros Ofertados (ASK)	70.046.837.151,00	74.355.999.311,00

Fonte: ANAC (2010, 2013)

Tabela 2: Dados de Combustível

	2010	2013
Litros de Combustível Usado	2.398.143.381	2.486.504.931
Custos Totais de Combustível (R$)	**3.374.858.840,00**	**5.278.656.660,00**
Custo Médio de Combustível (R$/L)	1,40	2,12

Fonte: ANAC (2010, 2013)

Tabela 3: Dados Financeiros Levantados e Classificados (R$)

	2010	2013
Tripulação	1.384.702.200,00	1.546.284.400,00
Manutenções e Revisões	850.197.630,00	1.384.601.190,00
Tarifas Aeroportuárias e de Navegação Aérea	593.698.570,00	873.618.640,00
Arrendamento e Seguro	435.159.850,00	879.470.850,00
Despesas Gerais Administrativas	774.345.290,00	1.094.423.600,00
Depreciação de Equipamentos de Voo	577.785.770,00	544.245.020,00
Organização Terrestre e de Carga	716.700.360,00	902.985.810,00
Custos Relacionados aos Voos (excluindo combustíveis)	**5.332.591.680,00**	**7.225.631.523,00**
Serviços de Bordo	304.267.100,00	349.673.870,00
Organização de Tráfego de Passageiro	1.747.068.690,00	1.758.836.390,00
Custos Relacionados aos Passageiros	**2.051.335.790,00**	**2.108.510.260,00**
Receitas Operacionais	**10.288.871.650,00**	**13.265.776.270,00**
Despesas Operacionais	**10.758.784.300,00**	**14.612.796.420,00**
Custos de Combustíveis	3.374.858.840,00	5.278.656.660,00
Custos Relacionados ao Voo	5.332.591.680,00	7.225.631.523,00
Custos Relacionados aos Passageiros	2.051.335.790,00	2.108.510.260,00
Lucro/Prejuízo Operacional	**-469.912.650,00**	**-1.347.020.160,00**

Fonte: ANAC (2010, 2013)

Tabela 4: Dados processados usados na SVA

	2010	2013
Receitas Operacionais	10.288.871.650,00	13.265.776.270,00
Receita Passageiros-Kilômetros Transportados (RPK)	50.467.259.599,00	59.261.578.110,00
Receita média por RPK	0,204	0,224
Receita Passageiros-Kilômetros Transportados (RPK)	50.467.259.599,00	59.261.578.110,00
Assentos-Kilômetros Ofertados (ASK)	70.046.837.151,00	74.355.999.311,00
Fator de carga de passageiros (%)	72,05%	79,70%
Assentos-Kilômetros Ofertados (ASK) Esperados		82.250.628.900,00
Receita Passageiros-Kilômetros Transportados (RPK)	50.467.259.599,00	59.261.578.110,00
Passageiros Pagos Embarcados	31.515.633	35.902.761
RPK médio por passageiro	1601,34	1650,61
Passageiros Pagos Embarcados Esperados		37.007.493
Litros de Combustível Usado	2.398.143.381	2.486.504.931
Assentos-Kilômetros Ofertados (ASK)	70.046.837.151,00	74.355.999.311,00
Média de Litros de Combustível Usado por ASK	0,0342336	0,0334405
Custos Relacionados ao Voo	5.332.591.680,00	7.225.631.523,00
Assentos-Kilômetros Ofertados (ASK)	70.046.837.151,00	74.355.999.311,00
Custos Médios Relacionados ao Voo por ASK	0,0761	0,0972
Custos Relacionados aos Passageiros	2.051.335.790,00	2.108.510.260,00
Passageiros Pagos Embarcados	31.515.633	35.902.761
Custo Médio por Passageiro Pago Embarcado	65,09	58,73
Receita Passageiros-Kilômetros Transportados (RPK)	50.467.259.599,00	59.261.578.110,00
Assentos-Kilômetros Ofertados (ASK)	70.046.837.151,00	74.355.999.311,00
Capacidade ociosa ou não usada (ASK)	19.579.577.552,00	15.094.421.201,00
Capacidade ociosa ou não usada esperada(ASK)		22.989.050.790,00

4. RESULTADOS

Primeiramente, observa-se que a empresa aumentou sua produtividade no período de comparação entre o ano do anúncio da fusão e o ano posterior à mesma. Este é mesmo um dos objetivos de um processo de fusão. A componente de produtividade gerou pouco mais de R$ 1 bilhão em lucro operacional para a empresa, ancorada principalmente na diminuição do custo por passageiro embarcado (de R$ 65,09 para R$ 58,73) e no aumento do fator de carga (ocupação) das aeronaves (de 72,05% para 79,70). Como fatores do aumento da produtividade, ressalta-se que nesta época a empresa começou a desativar os quadrimotores Airbus A340 e iniciou as operações com os bimotores mais econômicos Boeing 777.

A componente de recuperação de preços da TAM/LATAM chama a atenção pelo grande valor, quase R$ 2 bilhões negativos de prejuízo. Esta componente mede a capacidade que uma empresa aérea tem em aumentar a tarifa cobrada dos passageiros, conforme aumentam-se os custos operacionais, considerando-se o resto constante. Isto significa, que as tarifas cobradas pela empresa não conseguiram cobrir os custos operacionais, coincidindo com a escalada no preço dos combustíveis neste período (R$ 1,40 em 2010 para R$ 2,12 em 2013, mais de 51% de aumento). Outro ponto significante para uma componente de recuperação de preços ruim foi o aumento no custo de voo (de R$ 0,0761/ASK para R$ 0,0972/ASK, mais de 27% de variação). Observe na Tabela 3 que o arrendamento e o seguro de aeronaves mais do que dobrou de valor no período.

A componente de crescimento trouxe pouco mais de R$ 180 milhões de reais de lucro operacional para a LATAM, um valor modesto. O ingrediente principal que explica esse resultado é o aumento do RPK em mais de 9 bilhões de passageiros-kilômetros voados, influenciando o aumento da receita operacional em quase R$ 3 bilhões.

A componente de subutilização de capacidade mostrou um aumento de R$ 22 milhões para a companhia, demonstrando que foram capazes de reduzir a capacidade subutilizada, de mais de 19,5 bilhões de assentos-kilômetros-ofertados para pouco mais de 15 bilhões. Essa redução no ASK ocioso implica que a empresa conseguiu reduzir o custo por ASK não usado.

Tabela 5: Strategic Variance Analysis TAM/LATAM (2010-2013) (R$)

Componente de Crescimento	
Efeito das Receitas	1.794.040.980
Efeito dos Custos de Combustível	-584.891.615
Efeito dos Custos Relacionados aos Voos	-669.134.512
Efeito dos Custos Relacionados aos Passageiros	-357.465.167
TOTAL	**182.549.686**

Componente de Recuperação de Preços	
Efeito das Receitas	1.185.231.560
Efeito dos Custos de Combustível	-2.027.329.290
Efeito dos Custos Relacionados aos Voos	-1.250.422.530
Efeito dos Custos Relacionados aos Passageiros	235.367.655
TOTAL	**-1.857.152.605**

Componente de Produtividade	
Efeito dos Custos de Combustível	138.293.904
Efeito dos Custos de Combustível (ASK)	865.173.904
Efeito dos Custos Relacionados aos Passageiros	64.880.910,40
TOTAL	**1.068.348.720**

Componente de Subutilização de Capacidade	
Capacidades Não Utilizadas	-318.492.287
Capacidades Disponíveis	-327.927.240
Capacidades Utilizadas	669.247.639
TOTAL	**22.828.112**

5. CONCLUSÕES

Este artigo analisou a fusão LAN-TAM por meio do método SVA, que permitiu identificar nas contas do resultado financeiro/operacional da empresa, as causas do insucesso constatado na seção de resultados. Como mencionado anteriormente, Horngren *et al.* (2000) sugerem que a SVA é de fato mais eficiente se confrontadas todas as empresas do mercado de transporte aéreo. Entretanto, os números da SVA, limitados entre o ano do anúncio da fusão (2010) e o ano subsequente à consolidação da nova empresa (2013), já apontam que, pelo menos nos anos de transição, os benefícios esperados da fusão aparentemente foram superados pelos fortes prejuízos, embora esses dados por si só não sejam suficientes para afirmar que a fusão foi desvantajosa.

Entre fatores exógenos (aumento do preço do petróleo) e endógenos (aumento no custo do seguro e arrendamento de aeronaves, por exemplo), o bom desempenho da componente de produtividade evidencia que uma estratégia de liderança de custos foi adotada nesse intervalo, o que era naturalmente esperado como objetivo de um movimento de fusão de empresas aéreas. Ou seja, nesse tempo, conclui-se que o fato de a LATAM ter conseguido reduzir seus custos com passageiros foi a fonte do sucesso nesta componente.

Por outro lado, uma componente de recuperação de preços de grande magnitude, porém com valor negativo aponta que a diferenciação de produtos/serviços, definitivamente não foi a estratégia da LATAM. Isto significa que pequenos aumentos nas tarifas não compensaram os grandes custos operacionais, problema recorrente no Brasil. Em um mercado aéreo como o brasileiro, onde historicamente existem poucos concorrentes, esta estratégia de diferenciar produtos/serviços dificilmente é encontrada.

Todavia, a evolução da empresa, de uma nacional para uma transnacional também veio acompanhada de um forte prejuízo operacional. Imediatamente, identifica-se o aumento no custo operacional com combustíveis. Neste intervalo da fusão das duas empresas, o mundo atravessou uma disparada histórica no preço do petróleo, incluindo o Brasil. Segundo a ANAC (2017), baseada em dados da Agência Nacional de Petróleo (ANP), o preço médio do querosene de aviação (QAV) aumentou de R$ 1,13 por litro em agosto de 2010 para R$ 2,06 por litro em março de 2014. Sob a óptica da SVA, esse é, de fato, o principal indício do grande prejuízo da LATAM no período analisado, embora somente isso não seja o bastante para justificar esse resultado negativo.

Como trabalhos futuros, pode-se expandir o estudo desse caso da LATAM, aplicando-se a SVA para as demais empresas que atuavam na época (Gol, Webjet, Azul, Trip e Avianca), comparando-se todos os competidores do mercado, tornando a pesquisa mais consistente. Assim como este artigo buscou aplicar a SVA em um período que compreendia um fato relevante para a TAM (sua fusão com a LAN), também seria interessante escolher outros períodos com outros fatos relevantes para a aviação civil brasileira: a concessão e expansão do Aeroporto de Guarulhos a partir de 2013 (principal hub da empresa); a Copa do Mundo em 2014; a desregulamentação da franquia de bagagens e a venda de comidas e bebidas a bordo em meados de 2017; e a saída da Avianca do mercado em 2019.

6. REFERÊNCIAS

ABEAR. Associação Brasileira de Empresas Aéreas. Panorama da Aviação Brasileira. O Setor Aéreo no Brasil. Dados e Estatísticas. Disponível em <http://panorama.abear.com.br/dados-e-estatisticas/custos-das-empresas>. Acessado em 14 de junho de 2019.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Anuário do Transporte Aéreo 2010. 1ª Edição, 2010.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Anuário do Transporte Aéreo 2013. 1ª Edição, 2013.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Anuário do Transporte Aéreo 2013. 1ª Edição, 2013.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Dados e Estatísticas (2010, 2013). Disponível em <https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas.> Acessado em 11 de agosto de 2019.

CASTER, P. et al. "An Analysis of a Strategic Transformation Plan: The Case of Alaska Airlines". *In Journal of the Transportation Research Forum*, 2013. v.52, n.1, pp.23-46.

CASTER, P. et. al. "A Strategic Variance Analysis of the Profitability of US Network Air Carriers". *Journal of the*

Transportation Research Forum, 2011. v.50 n.3, pp.113-136.

FERNÁNDEZ, E. "Cronología completa del proceso de fusión entre LAN y TAM". *Economía y Negocios Online*. Disponível em <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=97749>. Acessado em 12 de junho de 2019, 2012.

GODOI, A. F. *et. al*. "Análise da alavancagem financeira, índice preço/lucro (P/L) e Q de Tobin das principais empresas do setor de transportes aéreo no Brasil". *Revista Brasileira de Administração Científica*, 2016. v.7, n.1, p.108-129.

HORNGREN, C. T. *et. al*. "Cost Accounting: A Managerial Emphasis". Upper Saddle River, New Jersey: Pearson/Prentice Hall, 2000, 10th ed.

KIM, E. *et. al.* "Mergers and market power: evidence from the airline industry". *American Economic Review*, 1993. v. 83, n.3, p. 549-569.

LATAM AIRLINES GROUP. "*Histórico"*. Disponível em <http://www.latamairlinesgroup.net/phoenix.zhtml?c=251290&p=irol-history>. Acessado em 12 de junho de 2019.

MUDDE, P. A. *et al*. "Examining Southwest Airlines' Strategic Execution: A Strategic Variance Analysis". *Management Accounting Quarterly*, Summer 2008. v.9 n.4, pp.20-32.

MUDDE, P. A. *et. al*. "U.S. Airways merger: A strategic variance analysis of changes in post-merger performance". *Journal of Accounting Education*, 2014. v.32, n.3, p.p.305-322.

MUDDE, P. A. *et. al*. "Relative Strategic Variance Analysis: The Case of American Airlines". *SSRN Electronic Journal*, 2010. 10.2139/ssrn.1658508.

PARK, S.S. "A merger effect on different airline groups: empirical study on the Delta-Northwest merger in 2008". *Journal of Transport Literature*, 2014. v.8, n.2, pp.73-99.

PORTER, M. Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors. New York, New York: The Free Press, 1980.

ROCHA, C. H. *et. al*. "Aquisição da Webjet pela Gol, fluxo de caixa descontado e Q de Tobin". Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2018, Gramado. *Anais do 32º ANPET – 2018 1ª Edição*. p.p.351-362.

SHANK *et. al.* "Variance Analysis: A Management-Oriented Approach". *The Accounting Review*, 1977. v.52, n.4. p.p.950-957.

SOPARIWALA, P. R. "Strategic Analysis of Operating Income: An Extension of Horngren, Foster, and Datar". *Journal of Accounting Education*, 2013. v.21, n.1, pp.25-42.

SOTO, A. "*Fusão LAN/TAM criará sinergias de US$ 3 bilhões"*. REUTERS, 2010. Acessado em 12 de junho de 2019.

O DIMENSIONAMENTO DO AEROPORTO DE RIBEIRÃO PRETO E SUAS LIMITAÇÕES OPERACIONAIS

RIBEIRÃO PRETO AIRPORT SIZING AND ITS OPERATIONAL LIMITATIONS

Ana Carolina Martins da Silva [1] (17anamrtns95@gmail.com)
Gabriela Carolina Marin Cerutti [1] (gabrielamcerutti@hotmail.com)
João Gilberto Mendes dos Reis [1] (joao.reis@docente.unip.br)
Luiz Rodrigo Bonette [1] (luiz.bonette@stricto.unip.br; luiz.bonette@estacio.br)

RESUMO

O artigo tem como objetivo analisar o dimensionamento e a atual necessidade de ampliação do aeroporto de Ribeirão Preto, através do aumento da demanda do fluxo de passageiros e bagagens, tendo em vista sua possível internacionalização aeroportuária, apontando a defasagem em sua capacidade operacional atual e impactando no seu planejamento aeroportuário para futuras ampliações de sua infraestrutura. Foram coletados dados operacionais e do *layout* do sítio do aeroporto em órgãos especializados, utilizando o método quantitativo de dimensionamento de aeroportos pela *International Air Transport Association* (IATA). A pesquisa contribui para o planejamento, dimensionamento e investimento a longo prazo na infraestrutura aeroportuária.

Palavras-chave: aeroporto; dimensionamento aeroportuário; Plano Diretor Aeroportuário, capacidade operacional.

ABSTRACT

The article aims to analyze or scale the current need for expansion of Ribeirão Preto airport, increase the flow of passenger and baggage demand, take into account its possibility of airport internationalization, change the deactivation of its current operational capacity and impact on its operation. airport planning for future extensions of its infrastructure. Operational data and airport location layout were collected from specialized agencies using the International Airport Transport Association (IATA) quantitative airport sizing method. The research contributes to the planning, sizing and long-term investment in the airport infrastructure.

Keywords: *airport, airport sizing, airport máster plan, operational.*

1. INTRODUÇÃO

O mercado de voos domésticos vem crescendo notavelmente, somente nos três primeiros meses do ano vigente houve um aumento de pouco mais de 1 milhão de passageiros em comparação com o mesmo período do ano passado (ANAC, 2019). Além disso, segundo a mesma fonte, a demanda internacional de janeiro a março deste ano cresceu 13,1%, em comparação com igual período de 2018. Com o aeroporto de Ribeirão Preto não é diferente, e com base nos estudos de crescimento da demanda viu-se a necessidade de uma ampliação da sua infraestrutura.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é analisar o dimensionamento e a atual necessidade de ampliação do aeroporto de Ribeirão Preto, considerando o aumento da demanda do fluxo de passageiros e bagagens.

Acerca dos objetivos específicos o estudo ressalta analisar as necessidades que o dimensionamento do Aeroporto de Ribeirão Preto identifica auxiliando o Plano Diretor Aeroportuário (PDIR) avaliando sua capacidade operacional, verificando a necessidade de ampliação e se o aeroporto suportará essa expansão territorial proposta. Com o aumento do mercado de avião civil, os aeroportos chegaram a exceder suas capacidades de projeto, trazendo problemas para a sua infraestrutura.

Tendo em vista a necessidade de ampliação para aumento da capacidade do aeroporto quais os impactos podem viabilizar ou não o projeto? A expansão consegue prever problemas sem o dimensionamento adequado? O aeroporto de Ribeirão Preto suporta a expansão territorialmente? Quais os impactos que a expansão do aeroporto pode causar?

O aumento nos fluxos de passageiros e bagagens entre os anos 2008 a 2018 intensificou o tráfego no aeroporto e nas regiões do seu entorno, podendo ocasionar consequências prejudiciais aos bairros próximos e ao próprio fluxo de chegada e saída do aeroporto.

Esta pesquisa contribui para a discussão e análise do dimensionamento e ampliação da infraestrutura do aeroporto regional de Ribeirão Preto com o instrumento de gestão para a atualização do Plano Diretor Aeroportuário (PDIR), permitindo a identificação dos aspectos que contribuirão para as consequências de tráfego urbano na região, na poluição sonora, do deslocamento em torno do aeroporto, na eficiência da logística de cargas e passageiros no aeroporto como internacional, questionando a viabilidade de tal ampliação.

O processo metodológico é de abordagem exploratória, com o método quantitativo do dimensionamento do aeroporto com base na *International Air Transport Association* (IATA).

Apresenta-se a estrutura em seções como a revisão bibliográfica entre o crescimento do setor aéreo e suas capacidades e limitações, o PDIR e os aspectos do dimensionamento aeroportuário, a especificação do método de dimensionamento aeroportuário proposto, os resultados e discussões da capacidade operacional do *layout* do aeroporto da cidade Ribeirão Preto e as considerações finais sobre as causas de defasagem do PDIR.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os processos da pesquisa são compostos por primeiro demonstrar uma análise operacional e dimensionamento de aeroportos, visando o planejamento de um modelo de novos terminais aeroportuários de pequeno porte partindo de uma demanda já estimada (AWADA, GAGLIARDI; RICCI, 2015), levantando os aspectos relevantes do Plano Diretor Aeroportuário (PDIR), que são estruturados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2019) que segue recomendações da International Civil Aviation Organization (IATA, 2019).

Em segundo, apresentar a importância de um bom dimensionamento do aeroporto, utilizando métodos quantitativos e exploratórios, basicamente trabalha-se com o fluxo de tráfego de horas-pico, que irá indicar o volume de projeto de usuários a serem atendidos no terminal com um nível de serviço pré-estabelecido (SILVA, 2012).

2.1. Crescimento do setor e suas capacidades e limitações

Nos últimos anos, o setor aéreo brasileiro apresentou um grande crescimento, motivado por vários fatores como o crescimento da economia, a inclusão dos passageiros das classes B e C, a sua relação custo/benefício, a estabilidade

econômica, entre outros. De acordo com dados da INFRAERO (2013), a movimentação de passageiros e o fluxo de aeronaves apresentou um crescimento acumulado entre 2003 e 2012 de 169% e 70,3%, respectivamente. O estudo realizado pela *Mckinsey & Company* (2010) corrobora com a tendência de crescimento do setor, apontando que até 2030, serão necessários investimentos para aumentar a capacidade atual em 2,4 vezes, ou seja, aumentar a capacidade de 130 milhões para 310 milhões de passageiros por ano.

O Complexo aeroportuário que remete a sua Infraestrutura Aeroportuária e assim ao Plano Diretor Aeroportuário (PDIR) dado ao contexto atual em terminais de passageiros pode influenciar o fluxo da pista quando construído de maneira improdutiva a seu plano de crescimento e expansão pelas demandas nos próximos anos, sendo necessários modelos de adequação (HORONJEFF et al, 2010). Por outro lado, o dimensionamento e avaliação, de capacidade do aeroporto tem em vista a identificação da demanda, a interligação entre os componentes de voos domésticos e internacionais, parâmetros destes componentes operacionais que são o processamento, a circulação, a espera e os níveis de serviço (WELLS e YOUNG, 2004).

A Dinâmica de Sistemas vem sendo utilizada recentemente em modelos de simulação para gestão aeroportuária, especialmente em trabalhos que procuram confrontar a demanda com a capacidade instalada (ou capacidade a ser instalada), projetar o crescimento do setor e avaliar cenários futuros, (MARCOS; FERREIRA, 2015).

2.2. Infraestrutura aeroportuária

Wells e Young (2004) descrevem que o aeródromo é planejado, projetado e administrado para acomodar o volume e o tipo de aeronave que utiliza o aeroporto, abordando a sua infraestrutura em: pistas de pouso, pistas de táxi, pátios de estacionamentos de aeronaves, auxílios à navegação, sistemas de iluminação, sinalizações, marcações. A figura 1 expõe estes componentes de um aeroporto em um fluxograma e layout estruturado afim de entendimento da infraestrutura aeroportuária (WELLS; YOUNG, 2004).

Os investimentos em infraestrutura aeroportuária estimulam a competitividade entre os aeroportos que estão em projetos de expansão com base nas demandas do trafego aéreo, gerando tendências à formação da rede de transporte aérea (PHANG, 2003), por outro lado os investimentos na infraestrutura aeroportuária trazem retornos potenciais à atratividade do aeroporto frente às demandas (DONEHUE; BAKER, 2012). Para alguns autores a infraestrutura aeroportuária deve estar preparada para acomodar o avião A-380 (DONEHUE; BAKER, 2012; KUPFER *et al*., 2013).

Para Jimenez *et al.* (2014) tanto a infraestrutura quanto os serviços aeroportuários são condicionantes da manutenção do ambiente competitivo do aeroporto no mercado e na rede de transporte. Por outros aspectos no entorno da infraestrutura aeroportuária Nombela *et al.* (2004) relatam que otimizar a infraestrutura aeroportuária impacta no seu próprio rendimento de utilização da capacidade máxima do aeroporto, onde é necessário analisar em conjunto o sistema rodoviário no entorno desta infraestrutura aeroportuária.

De acordo com Nombela *et al.* (2004) o congestionamento do aeroporto tende a ser associado à falta de infraestrutura para acomodar a demanda exigida para aterrissagens e decolagens e abordam a tendência de infraestruturas aeroportuárias regionais se transformarem em infraestruturas aeroportuárias internacionais. Além disso, Nombela descrevem que os investimentos em novas capacidades são frequentemente demandados como uma solução para este problema, porém defendem que não é a única solução a longo prazo, e a literatura econômica insiste em propor um sistema de preços para racionar o excesso de demanda (preço e carga máxima).

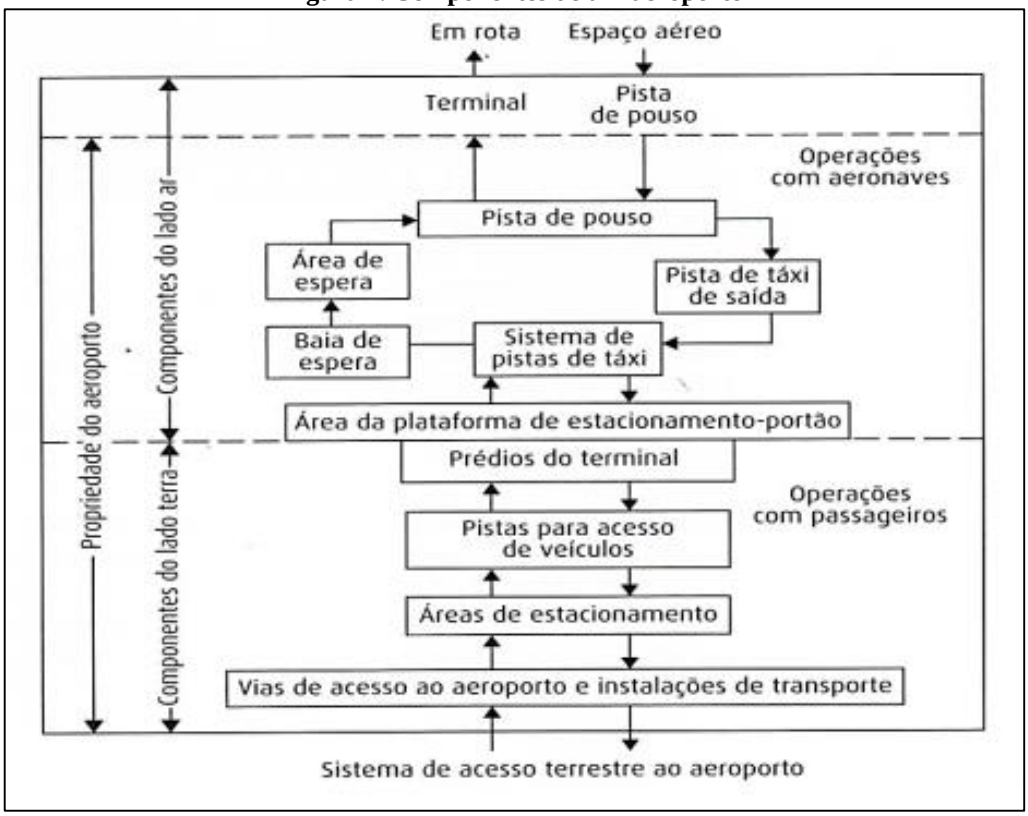
Ferrulli (2016) pesquisou que o crescimento e desenvolvimento do aeroporto no seu projeto de infraestrutura integrado ao planejamento urbano serão, portanto, um importante desafio de sustentabilidade para o futuro. Uma grande variedade de impactos nas comunidades locais (social) e no ambiente natural (ambiental) pode restringir a operação de aeroportos e a sua capacidade de obter aprovação de planejamento para crescimento futuro (UPHAM et al., 2003; THOMAS et al., 2004).

A capacidade operacional depende estritamente de fatores de infraestrutura, e para

continuar a crescer implica considerar que as questões ambientais poderiam potencialmente limitar as operações de crescimento futuro (THOMAS, 2013), como por exemplo, mudanças climáticas que afetam a capacidade de operação da infraestrutura ou as decisões de planejamento; Operações gerais, ruído e emissões; Limites regulatórios (limites de risco, proximidade com áreas construídas) ou acordos de planejamento (causando falha no planejamento aprovação); Tolerância nas comunidades circundantes (decorrente do medo do acidente aéreo); O aeroporto pode não ter a garantia de recursos para permitir operações e crescimento normais; O crescimento adicional da infraestrutura é restringido por habitats, locais ou edifícios.

Os atores interessados e enquadrados como relevantes para decisões tecnológicas e para o desenvolvimento do projeto de infraestrutura aeroportuária são formados pelo projeto de suprimentos da base, como por exemplo, arquitetura e engenharia, contratos de construção e manufatura (GIL et al., 2012).

Figura 1. Componentes de um aeroporto



Fonte: Wells e Young (2004).

2.3 Plano Diretor Aeroportuário (PDIR)

O conceito de Plano Diretor Aeroportuário (PDIR) é pautado na Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 11 como um "documento elaborado pelo operador do aeródromo, que

estabelece o planejamento para a expansão da infraestrutura aeroportuária em consonância com a regulamentação de segurança operacional expedida pela ANAC". (COMAER ICA11-3, 2015; Manual de Implantação de Aeroporto, 2008).

Segundo a Resolução ANAC n° 153/2010 institui como requisito obrigatório para aeródromos que recebam voos de empresas aéreas prestando serviço de transporte aéreo regular de passageiros ou carga, a aprovação do Plano Diretor Aeroportuário - PDIR pela ANAC. Por outro lado, a Lei 12.462 de 2011 (BRASIL, 2011) elabora estudos e projeções de infraestruturas aeroportuárias, exigências de mobilidade urbana, formulação e implementação de planejamento estratégico do setor definindo prioridades de investimentos, exploração da infraestrutura aeroportuária, proposição de necessidade de construção, manutenção e expansão aeronáutica e aeroportuária.

A Resolução ANAC n° 270 (Brasil, 2013), define que os aeroportos devem possuir obrigatoriamente um Plano Diretor Aeroportuário, tendo sido adotados os seguintes critérios:

- Grupo 1: Aeroportos internacionais, operando serviço de transporte aéreo regular internacional.
- Grupo 2: Aeroportos domésticos e internacionais, operando serviço de transporte aéreo regular, com emprego de aeronaves com mais de sessenta assentos ou acima de 45.500 kg de peso máximo de decolagem.
- Grupo 3: Aeroportos e aeródromos abertos ao tráfego aéreo público, cuja localização e características operacionais sejam consideradas de importância para o desenvolvimento do Sistema de Aviação Civil.

Conforme a Resolução ANAC n° 270 nº 2013 no Art. 3º (Brasil, 2013) a documentação que constitui o PDIR deverá conter informações que permitam:

I. A caracterização atual e futura da área de movimento do aeroporto, contendo os dados básicos; dados da operação; delimitação da área patrimonial; descrição do sistema de pistas de pouso e decolagem; descrição do sistema de pátio; descrição das principais edificações; e descrição do sistema de pistas de táxi.
II. A caracterização do plano geral de expansão do aeroporto, contendo as plantas para cada uma das fases de implantação, inclusive a implantação final.

Segundo o Manual de Implementação de Aeroportos (2008) o PDIR deve apresentar a melhor solução para um sítio aeroportuário, otimizando a capacidade operacional e obtendo um desenvolvimento equilibrado de cada componente, sem perder de vista a segurança operacional do conjunto, o valor do investimento e o custo da manutenção.

Segundo COMAER (2017) amparado pelo ICA 11-3 a "aeronave em operação ou com previsão de operar em determinado aeródromo, que demande os maiores requisitos em termos de configuração e dimensionamento da infraestrutura aeroportuária, em função de suas características físicas e operacionais".

Neste caso o Plano Diretor Aeroportuário necessita sempre estar atualizando as demandas e melhoria contínua da capacidade operacional da infraestrutura aeroportuária gerando informações de embarques de desembarques dos voos impactando nos efeitos contínuos do tráfego das áreas periféricas do aeroporto.

3. METODOLOGIA

O método utilizado na pesquisa será o exploratório e quantitativo, verificando o dimensionamento do aeroporto e fazendo a análise das suas capacidades e medidas através dos dados operacionais, como por exemplo, capacidade atual da infraestrutura, tráfego, tipo de origem e destino, demanda, e nível de serviço levantando da dimensão do aeroporto pelo órgão DAESP (2018) aplicando o tipo de método analítico com base no método de dimensionamento da IATA (2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados

A partir de *Standards, manuals and guidelines* IATA (2018) é aplicado o dimensionamento do aeroporto nas seguintes tabelas analisadas abaixo:

Tabela 1. Dados do terminal de passageiros em hora de pico (Pax hora de pico) do Aeroporto Doutor Leite Lopes da cidade de Ribeirão Preto.

	PAX hora pico		Taxa crescimento	
Pax hora pico integral	**825**	Pax		
PAX hora pico a considerar x 0,7 que usam o meio fio	578	PAX	**5%**	**ano**
Expectativa em anos	10	anos		
Demanda atual	**1100000**			
Taxa de crescimento / desenvolvimento	**5%**			
Movimento anual de passageiros previsto em função da taxa de crescimento e desenvolvimento	**1650000**			
Pax hora pico			**578**	**Pax**
Nível de serviço			C	
Ocupação média das aeronaves hora pico			85%	
Fator de cálculo hora pico			0,05%	

Fonte: Adaptado e aplicado a partir da IATA (2019).

Tabela 2. Aeronave de projeto

	Médias (pax)								Dimensões	
	A 320		**A 330**		**A 340**		**Boeing 737**		**Boeing 747-8**	
Envergadura	30		60		68		34,3		68,5	
Comprimento	42,8		59		75,3		39,5		76,25	
Capacidade de passageiros	132	220	250	475	380		85	215	410	605
Médias	176		362,5		380		150		507,5	

Fonte: Adaptado e aplicado a partir da IATA (2019).

Então temos:

- Tamanho Médio da Aeronave (TMA):176 pax.
- Fator de Aproveitamento (FA) na hora-pico: 85%.

$$FA = \left(\frac{Pax}{pico}\right) \div (média\ aeronave) \times 0{,}85 \quad (1)$$

Logo o número estimado de aeronaves na hora-pico corresponde a 5,51 (1) aeronaves no aeroporto Doutor Leite Lopes. Neste caso cada posição da aeronave tem a capacidade teórica de processar 350 ou 450 mil passageiros anuais que correspondem a 2.100.000 (6×350.000) ou 2.700.000 (6×450.000) PAX.

Então o número de pax está acima dos padrões necessários, ou seja:

Distância entre as pontes de embarque ao edifício é de 37 metros;

O número de pontes de embarque deve ser, pelo menos, correspondente a 70% do número de posições de aeronaves requeridas na hora-pico.

Desta maneira o número mínimo teórico de pontes de embarque é igual a 4,20 (2) como aplicados na fórmula descrita abaixo:

GATES = nº aeronaves pico×0,70 (2)

- **Área de Embarque:**

$$A = S \times \left(\frac{y}{60}\right) \times \frac{\left[3 \times \left(a \times (1 + o)\right)\right]}{2} \quad (4)$$

Onde:

s= espaço por pessoa pelo nível de serviço "C" da IATA é =1,9 m² por pessoa.

y= tempo médio de ocupação por passageiros/visitante corresponde a 20 minutos.

a= número de passageiros na hora pico (825×0,7=577,5 ou 578) = 578.

o= número de visitantes por passageiros corresponde a 0,50.

A solução evidencia que a área do saguão de embarque é de 823,65 m².

Tabela 3. Comprimento do meio-fio do Aeroporto Doutor Leite Lopes da cidade de RP.

	Saldos	Critérios
Passageiros que usam o meio fio	447,95	pax
Usando taxi	346,8	
Usando carro particular	101,15	
a = número de pax na hora-pico	313,565	
p = proporção de passageiros usando carro particular/táxi	0,775	
n = número médio de passageiros por táxi/carro (1,2)	1,2	
l = comprimento médio utilizado por táxi/carro (6,50 m)	6,5	
t = tempo médio de ocupação do meio-fio por táxi/carro	1,2	minutos
Táxi	289	táxis
Carro particular	84,217	carros
L = Comprimento de meio-fio	30,6	metros

Fonte: Adaptado e aplicado a partir da IATA (2019).

Então temos:

$$L = \frac{a \times p \times l \times t}{60 \times n} + 10\% \times \frac{a \times p \times l \times t}{60 \times n} (3)$$

Logo,

$$L = \frac{313{,}57 \times 0{,}775 \times 6{,}5 \times 1{,}2}{60 \times 1{,}2} + 10\% \times \frac{313{,}57 \times 0{,}775 \times 6{,}5 \times 1{,}2}{60 \times 1{,}2} (3)$$

Sendo o comprimento do meio-fio 30,60m.

- **Balcões de *check-in:***

Onde:

a= número de passageiros na hora pico (825×0,7=577,5 ou 578) = 578.

t= tempo médio de processamento por passageiro sendo 1,5 minuto.

n= ((578×1,5)/60)+0,1×(578×1,5)/60 = 15,9 ou 16 Balcões de *check-in*.

É importante considerar 4 metros de profundidade por 1 metro e largura nos balcões. Outro ponto importante (quando considerado internacional) o aeroporto deverá ter dois níveis de pavimentos para a separação da área internacional para a área regional de voos.

- **Equipamentos de segurança (magnetômetro e máquina de raio-x):**

Capacidade de cada equipamento é de 600 unidades/hora. Como o número de pax/hp é 578, então há necessidade de apenas um equipamento. Porém haverá duas salas de embarque, é recomendável ter 2 (dois) conjuntos de equipamentos para maior flexibilidade durante a ocorrência de manutenção ou quebra.

Ou seja:

2 salas × 2 equipamentos = 4 equipamentos.

É importante ressaltar que para salas descentralizadas, deverá haver um conjunto de equipamentos, por sala. Já na área internacional deverá haver um conjunto de equipamentos por sala.

- **Área de restituição de bagagem (desembarque):**

É aplicado a fórmula:

$$A = \frac{e \times w \times s}{60} (5)$$

Onde:

e= número de passageiros na hora-pico, sendo 825.

w= tempo médio de permanência dos passageiros por 15 minutos.

s= espaço por pessoa pelo nível de serviço "C" da IATA é =1,9 m² por pessoa.

Logo,

$$A = \frac{578 \times 15 \times 1{,}8}{60} (5)$$

Portanto A = 236,25 m² (+ 10%) ≅ 260

m² (área líquida) (5).

Sendo: 431,06 m² Área de Restituição de Bagagem, excluindo a área de esteiras, aproximadamente (25×13×esteira).

- **Saguão de desembarque:**

É aplicada a fórmula:

$$A = s \times \frac{(w \times d) + (z \times d \times o)}{60} \quad (6)$$

Onde:

s = espaço requerido por pessoa (1,9 m² – Nível de Serviço "C" da IATA)

w = tempo médio de ocupação por passageiro (10 min.)

z = tempo médio de ocupação por visitante (25 min.)

d = número de passageiros na hora-pico (825)

o = número de visitantes por passageiros (0,3)

Logo:

$$A = 1{,}9 \times \frac{(10 \times 825) + (25 \times 825 \times 0{,}5)}{60} \quad (6)$$

Portanto

A= 374,06 m2 (+10%) ≅ 646,59 m². (6)

- **Número de esteiras:**

É aplicada a fórmula:

N = (e × r × z) ÷ (60 × m) (7)

Onde:

o comprimento útil da esteira é de 40,7 metros.

e= número de passageiros na hora-pico de 825 passageiros.

r= proporção dos passageiros chegando em aeronaves tipo "*narrow body*" sendo 100%.

z= ocupação média da esteira por aeronave em média 20 minutos.

m= número de passageiros por aeronave com aproveitamento de 80%, sendo 141 pax.

Logo,

- Número de esteiras (aqui se referindo as esteiras com 30/40 metros de comprimento útil).
  N= ((825× (100%) × 20)) ÷ (60 × 141)) ≅ 2 esteiras. (7)
- Número de esteiras total com área internacional (mínimo 2).
  N= ((825× (100%) × 20)) ÷ (60 × 141)) + 2 ≅ 4 esteiras. (8).

Tabela 4. Dimensões das esteiras do Aeroporto Dr. Leite Lopes da cidade de RP.

Tipos de esteiras	Comprimento	Largura	m²
Área da esteira saguão	22	13	286
Área da esteira externa	2	13	26

Fonte: Adaptado e aplicado a partir da IATA (2019).

Tabela 5. Classes de serviços *standart* aplicado ao aeroporto Dr. Leite Lopes na cidade de RP.

Tipos	Classes de serviço *standart* IATA					Adotado
	A	B	C	D	E	C
Check –in	1,8	1,6	1,4	1,2	1	1,4
Wait /circulate	2,7	2,3	1,9	1,5	1	1,9
Hold Room	1,4	1,2	1	0,8	0,6	1
Bag claim	2	1,8	1,6	1,4	1,2	1,6
GIS	1,4	1,2	1	0,8	0,6	1

Fonte: Adaptado e aplicado a partir da IATA (2019).

Tabela 6. Meio-Fio de Desembarque

Critérios	Saldos	Medidas
d = número de pax na hora-pico (ver cálculo abaixo)	578	pax
p = proporção de passageiros usando carro particular/táxi (77,5%) = 10%	0,775	
n = número médio de passageiros por táxi/carro (1,2)	1,2	pax
l = comprimento médio utilizado por táxi/carro (6,50 m)	6,5	metros
t = tempo médio de ocupação do meio-fio de desembarque por táxi/carro (0,8 min.)	0,8	minutos
L = Comprimento de meio-fio + 10%	**35,59**	**metros**

Fonte: Adaptado e aplicado a partir da IATA (2019).

4.2. DISCUSSÃO

As evidências apontadas pela aplicação do cálculo de dimensionamento do aeroporto Doutor Leite Lopes na cidade Ribeirão Preto propõem a análise dos seguintes aspectos que impactam no seu planejamento e investimento a longo prazo em sua infraestrutura:

Na tabela 7 e nas figuras 2 e 3 é percebida a necessidade do aumento da capacidade operacional do aeroporto que irá impactar na viabilidade da acomodação do fluxo e da demanda atual e futura.

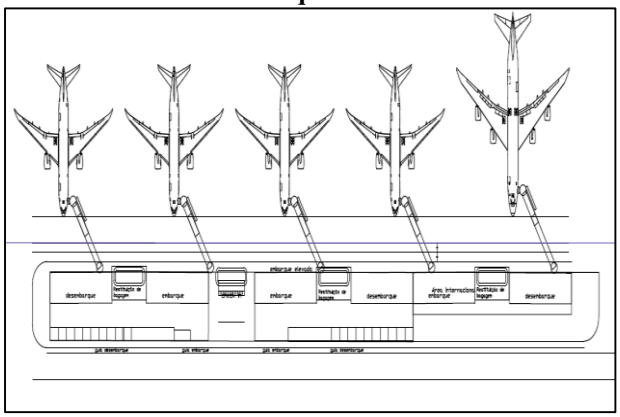
A expansão consegue prever problemas que limitam a estrutura física do aeroporto pelo seu dimensionamento adequado utilizando como base a IATA (2019).

Tabela 7. Total das áreas dimensionadas calculadas no aeroporto Dr. Leite Lopes na cidade de RP.

Áreas	Saldo
Área do saguão de embarque	823,65 m²
Balcões de Check-in	64 m²
Área de Restituição de Bagagem (excluindo a área de esteiras)	431,06 m²
Saguão de Desembarque	646,59 m²
Área da esteira saguão	558,59 m²
Área da esteira externa	50,78 m²
Total	**2574,68 m²**

Fonte: Adaptado e aplicado a partir da IATA (2019).

Figura 2. Simulação do dimensionamento do aeroporto através do software @autocad do aeroporto Dr. Leite Lopes com foco nos *gates* de embarque e desembarques de voos.



Fonte: Adaptado e aplicado a partir da IATA (2019).

Levando em conta o dimensionamento do aeroporto na figura 2 (vide associado tabela 3) para taxiamento e/ou rolagem podemos supor que os aviões de grande porte, como por exemplo o 747, não cabe na pista de voo do aeroporto Leite Lopes em Ribeirão Preto.

Figura 3. Vista aérea do aeroporto Doutor Leite Lopes na cidade de Ribeirão Preto.



Fonte: Google (2019).

É visto conforme figura 3 que a região de operação do aeroporto sofre com problemas de limitações espaciais para suas futuras ampliações de infraestrutura aeroportuária, devido ao crescimento de bairros periféricos em sua região aumentando o custo com possíveis desapropriações, aspecto que influencia no custo geral da engenharia civil.

É percebido que com o crescimento das habitações populares no entorno do aeroporto fica contraproducente o fluxo de automóveis para embarques e desembarques dos passageiros e bagagens, chegando à conclusão que o aeroporto não suporta sua expansão e seus impactos territoriais.

No aspecto de *City Logistics* a região terá dificuldade em programar uma retroarea aeroportuária com transportadoras e terminais de cargas devido a futuros congestionamentos, questão que pode ser explorada futuramente em seu entorno.

Quadro 1. Datas importantes de obras de construção, ampliação e expansão do Aeroporto Leite Lopes na cidade de Ribeirão Preto.

Período	Atividades	Descrição
1939	Construção	Inauguração do Aeroclube
1940	Ampliação	Ampliação da pista
1995	Construção	Hub/Hangar da Empresa Passaredo
1996	Reforma e ampliação	A pista de pouso foi ampliada de 1.800 para 2.100m. A de taxiamento foi de 730 para 2.100 m. O novo pátio de estacionamento, com 27.600 m², pôde receber simultaneamente 8 aeronaves Fokker F-100 (com capacidade para 108 passageiros) ou Boeing B-737. Para maior proteção e segurança às operações noturnas de pouso e decolagem foi instalada nova cabina de força, recuperado o sistema elétrico, feito o balizamento das pistas e implantada iluminação dos pátios.
2006	Reforma e ampliação	Ganhou mais 15m na largura de sua pista (passando a 45m de largura), além de ter sido adicionado ao seu asfalto uma substância chamada polímero, que garante maior aderência entre a pista e os pneus.
2008/2011	Reforma e ampliação	O terminal ficou com o dobro do tamanho original e com isso subiu na classe de Conforto de E para B. O terminal passou a contar com ar condicionado, esteiras para bagagem e melhores condições. Toda a reforma e ampliação foram realizadas com base no aumento da demanda (crescimento de 10% ao ano), objetivando a futura internacionalização de cargas e passageiros. O novo terminal passou a ter 3.850m² de área construída, com pé direito de 6m e capacidade para atender 480 mil passageiros/ano.
2013	Ampliação do estacionamento	Passando de 200 para 400 vagas, totalizando acréscimo de 100%, com investimento da ordem de R$ 3,3 milhões.
2014	Construção	Construção do Terminal de Cargas no Aeroporto Leite Lopes, que será operado pela TEAD Brasil.
2018/2019	Ampliação	Pista
2019	Ampliação	Licitação
2020	Concessão inciativa privada	O Governo do Estado de São Paulo decidiu privatizar todos os aeroportos administrados pelo DAESP, dentre eles, o Leite Lopes de Ribeirão Preto.

Fonte: DAESP; PASSAREDO (2019)

5. CONCLUSÃO

A existente possibilidade de aplicar o dimensionamento de aeroportos da IATA (2019) se mostrou adequada para aeroportos que estão em constante aumento de demandas e em fases transitórias de aeroportos regionais para possíveis aeroportos em processo de internacionalização.

É visto que a capacidade operacional da infraestrutura aeroportuária deste aeroporto limita o planejamento operacional, tático e estratégico. Para a aplicação de obras de ampliação na engenharia civil gerando a tendência de custo em desapropriação e baixa capacidade de otimização e utilização, já a estrutura física enfrente a limitação territorial de expansão.

Analisando o quadro 1 referente a ampliação e expansão do aeroporto, vemos que a sua capacidade atual corresponde a 480 mil/ano. Supondo que a ampliação dobre sua capacidade, teria que suportar aproximadamente 11 aviões do tipo A320 ou 4 *Boeing* 747(vide tabela 2); o comprimento do meio-fio seria 61,2m (vide tabela 3); A área de saguão de embarque passaria a ter 1647,3m² (vide fórmula 4). Entretanto, ao visualizar a figura 3 referente à vista aérea do aeroporto, nota-se que não possui zonas desocupadas ao seu redor para suportar tamanha ampliação, trazendo à tona os estrangulamentos do fluxo interno de passageiros, aumentando o fluxo externo nos arredores do aeroporto necessitando estudos de métodos de *City logistics* futuramente.

Para pesquisas futuras é interessante explorar o aumento dos fluxos de aviões na pista de voo, sua extensão do impacto sonoro, as curvas de vórtices e seus impactos nos tempos de pousos e decolagens, por outro lado em outra vertente analisar fenômenos de *City Logistics* entre a mobilidade urbana do aeroporto como área centroide e suas áreas periféricas de trânsito. Da mesma forma que seria interessante explorar

outros munícipios da região metropolitana como, por exemplo, Pontal e Jardinópolis para novos projetos de um aeroporto internacional na região levando para considerações futuras de análise.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) 2018. **Lista de Planos Diretores Aprovados**. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/planejamento-aeroportuario/lista-de-planos-diretores-aprovados>. Acesso em 26 Jan. 2018.

Agência Nacional de Aviação Civil ANAC (2019). Agência Nacional de Aviação Civil, Brasília/ DF - **Demanda doméstica de passageiros tem alta de 4,3% no primeiro trimestre**. Disponível em: http://www.anac.Lgov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/demanda-e-oferta-do-transporte-aereo Acesso em: 29 de abril de 2019.

AWADA, M.; GAGLIARDI, D. D.; RICCI, T. H. **Dimensionamento e planejamento operacional de aeroportos de pequeno porte.** [Artigo Científico]. 15° Congresso Nacional de Iniciação Científica 2015 (CONIC).

BRASIL. **LEI Nº 12.462, DE 4 DE AGOSTO DE 2011. Do Regime Diferenciado de Contratações Públicas – RDC.**Disponívelem:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12462.htm>. Acesso: 05 de Fev. 2019.

BRASIL. **Resolução nº 270 de 09/04/2013**. Departamento de Aviação Civil, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/resolucoes-2013/resolucao-no-270-de-09-04-2013>. Acesso 10 de Jan. 2019.

COELHO, Lígia Gesteira; RODRIGUES DA SILVA, Antonio Nelson; DINATO, Antonio Carlos. **Capacidade e nível de serviço do terminal de passageiros de um aeroporto regional-o caso de Ribeirão Preto.** Journal of Transport Literature, v. 6, n. 3, p. 107-120, 2012.

COMAER – Comando da Aeronáutica (2015). (ICA) 11-3 – **Processo para Análise de Planos Diretores Aeroportuários**. PORTARIA Nº 958/GC3, DE 9 DE JULHO DE 2015. Disponível em: <www.decea.gov.br/aga>. Acesso em: 13 Jun. 2017.

DONEHUE, Paul .; BAKER, Douglas. Remote, rural, and regional airports in Australia. **Transport Policy**. V. 24, p. 232-239. 2012.

FERRULLI, Paolina. Green Airport Design Evaluation (GrADE) – methods and tools improving infrastructure planning. ***Transportation Research Procedia***. Ed.14, p.3781–3790. 2016.

GIL, Nuno.; MIOZZO, Marcela.; MASSINI, Silvia. The innovation potential of new infrastructure development: An empirical study of Heathrow airport's T5 project. ***Research Policy***, v. 41, p.452– 466. 2012.

HORONJEFF, R. et al. ***Planning and Design of Airports***. McGraw-Hill, N.Y., 5th edition, 2010.

IATA **International Air Transport Association** (2019). Disponível em: https://www.iata.org/Pages/default.aspx Acesso em: 08 de maio de 2019.

IATA *International Air Transport Association* (1995). ***Capacity Evaluation Study - Airport Terminal Facilities***. Canada.

IATA ***International Air Transport Association*** (2017). Disponível em: <http://www.iata.org/Pages/default.aspx>. Acesso em: 01 de Jan. 2017.

IATA ***Intenational Air Transport Association*** (2018). *Standards, manuals and guidelines* (Padrões, manuais e diretrizes). Disponível em: <http://www.iata.org/publications/store/Pages/airport-development-reference-manual.aspx>. Acesso em 02 Jan. 2018.

INFRAERO. 2013 Disponível em: <http://www.infraero.gov.br/>. Acesso em: 22 Fev. 2019.

JIMENEZ, Edgar.; CLARO, João.; SOUSA, Jorge . Pinho. **The airport business in a competitive environment**. Procedia - Social and Behavioral Sciences. v. 111, p.947 – 954. 2014.

KUPFER, Franziska.; MEERSMAN, Hilde.; PAUWELS, Tom.; STRUYF, Els.; VAN DE VOORDE, Eddy.; VANELSLANDER, Thierry. **Economic regulation of airports: The case of Brussels Airport Company.** Case Studies on Transport Policy. v. 1, p.27–34. 2013.

MANUAL DE IMPLEMENTAÇÃO DE AEROPORTOS (2008). Comando da Aeronáutica. Departamento de Aviação Civil. Instituto de Aviação Civil. Disponível em:<http://ong.prosperustec.com.br/mprd/wp-content/uploads/2008/10/anac-manua-limplementacaogeral.pdf>. Acesso em: 26 Jan. 2019.

MARCOS, A. R. A.; FERREIRA, L. **Um modelo de simulação para gestão da capacidade dos aeroportos brasileiros**. READ. Porto Alegre, Edição 80, N° 1, p. 1-26, 2015.

MCKINSEY & COMPANY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil.** Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2010.

NOMBELA, Gustavo.; RUS, Ginés.; BETANCOR, Ofelia. Internalizingairport congestion. ***Utilities Policy*** . Ed.12 , p.323–331. 2004.

PHANG, Sock-Yong. Strategic development of airport and rail infrastructure: the case of Singapore. **Transport Policy**. v.10, p. 27–33. 2003.

THOMAS, C. **Aviation and its environmental impacts**, Manchester Metropolitan University. 2013.

THOMAS, C.S., HUME, K.I., HOOPER, P.D. Aircraft Noise, Airport Growth and Regional Development, in ***Proceedings of the Royal Aeronautical Society/American Institute of Aviation Acoustics Conference, Manchester***, p.10–12. 2004.

UPHAM, P., THOMAS, C., RAPER, D., GILLINGWATER, D. Environmental capacity and airport operations: current issues and future prospects, ***Journal of Air Transport Management*** . Ed. 9, p.145–151. 2003.

WELLS, A.; YOUNG, S. ***Airport Planning and Management***. McGraw-Hill, 5 edition. 2004.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DOS PASSAGEIROS EM RELAÇÃO ÀS ATIVIDADES COMERCIAIS AEROPORTUÁRIAS UTILIZANDO *NET PROMOTER SCORE*

Lenice Mirian da Silva[1]
Giovanna Miceli Ronzani Borille[2]
Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto Bandeira[3]
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
Departamento de Transporte Aéreo e Aeroportos
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias, São José dos Campos - SP, 12228-900, 1 -
[1]lenice@ita.br, [2]ronzani@ita.br, [3]mgalvao@ita.br

RESUMO

A percepção dos passageiros nas áreas comerciais são cruciais para a gestão das facilidades comerciais em um aeroporto. O estudo analisa a percepção dos passageiros nas áreas comerciais do aeroporto em relação ao produto e as lojas em que os passageiros consumiram ou compraram no Aeroporto Tancredo Neves/Belo Horizonte (SBCF), com aplicação de questionário para 174 usuários do aeroporto. Os resultados obtidos por meio da métrica *Net Promoter Score* mostram que dentre os indicadores comerciais avaliados, os indicadores foram classificados nas zonas crítica, de aperfeiçoamento e de qualidade. Assim, os resultados visam identificar quais indicadores precisam de melhoria em relação aos indicadores comerciais.

Palavras-chaves: satisfação dos passageiros, pesquisa de satisfação, facilidades comerciais, indicadores comerciais, *net promoter score*.

ABSTRACT

Passenger perceptions in commercial areas are crucial to the management of commercial facilities at an airport. The study analyzes the perception of passengers in the commercial areas of the airport in relation to the product and the stores in which passengers consumed or bought at Tancredo Neves / Belo Horizonte Airport (SBCF), with a questionnaire applied to 174 airport users. The results show, second the Net Promoter Score metric, that of the eight trade indicators evaluated, three are in the critical, in the improvement, in the quality zones. Thus, the results intended to identify which indicators need improvement over commercial indicators.

Keywords: passenger satisfaction, satisfaction survey, commercial facilities, commercial indicators, net promoter score.

1. INTRODUÇÃO

A satisfação do usuário é essencial para oportunidades de geração de receitas comerciais não aeronáuticas. Para medir a satisfação do usuário pode ser utilizado no aeroporto uma pesquisa com o objetivo de conhecer o perfil e as preferências deste cliente e compreender o seu comportamento. No âmbito mundial, em aeroportos, pesquisas são conduzidas para medir a satisfação dos passageiros, com o intuito de obter indicadores na avaliação de melhorias na gestão aeroportuária.

A Autoridade de Aviação Civil do Reino Unido (CAA, 2018) conduz regularmente pesquisa com passageiros, obtendo informações sobre o objetivo da viagem, origens/destinos, meios de transporte utilizados para chegar ao aeroporto, rota de voo, país de residência e renda. O principal objetivo destas pesquisas é avaliar o tipo de mercado servido por esses aeroportos, bem como prever a demanda do transporte aéreo e planejar as instalações aeroportuárias. No Brasil, um levantamento permanente desse tipo de análise é realizado pela Secretaria da Aviação Civil (SAC, 2019), que mensura a satisfação dos passageiros em vinte terminais dos principais aeroportos brasileiros, com início da pesquisa em 2013.

A SKYTRAX, empresa especializada na área de pesquisas para a indústria aeroportuária, realiza pesquisas de satisfação de clientes aeroportuários desde 1999 (SKYTRAX, 2019). O Conselho de aeroportos internacional, América do Norte (ACI, 2019) também conduz pesquisas de satisfação, para obter dados relacionados à percepção, preferências e respostas dos passageiros.

A SAC (2019) e a SKYTRAX (2019) realizam o levantamento de vários indicadores nas suas pesquisas de desempenho operacional, que são relacionados ao transporte público, infraestrutura aeroportuária, órgãos públicos e instalações comerciais. Diante disso, para o desenvolvimento desta pesquisa, foram obtidos os principais indicadores para as instalações comerciais nos segmentos de varejo, alimentos e bebidas. Este levantamento está apresentado na Tabela 1, em que os indicadores analisados pela SAC e pela SKYTRAX são bem similares, como valor dos produtos, quantidade e qualidade dos estabelecimentos comerciais, além destes indicadores a SAC considera os indicadores fila e cordialidade dos funcionários.

Tabela 1 – Indicadores referentes a instalações comerciais para os segmentos de varejo, alimentos e bebidas. Fonte: SAC (2019) e SKYTRAX (2019). Adaptado pelas autoras.

SAC (2019)	SKYTRAX (2019)
▪ Valor dos produtos nas lanchonetes/restaurantes, ▪ Custo benefício dos produtos comerciais, ▪ Quantidade e Qualidade das lanchonetes/ restaurantes, ▪ Quantidade e Qualidade dos estabelecimentos comerciais, ▪ Fila em lanchonetes / restaurantes, e ▪ Cordialidade dos funcionários das lanchonetes/restaurantes.	▪ Preços cobrados em bares, cafés e restaurantes, ▪ Preços cobrados em lojas de varejo, ▪ Escolha de bares, cafés e restaurantes, e ▪ Escolha de compras – isenta de impostos e outros estabelecimentos.

Uma forma de medir a satisfação dos clientes é através da aplicação de questionários e a principal técnica de pesquisa é por meio de observação direta extensiva, que envolvem: (i) produção de questionário, (ii) formulário de pesquisa, e (iii) medidas de análise de opiniões e atitudes observadas em campo.

Através da aplicação de questionário, que consiste em perguntas ordenadas, é possível coletar dados importantes acerca do problema, lembrando que se o questionário for muito longo, pode causar fadiga e desinteresse por parte dos entrevistados, e por outro lado, se for muito curto, pode faltar informações para serem analisadas pelo pesquisador. O formulário, caracteriza um instrumento fundamental para investigação social, obtendo informações do entrevistado face a face. Adicionalmente, para as medidas

de opinião, pode ser usado escalas métricas (qualitativas ou quantitativas), com respostas que seja possível medir atitude de forma gradual, avaliando a intensidade das respostas (MARCONI e LAKATOS, 1996).

Muitos estudos utilizaram em suas pesquisas indicadores de qualidade capazes de mostrar a percepção do usuário, através do uso de vários tipos de métricas e escalas adotadas. Uma breve abordagem sobre estes trabalhos em áreas aeroportuárias, área de varejo e transporte urbano são relatadas na Tabela 2.

Cury (2007) estudou o método para avaliar a percepção do usuário sobre a qualidade dos sistemas de transporte urbano sobre trilhos utilizando a tecnologia *neuro-fuzzy* no Brasil, utilizando a escala de 0 a 10. Chiappa *et al*. (2016) estudaram a qualidade de serviço dos varejistas de alimentos e bebidas no aeroporto Olbia Costa Smeralda, na Itália, através de um método com abordagem difusa, com termos linguísticos de 1 a 7. Freitas e Borille (2017) avaliam a satisfação de passageiros em áreas comerciais no Aeroporto Internacional de Guarulhos/São Paulo (SBGR), por meio de regressão logística, segundo os dados publicados da Secretaria de Aviação Civil que adota escala de 1 a 5.

Eger e Mičík (2017) abordam sobre a comunicação orientada para o cliente (comunicação dos vendedores com os clientes), considerando a satisfação e fidelidade do cliente em uma pesquisa durante o processo de compra em setores de varejo na República Tcheca. Os autores utilizaram a técnica *mistery shopping* para coletar as informações e relacionar com a técnica *Net Promoter Score* (escalas de 1 a 5 e dicotômicas sim ou não), onde ambas as técnicas combinadas possibilitaram uma melhor avaliação do desempenho do vendedor com o cliente. Destacou-se ainda, que o aumento da satisfação e a fidelidade do cliente através de uma comunicação orientada é um fator de suma importância no crescimento e desempenho das empresas e também geração de lucro.

Recentemente, outro meio utilizado para coleta de dados para a percepção dos passageiros é a mídia social, como por exemplo, o *Twitter*. Foram feitos estudos utilizando análise do sentimento de qualidade do serviço aeroportuário no Aeroporto de Heathrow na Inglaterra, através de *tweets* publicados, com o uso da escala de polaridade do sentimento: negativa, neutra e positiva (DOMINGO *et al*., 2019).

Tabela 2 – Estudos sobre escalas e métricas utilizadas em pesquisas de satisfação com clientes.
Elaborado pelas autoras.

AUTORES/ANO	LOCAL	MÉTRICA	ESCALA	TÓPICOS	ÁREA
Cury (2007)	Brasil	*Neuro-Fuzzy*	0 a 10	Percepção do usuário	Transporte urbano sobre trilhos
Chiappa *et al*. (2016)	Itália	*Fuzzy*	1 a 7	Qualidade de serviços	Aeroporto
Eger e Mičík (2017)	República Tcheca	*Mistery Shopping* e *Net Promoter Score*	1 a 5 e Sim/Não	Comunicação orientada (funcionários com clientes)	Setores de varejo
Freitas e Borille (2017)	Brasil	Regressão Logística	1 a 5	Satisfação dos passageiros	Aeroporto
Domingo *et al.* (2019)	Inglaterra	Análise de sentimento	Negativa, Neutra e Positiva	Qualidade de atendimento através de mídias sociais	Aeroporto

2. DADOS

A pesquisa foi realizada de 17 a 18 de janeiro de 2019, em áreas públicas e de acesso restrito, no Aeroporto Tancredo Neves/Belo Horizonte (SBCF) no Brasil. Com base nos indicadores encontrados na literatura das pesquisas da SAC e da SKYTRAX (Tabela 1) para os indicadores comerciais, foi estruturado um formulário em formato de entrevista para pesquisa de satisfação com os passageiros que consumiram ou compraram nas instalações comerciais do aeroporto.

O Aeroporto Tancredo Neves está localizado no estado de Minas Gerais, na região Sudeste do Brasil, atualmente com Terminal de Passageiros de 132.000 m², com uma movimentação anual em 2018 de 10.256.169,00 passageiros, sendo concedido à iniciativa privada.

Para definição do tamanho da amostra para as entrevistas, considerou-se o movimento médio diário de passageiros do Aeroporto Tancredo Neves / Belo Horizonte (ANAC, 2019) para o mês de janeiro de 2019, correspondendo a 30.790 passageiros pagos (embarque e desembarque), em que dois dias da média diária para o tamanho da população foram adotados, totalizando 61.580 passageiros, de acordo com o período da aplicação dos formulários de dois dias no aeroporto. Para representar a parcela dessa população como a amostra a ser submetida à aplicação dos formulários, adotou-se o nível de confiança de 95% (valor crítico de 1,96) e margem de erro de 8%, com *p* e *q* de 0,5 para este estudo. O *p* é a proporção da população com as características sendo analisadas. No caso de uma proporção desconhecida, é adotada como hipótese: *p* é igual a 50% ou 0,5. O complemento, *q* é a proporção da população que não está sendo analisada, ou seja, 1-*p* ou *q* é igual a 0. A Equação 1 é descrita abaixo, com uma amostra de 150 indivíduos selecionados na população de 61.580 passageiros.

$$n = \frac{N * p * q * z^2}{p * q * z^2 + (N-1) * e^2} =$$

$$n = \frac{61.580 * 0{,}5 * 0{,}5 * (1{,}96)^2}{0{,}5 * 0{,}5 * (1{,}96)^2 + (61.580 - 1) * 0{,}08^2}$$

$$= 149{,}7 \rightarrow 150\ amostras \quad \text{(Eq. 1)}$$

Onde:

n *= tamanho da amostra,*
N *= tamanho da população,*
p *= proporção da população com as características que estão sendo analisadas*
q *= proporção da população que não está sendo analisada*
z *= valor crítico de 1,96 para um nível de confiança de 95%,*
e *= erro máximo da amostra*

Os formulários foram aplicados a 191 entrevistados, sendo 174 válidos, e para a amostra de clientes que consumiram ou compraram nas instalações comerciais, foram considerados os passageiros que viajavam, sendo aqueles que estavam embarcando ou desembarcando, totalizando uma amostra de 84 passageiros (48% da amostra total válida), a ser analisada quanto a satisfação de compra ou consumo.

3. METODOLOGIA

Para avaliar a percepção e experiência dos clientes que consumiram nas áreas comerciais do aeroporto, foi aplicado um formulário estruturado com 8 (oito) indicadores comerciais (Tabela 3) quanto à percepção do produto e quanto à percepção das instalações dos estabelecimentos (loja) relacionados ao varejo e à comida e bebida: (i) quantidade e qualidade dos produtos (*Quant_Qualidade do Produto*), (ii) valor do produto (*Valor_Produto*), (iii) custo benefício dos produtos (*Custo_Benef_Produto*), (iv) tempo na fila das lojas (*Tempo_fila_loja*), (v) cordialidade dos funcionários da loja (*Cordialidade_func_loja*), (vi) disponibilidade e localização da loja (*Disponib_local_loja*), (vii) sinalização para chegar até a loja (*Sinaliz_ate_loja*), e (viii) conforto quanto ao espaço da loja (*Conforto_espaço_loja*).

Tabela 3 – Indicadores comerciais.
Elaborado pelas autoras.

		MUITO RUIM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MUITO BOM
PRODUTO	*Quant_Qualidade do Produto*		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Valor_Produto		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Custo_Benef_Produto		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
LOJA	*Tempo_fila_loja*		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Cordialidade_func_loja		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Disponib_local_loja		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Sinaliz_ate_loja		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conforto_espaço_loja		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

As escalas de respostas são utilizadas nas pesquisas de satisfação dos clientes, onde no presente trabalho utilizou-se a escala de 0 a 10, em que um dos extremos da escala indica não aprovação (muito ruim) e o outro indica aprovação (muito bom), conforme apresentado na Tabela 3. Logo, a escala utilizada de 0 a 10 neste trabalho indica 0 para muito ruim e 10 para muito bom, em que 0 fica mais intuitivo como muito ruim, sendo uma escala de 11 pontos para representar a intensidade das respostas dos clientes.

Após a aplicação do formulário e tabulação dos dados, foi possível utilizar a métrica *Net Promoter Score*, que de acordo com a literatura, essa técnica pode ser utilizada em dados coletados a partir de uma escala de 0 a 10, que mede a satisfação dos clientes. De acordo com Reichheld (2003), pioneiro na metodologia *Net Promoter Score* (NPS), três grupos são identificados: (i) detratores, (ii) neutros, e (iii) promotores, a partir das respostas obtidas da pesquisa de satisfação que utiliza uma escala de 0 a 10, em que visa refletir a fidelidade do cliente, verificando se o cliente indicaria a empresa para um amigo ou colega, nesse caso.

O grupo dos detratores, correspondem as respostas relacionadas às notas de 0 a 6, considerados extremamente improváveis de recomendar a empresa. Para o grupo dos neutros, a escala equivale às respostas dadas referente às notas de 7 e 8, denominados passivelmente satisfeitos, já para o grupo dos promotores, notas de 9 e 10, correspondendo aos clientes extremamente propensos a recomendar a empresa. O cálculo do NPS é apresentado na Equação 2.

$$NPS = \%\ Promotores - \%\ Detratores \quad \text{(Eq. 2)}$$

Onde:
% Promotores = respostas 9 e 10, e
% Detratores = respostas 0 a 6.

Desse modo, resultados do NPS de 75% e maiores que 80% representam as empresas que detém fidelidade de classe mundial. A questão é se o cliente recomendaria a empresa para seus amigos ou colegas, porque quando os clientes são intensamente leais, eles recomendam a empresa, então fica claro que a meta para os funcionários é obter mais promotores e menos detratores (REICHHELD, 2003).

As escalas de NPS são classificadas em -100 a 0 como zona crítica, 1 a 50 como zona de aperfeiçoamento, 51 a 75 como zona de qualidade e 76 ao 100 como zona de excelência (GONZÁLEZ RODRÍGUEZ e GARZA VILLEGAS, 2015), associados aos indicadores comerciais pesquisados neste trabalho.

4. RESULTADOS

Para interpretação dos resultados, os dados foram carregados, calculados e plotados através da ferramenta de linguagem *Python*, versão 3.7 (ANACONDA, 2019), com utilização das bibliotecas *Numpy* (funções matemáticas), *Matplotlib* (gráficos), e *Pandas* (manipulação e análise de dados).

A Tabela 4 apresenta a experiência e satisfação dos clientes que consumiram/compraram, sendo que valores críticos foram para os indicadores quanto aos produtos tais como valor, custo benefício e para as instalações da loja o indicador foi sinalização para chegar até a loja, onde estes indicadores apresentaram NPS com valores negativos. Em relação aos indicadores quantidade e qualidade dos produtos e conforto quanto ao espaço das lojas são indicadores que merecem atenção. As melhores avaliações de satisfação foram para os indicadores tempo na fila, cordialidade dos funcionários, disponibilidade e localização das lojas.

Tabela 4 – Experiência e Satisfação dos Clientes que consumiram/compraram (n=84).
Elaborado pelas autoras.

	INDICADORES	DETRATORES 0 a 6 (%)	NEUTROS 7 e 8 (%)	PROMOTORES 9 e 10 (%)	NPS (%)	*ZONAS DE CLASSIFICAÇÃO
1	*Quant_Qualidade do Produto*	14,3	44,0	41,7	27,4	Aperfeiçoamento
2	*Valor_Produto*	57,1	34,6	8,3	-48,8	Crítica
3	*Custo_Benef_Produto*	36,9	44,0	19,1	-17,8	Crítica
4	*Tempo_fila_loja*	7,1	15,5	77,4	70,3	Qualidade
5	*Cordialidade_func_loja*	8,3	22,6	69,1	60,8	Qualidade
6	*Disponib_local_loja*	4,7	17,9	77,4	72,7	Qualidade
7	*Sinaliz_ate_loja*	39,3	25,0	35,7	-3,6	Crítica
8	*Conforto_espaço_loja*	14,3	31,0	54,7	40,4	Aperfeiçoamento

* Zonas de classificação adaptado de GONZÁLEZ RODRÍGUEZ e GARZA VILLEGAS (2015).

O mesmo pode ser observado na Figura 1 por classificação dos grupos do *Net Promoter Score*, em que os oito indicadores são representados pelos grupos dos detratores, neutros e promotores. Fica evidente que os três indicadores (valor do produto, custo benefício e sinalização) estão na zona crítica, com maiores valores para o grupo dos detratores e menor valor para o grupo dos promotores, sendo resultados preocupantes para os lojistas e para a gestão do terminal aeroportuário essa classificação relacionada à experiência dos clientes. Uma vez que seja maior o número de detratores para o indicador analisado maior será a visão negativa de uma empresa por seus usuários. E para o grupo dos promotores, três indicadores estão com maiores valores quando comparados com os demais, sendo indicadores comerciais referentes a disponibilidade e localização da loja, cordialidade dos funcionários da loja e tempo de espera na fila da loja.

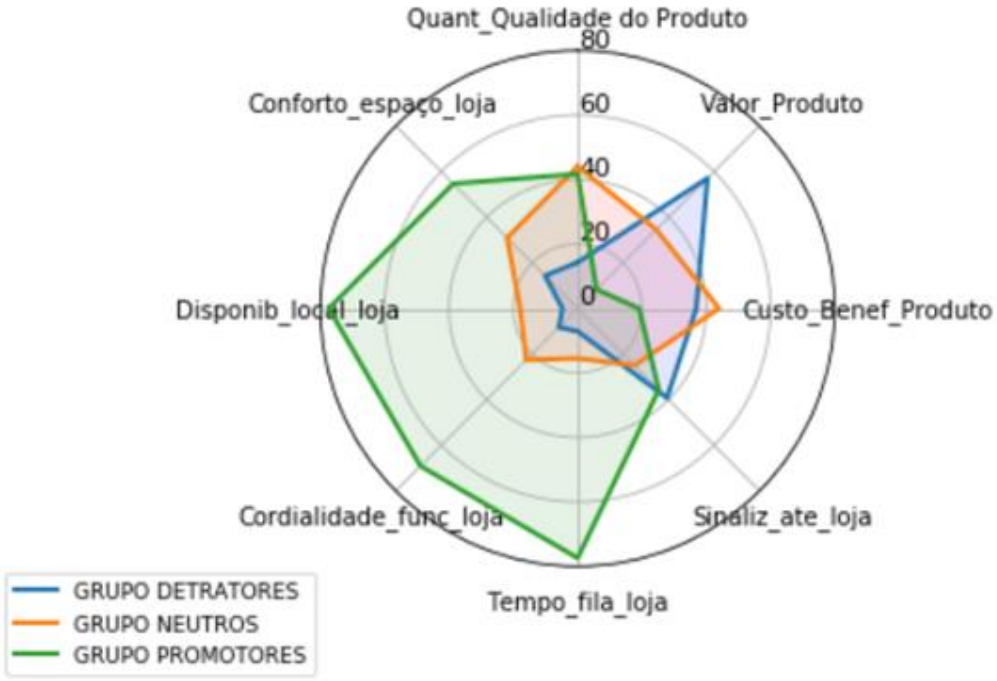


Figura 1 – Grupos de classificação do NPS – *Net Promoter Score.*
Elaborado pelas autoras.

5. CONCLUSÕES

A métrica *Net Promoter Score* se mostrou ser eficaz e simples para análise da satisfação dos clientes que compraram/consumiram no aeroporto para os indicadores estudados, em que escala de 0 a 10, além de ser de fácil interpretação e possuir intensidades mais amplas para as respostas.

A técnica *Net Promoter Score* pode ser utilizada associada à outras técnicas e/ou métodos de pesquisa de satisfação, de acordo com a literatura.

Analisando a satisfação dos clientes quanto ao produto e quanto a lojas do Aeroporto Tancredo Neves/Belo Horizonte, os indicadores comerciais no TPS, mostrou que indicadores como valor do produto, custo benefício e sinalização para chegar até a loja estão na zona crítica, indicadores quantidade e qualidade do produto e conforto quanto ao espaço da loja estão na zona de aperfeiçoamento, indicadores tempo de fila na loja, cordialidade dos funcionários e disponibilidade das lojas estão na zona de qualidade, e nenhum dos indicadores pesquisados estão na zona de excelência com NPS maiores de 75%.

Resultados estes importantes para a gestão aeroportuária, importante para que possam tomar ações corretivas quanto aos indicadores, promovendo, portanto, alcance da excelência quanto aos serviços e produtos oferecidos para os clientes, uma vez que fica evidente que os clientes indicam a empresa para seus amigos ou colegas, quando são intensamente leais com a empresa, associados ao *Net Promoter Score* acima de 75%.

Como sugestão para trabalhos futuros, podem ser realizadas a análise dos indicadores associados ao perfil sociodemográfico dos clientes, e a comparação desses resultados com outros aeroportos para obter uma visão da experiência de compra dos passageiros em diferentes aeroportos brasileiros, bem como associar a métrica NPS com outras metodologias.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

As autoras agradecem o apoio do Aeroporto Tancredo Neves/Belo Horizonte para a realização da pesquisa de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC. Consulta Interativa – Indicadores do Mercado de Transporte Aéreo. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-de-transporte-aereo/consulta-interativa/demanda-e-oferta-ranking-de-aeroportos. Acesso em: 06 Ju1nho 2019.

ANACONDA. 2019. Python versão 3.7. Disponível em: https://www.anaconda.com/distribution/. Acesso em 10 Julho 2019.

AUTORIDADE DE AVIAÇÃO CIVIL DO REINO UNIDO – CAA. Dados e Análises. Disponível em: http://www.caa.co.uk/home. Acesso em: 21 Abril 2018.

CHIAPPA, G., MARTIN, J. C., ROMAN, C. Service quality of airports'food and beverage retailers. A fuzzy approach. Journal of Air Transport Management. Volume 53, June 2016, Pages 105-113.

CONSELHO DE AEROPORTOS INTERNACIONAL, AMÉRICA DO NORTE – ACI. 2019. Pesquisa Comercial de Qualidade de Serviço do Aeroporto. Disponível em: https://aci.aero/customer-experience-asq/services/asq-commercial-survey/. Acesso em: 20 Jan. 2019.

CURY, M. V. Q. Método para avaliar a percepção do usuário sobre a qualidade de sistemas de transporte urbano sobre trilhos com utilização da tecnologia neuro-fuzzy. Transportes. v. XV, n. 1, p. 7-15. Junho 2007.

DOMINGO, L. M., MARTÍN, J. C., MANDSBERG, G. Social media as a resource for sentiment analysis of Airport Service Quality (ASQ). Journal of Air Transport Management. 2019. Article in Press.

EGER, L., e MIČÍK, M. Customer-oriented communication in retail and Net Promoter Score. Journal of Retailing and Consumer Services. Volume 35, March 2017, Pages 142-149

FREITAS, P. T. C., BORILLE, G. M. R. (2017). Análise da satisfação dos passageiros em áreas comerciais aeroportuárias. ANPET 2017.

GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, E.; GARZA VILLEGAS, J.B. Índice de Promotor Neto y su relación com la satisfacción del cliente y la lealtad. Nova scientia. León: v. 7, n. 13, p. 411-437, 2015. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052015000100021. Acesso em: 25 julho de 2019.

MARCONI, M. A., e LAKATOS, E. M. Técnicas de Pesquisa. Atlas. São Paulo. 3ª Edição. 1996

REICHHELD, F. (2003). The One Number you Need to Grow, Harvard Business Review.

SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL - SAC. 2019. Pesquisa de Satisfação. Disponível em: http://infraestrutura.gov.br/pesquisa-satisfacao.html. Acesso em: 21 Jan. 2019.

SKYTRAX. 2019. Premiação dos Aeroportos no Mundo. Disponível em: https://www.worldairportawards.com/awards-methodology/. Acesso em: 10 Jan. 2019.

Escolha de aeronaves para uma companhia aérea regional: um modelo de otimização inteira ajustado

Thiago Dias de Jesus
Universidade de Brasília
Faculdade UnB Gama
thiagodiasdejesus@gmail.com

Manuel N. Dias Barcelos Júnior
Universidade de Brasília
Faculdade UnB Gama
manuelbarcelos@unb.br

Mateus Rodrigues Miranda
Universidade de Brasília
Faculdade UnB Gama
mateusmiranda@unb.br

Sergio Henrique da Silva Carneiro
Universidade de Brasília
Faculdade UnB Gama
shscarneiro@unb.br

Victor Rafael Rezende Celestino
Universidade de Brasília
Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas
Departamento de Administração
vrcelestino@unb.br

2019

Resumo

O problema de seleção de aeronaves para uma companhia aérea é conhecido como o Problema de Alocação de Frota. O objetivo deste trabalho é modelar o processo de escolha de aeronaves para uma companhia aérea regional, por meio de um modelo de otimização inteira ajustado a dados reais, obtidos a partir de visitas técnicas. Uma malha aérea regional hipotética foi construída, com operações a partir do *hub* em Goiânia, de forma a maximizar a lucratividade de uma nova empresa aérea. Como resultados, obtém-se seis cenários com diferentes alocações de frotas, que permitem a tomada de decisão da companhia aérea. As aeronaves mais utilizadas foram justamente aquelas projetadas para atender ao mercado regional.

Palavras-chave: Aviação Regional. Empresa Aérea. Problema de Alocação de Frota. Pesquisa Operacional. Programação Inteira.

Abstract

The aircraft selection problem for an airline is known as the Fleet Allocation Problem. The aim of this paper is to model the aircraft selection process for a regional airline, using an integer optimization model adjusted to real data, obtained from technical visits. A hypothetical regional air network was built, with operations from the *hub* in Goiânia, to maximize the profitability of a new airline. As a result, we obtain six scenarios with different fleet allocations, which allow the decision making of the airline. The most used aircraft were precisely those designed to serve the regional market.

Keywords: Regional Aviation. Airline. Fleet Allocation Problem. Operational Research. Integer Programming.

1 Introdução

O problema de seleção de aeronaves para cumprir determinados trajetos propostos por uma companhia aérea é conhecido como FAP (*Fleet Assignment Problem*, em português Problema de Alocação de Frota) (ELTOUKHY; CHAN; CHUNG, 2017). Este problema é bastante estudado pelas mesmas, sabendo o quão competitivo é o mercado de aviação comercial (SHERALI; BISH; ZHU, 2006; GU et al., 1994).

Para que os riscos na seleção sejam mitigados, é necessário um embasamento científico e uma busca por informações de confiança e qualidade. Para isso, a metodologia de *Pesquisa Operacional* (BELFIORE; FÁVERO, 2013) tem sido utilizada como metodologia para apoiar as tomadas de decisões.

A Delta Airlines foi a primeira companhia aérea a utilizar dos avanços da programação matemática e computacional para resolver problemas de otimização de alocação de frotas, resultando em ganhos na casa dos milhões de dólares nos anos seguintes (SUBRAMANIAN et al., 1994).

O objetivo deste trabalho é modelar o processo de escolha de aeronaves para uma companhia aérea regional por meio de um modelo de otimização inteira ajustado a dados reais. Assim, uma malha aérea regional hipotética foi construída, com operações a partir do *hub* em Goiânia, de forma a maximizar a lucratividade de uma nova empresa aérea.

2 Referencial teórico

2.1 Mercado regional

Como o foco deste trabalho é apresentar a criação de uma companhia aérea regional, faz-se necessário definir e entender o que *regional* significa. De acordo com Bettini H., a aviação regional pode ser caracterizada pela atividade da aviação regular de transporte de passageiros com aeronaves com capacidade inferior a 100 assentos em rotas com baixa ou média densidade de tráfego. Entretanto, na prática, identificam-se casos em que empresas aéreas regionais operam com aeronaves maiores em rotas com alta demanda, assim como companhias aéreas nacionais que operam em algumas rotas caracterizadas como regionais (BETTINI, 2010).

2.2 Conceitos da aviação

Dada a peculiaridade da economia do transporte aéreo, existem diversos conceitos na aviação civil que ainda são pouco conhecidos. Por isso, alguns deles são aqui apresentados para uma melhor compreensão dos objetivos deste trabalho e de suas conclusões.

2.2.1 ASK

Na aviação civil existem algumas siglas que definim termos operacionais, e uma delas é o ASK (*Available Seat Kilometer*) (TSAI; KUO, 2004), sendo em português conhecido por assento-quilômetro disponível. O ASK expressa o total da oferta de assentos multiplicada pela distância em quilômetros dos trechos voados.

2.2.2 RPK

O *Revenue Passenger Kilometers* (RPK), em português podendo ser traduzido como número de passageiros pagantes-quilômetro (TSAI; KUO, 2004), é uma medida de demanda. Fornece, como o próprio nome indica, o número de passageiros pagantes multiplicado pelos quilômetros viajados.

2.2.3 CASK

O CASK (*Cost per Available Seat Kilometer*), ou em português mais conhecido como custo por assento-quilômetro, pode ser definido como o custo operacional total da companhia aérea dividido pelo ASK. Descrevendo de uma maneira mais simples, o CASK é o quanto a companhia aérea gasta em média por cada assento ofertado em um quilômetro voado.

2.2.4 Yield

O *yield* expressa o valor ganho pela companhia aérea por cada assento-quilômetro pago, ou seja, quanto ela efetivamente está ganhando de cada passageiro pagante por um quilômetro voado. É um dos parâmetros mais utilizados pelas empresas para medirem o quão lucrativa é uma determinada rota.

2.2.5 Hub and spoke

Um *hub* de uma companhia aérea, também chamado de centro de conexão em português, é o local (aeroporto) que essa companhia utiliza para servir como ponto principal de suas operações. Assim, muitos voos partem de ou têm como destino este *hub* (BAZARGAN, 2010). Denomina-se como *spoke* um local que é servido por esses *hubs*.

Algumas companhias aéreas maiores possuem vários *hubs* para que suas demandas sejam supridas, enquanto que companhias aéreas menores podem operar de um único *hub* (BAZARGAN, 2010). Geralmente, é no *hub* que as aeronaves da companhia ficam quando não estão sendo utilizadas ou estão em manutenção.

2.2.6 Malha aérea

Uma companhia aérea define sua malha, usualmente, por meio da escolha de seus *hubs* e *spokes*, os quais estabelecem as conexões entre cidades a serem abastecidas por seus voos (BAZARGAN, 2010).

2.3 Aplicação da programação inteira na aviação civil

Diversos problemas de pesquisa operacional podem ser resolvidos levando em consideração que suas variáveis podem assumir quaisquer valores. Entretanto, há casos em que essas variáveis devem apenas assumir valores inteiros como resultados (HILLIER; LIEBERMAN, 2013), sendo necessário a utilização da programação inteira.

Abara J., apresenta uma aplicação da programação mista linear e inteira (ABARA, 1989). Hane C. A. propõe um modelo inteiro para resolver a FAP[1], considerando uma alocação diária (HANE et al., 1995). No seu modelo misto linear e inteiro, Daskin M. S e Panayotopoulos utilizam uma aproximação lagrangiana para obter a solução ótima (DASKIN; PANAYOTOPOULOS, 2008).

Além de realizar o *schedule design* (programação de horários de voos), Sherali H. D, Bish E. K. e Zhu X. propõem um modelo no qual a alocação da tripulação e escalas de manutenção das aeronaves são fatores relevantes (SHERALI; BISH; ZHU, 2006). Já Caetano D. J. e Guada N. D., acrescentam nos seus modelos restrições operacionais de disponibilidades ou de *slots*, que é uma autorização que uma companhia aérea recebe para pousar ou decolar em um determinado aeroporto em uma janela de tempo (CAETANO; GUALDA, 2015a; CAETANO; GUALDA, 2015b).

Medau J. C e Gualda N. D. F. apresentam como característica da sua pesquisa a possibilidade de as frotas realizarem conexões de passageiros e troca de tripulação para reduzir significativamente os custos operacionais da empresa (MEDAU; GUALDA, 2018). Bélanger N. e Rexing B. determinam que o horário de saída de cada voo seja otimizado no modelo para obter uma máxima lucratividade e otimização das aeronaves, utilizando restrições de tempo máximo e mínimo de alterações possíveis (BÉLANGER et al., 2006; REXING et al., 2000). Por fim, Lohatepanont M e Barnhart C. desenvolveram um modelo integrado para propor rotas de uma empresa aérea e definir quais aeronaves são utilizadas de forma ótima (LOHATEPANONT; BARNHART, 2004).

O modelo aqui proposto concentra-se na alocação da frota (FAP) propriamente dita, que ocorre no planejamento inicial de uma empresa aérea. Por isso, considerou-se que aqui ainda não seria oportuno buscar a otimização da programação de horários de voos e da permanência de aeronaves no solo.

3 Metodologia

3.1 Tipo de estudo e delineamento da pesquisa

Este trabalho é uma pesquisa aplicada, inspirada no *Design Science Research*, cujo principal objetivo é criar soluções para problemas, aprimorar sistemas e buscar a otimização (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015).

Além disso, trata-se de uma pesquisa descritiva, a qual busca descrever fenômenos e características para retratar um assunto de estudo (GIL, 2008). O trabalho possui ainda um caráter de pesquisa exploratória, onde descreve situações reais e pouco exploradas. Quanto a forma de abordagem e de análise de dados, este trabalho tem viés

[1] Fleet Assignment Problem.

quantitativo (GIL, 2008).

3.2 População e amostra

Para determinar quais são as melhores aeronaves e malha aérea de uma nova companhia aérea regional com *hub* em Goiânia, foram delimitadas a população e a amostra de interesse, como apresentado a seguir.

3.2.1 Atuação da companhia

Primeiramente, a análise deu-se apenas no mercado doméstico e não internacionalmente. Ademais, o Aeroporto Internacional de Goiânia foi o local escolhido como *hub* da companhia. Assim, todos os voos têm como origem ou destino este aeroporto.

3.2.2 Malha aérea

A escolha das rotas se deu por meio da análise de demanda entre as regiões analisadas e o *hub*. Como critério adicional, foi imposto um requisito de tamanho de pista mínimo, compatível com o desempenho da aeronave. Ademais, foi acrescentada uma restrição de alcance máximo de cada aeronave.

Para facilitar a análise dos destinos escolhidos, foi utilizado o código ICAO dos aeródromos definidos pela Organização da Aviação Civil Internacional, o qual é constituído por quatro letras para cada aeródromo com um código próprio. Analisando os dados de demanda, obtidos do Registro de Voos da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), entre os anos de 2014 e 2018, encontrou-se 111 prováveis destinos.

3.2.3 Aeronaves

Neste trabalho, foram consideradas regionais, as aeronaves com 60 a 150 assentos. A única exceção foi o Boeing 737 MAX 7, que possui 156 assentos, mas foi incluída por sua grande participação no mercado. Além disso, a versão mais atual de cada aeronave foi utilizada.

Apesar de ser bem maior o número de aeronaves ainda em operação em rotas regionais, em função da disponibilidade de dados de custos de operação, a lista de aeronaves restringiu-se a apenas 7 opções: Embraer E190-E2, Embraer E195-E2, Airbus A220-100, Airbus A220-300, Airbus A319neo, Boeing 737 MAX 7 e ATR72-600. A tabela 1 apresenta as aeronaves utilizadas nesta pesquisa.

Tabela 1 – Aeronaves da Amostra com respectivos número de assentos.

Aeronaves	**Assentos**
Embraer E190-E2	106
Embraer E195-E2	132
Airbus A220-100	115
Airbus A220-300	141
Airbus A319neo	140
Boeing 737 MAX 7	156
ATR72-600	68

3.3 Coleta de dados

Dados secundários de demanda, preços (yield) e CASK foram obtidos da ANAC e da Embraer, a partir de visitas técnicas.

3.4 Análise dos dados

3.4.1 Escolha do HUB

A escolha de Goiânia como *hub* deu-se a partir das visitas técnicas e da análise de dados. Assim como apresentado na literatura e previamente explicitado na seção 2.2.5, a rede desta nova companhia aérea será formada pelo padrão *hub and spoke*, onde todos os voos têm destino ou origem no *hub*, e não permitindo rotas ponto-a-ponto entre *spokes*, (LEDERER; NAMBIMADOM, 1998; JAILLET; SONG; YU, 1996).

3.4.2 Definição da malha

Por meio da análise de demanda de um determinado aeroporto foi possível definir a sua viabilidade. Dados os prováveis 111 destinos, foi definida uma demanda mínima economicamente viável de 50 passageiros semanais.

3.4.3 Seleção de aeronaves

A escolha das aeronaves foi obtida pela maximização do lucro de uma companhia aérea

ao operar uma malha definida com combinações de frotas de aeronaves, por meio de um modelo de pesquisa operacional.

Uma restrição foi a capacidade da aeronave em suprir a demanda existente, por meio da oferta de assentos. Além disso, cada aeronave selecionada precisa ter um alcance mínimo para que consiga cumprir a rota e, ao mesmo tempo, precisa de um requisito de comprimento de pista mínimo para pousos e decolagens menor do que a pista do aeroporto de destino, como mencionado em 3.2.2.

3.4.4 Preço da passagem

Após a coleta de dados de preços médios das passagens aéreas para cada destino, foi realizada uma regressão não-linear com base na função potência para encontrar uma curva que define o valor médio do yield[2] por quilômetro voado e, consequentemente, o preço das passagens para cada destino.

Como o preço pode variar de acordo com a companhia aérea, neste trabalho, considerou-se que a passagem aérea varia de acordo com o tamanho da aeronave. Nota-se na aviação civil comercial que, quanto maior a aeronave, mais barata pode ser a passagem, pois é possível transportar mais passageiros com apenas uma viagem. Assim, para que o modelo fosse mais realista em relação ao mercado, o preço da passagem foi considerado proporcional ao tamanho da aeronave, ou seja, o número de assentos.

A receita foi calculada a partir do preço médio e da demanda de cada destino informada pela ANAC. Foi utilizado como parâmetro de custo o CASK[3] para indicar qual aeronave deve ser usada em cada rota.

Neste trabalho, todos os valores de moedas foram utilizados em dólar americano (US$). As companhias aéreas trabalham muito com esta moeda pelo motivo de que cerca de 60% dos seus custos operacionais são em dólar americano. Por exemplo, o barril do petróleo é comercializado mundialmente em dólar, e consequentemente esta moeda possui um forte peso nas tomadas de decisões.

[2] Receita por cada assento-quilômetro que foi pago.

[3] Custo por assento-quilômetro voado.

3.5 Modelo matemático

Tendo em vista o que foi apresentado, pode-se, então, desenvolver um modelo que represente a solução almejada. Para o modelo matemático, tem-se as seguintes função objetivo e restrições:

$$Max \sum_{j \in J} \sum_{a \in A} (T_{j,a} \times P_{j,a} - C_{j,a} \times S_a \times D_j \times F_{j,a}) \tag{1}$$

Onde j é um destino que está contido no conjunto de todos os destinos J e a é uma aeronave que está contida no conjunto de todas as aeronaves A.

Sujeito às restrições:

$$\sum_{a \in A} S_a \times F_{j,a} \geq Q_j, \quad \forall j \in J; \tag{2}$$

$$W_a \times BIN_{j,a} \leq L_j, \quad \forall j \in J \ \ e \ \ a \in A; \tag{3}$$

$$R_a \geq D_j \times BIN_{j,a}, \quad \forall j \in J \ \ e \ \ a \in A; \tag{4}$$

$$F_{j,a} \leq 100 \times BIN_{j,a}, \quad \forall j \in J \ \ e \ \ a \in A; \tag{5}$$

$$\sum_{a} BIN_{j,a} \leq K, \quad \forall j \in J \ \ e \ \ a \in A; \tag{6}$$

$$F_{j,a} \leq 100 \times BIN2_a, \quad \forall j \in J \ \ e \ \ a \in A; \tag{7}$$

$$\sum_{a} BIN2_a \leq K, \quad \forall j \in J; \tag{8}$$

$$\sum_{a \in A} P_{j,a} = Q_j, \quad \forall j \in J; \tag{9}$$

$$P_{j,a} \leq S_a \times F_{j,a}, \quad \forall j \in J \ \ e \ \ a \in A; \tag{10}$$

$$F \ \ e \ \ P \in Z; \tag{11}$$

onde

$T_{j,a}$	Preço da passagem para o destino j;
$P_{j,a}$	Número de passageiros da aeronave a para o destino j;
$C_{j,a}$	CASK da aeronave a para o destino j;
S_a	Número total de assentos para a aeronave a;
D_j	Distância total entre a origem e o destino j;
$F_{j,a}$	Fluxo total de aeronaves a para o destino j;
Q_j	Demanda de passageiros para o destino j;
W_a	Tamanho mínimo de pista necessário para a aeronave a decolar ou pousar;
L_j	Tamanho da pista do aeroporto do destino j;
R_a	Alcance máximo da aeronave a;
K	Constante que representa o número máximo de diferentes tipos de aeronaves.

Além disso, BIN e $BIN2$ são variáveis binárias que possuem apenas os seguintes valores

$$\begin{matrix} BIN \\ BIN2 \end{matrix} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}. \tag{12}$$

O objetivo da nova empresa aérea é obter a máxima lucratividade alocando as melhores aeronaves para um dado destino. Na equação da função objetivo, equação 1, faz-se um somatório duplo da subtração entre a receita da companhia (receita com a venda das passagens) e os gastos operacionais. Assim, a mesma deve ser maximizada. As equações de 2 a 11 são as restrições do modelo.

4 Resultados e discussão

4.1 Rotas selecionadas e malha final

Após transformar as demandas em números de passageiros semanais, observou-se diversos dos 111 possíveis destinos com uma demanda inferior a 50 passageiros por semana. Como mencionado em 3.2.2, estes destinos com demanda economicamente inviável foram retirados da análise. Assim, ao todo, restaram 40 destinos rentáveis e lucrativos para a companhia aérea. Estes destinos são apresentados na tabela 2.

Para uma melhor visualização, todas as rotas são apresentadas na figura 1, onde é possível visualizar os 40 destinos da companhia aérea no Brasil.

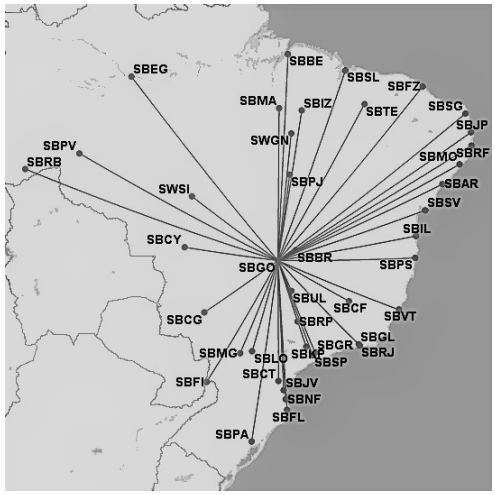


Figura 1 – Malha final com a origem e todos os destinos.

4.2 Demanda

A demanda de cada destino em números de passageiros semanais também está apresentada na tabela 2.

4.3 Preços das passagens

Os dados de preços das passagens obtidos da base de dados da ANAC apresentavam os valores das passagens para cada rota e a quantidade das mesmas vendidas. Inicialmente, foi preciso normalizar os valores para que fossem proporcionais às distâncias percorridas. Além disso, como apresentado em 3.4.4, os preços das passagens foram calculados em função do número de assentos da aeronave, por meio de uma regressão não-linear com base na função potência, para as seguintes configurações de assentos:

- Até 120 assentos;
- Entre 121 e 150 assentos;
- 151 assentos ou mais.

A figura 2 apresenta a linha de tendência resultante da regressão para a classe de até 120 assentos por aeronave. A figura 3 mostra a curva resultante para a classe entre 121 e 150 assentos. E

Tabela 2 – Demanda semanal para cada rota selecionada.

Demanda semanal			
SBAR	**SBBE**	**SBBR**	**SBCF**
79	225	283	932
SBCG	**SBCT**	**SBCY**	**SBEG**
175	570	606	165
SBFI	**SBFL**	**SBFZ**	**SBGL**
79	286	364	724
SBGR	**SBIL**	**SBIZ**	**SBJP**
2813	61	53	110
SBJV	**SBKP**	**SBLO**	**SBMA**
59	737	76	94
SBMG	**SBMO**	**SBNF**	**SBPA**
52	190	179	691
SBPJ	**SBPS**	**SBPV**	**SBRB**
589	164	98	68
SBRF	**SBRJ**	**SBRP**	**SBSG**
405	1219	338	205
SBSL	**SBSP**	**SBSV**	**SBTE**
136	2597	482	106
SBUL	**SBVT**	**SWGN**	**SWSI**
82	322	136	51

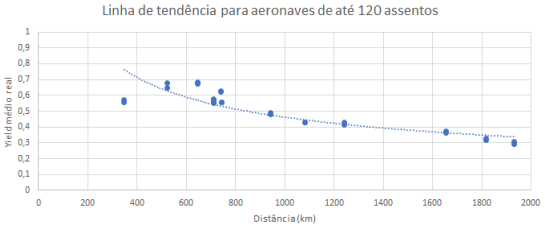


Figura 2 – *Yield* médio pela distância para a classe com até 120 assentos.

por fim, a figura 4 apresenta a linha de tendência da receita por cada assento-quilômetro que foi pago *(yield)* para a classe com mais de 150 assentos.

4.4 Modelagem

A modelagem e a simulação foram implementadas no software LINGO para encontrar as melhores aeronaves que cumprem de forma ótima cada rota. Inicialmente, o modelo proposto foi verificado e validado com um caso simplificado, conforme sugerido na literatura (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). Foram analisados, então, seis cenários para avaliar como a seleção de aeronaves

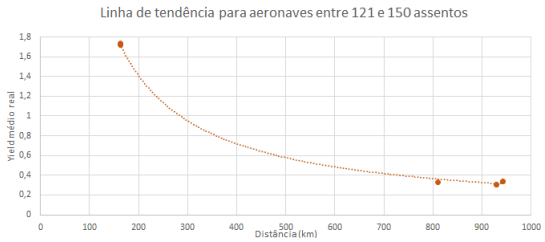


Figura 3 – *Yield* médio pela distância para a classe entre 121 e 150 assentos.

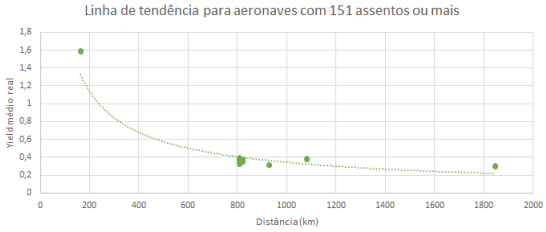


Figura 4 – *Yield* médio pela distância para a classe com mais de 150 assentos.

se comporta:

1. Apenas um tipo de aeronave para cumprir todas as rotas;
2. Até dois tipos de aeronaves para cumprir todas as rotas;
3. Até três tipos de aeronaves para cumprir todas as rotas;
4. Até quatro tipos de tipos de aeronaves para cumprir todas as rotas;
5. Cinco ou mais tipos de aeronaves para cumprir todas as rotas;
6. Apenas um tipo de aeronave para cumprir todas as rotas, com relaxamento das restrições de tamanho de pista e alcance.

Os resultados da alocação para todos os cenários são apresentados na tabela 3, onde INF indica os resultados inviáveis, ou seja, nos quais não obteve-se uma resposta para o problema.

4.5 Análise dos resultados

Ao final, pode-se fazer uma comparação entre os seis cenários.

Tabela 3 – Lucros para os seis cenários.

	Número de rotas					
Aeronaves	**Primeiro**	**Segundo**	**Terceiro**	**Quarto**	**Quinto**	**Sexto**
E190-E2	INF	0	0	25	25	0
E195-E2	INF	0	2	0	1	0
A220-100	INF	32	31	13	13	40
A220-300	INF	0	0	2	1	0
A319neo	INF	0	0	0	0	0
B737-M7	INF	0	0	0	0	0
ATR72-600	INF	25	19	18	18	0
Lucro (US$)	**INF**	**6.364.304,00**	**6.389.473,00**	**6.421.664,00**	**6.421.892,00**	**6.337.879,00**

Como pode-se notar, o modelo não encontrou um resultado viável para o problema no primeiro cenário. Isto se deve às restrições de alcance e tamanho de pista mínimo impostas ao modelo. Por exemplo, a aeronave ATR72-600 consegue decolar e pousar em todas as pistas propostas no modelo. Entretanto, esta não possui alcance suficiente para cumprir a rota até Fortaleza (SBFZ), que possui uma distância de $1845km$ de Goiânia, enquanto a mesma aeronave possui um alcance de apenas $1528km$.

Constatou-se que dentre os sete diferentes tipos de aeronaves apenas o Boeing 737 MAX 7 e o Airbus A319neo não foram utilizados em nenhuma das alocações. Pressupõe-se que tal resultado decorre de estas aeronaves possuírem comparativamente os maiores números de assentos e, consequentemente, resultarem em uma chance maior de operar com assentos vazios nestas aeronaves.

Além disso, os resultados indicam que as aeronaves mais utilizadas foram ATR72-600, Embraer E190-E2 e Airbus A220-100, aquelas projetadas para atender ao mercado regional. Portanto, estão cumprindo bem com o seu propósito para cumprir esses tipos de rotas.

Aqui destacam-se as comparações entre os cenários dois, cinco e seis. Relembrando, no cenário dois apenas dois tipos de aeronaves poderiam ser utilizadas no modelo, enquanto no cenário cinco, poder-se-ia alocar até cinco ou mais tipos de aeronaves. No sexto cenário apenas uma aeronave poderia ser usada, mas excluindo as restrições de tamanho de pista e alcance máximo que impediam o modelo de alocar apenas um tipo de aeronave. A tabela 4 ordena os lucros obtidos em cada um desses cenários.

Tabela 4 – Lucro dos cenários dois, cinco e seis.

Cenários	**Lucro US$**
Cenário dois	6.364.304,00
Cenário cinco	6.421.892,00
Cenário seis	6.337.879,00

Por fim, pode-se concluir após a simulação de todos os cenários que o quinto foi o mais lucrativo. No entanto, este não seria necessariamente o cenário mais pragmático, uma vez que emprega uma diversidade de frota excessiva. Na vida real, o decisor precisará comparar o lucro adicional com eventuais custos fixos extras.

Conclusão

O mercado de aviação comercial é extremamente competitivo e, muitas vezes, imprevisível por conta de externalidades, exigindo processos de tomada de decisão formais e robustos. Neste contexto, definir quais são as melhores rotas e aeronaves para cumpri-las, assim como o seu *hub*, pode ser a decisão que definirá se o futuro desta empresa aérea será promissor ou não.

Em busca de apoio fundamentado para decisões tão importantes, este trabalho atingiu seu objetivo geral de modelar o processo de escolha de uma malha aérea regional e de aeronaves para

atendê-la, a partir de um *hub* em Goiânia, de forma a maximizar a lucratividade da companhia aérea. Este objetivo foi atingido por meio da modelagem computacional de pesquisa operacional.

Este trabalho confirma a utilidade da pesquisa operacional como ferramenta de tomada de decisão formal e robusta, na busca por soluções ótimas na aviação civil.

No entanto, identificam-se no presente trabalho limitações em relação aos dados obtidos. Não foi possível obter dados de custos para um maior número de aeronaves. Além disso, os dados de preços de passagens poderiam ser mais abrangentes em termos de quantidade de assentos / modelos de aeronaves e distâncias dos destinos para realizar as regressões não-lineares e definir as curvas de *yield*.

Como recomendação para trabalhos futuros, pretende-se ampliar o modelo para adicionar restrições e buscar customizar a realidade de diferentes companhias aéreas. Por exemplo, incluir restrições de capital inicial / orçamento para a compra de aeronaves; e/ou acrescentar janelas de horários e limitar a utilização diária de cada aeronave. Estes aperfeiçoamentos poderão aumentar ainda mais o alcance de aplicação do modelo proposto.

Referências

ABARA, J. Applying Integer Linear Programming to the Fleet Assignment Problem. *Interfaces*, v. 19, n. 4, p. 20–28, aug 1989. ISSN 0092-2102. Citado na página 3.

BAZARGAN, M. *Airline operations and scheduling*. [S.l.]: Ashgate,, 2010. Citado na página 3.

BÉLANGER, N. et al. Periodic airline fleet assignment with time windows, spacing constraints, and time dependent revenues. *European Journal of Operational Research*, v. 175, n. 3, p. 1754–1766, dec 2006. ISSN 03772217. Citado na página 3.

BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. *Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2013. v. 1. Citado na página 2.

BETTINI, H. Um retrato da aviação regional no brasil. *Journal of Transport Literature*, v. 1, n. 1, 2010. Citado na página 2.

CAETANO, D. J.; GUALDA, N. D. F. Solving the Integrated Schedule Generation and Fleet Assignment Problem: an ACOBased Metaheuristic Approach. *Journal of Transport Literature*, SciELO Brasil, v. 9, n. 3, p. 30–34, sep 2015. ISSN 2238-1031. Citado na página 3.

CAETANO, D. J.; GUALDA, N. D. F. Um modelo integrado para a programação de voos e alocação de frotas. *Transportes*, v. 19, n. 2, p. 16, 2015. Citado na página 3.

DASKIN, M. S.; PANAYOTOPOULOS, N. D. A Lagrangian Relaxation Approach to Assigning Aircraft to Routes in Hub and Spoke Networks. *Transportation Science*, v. 23, n. 2, p. 91–99, may 2008. ISSN 0041-1655. Citado na página 3.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. [S.l.]: Bookman Editora, 2015. Citado na página 3.

ELTOUKHY, A. E.; CHAN, F. T.; CHUNG, S. H. Airline schedule planning: A review and future directions. *Industrial Management and Data Systems*, [Eltoukhy, Abdelrahman E. E. Chan, Felix T. S. Chung, S. H.] Hong Kong Polytech Univ, Dept Ind & Syst Engn, Hong Kong, Hong Kong, Peoples R China. Chan, FTS (reprint author), Hong Kong Polytech Univ, Dept Ind & Syst Engn, Hong Kong, Hong Kong, Peoples R C, v. 117, n. 6, p. 1201–1243, 2017. ISSN 02635577. Citado na página 2.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. [S.l.]: 6. ed. Ediitora Atlas SA, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 4.

GU, Z. et al. Some properties of the fleet assignment problem. *Operations Research Letters*, v. 15, n. 2, p. 59–71, mar 1994. ISSN 01676377. Citado na página 2.

HANE, C. A. et al. The fleet assignment problem: Solving a large-scale integer program. *Mathematical Programming*, Springer, v. 70, n. 1-3, p. 211–232, 1995. Citado na página 3.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introdução à pesquisa operacional*. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 7.

JAILLET, P.; SONG, G.; YU, G. Airline network design and hub location problems. *Location Science*, v. 4, n. 3, p. 195–212, oct 1996. ISSN 09668349. Citado na página 4.

LEDERER, P. J.; NAMBIMADOM, R. S. Airline Network Design. *Operations Research*, v. 46, n. 6, p. 785–804, dec 1998. ISSN 0030-364X. Citado na página 4.

LOHATEPANONT, M.; BARNHART, C. Airline Schedule Planning: Integrated Models and Algorithms for Schedule Design and Fleet Assignment. *Transportation Science*, v. 38, n. 1, p. 19–32, feb 2004. ISSN 0041-1655. Citado na página 3.

MEDAU, J. C.; GUALDA, N. D. F. Alocação de aeronaves a voos considerando restrições operacionais, de manutenção e de desempenho das aeronaves. *Transportes*, v. 26, n. 2, p. 101–117, 2018. Citado na página 3.

REXING, B. et al. Airline Fleet Assignment with Time Windows. *Transportation Science*, v. 34, n. 1, p. 1–20, feb 2000. ISSN 0041-1655. Citado na página 3.

SHERALI, H. D.; BISH, E. K.; ZHU, X. Airline fleet assignment concepts, models, and algorithms. *European Journal of Operational Research*, v. 172, n. 1, p. 1–30, jul 2006. ISSN 03772217. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 3.

SUBRAMANIAN, R. et al. Coldstart: Fleet Assignment at Delta Air Lines. *Interfaces*, v. 24, n. 1, p. 104–120, feb 1994. ISSN 0092-2102. Citado na página 2.

TSAI, W.-H. H.; KUO, L. Operating costs and capacity in the airline industry. *Journal of Air Transport Management*, v. 10, n. 4, p. 269–275, jul 2004. ISSN 09696997. Citado na página 2.

BUILDING COMPETITIVE ADVANTAGE THROUGH SUSTAINABLE AVIATION FUELS

Jackeline Oliveira
Ministry of Infrastructure
SQSW 301/302, Ed. Montes, 2nd floor, Brasília, Brazil, Zip Code 70673-150
Tel +55 61 98145-7268 Email: jackeline.oliveira@infraestrutura.gov.br

Rafael Igrejas
IBMEC-Rio
Av. Pres. Wilson, 118, Centro, Rio de Janeiro, Brazil, Zip Code 20030-020
Tel +55 21 99868-2741 Email: rafaeligrejas@gmail.com

ABSTRACT

The study seeks to understand the civil aviation industry in the context of global emission reduction requirements and how airlines are seeking competitive advantage through incentives for the sustainable aviation fuel market. On that end, key partners and initiatives of nine major airlines based in seven countries located in South America, North America and Europe were analyzed.

Keywords: *Sustainable aviation fuels (SAF); Greenhouse gas emissions; Airline industry, Initiatives; Partnerships.*

1. INTRODUCTION

The growing demand for sustainable aviation fuels (SAF) has been driven both by international commitments made by countries to reduce greenhouse gas (GHG) emissions from the international civil aviation sector, and by uncertainties about supply and prices of non-renewable fuels in the medium and long run.

This article provides an overview of the use of SAF by nine major airlines based in seven countries located in South America, North America and Europe. It also presents main multilateral initiatives launched so far to encourage both SAF market and industry.

The relevance of this study reflects the need for theoretical deepening about the interaction among mechanisms of stimulating sustainable international aviation and the expansion of the SAF market.

The purpose of the study is to elucidate the following question: *May the use of major-scale SAF be perceived both by major airlines and countries as an opportunity for building competitive advantage in the medium and long run?*

Session 2 presents the methodology used and its approaches, which are both descriptive (bibliographic and documentary research) and qualitative. The qualitative approach involved both identifying key milestones achieved by the nine major airlines studied to foster the SAF sector, and surveying main multilateral initiatives launched to strengthen the SAF market.

Session 3 gives an overview of the civil aviation sector both at the international and national levels, from the perspective of demand projections, and externalities of the sector. Session 4 describes global energy-efficiency targets, and actions required by the international civil aviation sector to reduce GHG emissions. On that sense, the research sought to understand the international efforts to reduce the impact to climate change of the civil aviation sector. That understanding was critical to clarify how these exogenous factors have so far influenced both the aviation sector to use SAF in its operations, and impacted the development of the SAF market so far.

Session 5 analyzes the results obtained from the qualitative temporal analysis on main milestones achieved by the nine major aviation companies object of this study, as well as the main multilateral initiatives launched to encourage the development of the SAF market.

To answer the question posed in the introduction, Session 6 presents the conclusions whether there is evidence of engagement from the nine airlines in stimulating the SAF market. Evidence of that engagement was found through milestones through both strategic partnerships and use of blends of these fuels in their operations. In addition to that, in the seven countries where the companies studied are based, seventeen initiatives were identified to stimulate the SAF sector were found at the country level. At the global level, three global initiatives that encourage the expansion of the SAF market were also found.

These initiatives not only seek to encourage both commercial viability and scalability of these fuels to achieve competitive prices compared to fossil fuel aviation fuel, but also enable first-mover competitive advantage. For SAF producers and consuming countries, in the case of Brazil, it is concluded that countries that stimulate the development of this market will gain global competitive advantage.

2. METHODOLOGY

The research methods used in this work were both bibliographic research and documentary research. The bibliographic research aimed to provide critical inquiry on the impact of climate change and GHG reduction requirements on the civil aviation sector. To establish the literature review on the subject, main authors consulted were: Cento (2008), Cortez (2014), and Gössling & Upham (2009).

The documentary research sought to understand how international coordination to reduce the impact of the civil aviation sector on GHG emissions has been undertaken. The research also aimed to how these externalities have influenced the sector in demanding cleaner sources and more efficient energy conversion processes. Reports analyzed were published by the organizations as follows: International Civil Aviation Organization (ICAO, 2013, 2014, and

2019), International Air Transport Association (IATA, 2016 and 2018), International Energy Agency (IEA, 2019), and National Civil Aviation Secretariat (SAC, 2016) of Brazil.

Qualitative analysis was conducted to examine the main milestones reached by the major airlines assessed over the past decade in relation to the adoption of SAF. These companies are headquartered in South America, North America and Europe in the following countries: Brazil (Azul Airlines and GOL Airlines), Chile (Aerolineas Lan Chile), Canada (Porter Airlines), United States (United Airlines, American Airlines and Alaska Airlines), Mexico (Aeromexico), Germany (Lufthansa Group), France (Air France) and Netherlands (KLM Royal Dutch Airlines).

The geographical approach sought to confirm whether there is a strong tendency for these fuels to be adopted by the aviation industry through multilateral SAF market incentive initiatives.

3. INTERNATIONAL AND BRAZILIAN CIVIL AVIATION

Air transport has shifted the global economy by reducing travel times and allowing both passengers and cargo to move across borders at high-speed (Mendes and Santos, 2008, *apud* Nunes, 2014). As a result, from 2005 to 2015, global passenger traffic grew from 1.47 billion in 1997 to 3.98 billion in 2017. By 2037, the number of passengers carried by air transport is expected to reach 8.2 billion. (IATA, 2016).

In 2018, over half of the world's 1.4 billion tourists who travelled across international borders were transported by air, and that air transport now carries some 35% of world trade by value. Indeed, around 90% of cross border business-to-consumer e-commerce was carried by air transport. International schedule passenger traffic expressed in terms of revenue passenger kilometers (RPK) grew by 6.4% in 2018, down from the strong 8.4% recorded in 2017 (IATA, 2018).

IATA (2016) also predicted that global compound annual growth rate (CAGR) from 2015 to 2035 shall be 3.7%, and that the number of passenger air travel time shall increase by 1.9 times over this period. Regional CAGR projections are the following: 5.1% for Africa, 4.8% for the Middle East, 4.7% for Asia Pacific, 3.6% for Latin America, 2.8% for North America and 2.5% for Europe.

At national level, passenger traffic in Brazil has been growing strongly over the last ten years, recording average of 6.5% CAGR in domestic market and 6% CAGR in international market. In 2018, 93.7 million passengers were carried by air transport mainly by three major companies: GOL Linhas Aereas, (34.1 million pax), LATAM Linhas Aereas (32.7 million pax), and Azul Aerolineas (22.8 million pax) (Alta, 2019).

According to the 2018-2038 National Aviation Plan, published by the National Civil Aviation Secretariat (SAC, 2018), annual passenger demand shall increase by 4.6% in the worst-case scenario (based on the following assumptions: no public policies aimed to attract further infrastructure investments).

In terms of industry economics, the airline industry is capital-intensive, has low profit margins, enters into long-term lease agreements, and is vulnerable to the price of fuel. In addition to that, a number of externalities significantly impact the cost per seat kilometer offered by an airline. These externalities may include: increased indirect operating costs (e.g., airport charges, penalties); regulatory compliance costs (e.g., safety, navigation improvements, re-standardization directives), recapitalization costs (e.g., fleet renewal, fleet modernization), and increased cost of aviation fuel (Duval, *in* Gössling & Upham, 2009).

Another critical externality is climate change. Historical data from 2005 to 2020 and projections for 2019 indicate a 70% increase in GHG emissions from international aviation. That said, direct emissions of these gases by this sector amount to approximately 2% of global emissions. If aviation were a country, it would rank among the top ten emitters in the world. (European Commission, 2019).

From 2008 to 2018, annual airlines' fuel consumption rose from 66 billion gallons to 97 billion gallons (Statista, 2019), a 47-percentage increase. According to IATA's projections, in 2030, in a scenario of both market liberalization and sector stimulus policies, the international air traffic shall reach seven billion passengers. In a scenario of policy maintenance, the number will

approach six billion pax, and in a scenario of shrinking globalization this number shall approach five billion pax (IATA, 2016).

For those reasons, the aviation industry has received considerable attention from the international community. The main issues of concerns are: aviation industry not paying its external costs on climate change; a deeper awareness that climate change requires more urgent responses; and recognition that by 2050 growth in demand for air travel could potentially consume almost all emissions savings achieved by other sectors of the economy (Gössling & Upham 2009).

In response to these challenges, in 2013, during its General Assembly, ICAO set global energy efficiency targets so that the international civil aviation sector should gradually reduce its GHG emissions by two percent per year by 2020, and should drive neutral growth from 2020 on. To achieve these ambitious emission reduction targets, ICAO has developed its Basket of Mitigation Measures Towards Aspirational Aviation Objectives.

Also, at the ICAO's General Assembly, Member States recognized that SAF should be widely used by aviation, as their use on a global scale would be the only mitigation measure that would both stabilize aviation sector's emissions, and induce carbon neutral growth starting from 2020.

The ICAO's Basket of Mitigation Measures encompasses actions to reducing emissions ranging from technological and operational improvements, improvements in air traffic and infrastructure management, market-based measures (Carbon Offsetting and Reduction Scheme, CORSIA) to the adoption of SAF. Figure 1 shows projections from 2020 to 2050 of global aviation's GHG emissions reduction ranges, including with the adoption of SAF on a global scale.

Even though aviation industry has so far achieved significant efficiency gains in GHG emissions by undertaking both operational improvements (such as load factors, utilization of major aircraft), and technical improvements (such as more efficient engines, aerodynamics, and lighter structures), projections indicate that CO_2 emissions will more than triple by 2050 (Crafield University, 2008).

4. SUSTAINABLE AVIATION FUELS (SAF)

The SAF object of this study are the following: biofuels (aviation biokerosene produced directly from biomass refining), and synthetic fuels (synthesis of biokerosene either from direct CO_2 capture or biomass combustion processes). In order to be classified as SAF, they must meet the following requirements: produce lower GHG emissions (when compared to non-renewable fuels), and present similar or superior quality to non-renewable fuels.

Also, classified as biogenic emissions, SAF consumption is considered to produce zero emission, assuming these fuels are produced either out of biomass or CO_2 capturing (European Environmental Agency, 2019). Even considering its positive effects, major-scale SAF production is challenging, for both production costs are higher and quality requirements are higher than those for kerosene.

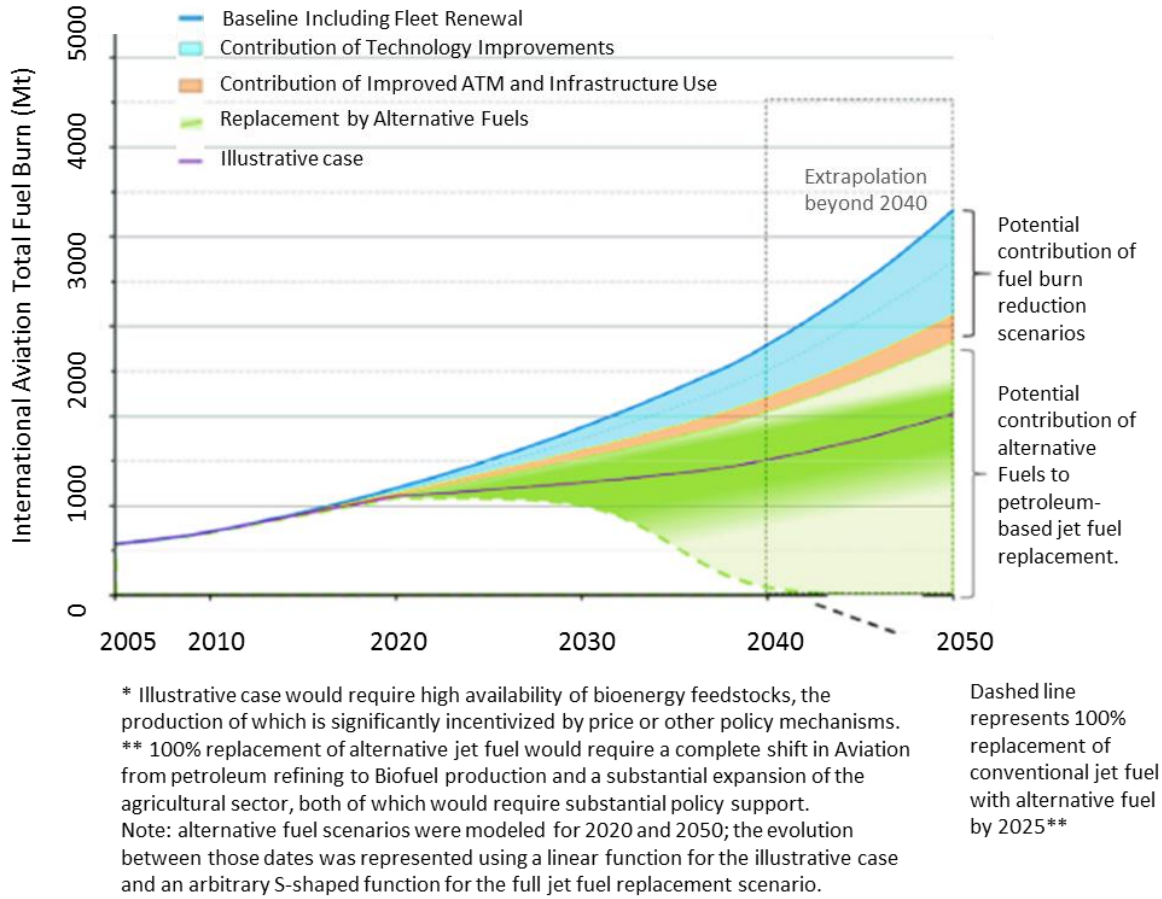


Figure 1. Aircraft fuel burn from international Aviation, 2005 to 2050 updated to include potential replacement of jet fuel with alternative fuels. Source: ICAO, 2016.

To ensure the operational safety of flights, SAF are subjected to internationally standardized high-quality requirements along their value chain (Cortez, 2014). To meet all these requirements, both research, development and innovation (R,D&I), and production processes must be certified by the American Society for Testing and Materials International (ASTM International). In 2009, ASTM International launched the Global SAF Certification Framework.

In addition to the ASTM International certification, SAF must also meet the following requirements: high energy-density, high quality specifications, environmental sustainability indicators, and minimum levels of economic competitiveness. A positive side is that SAF can be developed following the concept of drop-in fuel (i.e., they can use the same refining and distribution infrastructure, and they neither require aircraft adaptation nor engine adaptation) (Cortez, 2014).

At the national level, both legal and regulatory frameworks in Brazil for SAF evolved in the last decade, with special attention to the adding of the aviation biokerosene term to Brazilian jurisdiction by Law No. 12,490/2011. Although the adding of aviation biokerosene term to national legal framework is considered an important milestone, there is still a need for adding synthetic SAF term to the legal framework.

From a regulatory point of view, the National Agency of Oil, Gas and Biofuels (ANP) Resolution No. 778/2019 set both technical specifications and quality control requirements for aviation kerosene-C and aviation biokerosene. Regarding monitoring, reporting and CO_2 emission, the National Agency of Civil Aviation (ANAC) Resolution No. 496/2018 gave provision on international air transport data collection.

An important national policy for the SAF sector is the National Biofuels Policy, established by Law No. 13,576/2017. Internationally and nationally known as RenovaBio, this policy aims to both expand production and use of biofuels in order to increase competition of these fuels in the domestic market. From a regulatory point of

view, ANP Resolution No. 758/2018 gave provision on both certification of the production or importing of these biofuels and accrediting of due diligence companies. Last but not least, ANP Resolution No. 791/2019 provided for the individual mandatory annual GHG reduction targets for fuel retailers.

As a result of its energy policy to foster both biofuel production and consumption, in 2018, Brazil was the world's second major biofuel producer (18.46 million metric tons of oil equivalent), second only to the United States (36.93 million metric tons of oil equivalent), according to Statista (2019).

5. ANALYSIS

This study assessed nine major global airlines, which are based in South America, North America, and Europe. These companies are headquartered in seven countries: Brazil (Azul Airlines and GOL Airlines), Chile (Aerolineas Lan Chile), Canada (Porter Airlines), United States (United Airlines, American Airlines and Alaska Airlines), Mexico (Aeromexico), Germany (Lufthansa Group), France (AirFrance), and the Netherlands (KLM Royal Dutch Airlines). Figure 2 presents the main historical milestones achieved in the last ten years by those companies regarding adding adoption of SAF to their operations.

Data provided in the Table 1 shows that all companies studied have entered into strategic partnerships through R,D&I projects along with SAF producers.

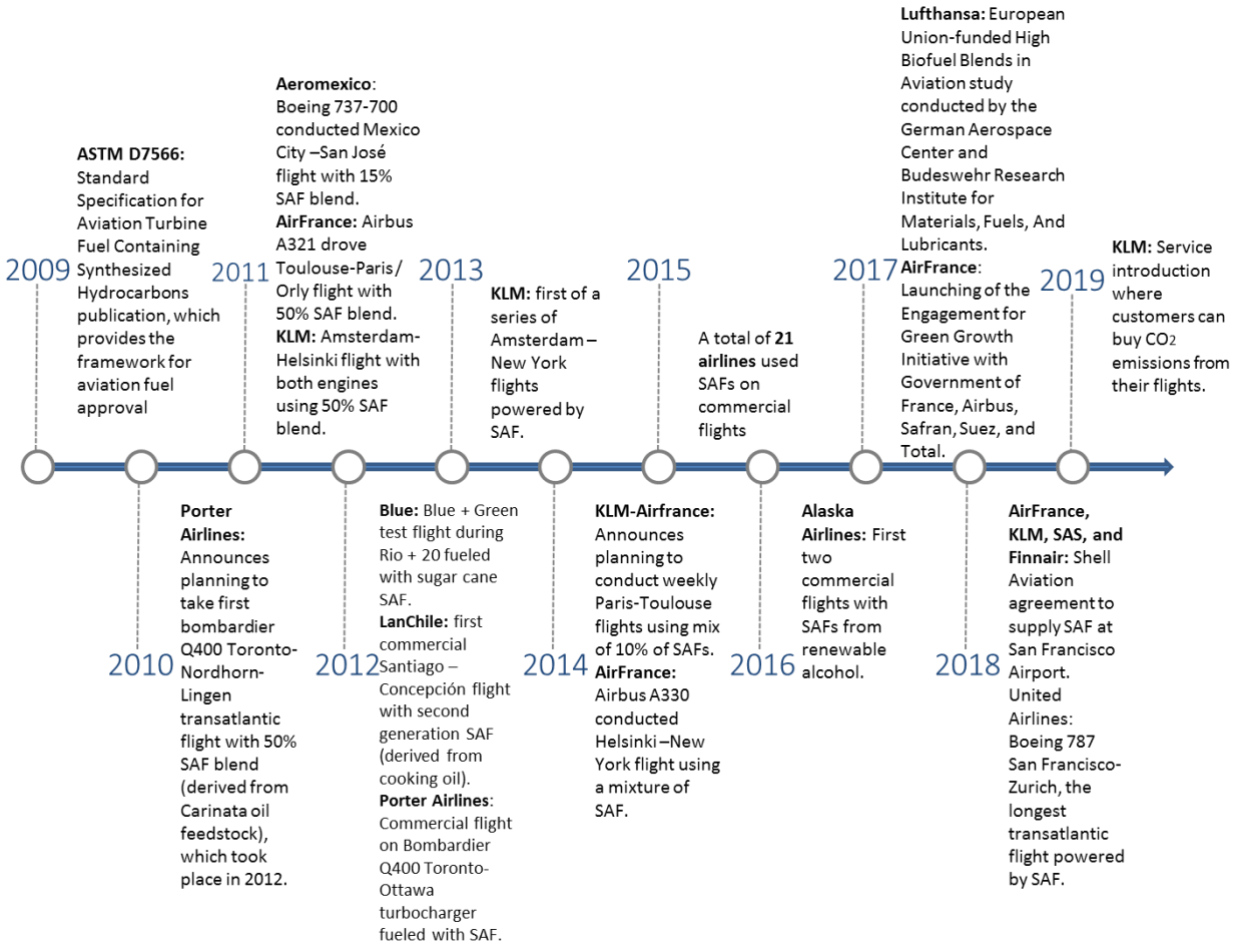


Figure 2. Major milestones achieved by the airlines studied since the launching of ASTM D7566. Source: Oliveira & Igrejas (2019).

Table 1. Airlines partners: SAF producers and distributors, aircraft manufacturers, and R,D&I institutes.

Airline Company	SAF Producers and Distributors	Aircraft Manufacturers and R,D&I Institutes
Azul	▪ Amyris Fuels (renewable Fuels producer).	▪ Embraer.
Gol	▪ Ubrabio (biofuel value chain Brazilian association).	▪ Embraer, Boeing, and Fapesp.
Lan Chile	▪ Air BP Copec e SkyNRG (SAF producer).	
Porter Airlines	▪ Targeted Growth Canada (biotech company).	▪ Bombardier Aerospace, and Pratt & Whitney Canada.
United Airlines	▪ Agrisoma (Carinata feed stock producer) e World Energy (biofuel supplier).	
Alaska Airlines	▪ Neste (biofuels producer). ▪ Gevo (advanced biofuels producer). ▪ Seatle Airport.	▪ Boeing.
Aeromexico	▪ Mexico Airport, Auxiliary Services e Honeywell Green Jet Fuel (SAF producer).	▪ Boeing e Potosian Institute of Scientific and Technological Research.
Lufthansa Group	▪ Gevo (biofuels producer).	▪ German Aerospace Center e Bundeswehr Research Institute for Materials, Fuels and Lubricants.
AirFrance	▪ Suez Airport, and Total Aviation Fuels.	▪ Airbus, and Safran Group.

As described in Table 2, seventeen initiatives are currently underway in the countries where the nine companies are headquartered. Among these initiatives, two are bilateral: ProQR-Alternative Fuels without Climate Impact (Brazil and Germany), and Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative (Canada and the United States). Chile has no incentive initiative yet.

At the global level, there are three initiatives aimed at joining efforts to foster the SAF market (Table 3). The framework formed only by countries is the ICAO Global Framework for Aviation Biofuels, whose members are ICAO's member States.

Last but not least, the Global Alliance Powerfuels is an initiative led by German companies ranging from holders of SAF production technologies to end consumers. The purpose of this alliance is to encourage the development of a global market for synthetic fuels.

Table 2. Partnerships and initiatives supported by countries where the studied airline companies are based. Source: OACI (2019).

Country	Partnerships and Initiatives
Germany	▪ Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany (AIRE.G.,). ▪ BurnFAIR Project. ▪ Power-to-Liquid (PtL) for Aviation. ▪ ProQR – Combustíveis Alternativos sem Impactos Climáticos.
Brazil	▪ Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (ABRABA). ▪ Sustainable Aviation Biofuels for Brazil (SABB). ▪ Plataforma Brasileira de Biocombustíveis de Aviação ▪ ProQR – Combustíveis Alternativos sem Impactos Climáticos. ▪ Boeing-Embraer Joint Research & Technology Center.
Canada	▪ Technical Feasibility of Bio-Based Jet Fuel Production in Canada. ▪ Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative (CAAFI).
United States	▪ Northwest Advanced Renewables Alliance (NARA). ▪ Sustainable Aviation Fuels Northwest (SAFN). ▪ Midwest aviation Sustainable Biofuels Initiative (MASBI). ▪ Farm-to-Fly. ▪ Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative (CAAFI).
France	▪ The French Engagement for Green Growth (ECV) on SSAF.
Netherland	▪ Nordic Initiative on Sustainable Aviation.
Mexico	▪ Flight Plan Towards SSAF in Mexico.

Table 3. Global SAF initiatives.

Global Initiative	Members
Global Framework for Aviation Biofuels da OACI	▪ ICAO's State-Members.
Global Alliance Powerfuels	▪ German companies: Lufthansa, Audi, Daimler, Entertrag, MEW, Paul Wurth, Sunfire, IWO, Mitsubishi International GmbH, Schaeffler, Uniper, Bosch, DFG, MWW, Shell e BDL.
Sustainable Aviation Users Group	▪ Members: Air France, Air China, Aeromexico, Air New Zealand, Alaska Airlines, Ana, AviancaTaca, British Airways, Cargolux, Cathay Pacific, Ethihad, Gol Linhas Aéreas, Gulf Air, Jal, Jet Blue, KLM, Lufthansa, Qantas, Qatar, SAS Scandinavian Airlines, Singapore Airlines, South African Airways, Tam Linhas Aéreas, Tui Group, United Airlines, Virgin America, Virgin Atlantic, Virgin Australia ▪ Supporters: Boeing, UOP Honeywell Company, Airbus, Embraer, Aeropuertos y Servicios Auxiliares.

6. CONCLUSION

To elucidate the question posed by this study[1], the results show that all major airlines studied are engaged in partnerships with: R,D&I companies and institutes, SAF producers, and airports. These partnerships have aim to ensure SAF supply and first-mover advantage. On that sense, one can assume that the nine major airlines studied are seeking to gain competitive advantage by ensuring SAF supply and de-risking of operations in the medium to long run.

In addition to the partnerships led by those airlines, the seven countries where the companies studied are based in are also engaged in supporting both bilateral and multilateral initiatives to stimulate the SAF market. These initiatives seek to encourage the commercial viability and scalability of SAF so these fuels can be produced at competitive prices when compared to fossil fuel aviation fuel.

The most significant challenge affecting supply and demand for SAF is the price gap between them and conventional fuels. According to ICAO (2016), this price difference poses a high entry barrier for major-scale adoption of SAF. As a result, unless the technology learning curve is overcome and scale gains are achieved, SAF will continue to cost more than aviation kerosene.

One agrees with the International Energy Agency (IEA, 2019) that there is a clear need for continued political support to ensure the commercial feasibility of SAF, which points to the need for increased technological learning and production scaling to significantly reduce the production costs for SAF so that it reaches competitive prices against fossil fuel prices.

Given the potential of the SAF market in a global scale, one conclude that both countries and airlines that stimulate the development of SAF market will likely build a sustainable competitive advantage in the medium and long run.

[1] *May the use of major-scale SAF be perceived both by major airlines and countries as an opportunity for building competitive advantage in the medium and long run?*

7. REFERENCES

AEA. European Aviation Environmental Report 2019. European Environment Agency. Available at: <https>//www.easa.europa.eu/eaer/>.

Ahmad, T. Global Civil Aviation – Emissions Standards – from Noise to Greener Fuels. Centre for Research in Air and Space Law: McGill University, 2016.

ALTA. Brazil Aviation Insight. Costa del Este, 2019. 23 p.

BRAZIL. Law No. 12,490, September 16, 2011. Amends Laws No. 9,478, of August 6, 1997, and 9,847, of October 26, 1999, which provide for the policy and supervision of activities relating to national fuel supply; § 1 of art. 9 of Law No. 8,723 of October 28, 1993, which provides for the reduction of pollutant emissions by motor vehicles; Laws No. 10,336 of December 19, 2001 and 12,249 of June 11, 2010; Decree-Law No. 509 of March 20, 1969, which provides for the transformation of the Post and Telegraph Department into a public company; Law No. 10,683, of May 28, 2003, which provides for the organization of the Presidency of the Republic and the Ministries; repeals Law No. 7,029 of September 13, 1982; and gives other provisions.

BRAZIL. Law No. 13,576, of December 26, 2017. Provides for the National Biofuels Policy (RenovaBio).

BRAZIL. Ministry of Transports, Ports, and Aviation. Civil Aviation National Secretariat. Civil Aviation's National Action Plan for GHG Reduction. Brasilia, 2016. 67 p.

BRAZIL. ANAC Resolution No. 496, 28 November 2018. Regulates the monitoring, reporting, and verification of CO_2 emissions data related to international air transport.

BRAZIL. ANP Resolution No. 758, November 23, 2018. Regulates the certification of the efficient biofuels production and importing as referred to in art. 18 of Law No. 13,576, of December 26, 2017, and the accreditation of third party due diligence firms.

BRAZIL. ANP Resolution No. 778, April 8, 2019. Establishes the specifications of aviation kerosene, alternative aviation kerosene, as well as the quality control requirements to be met by the economic agents that commercialize these products in national territory.

BRAZIL. ANP Resolution No. 791, of June 12, 2019. Provides for the individualization of the annual mandatory targets for reducing greenhouse gas emissions for the commercialization of fuels, within the scope of the National Biofuels Policy (RenovaBio).

CENTO, A. The Airline Industry: Challenges in the 21st Century. Heidelberg: Physica-Verlag, 2008.

EUROPEAN COMISSION, Reducing emissions from aviation. European Commission, 2019. Available at: <https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation_en>. Accessed: July 22, 2019.

CORTEZ, L. A. B. Roadmap for Sustainable Aviation Biofuels for Brazil: A Flightpath to Aviation Biofuels in Brazil. São Paulo: Blucher, 2014.

CRAFIELD UNIVERSITY. Fuel and Air Transport. Bedfordshire: Crafield University, 2008.

GARCIA, M. Air Travel Projected to Double in 20 Years, but Protectionism Poses Threat. Forbes, 24 out. 2018. Available at: <https://www.forbes.com/sites/marisagarcia/2018/10/24/iata-raises-20-year-projections-to-8-2-billion-passengers-warns-against-protectionism/#57351aeb150f>. Accessed: March 21, 2019.

GÖSSLING, S.; UPHAM, P. Climate Change and Aviation: Issues, Challenges and Solutions. Volume 1, London: Earthscan, 2009.

GÖSSLING S.; UPHAM, P. Aeropolitics and Economics of Aviation Emissions Mitigation. In GÖSSLING S.; UPHAM, P. Climate Change and Aviation: Issues, Challenges and Solutions. Volume 1, London: Earthscan, 2009. p. 27-33.

GRUBLER A.; AGUAYO, F.; GALLAGHER, K.; HEKKERT, M.; JIANG, K.; MYTELKA, L.; NEIJ, L.; NEMET, G.; WILSON, C. Global Energy Assessment - Towards a Sustainable Future. Volume 1, Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

ICAO. Resolution A39-3: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related do environmental protection. ICAO, 2013. Available at: <https://www.icao.int/environmentalprotection/CORSIA/Documents/Resolution_A39_3.pdf>. Accessed: February 18, 2019.

ICAO. List of Initiatives on Sustainable Aviation Fuels, 2019. Available at: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Lists/Initiatives%20and%20Projects/Projects.aspx>. Accessed: July 23, 2019.

ICAO. Solid passenger traffic growth and moderate air cargo demand in 2018, 31 Dec. 2018. Available at: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/Solid-passenger-traffic-growth-and-moderate-air-cargo-demand-in-2018.aspx>.

ICAO. Sustainable Aviation Fuels Guide, 2016. Available at: <https://www.icao.int/environmental-protection/knowledge-sharing/Docs/Sustainable%20Aviation%20Fuels%20Guide_vf.pdf>. Accessed: July 2nd, 2019.

ICAO. Environmental Report 2016 – Aviation and Climate Change, 2017.

IATA. Forecasts demand to double over 20 years. IATA Pressroom, 18 out. 2016. Available at: <https://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2016-10-18-02.aspx>. Accessed: March 26, 2019.

IEA. Aviation: Tracking Clean Energy Progress. International Energy Agency, 25 jan. 2019. Retrieved from: <https://www.iea.org/tcep/transport/aviation/>. Accessed: March 22, 2019.

IFC. Aviation Industry Overview. DY Consultants, 5 abr. 2017. Available at: <https://dyconsultants.com/wp-content/uploads/2017/06/Aviation-Industry-1.pdf>. Accessed: March 21, 2019.

OLIVEIRA, J.; IGREJAS, R. Sustainable Fuels and Civil Aviation Incentive Mechanisms. Specialization Course Completion Paper. IAG Business School, PUC-RIO, Rio de Janeiro, 2019, 53p.

STATISTA, Leading countries based on biofuel production in 2018 (in 1,000 metric tons of oil equivalent), 2019.

WORLD BANK. Air transport, passengers carried. World Bank Data, 2019. Available at: <https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR>. Accessed: March 21, 2019.

USO DE SISTEMA DE INDICADORES PARA EXPANSÃO DE REDE DE AEROPORTOS - ESTUDO DE CASO DO PLANO AEROVIÁRIO NACIONAL

Danielle Cavagnolle Mota
danielle.mota@infraestrutura.gov.br

Fabiana Todesco
fabiana.todesco@infraestrutura.gov.br

Leandro Rodrigues e Silva
leandro.rodrigues@infraestrutura.gov.br

Marcelo Leme Vilela
marcelo.vilela@infraestrutura.gov.br

Rubem Oliveira de Paula
rubem.paula@infraestrutura.gov.br
Ministério da Infraestrutura
EQSW 301/302, Lote 01, Setor Sudoeste. Brasília-DF 70673-150. (61) 2029-8605.

RESUMO

Este trabalho pretende apresentar um método objetivo de desenvolver planos mestres da aviação civil. O método compreende um sistema de indicadores estratégicos que ajuda a selecionar aeroportos ou regiões, que serão priorizados para investimentos relacionados à expansão da rede nacional de aeroportos. A metodologia foi aplicada na elaboração do Plano Aeroviário Nacional brasileiro e possibilitou o planejamento de uma rede mais eficiente para atingir os objetivos do Plano. A partir dos conceitos e bases teóricas usadas para calcular cada indicador, é possível fazer todos os ajustes necessários para que a ferramenta seja usada no planejamento da aviação em outros países.

Palavras-chave: Planejamento aeroportuário, Plano Aeroviário Nacional, Plano Mestre de Aviação Civil, Indicadores, Análise Custo-Benefício.

This paper intends to present an objective method of developing master plans in civil aviation. It comprehends a system of strategic indicators that helps select airports or regions, which will be prioritised for investments regarding the expansion of the national airport network. The method was used to prepare the Brazilian National Air Transport Plan helping to plan a more efficient network able to achieve the aims expected therein. From the concepts and theorical basis used to calculate each indicator, the tool can be used for the aviation planning in other countries after making the necessary adjustments.

Keywords: Airport System Planning, National Air Transport Plan, Master Plan, Objectives, Indicators

1. INTRODUÇÃO

Civil Aviation Master Plans - CAMP ou Planos Mestres da Aviação Civil, são ferramentas importantes para o planejamento e desenvolvimento do transporte aéreo em qualquer país. A Organização da Aviação Civil Internacional - OACI e outros manuais técnicos recomendam que os países encontrem um método objetivo de elaborar tais planos. Um CAMP é o instrumento que orienta os objetivos de todos os componentes do sistema de transporte aéreo e deve conter estratégias que garantam que as decisões e ações tomadas em várias partes do sistema de aviação civil possam ser coordenadas e consistentes.

O desenvolvimento de qualquer sistema, incluindo os de transporte, deve ser baseado no planejamento por resultados, como sugerido por Matus (1993). Este trabalho apresenta um método objetivo de elaboração de Planos estratégicos relacionados à Aviação Civil. Propõe-se uma ferramenta para elaboração do plano e indicação das melhores decisões de investimento em infraestrutura aeroportuária utilizando-se indicadores estratégicos.

A metodologia consiste em uma avaliação de custo-benefício capaz de selecionar regiões ou aeroportos que possam trazer impactos positivos para o setor com baixo custo de investimento para o país. Foi escolhido um grupo de objetivos e indicadores relacionados. Posteriormente, foi realizada hierarquização, utilizando-se *Analytic Hierarchy Process* – AHP para determinar a prioridade de cada um dos objetivos. Após essas etapas, foi possível elaborar o Plano Aeroviário Nacional (PAN) para o Brasil.

2. PLANOS MESTRES DE AVIAÇÃO CIVIL

Como mencionado, é desejável e recomendado pelas entidades internacionais da Aviação Civil que os países elaborem seus respectivos planos mestres nacionais - CAMPs.

Existem vários Planos Mestres Nacionais. No NPIAS (FAA, 2016), o plano americano, por exemplo, que contém os objetivos estratégicos para o setor, podemos observar a relação de objetivos a seguir:

1) Segurança de voo (*safety*). 2) Garantia do estado de boa conservação. 3) Competitividade Econômica. 4) Qualidade de vida nas comunidades. 5) Sustentabilidade Ambiental. 6) Tornar a aviação mais segura e inteligente. 7) Proporcionar benefícios por meio de tecnologia/infraestrutura. 8) Aprimorar a liderança global. 9) Capacitar e inovar os recursos humanos da FAA.

O Plano Aéreo Nacional - PAN corresponde ao CAMP brasileiro, e consolida ações de planejamento para o setor de transporte aéreo. O PAN orienta ações do nível estratégico ao operacional. No nível estratégico são definidas objetivos e metas para o setor de transportes do país. No nível tático, avaliam-se as possíveis soluções para atingir os objetivos. Uma particularidade deste Plano é a análise sistêmica e em rede, ou seja, parte-se da premissa de que cada componente do sistema de transporte aéreo está relacionado aos demais. Simularam-se cenários de desenvolvimento da infraestrutura aeroportuária em que se avaliou a competição por demanda entre aeroportos próximos.

Tomadores de decisão devem avaliar custos e benefícios de cada escolha para fazer ajustes na rede de transporte. Para isso, é vital definir bem os objetivos e escolher os indicadores para avaliar efeitos das políticas.

Para o processo de elaboração do PAN, realizaram-se oficinas com partes interessadas e revisão do arcabouço legal e regulatório, em especial para a seleção das premissas. Estas são as condições que se observam na escolha das estratégias, projetos e ações que constituem o plano (Magalhães e Yamashita, 2009). Elas foram estabelecidas na Portaria nº 537/2018 (MTPA, 2018b).

Com base nas premissas, estabeleceram-se os objetivos almejados com a implementação de estratégias e ações para o setor de aviação civil: segurança contra atos ilícitos (*security*) e segurança operacional (*safety*); garantia aos direitos dos usuários; qualidade e facilitação; conservação ambiental; desenvolvimento técnico e institucional; acessibilidade; conectividade; eficiência e desenvolvimento do setor de

transporte aéreo. Os objetivos destacados estão intimamente relacionados à disposição geográfica da rede aeroportuária. Por exemplo, quando um aeroporto é aberto ou fechado, aumentam ou diminuem os níveis de acessibilidade, conectividade e eficiência do transporte aéreo fornecido à população, o que gera impactos positivos e negativos.

A avaliação das redes de transporte é geralmente baseada em indicadores de acessibilidade, conectividade e eficiência, de acordo com a Teoria dos Gráficos (Taaffe et al., 1996). O indicador de desenvolvimento do setor de transporte aéreo foi também considerado devido à necessidade de observar os impactos na indústria além da infraestrutura. Esses aspectos são importantes para os países em desenvolvimento, que têm suas redes aeroportuárias e transporte aéreo em processo de expansão, como Brasil, China e México, segundo as previsões da *International Air Transport Association* - IATA (2019) e da empresa Boeing (2018). Por isso, é natural que cada CAMP apresente metas selecionadas de acordo com a situação atual de cada país. O NPIAS desenvolvido pela FAA, por exemplo, aborda um conjunto de metas especialmente relacionadas a questões como segurança contra atos ilícitos (*security*) e segurança de voo (*safety*), capacidade, meio ambiente, pavimentação e impactos econômicos, com mais de 3.340 aeródromos. Isso permite proporcionar boas condições de acessibilidade, conectividade e eficiência para a sociedade.

A acessibilidade está relacionada a um fácil acesso à rede de transporte, enquanto a conectividade diz respeito ao número de destinos disponíveis, isto é, as conexões de rede.

Eficiência refere-se ao uso adequado dos recursos disponíveis para alcançar os resultados esperados. Ou seja, uma rede de transporte aéreo é mais eficiente quanto há racionalidade dos investimentos em aeroportos, e os resultados esperados. Como o tempo é uma variável diretamente relacionada aos custos operacionais de transporte, observar os tempos de viagem da origem ao destino reais desejados pelos passageiros é *proxy* para a eficiência de toda a viagem intermodal.

Indicadores específicos foram escolhidos para esses objetivos, como podemos verificar mais adiante.

3. INDICADORES COMO AUXÍLIO AO PROCESSO DE PLANEJAMENTO

O planejamento é um processo que envolve análise de aspectos e compreensão do sistema a ser planejado, avaliação de recursos e opções estratégicas disponíveis e alcance dos objetivos. É necessário usar ferramentas objetivas, capazes de fornecer as informações necessárias para o formulador de políticas ou para o tomador de decisão. Também é necessário fornecer formas de monitoramento e avaliação para acompanhar a evolução do plano e o alcance das metas. Dentre esses instrumentos, destacam-se os indicadores.

Para Segnestam (2002), os indicadores são, em geral, a primeira e mais básica ferramenta para analisar mudanças em uma sociedade. Como ferramentas analíticas, os indicadores podem servir de base para a avaliação ao produzir informações e, assim, podem ajudar no processo de formulação de políticas. Além disso, eles são capazes de facilitar o processo de comunicação entre grupos e especialistas, por simplificar a interpretação das estatísticas complexas. Para esse autor, o objetivo do desenvolvimento de um indicador é alcançado somente quando os dados são construídos, transformados em informações e utilizados para melhorar o processo de tomada de decisão.

Os objetivos do PAN que têm mais impacto na configuração da rede aeroportuária são *acessibilidade, conectividade, eficiência e desenvolvimento do seto*r. Assim, foi necessário selecionar ou construir indicadores que os representassem. O plano utiliza o conceito aplicado de Análise Custo-Benefício - ACB, a partir de ferramentas matemáticas que quantificam os benefícios e custos esperados de um dado programa (Makowsky and Wagner, 2009), para auxiliar a tomada de decisão das autoridades conforme cenários (Womer et al., 2006).

Sobre indicadores de acessibilidade, segundo Geurs e van Eck (2001), um dos conceitos diz respeito à "quantidade de

esforço para uma pessoa chegar a um destino". Outro conceito relacionado ao tema refere-se ao "número de atividades que podem ser alcançadas a partir de um determinado local". Existem várias maneiras de medir a acessibilidade e isso depende do objetivo do estudo, da importância de sua fundamentação teórica, da sua interpretabilidade e da usabilidade nas avaliações econômicas e sociais.

Com base nesses conceitos, os indicadores de acessibilidade selecionados para o PAN apontam o tempo de viagem por transporte rodoviário, hidroviário ou ferroviário, dado que estes complementam a viagem por transporte aéreo, e estão intimamente relacionados à posição geográfica dos aeroportos da rede. Com informações de tempos de viagem entre municípios brasileiros, e dados sobre as áreas de captação dos aeroportos (Silva et. al., 2018), estimou-se o tempo médio de deslocamento da população, incluindo cenários futuros com a implantação de novos aeroportos. Definiram-se, ainda, indicadores para avaliar a cobertura da rede de transporte na região amazônica, devido à falta de opções de transporte intermunicipal e a cobertura em locais turísticos, devido à sua estreita relação com o setor de transporte aéreo.

De acordo com a teoria dos gráficos (Taaffe et al., 1996), a conectividade pode ser considerada como o grau em que os nós estão conectados uns aos outros em uma determinada rede. Ela reflete o número e a qualidade das conexões diretas e indiretas de viagens disponíveis para o consumidor em um dado aeroporto. Do ponto de vista da centralidade ou conectividade do *hub*, ela mede o número de oportunidades de transferência disponíveis através de um aeroporto específico (Burghouwt e Redondi, 2013). O PAN brasileiro (MTPA, 2018) incluiu indicadores relacionados à conectividade considerando o número de conexões regulares (potenciais ou existentes).

Segundo Urban et al. (2017), um sistema de transporte aéreo tem uma estrutura altamente complexa, com múltiplas interações entre seus atores, como passageiros, companhias aéreas, aeroportos e fabricantes de aeronaves, todos fundamentais na cadeia de valor do transporte aéreo.

Para prever tendências e desenvolvimentos futuros, é essencial entender suas inter-relações, que afetam, por exemplo, o custo operacional, a receita, a capacidade e a produção de aeronaves.

Em relação ao desenvolvimento da indústria, o PAN mede o potencial de um determinado aeroporto para contribuir com a sustentabilidade econômica, gerar receita e criar demanda.

Os indicadores selecionados para o PAN voltados a eficiência abordam dois aspectos principais, o tempo médio de viagem para o aeroporto e o custo por passageiro do investimento nos aeroportos da rede. Como o transporte aéreo possibilita o desenvolvimento econômico, é importante investir em infraestrutura de transporte aéreo para se atender à demanda de serviços de aviação (Miller e Clarke, 2007).

Observando as ideias acima, os grupos de indicadores utilizados no PAN (MTPA, 2018) são os principais componentes da metodologia explicada na sessão, e estão relacionados na Tabela 1 abaixo e compoem um índice de custo-benefício, demonstrado na seção seguinte.

Tabela 1: Indicadores selecionados

Objetivo	***Indicador***	***Descrição***
Acessibi-lidade	População servida em 60 minutos	Acessibilidade que um determinado aeroporto pode oferecer às pessoas que vivem em uma isócrona de 60 minutos de deslocamento até o aeroporto.
	População servida dentro de 120 minutos	Acessibilidade que um determinado aeroporto pode oferecer às pessoas que vivem em uma isócrona de 120 minutos de deslocamento até o aeroporto.
	População atendida na região amazônica	Acessibilidade que um aeroporto pode proporcionar a todas as pessoas que vivem em uma Unidade de Planejamento Territorial - UTP da região amazônica.
	Acessibilidade às regiões turísticas	Acessibilidade que um determinado aeroporto pode proporcionar à demanda de uma UTP categorizada como local turístico.
Conecti-vidade	Número de ligações regulares	Conectividade por voos comerciais num determinado aeroporto e a quantidade de ligações aéreas sistemáticas.
	Número de ligações regulares potenciais	Conectividade por potenciais voos comerciais num determinado aeroporto e a quantidade de ligações aéreas sistemáticas.

Objetivo	*Indicador*	*Descrição*
Eficiência	Tempo de viagem médio ponderado para o aeroporto	Tempo médio de viagem que determinada população leva para ir ao aeroporto, ponderado pela quantidade dessas viagens.
	Custo do investimento por passageiro	Montante de investimento necessário para preparar a infraestrutura aeroportuária para a demanda prevista, dividido por essa demanda.
Desenvol-vimento Setorial	Potencial sustentabilidade econômica do aeroporto	Potencial do resultado líquido aeroportuário (positivo ou negativo), considerando suas receitas e despesas operacionais previstas.
	Receita potencial para o mercado	Receita prevista potencial para as companhias aéreas com base nas rotas potenciais e operadores com origem e destino em cada aeroporto.
	Contribuição potencial para a demanda	Potencial de gerar demandas reprimidas deum determinado aeroporto (demanda que não é atendida por nenhum aeroporto da rede atual).

4. AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE DESENVOLVIMENTO DE INFRAESTRUTURAS AEROPORTUÁRIAS ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE INDICADORES.

A análise de custo-benefício é ferramenta importante para o processo de tomada de decisão voltado a grandes investimentos em infraestrutura de transporte, conforme indicado pela Comissão Europeia no "*Guide to Cost-Benefit Analysis of Major Projects*" (2008) e pelo Governo dos Estados Unidos no "*FAA Airport Benefit-Cost Analysis Guidance*" (1999), e fornece ao tomador de decisão uma série de elementos que permitem analisar os benefícios esperados e os custos envolvidos. No entanto, a tarefa pode se tornar complexa, uma vez que uma determinada rede de aeroportos pode ser desenvolvida de acordo com diferentes cenários e cada alteração na rede pode influenciar todo o sistema.

Uma análise detalhada de custo-benefício para cada opção de projeto, em cada região ou aeroporto de um país pode dificultar ou inviabilizar o processo de planejamento devido ao custo relacionado a diversas simulações. Com este intuito, este artigo propõe uma análise simplificada de custo-benefício para os CAMPs em nível estratégico, que permita a tomada de decisão e o detalhamento dos projetos de investimento. Portanto, a proposta baseia-se tanto na ACB quanto no planejamento estratégico situacional orientado para resultados (Matus, 1993). O método consiste nas etapas ilustradas na Figura 1, explicadas posteriormente de forma exemplificativa.

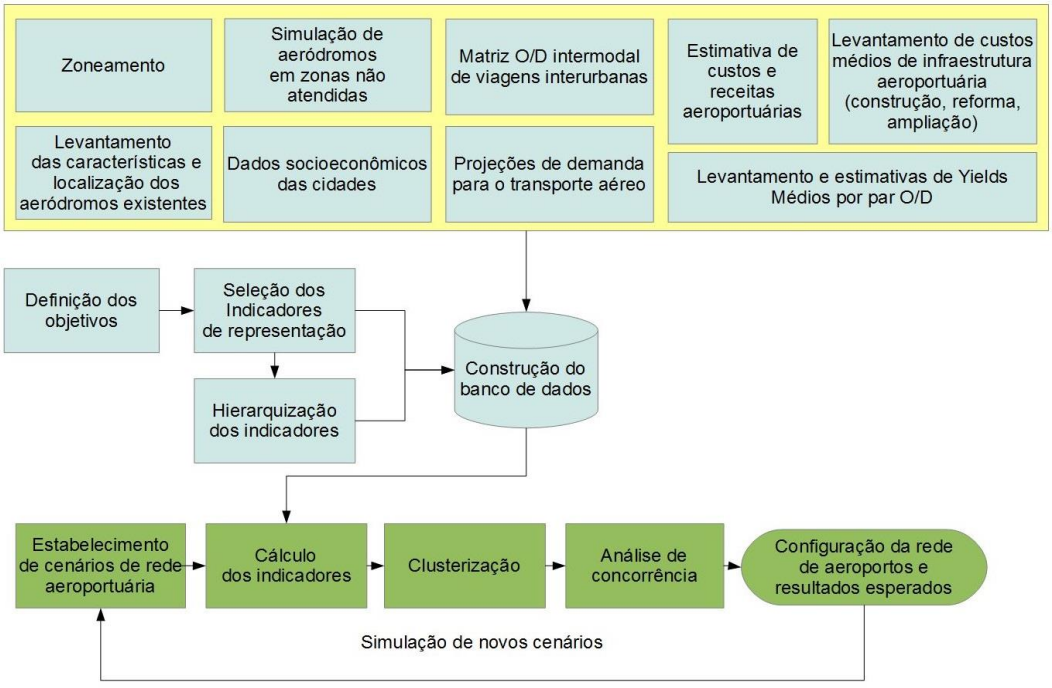


Figura 1: Proposta da CBA para o desenvolvimento de CAMPs

Os objetivos incluídos na ACB para o PAN Brasileiro são acessibilidade, conectividade, eficiência e desenvolvimento do setor (MPTA, 2018). Esses objetivos são comumente usados na análise de redes de transporte, e normalmente ligados às metas a serem alcançadas pelas políticas públicas. Por essa razão a metodologia pode ser replicada em outros países.

Para calcular cada um dos indicadores mencionados, são necessários dados, métodos e ferramentas (Figura 1, quadro amarelo). Primeiramente, identificam-se zonas do território com certa homogeneidade de características socioeconômicas, permitindo a simulação de aeroportos em novos locais. Essas zonas constituem as áreas reais de captação do aeroporto e não apenas informações isoladas de um município. A base deve ser o quanto possível exaustiva, para permitir o máximo de simulações. Dados de características de localização e da infraestrutura existente ou pretendida possibilitam a análise do nível de saturação, e as necessidades de expansão dos aeródromos.

Para o PAN do Brasil (MTPA, 2018), o território nacional foi dividido em 772 zonas, chamadas de Unidades Territoriais de Planejamento – UTP, o que permitiu a simulação de qualquer combinação entre 911 aeroportos, existentes e planejados. As UTP agregam diversos municípios e suas informações socioeconômicas, como população, PIB, atividades produtivas que criam demanda para o setor. A previsão de demanda de movimentos de aeronaves e passageiros deve ser consistente com as zonas definidas, permitir a inclusão de novos aeroportos e considerar o efeito da competição e a migração de demanda entre aeroportos próximos. Essas premissas foram utilizadas na metodologia usada no PAN, conforme De Paula et al. (2019).

Para a simulação envolvendo novos aeroportos, é necessário prever rotas aéreas prováveis, custos e receitas operacionais, receitas para as companhias aéreas e o impacto na conectividade do sistema. A metodologia para identificar rotas potenciais para o transporte aéreo pode variar, dependendo de aspectos como custo, disponibilidade, tempo de viagem e conveniência para o usuário. É essencial ter uma Matriz de Origem-Destino para outros meios de transporte, como veículos particulares, ônibus, trens e transporte hidroviário. Funções de utilidade, como as mencionadas por Lieshout (2012), e diagramas de distribuição modal de acordo com as distâncias de deslocamento, como abordadas por Yai et al. (2015) podem ser utilizados como parâmetros para identificar as rotas potenciais.

Custos e as receitas aeroportuárias previstas para o indicador que mede o desenvolvimento do setor são dados utilizados na metodologia. Para os aeroportos brasileiros, por exemplo, uma demanda superior a 150 mil passageiros por ano é necessária para que as receitas sejam maiores do que os custos de um aeroporto com uma infraestrutura capaz de operar aeronaves com código de referência 3C (equivalente a um Airbus A320 ou Boeing 737) em acordo com as normas vigentes.

Com base em um conjunto de informações históricas e na estruturação de uma planilha que considera custos e receitas envolvidos na operação aeroportuária, foram estudadas as correlações entre diversas variáveis, a fim de possibilitar a modelagem e estimativa de resultados de forma dinâmica. Observou-se que a rentabilidade (receitas - custos) tem uma correlação alta e positiva com a demanda e o tamanho do terminal de passageiros. Portanto, modelos econométricos para o PAN brasileiro foram desenvolvidos a partir dessas variáveis.

O principal fator de custo da ACB proposta é o investimento em infraestrutura aeroportuária. Embora saibamos que há outros custos envolvidos e que também há modos de mapeá-los e quantificá-los, estes custos são os mais significativos para a tomada de decisão para estabelecer fontes de financiamento. O método recomendado não realiza estudos de viabilidade específicos para cada aeroporto, mas um modelo generalizado. Portanto, o método proposto parte de um banco de dados de custos médios para construção, reforma ou ampliação dos componentes mais custosos da infraestrutura aeroportuária: pista de pouso e decolagem, pátio de aeronaves, sistema de *taxiway*,

terminal de passageiros e estacionamento para veículos.

Uma ferramenta construída com este banco de dados e com a ajuda de "projetos-modelo" para cada componente de atualização da infraestrutura aeroportuária permitiu estimar os investimentos necessários de acordo com cada cenário de demanda. A ferramenta avalia as condições da infraestrutura atual do aeroporto e as intervenções necessárias para suprir a demanda futura. Com essa informação, o valor exigido do investimento é calculado com base no custo médio estimado. No caso do PAN (MTPA, 2018), o uso de tal ferramenta tem se mostrado bastante assertivo, com um erro médio geral de 2% nos custos de investimento previstos, quando comparado aos estudos de viabilidade técnica específicos de cada projeto.

Estimou-se, ainda, a receita das companhias aéreas, uma vez que esse é um indicador de desenvolvimento para o setor de aviação civil. Para isso, recomenda-se a coleta de dados históricos de preços médios por passageiro por quilômetro (*Yield*) para estimativa de receita de cada par O-D, inclusive para novas rotas potenciais. Com isso, é possível estimar a receita adicional para o setor quando a operação em novos aeroportos for iniciada.

Com todas as informações, dados e ferramentas para cálculo dos indicadores, inicia-se a definição dos cenários. Considerou-se que a melhor alternativa inicial é simular um cenário considerando todos aeródromos em operação. Ou seja, um cenário hipotético supondo que teríamos uma oferta excessiva, com grandes benefícios e custos. Essa alternativa inicial é recomendada quando se realiza um primeiro filtro na amostra, o que gera automaticamente baixos resultados para aeroportos com custo muito alto e baixa contribuição para os objetivos do setor.

Para comparar os resultados entre aeroportos combinaram-se os indicadores em um índice geral, chamado de Índice Geral de Benefício-Custo (IGB). Para tanto, procede-se à parametrização e normalização, para que os indicadores se tornassem comparáveis entre si. Portanto, recomenda-se que cada indicador apresente seus resultados em uma escala predefinida e que o desvio padrão da amostra seja alto.

Posteriormente, elabora-se a hierarquização de indicadores, que visa a atribuir pesos conforme objetivos adotados. Para tanto, utilizou-se o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), efetivo neste tipo de estudos (Arruda et al., 2012). O AHP é uma maneira de extrair opiniões subjetivas de especialistas para definir escalas objetivas de prioridades. As comparações são feitas por meio de uma escala de julgamentos absolutos que representam o quanto um elemento domina o outro, em relação a cada atributo (Saaty, 2008). No PAN (MTPA, 2018), os coeficientes para os indicadores determinados por meio da AHP aplicada a especialistas do setor foram os da Tabela 2.

Tabela 2: Coeficientes dos indicadores

Indicador	***Coeficiente***
Acessibilidade	0,255144
Conectividade	0,181373
Eficiência	0,288405
Desenvolvimento do Setor	0,275078
População servida dentro de 60 minutos	0,236551
População servida dentro de 120 minutos	0,228563
População servida na região amazônica	0,305297
Acessibilidade para regiões turísticas	0,229589
Número de conexões regulares	0,509645
Número de possíveis conexões regulares	0,490355
Tempo médio ponderado de viagem até ao aeroporto	0,403781
Custo do investimento por passageiro	0,596219
Potencial sustentabilidade econômica do aeroporto	0,368212
Receita potencial para o mercado	0,252478
Contribuição potencial para a demanda	0,37931

Após o cálculo do IGB, os resultados são ranqueados conforme a contribuição geral de cada aeroporto da rede para os objetivos do setor. No PAN, os resultados são consistentes, uma vez que os aeroportos que geralmente estão localizados nas grandes regiões metropolitanas têm altos valores do IGB. Esses aeroportos são categorizados como "aeroportos metropolitanos". O grupo de aeroportos localizados fora das regiões metropolitanas é mais sensível à aplicação da metodologia. Isso acontece porque ao

considerar diferentes objetivos em uma única análise gera-se uma rede que tende a apresentar as melhores opções para todos os indicadores concomitantemente.

A variação desses valores em uma rede com um grande número de aeroportos em avaliação, como a rede brasileira (911 aeroportos) pode se tornar uma tarefa difícil. Portanto, a fim de classificar grupos que apresentam resultados mais homogêneos e eliminar discussões sobre erros estatísticos e acurácia dos dados envolvidos, recomenda-se agrupar os resultados em classes. No caso, utilizou-se a distribuição de quebras naturais (*Jenks*), que classifica grupos que minimizam o desvio padrão. Como resultado, temos classes de aeroportos com diferentes níveis de contribuição para as metas estabelecidas no plano.

A figura 2 apresenta o resultado da classificação conforme a situação operacional hipotética dos 911 aeroportos e sua contribuição potencial para as metas do setor de transporte aéreo. Note-se que no Brasil, em 2018, havia 117 aeroportos com voos comerciais. Os outros aeroportos concentram-se na aviação geral e alguns podem ser alternativas para a construção de novos aeroportos em regiões que não possuem serviços aéreos.

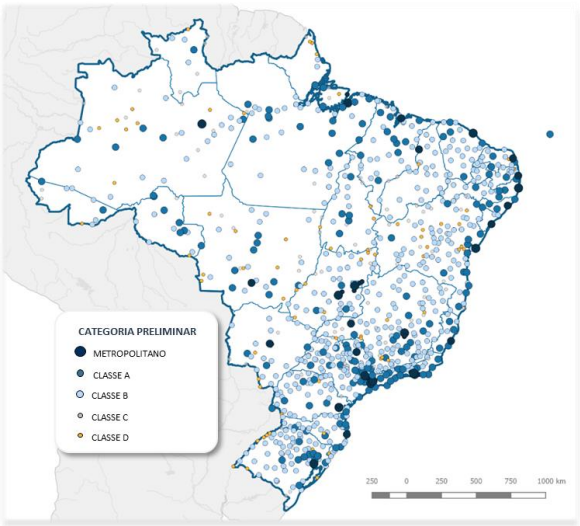


Figura 2: Resultados da classificação do aeroporto para o primeiro cenário

Como pode ser visto na Figura 2, o cenário hipotético resultaria em um excesso de oferta de infraestrutura aeroportuária, pelos padrões brasileiros, onde a população está amplamente concentrada em grandes aglomerações urbanas. A situação gera ineficiência para o sistema, e consumiria mais de US$ 13 bilhões em investimentos em aeroportos sem potencial para voos comerciais. A competição em situações de alta demanda é desejada, conforme o estudo "*Planning Multi-Airport Systems in Metropolitan Regions in the 1990s*" desenvolvido pelo *Massachusetts Institute of Technology* - MIT (2000), mas recomenda que a concorrência entre aeroportos ocorra em regiões com demanda superior a 10 milhões de passageiros embarcando, ou 25 milhões de passageiros processados no aeroporto principal (embarque, desembarque e conexões). No Brasil, no entanto, essa situação ocorre apenas em três regiões metropolitanas (São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília).

Devido à necessidade de filtrar as condições de concorrência entre aeroportos regionais, o que pode levar à inviabilidade de muitos aeroportos, recomenda-se a etapa de análise da concorrência (Figura 1). Essa análise corresponde à identificação das melhores opções de investimento considerando a concorrência entre aeroportos. Para esta análise, é necessário estabelecer isócronas de outros modos, a fim de identificar aeroportos concorrentes. Estudos de áreas de captação de aeroportos reais (Silva et al., 2018) e o comportamento de suas demandas em relação às regiões onde há concorrência possibilitou identificar que o tempo de viagem entre concorrentes é inferior a 2h30min em regiões com alta densidade populacional e 4h04min horas para regiões menos densificadas, ou seja, quando as cidades próximas aos aeroportos ficam por volta das 1h15min e 2h02min das duas opções aeroportuárias.

Os padrões podem variar dependendo da região, mas são aderentes aos estudos que abordam o assunto. Segundo a IATA (2013), as regiões densamente povoadas da Europa têm uma população localizada dentro de duas horas de acesso rodoviário a pelo menos dois aeroportos, que se caracterizam pela alta competição entre eles. Portanto, com tempos de viagem entre cidades e aeroportos, é possível identificar aeroportos concorrentes e

escolher as melhores opções para investimento. Esta escolha pode se basear em oferta atual de voos comerciais, previsão de demanda ou infraestrutura já disponível e capacidade de expansão.

Após a análise da concorrência, chega-se à denominada "Rede de Referência": uma rede aeroportuária que garante os melhores impactos para os objetivos do setor. A Figura 3 mostra os resultados da distribuição geográfica desta rede. Com base na contribuição para os objetivos, foi possível classificar os aeroportos objetivamente. As classes A e B reúnem aeroportos regionais que devem receber investimentos para ajustar suas infraestruturas e possibilitar a operação de voos comerciais. A classe C apresenta aeroportos voltados ao tráfego local e à aviação geral. Uma quarta classe de aeroportos com baixa contribuição a priori foi removida do pacote de políticas públicas.



Figura 3: Configuração da rede de aeroportos de referência para a aviação comercial brasileira

Parte-se, então, à simulação de outros cenários para a evolução da rede aeroportuária, que permitem uma análise mais detalhada das opções pode ser realizada. No PAN (MTPA, 2018), constatou-se que algumas opções "ideais" da Rede de Referência resultante apresentavam algumas restrições ambientais e limites de expansão das instalações aeroportuárias, o que poderia impedir determinados investimentos. Além disso, outros gastos públicos já estavam em curso ao longo da elaboração do PAN. Portanto, selecionou-se um novo cenário, alterando opções aeroportuárias e calculando os indicadores, realizando a classificação e a análise da concorrência, resultando novos cenários e impactos esperados. Apresentam-se a seguir resultados simulados para três cenários:

- O cenário Atual, composto por 117 aeroportos operando voos comerciais. Essa opção é um cenário base que permite avaliar os impactos da opção "sem investimento".
- O cenário da Rede de Referência, composto por 167 aeroportos operando voos comerciais.
- Cenário de Desenvolvimento 2, com 164 aeroportos operando voos comerciais, resultado de uma avaliação da rede de referência de acordo com os investimentos atuais e aeroportos sem possibilidade de expansão.

5. RESULTADOS

Além da configuração futura da rede aeroportuária, a metodologia também apresenta os resultados esperados dessa rede por meio dos indicadores. Com relação à acessibilidade para a população brasileira, as possibilidades de ganhos são mostradas na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Indicadores de Acessibilidade

Indicador	*Cenário atual*	*Rede de referência*	*Cenário 2*
População atendida em até 60 minutos	125 milhões de pessoas	+ 6,7 milhões de pessoas	+10,3 milhões de pessoas
População atendida em até 120 minutos	180,8 milhões de pessoas	+ 12 milhões de pessoas	+ 12,9 milhões de pessoas
População atendida na Amazônia	22,3 milhões de pessoas	+ 2,2 milhões de pessoas	+ 2 milhões de pessoas
Acessibilidade a regiões turísticas	15 UTPs	+ 9 UTPs	+ 13 UTPs

A população da Região Amazônica tende a se beneficiar mais de uma rede aeroportuária semelhante à da Rede de Referência, cujo acesso pode ser oferecido a mais 2,2 milhões de pessoas que vivem na região. O Cenário 2 prevê maiores ganhos de acessibilidade para a cobertura das regiões

turísticas e para o acesso da população em geral.

Quanto à conectividade, o aumento de aeroportos gera rotas potenciais que no Cenário Atual são atendidas por meio de transporte não aéreo. O Cenário de Desenvolvimento 2 pode gerar 663 ligações potenciais à situação atual para o transporte aéreo (908), a Rede de Referência geraria 457 ligações adicionadas.

Quanto à eficiência, o custo logístico de transporte diminui quando a rede aeroportuária permite pontos de acesso que minimizam o tempo total das viagens. Comparados ao Cenário Atual, a Rede de Referência e o Cenário de Desenvolvimento 2 apresentam uma redução nos tempos de viagem para os aeroportos, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, devido a novos aeroportos regionais. O tempo médio de viagem entre cidades e aeroportos, ponderado pelas demandas de cada município, reduz de 131 minutos para 104 minutos na Rede de Referência e 106 minutos no Cenário de Desenvolvimento 2.

A metodologia permite selecionar investimento que garantam uma relação custo-benefício mais harmônica. Como resultado, temos investimentos identificados preliminarmente da ordem de US$ 6 bilhões nos próximos 20 anos, tanto na Rede de referência como no Cenário de Desenvolvimento 2. Ressalte-se que o governo brasileiro vinha trabalhando no "Programa de Investimento em Logística - PIL/Aeroportos" que não considerava a metodologia atual e previa investimentos de US$ 51,4 bilhões em 270 aeroportos regionais, o que poderia gerar ineficiência.

Com relação aos indicadores de desenvolvimento do setor de transporte aéreo, a previsão de ampliação de receita ao mercado é de US$ 135 milhões/ano nas condições semelhantes à Rede de Referência e US$ 290 milhões/ano no Cenário de Desenvolvimento 2, somadas à receita do setor aéreo brasileiro, atualmente em US$ 16,6 bilhões/ano. Quanto à demanda adicional, são estimados 3,6 milhões de passageiros a mais processados nos aeroportos brasileiros no cenário da Rede de Referência e 3,2 milhões no Cenário de Desenvolvimento 2, enquanto a demanda atual é de 209,7 milhões de passageiros processados nos aeroportos (2017). Esses valores mostram que a demanda por transporte aéreo no Brasil é amplamente atendida pela atual oferta de serviços, realizada onde a maior parte da população está concentrada. Portanto, a expansão dos aeroportos regionais agrega valor relativamente baixo ao total, independentemente do cenário de evolução, mas apresenta ganhos significativos para os demais indicadores.

Outro indicador do desenvolvimento do setor está associado ao potencial de sustentabilidade econômica do aeroporto. Os aeroportos regionais na maioria dos casos são deficitários devido a baixas demandas. Os indicadores em qualquer cenário mostram que há sempre um grupo de aeroportos operando com rentabilidade negativa e, consequentemente, precisam de subsídios para permanecerem abertos. No Cenário Atual, há 52 aeroportos nessas condições, enquanto na Rede de Referência e no Cenário de Desenvolvimento 2, haveria 114 e 109, respectivamente. No entanto, os indicadores revelam um superávit em vários aeroportos, reforçando modelos de gestão baseados em subsídios cruzados, como concessões de aeroportos em blocos, ou operações subsidiadas por meio de empresas estatais. No resultado global, observa-se que o sistema como um todo é operacionalmente viável para horizonte futuro quando há subsídios cruzados.

6. CONCLUSÃO

Os indicadores são formas objetivas de auxiliar a tomada de decisão e avaliar o progresso das políticas públicas. O PAN é um exemplo real de como um conjunto de indicadores pode ajudar na seleção de investimentos em aeroportos para que os objetivos traçados sejam alcançados. A Análise de Custo-Benefício permite ganhos notáveis com maior racionalização dos gastos. Essa abordagem ajuda a selecionar investimentos, evitando a ineficiência da alocação de recursos em regiões onde a população já está adequadamente atendida.

A metodologia desenvolvida para a preparação do PAN está em conformidade com os preceitos e manuais técnicos da OACI e com importância de as nações possuírem ferramentas objetivas para lidar com o planejamento do setor aéreo. Os resultados apresentados corroboram a ideia de que o setor de transporte aéreo pode se beneficiar em termos de acessibilidade, conectividade, eficiência e desenvolvimento, com um custo de investimento razoável para o país.

A metodologia proposta pode ser replicada para a elaboração de CAMPs em outros países, respeitando as necessidades específicas de cada nação ao definir seus objetivos e avaliar as condições atuais de sua rede aeroportuária. O conjunto de dados e instrumentos adotados no procedimento proposto abrange várias opções metodológicas em cada fase de aplicação. É natural que cada caso encontre diferentes aspectos metodológicos que se ajustem às suas realidades.

Finalmente, deve-se mencionar que mais detalhes sobre o Plano Aeroviário Nacional (MTPA, 2018) estão disponíveis e seus bancos de dados são públicos, a fim de permitir o desenvolvimento de novos estudos relacionados ao transporte aéreo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, B. D. L.; SILVA, L. R.; ANTUNES, R. T.; GOMES, H. A. S.; YAMASHITA, Y. (2012). Uma proposta de avaliação de desempenho para os sistemas de transporte rodoviário interurbano de passageiros. Transportes (Rio de Janeiro), v. 20/1, p. 41-49.

BURGHOUWT, GUILLAUME & REDONDI, RENATO. (2013). Connectivity in Air Transport Networks: An Assessment of Models and Applications. Journal of Transport Economics and Policy. 47. 35-53.

BOEING (2018). Commercial Market Outlook 2018-2037. Available on: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/market/commercial-market-outlook/assets/downloads/2018-cmo-09-11.pdf

DE PAULA, R. O.; SILVA, L. R.; CRUZ, R. O. M.; VILELA, M. L. (2019). Forecasting passenger movement for Brazilian airports network based on the segregation of primary and secondary demand applied to Brazilian civil aviation policies planning. In: Transport Policy, vol 77, p. 23-29. Elsevier. DOI: 10.1016/J.TRANPOL.2019.02.003. ISSN: 0967-070X. Available on: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X18302579.

EUROPEAN COMMISSION (2008). Guide to Cost–Benefit Analysis of Major Projects. Evaluation Unit, DG Regional Policy.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). (1999). Airport Benefit-Cost Analysis Guidance. Office of Aviation Policy and Plans, Federal Aviation Administration.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). (2016). National Plan of Integrated Airport Systems 2017-2021, FAA, Washington, D.C. Available on: https://www.faa.gov/airports/planning_capacity/npias/

GEURS, KARST & RITSEMA VAN ECK, JAN. (2001). Accessibility Measures: Review and Applications. Available on: https://www.researchgate.net/publication/46637359_Accessibility_Measures_Review_and_Applications Access on 19 Feb 2019.

IATA (2013). Airport Competition. Economics Briefing n. 11. V 1.2. IATA, November 2013.

IATA(2019). 20 Year Passenger Forecast. Available at https://www.iata.org/publications/store/Pages/20-year-passenger-forecast.aspx

LIESHOUT, R. (2012). Measuring the size of an airport's catchment area. Journal of Transport Geography, v. 25, p. 27-34.

MAGALHÃES, M. T. Q.; YAMASHITA, Y. (2009). Repensando o Planejamento (Rethinking the Planning Process). Textos para Discussão - CEFTRU, v. 04, p. 1-30.

MAKOWSKY, M. D., AND WAGNER, R. E. (2009). "From scholarly idea to budgetary institution: The emergence of cost-benefit analysis." Constitutional Political Economy, 20(1), 57-70.

MATUS, C. (1993). Política, Planejamento e Governo. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília.

MILLER, B., & CLARKE, J. (2007). The hidden value of air transportation infrastructure. Technological Forecasting and Social Change, 74, 18–35. Available on: http://doi.org/10.1016/j.techfore.2004.03.011

MIT (2000). Planning multi-airport systems in metropolitan regions - In the 1990s. Massachusetts Institute of Technology – MIT. Policy Guide.

MTPA (2018)a. Plano Aeroviário Nacional 2018-2038. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação civil, Brasília, 2018.

MTPA (2018)b. Poratia nº 537 de 24 de novembro de 2018. Institui o Plano Aeroviário Nacional - PAN e estabelece premissas e objetivos para o transporte aéreo nacional.

SAATY, T.L. (2008) 'Decision making with the analytic hierarchy process', Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, pp.83–98.

SEGNESTAM, L. (2002). Indicators of Environmental and Sustainable Development: Theories and Practical Experiences. World Bank, Washington DC.

SILVA, L. R.; VILELA, M. L.; DE PAULA, R. O.; TODESCO, F.; CRUZ, R. O. M. (2018). Desenvolvimento de um modelo para delimitação da área de captação de aeroportos. In: XVII SITRAER. Air Transportation Symposium, 2018, São Paulo. Anais do XVII SITRAER. Air Transportation Symposium. São Paulo, SP: Brazilian Air Transportation Research Society (SBTA).

TAAFFE, E. J., GAUTHIER, H. L. E O'KELLY, M. E (1996). Geography of transportation. 2. ed. Prentice-Hall: Upper Saddle River, NJ.

WOMER, N. N., BOUGNOL, M. L., DULA, J. J., AND RETZLAFF-ROBERTS, D. D. (2006). "Benefit-cost analysis using data envelopment analysis." Annals of Operations Research, 145(1), 229-250.

YAI T., FUJISAKI K., ITOH R., KARIYAZAKI K., KUME H., PAN H., ROTHENGATTER W., SUZUKI A., TOMARI N. (2015). Intercity Transport Policy and Planning System: International Comparison between the EU, USA, China and Japan. In: Intercity Transport and Climate Change - Strategies for Reducing the Carbon Footprint. Chapter 2. XIV.

STATISTICAL COMPARISON ON FAIRNESS FOR HORIZONTAL EFFICIENCY IN TMA AREA FOR BRAZILIAN AIRLINES: CASE STUDY OF SDU-CGH

Wallace Silva Sant' Anna Souza
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – São José dos Campos, SP, Brasil
+ (12) 3947-6925 wallace2silva2souza@gmail.com

Cláudio Jorge Pinto Alves
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – São José dos Campos, SP, Brasil
+ (12) 3947-6818 claudioj@ita.br

Marcelo Xavier Guterres
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – São José dos Campos, SP, Brasil
+ (12) 3947-6817 guterres@ita.br

Mayara Condé Rocha Murça
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – São José dos Campos, SP, Brasil
+ (12) 3947-6828 may.crm@gmail.com

ABSTRACT

This research proposed a two-step approach based on DBSCAN clustering technique and statistical comparison around the mean with Wilcoxon Test to verify if there's fairness in the ATFM decisions impact in airlines for the biggest domestic route in Brazil. It was possible to identify that the difference in treatment between the different companies was statistically insignificant for both positive and negative interventions. The results obtained conclude that the Brazilian ATFMs decisions grant impartiality in the treatment of the airlines that operate on the selected route during the 44-day sample period.

Keywords: Airlines fairness, DBSCAN clustering, Airlines, Terminal maneuvering area, Air traffic flow management.

RESUMO

Esta pesquisa propôs uma abordagem em duas etapas com a utilização da técnica de agrupamento DBSCAN e comparação estatística por teste de Wilcoxon para verificar se há diferença de tratamento entre as decisões ATFMs que impactam as companhias aéreas na maior rota doméstica brasileira. Foi possível identificar que a diferença de tratamento entre as diferentes companhias foi estatisticamente insignificante tanto para intervenções positivas quanto negativas. Os resultados obtidos concluem que as decisões ATFMs brasileira concedem imparcialidade no tratamento das companhias aéreas que operam na rota selecionado durante o período amostral de 44 dias.

Keywords: Imparcialidade, Clusterização DBSCAN, Companhias aéreas, Área Terminal, Impacto de decisões de gerenciamento do fluxo de tráfego aéreo.

1. INTRODUCTION

In the air transport, many entities with own interests need to coexist to allow a safe and punctual operation. Some of them are in direct contact with the air transport as the airlines, airports and Air Traffic Flow Management (ATFM) agency while others are affected by it like the environment (noise control and pollution) and population.

As a matter of fact, one of the major difficulties on the Air Traffic Management (ATM) decisions is identifying the optimal point that can, at least partially, satisfy the interest of the majority.

One example of conflict interest is the difference between airlines and ATFMs objectives, as the former wants shorter, cheaply and faster routes and the latter aims to guarantee safety even if it means less efficiency on the flight trajectory.

In this context, the concept of fairness is important as someone needs to pay if losses are generated on the decision made. Ideally, that price is perfectly split between all the members of a group in such a way that there's no special treatment.

At the same time, decisions are made without looking at the individual. The fairness in this process assumes that these decisions are independent events that will, eventually, be evenly distributed around the mean for every group.

To validate this assumption, this research proposed a two-step approach based on clustering techniques and non-parametric parametric hypothesis test around the mean with Wilcoxon Test to compare the horizontal efficiency from the flights between the pair of airports with the most used domestic route on Brazil: Santos Dumont (SBRJ) – Congonhas (SBSP).

With this method, it was possible to determine if there's statistical difference in the horizontal inefficiency between brazilian airlines that used this route in 44 days of flight data.

This framework is divided in 5 topics that describes the introduction, literature review, proposed methodology, discussion of results and and references.

2. LITERATURE REVIEW

With the popularization of the Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B), collecting the trajectory of flight data was more accessible as many sites, such as FlightRadar24 or FlightAware, dispose this information.

Because of this motive, researches that analyze flight track data increased vastly since 2008. Many of them used machine learning methods such as clustering techniques to categorize and identify patterns on data.

Murça (2018) used DBSCAN clustering techniques to identify patterns specific to some airlines and used this data as inputs to optimize rerouting decisions. One variable considered was fairness in treatment. In summary, a methodology to help ATFM decision-making to solve the ATM problems considering diverse specific variables were considered in such a way that the optimal point between all interests could be achieved.

Gariel, Srisvastava and Feron (2011), Andrienko et al. (2017) also used DBSCAN clustering as a mean to identify patterns on flights trajectories as a mean to develop strategies for optimization.

Castelli and Ukovich (2013) also used clustering techniques to separate en-route flight trajectories by cargo airlines. It was possible to identify that bigger airlines preferred different patterns to avoid impacts of external factors in efficiency.

Bertsimas and Gupta (2009) proposed three models to solve the ATFM problem with notions of fairness. The best one was capable to satisfy the fairness criteria with satisfying results at computer processing and decision making with the trade-off of increase the delay costs in 10%. This study shows that all variables need to be carefully studied since the efficiency of the system can be affected depending on the stakeholder considered.

Bertsimas and Gupta (2015) brought this topic in optimization methods to help decision-making with other variables considered and improved the prior results.

However, most of the literature is focused on considering ATFM fairness as a variable for decision making considering the general state of the airport.

This research aims to contribute to the literature including the analysis of fairness at specific part of the general state, in that case, in a specific route. For that, the most used route in Brazil was selected as sample and the impact of decisions for the three airlines that uses that route was analyzed.

3. METHODOLOGY

This research proposed a two-step approach to analyze the statistical difference between the aircraft's trajectory in the major brazilian domestic route (SBRJ-SBSP). The dataset was collected from FlightRadar24 and consists in 44 days non-continuous days between September to November of 2017 that totalize 1981 valid commercial regular flights.

Firstly, the dataset was filtered to the maximum distance of 40 miles close to the destination airport (SBSP). The same procedure was applied until the proximity of 5 miles. This procedure was used to guarantee that the flight would be in the Terminal Maneuvering Area of São Paulo (TMA-SP) influence.

Since the objective of this research is to compare the flight inefficiency between airlines influenced by external factors, it's necessary to separate "common" flights and possibly "affected routes". After the literature review, it was identified that Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) clustering was a method that could categorize the data to fulfill this objective.

DBSCAN clustering is a non-parametric algorithm model proposed by Ester et al. (1996) that groups points together that lie in the same low-density regions. This method depends on two variables: *epsilon* (variable of proximity) and *minpoints* (variable of quantity).

To apply this method, a treatment with interpolation was applied on the dataset time column to make them pass from unequally spaced seconds to equally distributed minutes. In sequence the dataset was normalized to make every flight get the same number of 30 observations without losing relevant information.

With the treatments done, the DBSCAN algorithm was utilized to obtain the path of trajectories that would be considered "normal" for the SBSP airport. As figure 1 shows, three clusters were obtained with 2 being to the most used runway 17 (70%) and one for the runway 35 (30%).

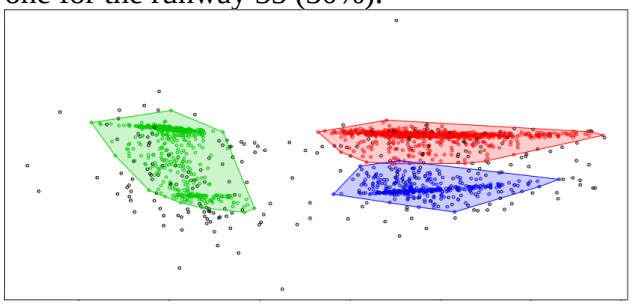


Figure 1: DBSCAN Clustering convex hull plot

The parameters considered were *epsilon* equal to 2 and *minpoints* of 5 to obtain a noise of 13% which is considered an acceptable result based on Murça (2018). The leaflet library was selected to plot the total trajectory of each cluster as shown in the figure 2.

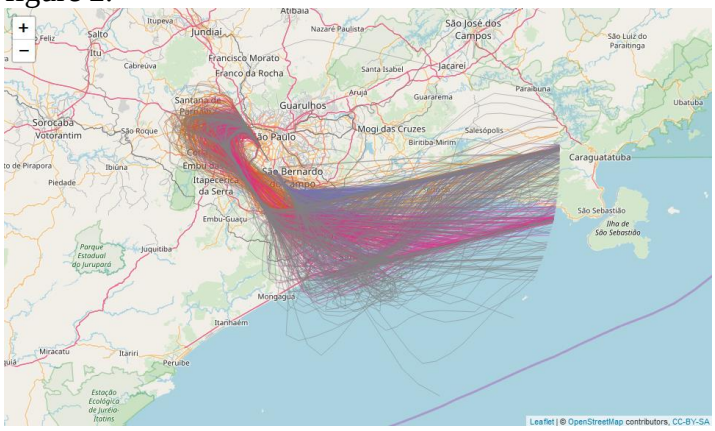


Figure 2: DBSCAN Clustering trajectory path

In figure 2, there's four colors that represent different routes that were utilized for the arrival on SBSP:

- Pink: Arrival from the airway VUKIK passing per fixed point OGTAL and approach at runway 17R or 17L;
- Orange: Arrival from the airway PAGOG passing per fixed point OGTAL and approach at runway 17R or 17L;
- Purple: Arrival from the airway PAGOG passing per fixed point ISOVU and approach at runway 35R or 35L;
- Grey: Noise in DBSCAN approach.

The cluster with more used points (orange) with 56% flights is considered by the ATFM as the preferred route. As this research is focused on the analysis from non-conventional flight trajectories by airline, the 15% flights on grey (noise) were selected as database for the statistical comparison.

To reduce the impact caused by the different scales of movement and meteorological interference, only flights between 17 to 21h were selected (2h prior and after peak time) in days with low meteorological impact.

The second step consists in the statistical test for horizontal inefficiency by airline. The method to calculate this variable was based on the KPI 04 defined by the ICAO (2016) listed on (1).

$$Efficiency = \frac{D - d}{d} \qquad (1)$$

Where "D" is the real distance that the flight achieved while "d" is the most optimized trajectory with the great circle distance between the selected airports. This formula was applied on the 255 flights selected on the clustering technique and the histogram from this result was shown on figure 3.

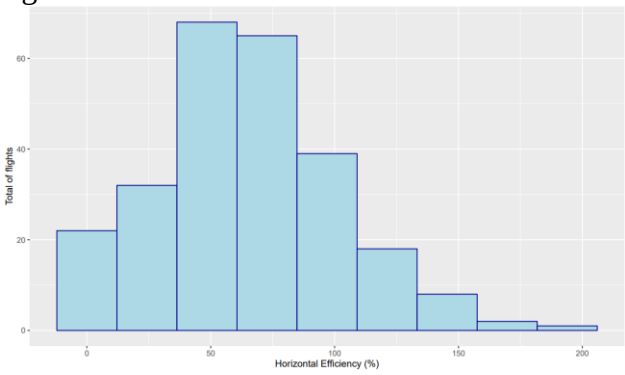


Figure 3: Horizontal efficiency of unconventional flights

Figure 3 brings the information that some flights obtained an inefficiency of 0% while others got results superior to 100%. This can be explained as ATFM decisions to shorter flights trajectories on low flow or avoid possible conflicts in the future.

To fulfill the objective of this research, it's necessary to segregate what is positive and negative influence by external factors. As Kettunen et al. (2005) concludes that less than l16% of inefficiency is inevitable due to conflict avoidance, this value was selected as reference for this classification. In summary, inefficiencies inferior to 16% were classified as positive and superior to this value were defined as negative.

After this classification, the result obtained is that 29 interferences were positive and 226 negatives. The next step was to separate the flights in three categories based on the airlines that provided regular flights in the period of the dataset: Gol (G3), Avianca (O6) and LATAM (JJ).

For the positive influences, the table 1 shows the distribution of flights per airline and relative percentage in relation to the total flights.

Table 1: Positive influence per airline

Airline	*Positive influences*	*Relative Percentage*
GOL	8	1,01%
LATAM	14	1,91%
AVIANCA	7	1,54%

Based only on table 1, there's an indicative that LATAM was benefited more by the ATFM with shorter trajectories with close to the double of chances than Gol. The figure 4 was developed to identify the boxplot of inefficiency for the positive influences of each airline.

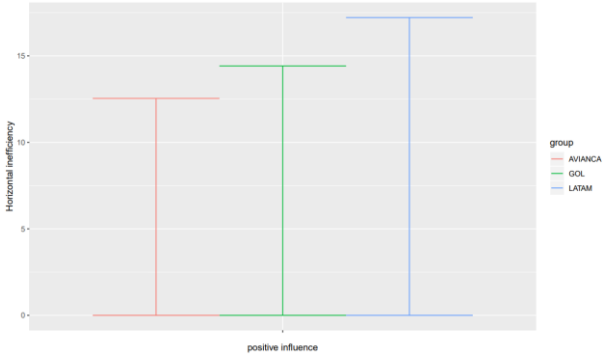


Figure 4: Variability of positive influences

Since Latam got more positive influences than the others, they show more variability than the others as expected. On the other side, Avianca was blessed with the most effective positive influences which shows that Gol was the least favored in the dataset.

The same procedure was applied to the negative influences. The table 2 shows the distribution of flights per airline and relative percentage in relation to the total flights.

Table 2: Negative influence per airline

Airline	*Positive influences*	*Relative Percentage*
GOL	90	10,63%
LATAM	78	11,36%
AVIANCA	58	12,80%

This time, Gol was the least impacted by the influence of external events with close to 2% less case than the most impacted. To complement the analysis, the figure 5 shows the qualitative impact of these influences on the horizontal inefficiency.

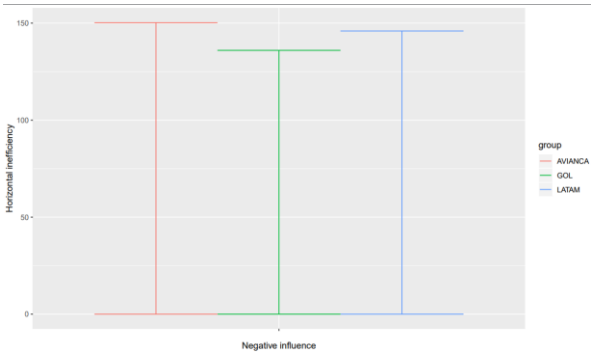


Figure 5: Variability of negative influences

Gol, that got less influenced, was the airline with less variability. The same principle was observed in the most influenced (Avianca). In summary, Gol was the airline with less costs by longer trajectories in the TMA while Avianca was the most affected by ATFM decisions.

However, that absolute variance can or not be significant. To verify if this variance is statistically significant around the mean a Wilcoxon signed test was executed. This method was selected since it's possible to compare different data without assuming a probability distribution. Table 3 presents the p-values obtained in this test.

Table 3: P-value from Wilcoxon statistical test

Airline	*Positive influences*		*Negative influences*	
	Avianca	*Gol*	*Avianca*	*Gol*
LATAM	0,9255	0,2411	0,5638	0,0742
GOL	0,5667	-	0,0944	-

The results show that the null hypothesis that the mean between the pairs of airlines have the same means cannot be rejected. However, there's a tendency that with more data the negative influence between Gol and LATAM can be proved to have different means, thus, be statistically different.

4. RESULTS AND DISCUSSION

This study used a two-step approach with clusterization techniques and non-parametric test around the mean with Wilcoxon test to compare the statistical difference in horizontal inefficiency between brazilian airlines influenced by ATFM decisions for the most used domestic route on Brazil: Santos Dumont (SBRJ) – Congonhas (SBSP) for 44 days of data.

Based on the results presented, the principle that decisions are fair distributed between all affected groups without a special treatment proved himself true around the mean. However, there's contrast in small scale and there's empirical evidence that some airlines got better treatment in minor margins than the others when all days are analyzed.

When compared case to case in absolute values, LATAM got the best treatment since got more shorter routes and medium negative impact. If the analysis consists only in fuel burn or economic impact, Gol got the better deal since their flights were shorter and efficient. On last place, Avianca got the worst scenario since the positive influences didn't surpass the negative impacts.

This research also was able to bring another result interesting when comparing the real trajectories when compared to aeronautical charts and confirm ATFM preference. Clustering techniques are being used in large scale and there's margin for upgrades and comparisons with other methods.

Mostly, the major contribution to the literature is the individual analysis by airline in a specific route that isn't much explored yet. As the space considered was the TMA, this research couldn't identify patterns specific to companies as identified to cruise phase by Castello and Ukovich (2013) specially to bigger companies.

Majority of studies focus on ATM optimization and support for decision making approaches, however, the analysis of the actual situation also is important.

As margin for future studies, it's recommended the analysis of other airports, flight phases and include other variables like meteorological conditions. Other clustering techniques like k-means or supervised machine learning also could be utilized to categorize data or as criteria of comparison to official aeronautical charts.

5. ACKNOWLEDGEMENT

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

6. REFERENCES

ANDRIENKO, Gennady et al. Clustering trajectories by relevant parts for air traffic analysis. IEEE transactions on visualization and computer graphics, v. 24, n. 1, p. 34-44, 2017.

BERTSIMAS, Dimitris; GUPTA, Shubham. Fairness in air traffic flow management. In: INFORMS Meeting, San Diego-CA, USA. 2009. p. 100.

BERTSIMAS, Dimitris; GUPTA, Shubham. Fairness and collaboration in network air traffic flow management: an optimization approach. Transportation Science, v. 50, n. 1, p. 57-76, 2015.

CASTELLI, Lorenzo; UKOVICH, Walter. Characterizing cargo airlines in Europe: a cluster analysis approach.
ESTER, Martin, et al. "A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise." Kdd. Vol. 96. No. 34. 1996.

GARIEL, Maxime; SRIVASTAVA, Ashok N.; FERON, Eric. Trajectory clustering and an application to airspace monitoring. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, v. 12, n. 4, p. 1511-1524, 2011.

KETTUNEN, Tarja et al. Flight efficiency studies in Europe and the United States. In: 6th USA/Europe Air Traffic Management Seminar. 2005.

MURÇA, Mayara Condé Rocha. Collaborative air traffic flow management: Incorporating airline preferences in rerouting decisions. Journal of Air Transport Management, v. 71, p. 97-107, 2018.

COMPARAÇÃO ENTRE A EMISSÃO DE CO_2 COM O USO DO AUTOMÓVEL E DO AVIÃO PARA O TRECHO SÃO PAULO/SP – RIO DE JANEIRO/RJ

Bárbara Carvalho de Azevedo
Endereço: SQSW 301, Bloco G, Apto 101 – Setor Sudoeste – Brasília-DF, CEP: 70673-107
Telefone: (61)98492-9457
E-mail: barbaracazevedo@yahoo.com.br

Taíza Reis Dantas De Sordi
Endereço: SQN 313, Bloco D, Apto 609 – Asa Norte – Brasília-DF, CEP: 70766-040
Telefone: (61)99819-7564
E-mail: taiza.dantas@gmail.com

ABSTRACT
This paper seeks to calculate the emission of the CO2 pollutant, per passenger, considering the most common aircraft in the route from São Paulo-Congonhas Airport to Rio de Janeiro-Santos Dumont Airport and its maximum capacity of occupation. The result will be compared to the value obtained for the emission of the CO2 pollutant when the same quantity of passengers of the airplane travel the same route by car.

Keywords: CO2 pollutant, vehicular emissions, aircraft emissions, civil aviation, air transportation.

1. INTRODUÇÃO

Pessoas ao redor do mundo estão lutando contra sérios problemas de poluição do ar, que prejudicam o ambiente, reduzem a produtividade e tem impactos adversos na saúde humana. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que milhões de pessoas morram prematuramente, a cada ano, como resultado da poluição do ar, outros milhões perdem dias de trabalho ou faltam às escolas devido a doenças associadas à poluição atmosférica. A cada dia, novos estudos são publicados mostrando os impactos nocivos para a saúde associados a níveis cada vez mais altos de poluentes, tais como material particulado fino ou ozônio (CETESB, 2015).

Nesse sentido, é importante aferir a emissão de gases poluentes resultantes do uso de veículos, uma vez que as emissões dos veículos aumentaram rapidamente, a frota de veículos vem crescendo, o quadro de poluição do ar nas principais cidades do Brasil é preocupante e as perspectivas são de agravamento da situação.

Ressalta-se também a importância de considerar a emissão de gases poluentes provocada pelo modal aéreo, na medida em que o aumento da demanda doméstica do transporte aéreo de passageiros em território brasileiro alcançou, em termos de RPK (revenue passenger kilometer – passageiros-quilômetros pagos transportados), um aumento de 234% entre os anos de 2003 e 2012.

Assim, o objetivo deste estudo é calcular a emissão do poluente CO_2, por passageiro, considerando a aeronave mais comum no trecho com origem no Aeroporto de São Paulo-Congonhas e destino no Aeroporto do Rio de Janeiro-Santos Dumont. O resultado será comparado com o valor obtido para a emissão do poluente CO_2 quando, a mesma quantidade de passageiros do avião, percorrem o mesmo trecho utilizando o automóvel.

O artigo está dividido em seis capítulos. No segundo e no terceiro capítulos são apresentados os conceitos fundamentais associados às emissões de gases poluentes para veículos e para aeronaves. No capítulo seguinte, apresentam-se os métodos a serem empregados no cálculo das emissões. O capítulo cinco apresenta os resultados obtidos para o estudo de caso proposto, bem como uma análise desses resultados. Já no último capítulo, tem-se a conclusão do artigo.

2. EMISSÕES VEICULARES

A quinta edição do relatório Emissões Veiculares no Estado de São Paulo atualiza as estimativas de emissão no período de 2006 até 2015. Presta-se como fonte de dados e referência metodológica para se calcular as emissões originadas pela circulação de veículos no Estado e nas suas regiões metropolitanas.

Um inventário de emissões atmosféricas é, basicamente, um conjunto de dados obtidos a partir de fontes de poluição especificadas, numa dada área geográfica e num dado período de tempo. Ele pode fornecer subsídios para entender as relações entre as emissões e as concentrações ambientais de poluentes resultantes e, portanto, é um instrumento fundamental para estabelecer políticas e ações para assegurar que os padrões de qualidade do ar sejam respeitados e para o acompanhamento da eficiência das políticas públicas implantadas.

O relatório estima as emissões veiculares do estado de São Paulo, da macrometrópole e regiões metropolitanas paulistas. O Estado é composto por 645 municípios e abrange uma área de 248.209 km², o que corresponde a apenas 2,9% do território nacional. Apresenta a maior economia do país com um Produto Interno Bruto (PIB) de R$ 1.893.439 milhões, que representa 31,9% do PIB brasileiro. Possui também a maior população do país com mais de 43 milhões de habitantes.

As emissões podem ser calculadas utilizando dois tipos de abordagem:

- Bottom-up, na qual se considera a distância anual percorrida para cada tipo de veículo, além da quantidade de veículos, o fator de emissão, a autonomia e o volume de combustível consumido;
- Top down, na qual se utiliza o consumo aparente de combustível observado nas regiões de interesse. Os fatores de emissão estão relacionados ao tipo de combustível.

Para este estudo utilizamos a abordagem Top down.

3. EMISSÕES DA AVIAÇÃO CIVIL

O Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil 2014 apresenta uma descrição detalhada e minuciosa das emissões das aeronaves da aviação civil comercial e privada, tanto em voos regulares (domésticos e internacionais com origem ou destino no Brasil) quanto na aviação geral em território nacional.

O grau de detalhamento da metodologia utilizada permite a apresentação de emissões desagregadas por aeródromos, por modelo de aeronaves, por fases de voo, por tipos de voo e pelas APUs (Auxiliary Power Unit ou Unidade Auxiliar de Potência).

O cálculo das emissões localizadas por aeródromo é indispensável no estudo dos impactos do setor em termos de poluentes locais, cujas emissões contabilizadas são oriundas das fases de voo em altitudes inferiores a 3000 pés (914.4 metros) e pelas APUs.

4. METODOLOGIA

4.1 Veículos automotores

Para o cálculo da emissão de escapamento são necessários os dados de fator de emissão, intensidade de uso e número de veículos, por combustível, ano e categoria de veículos. A equação geral para o cálculo das emissões de escapamento é dada pela Equação 1.

$$E = Iu \times Fe \times Fr \quad (1)$$

Onde:

E = Massa de poluente emitida no período considerado (g/ano);

Iu = Intensidade de uso ou quilometragem média anual percorrida pelo veículo (km/ano)

Fe = Fator de Emissão, depende do tipo de veículo, do poluente e combustível utilizado (g/km); e

Fr = Frota circulante, por tipo de veículo e por ano (número de veículos).

O fator de emissão é a massa de poluente emitida pelos veículos ao circular por uma determinada distância. A unidade usual é gramas por quilômetro (g/km). É determinado em laboratório de emissão veicular e publicado anualmente pela CETESB.

A distância percorrida pelo veículo ao longo de um ano é a intensidade de uso.

Em 2015, a estimativa da frota circulante no Estado de São Paulo foi de 15,4 milhões de veículos. Desses, 10,2 milhões são automóveis, 2 milhões são comerciais leves, 600 mil ônibus e caminhões e 2,6 milhões de motocicletas. A autonomia é a distância que o veículo percorre utilizando um determinado volume de combustível. No Brasil é usualmente expressa na unidade quilômetros por litro (km/l).

4.2 Aviação Civil

Para o presente estudo foi utilizado o Método Tier 3, que se baseia em informações mais detalhadas de cada voo, como os aeródromos de origem e destino e o modelo da aeronave. As emissões são calculadas separadamente para cada uma das fases de voo.

4.2.1 <u>Cálculo de emissões no Ciclo LTO</u>

O Ciclo LTO (Landing and Take off) contempla todas as etapas de voo próximas ao aeródromo realizadas pelas aeronaves em altitudes inferiores a 914,4 metros (ou 3000 pés).

O ciclo LTO é composto por 6 fases:

1. Partida
    a. Taxi de partida (*Taxi out*)
    b. Decolagem (*Take off*)
    c. Início da subida para cruzeiro (*Climb out*)
2. Chegada
    a. Aproximação final (*Final approach*)
    b. Toque e corrida de desaceleração (*Landing*)
    c. Taxi de chegada (*Taxi in*).

As emissões por fase LTO são calculadas a partir do combustível consumido em cada uma delas. Por sua vez, o consumo de combustível em cada fase é função do modelo e do número de motores da aeronave. O fluxo de combustível, função do regime de potência dos motores nas fases, também é um dado de entrada. Por fim entra no cálculo o tempo de duração de cada fase, conforme Equações 2 e 3.

$$C_{a,f,p} = nM_a \times Fc_{a,f} \times t_{a,f,p} \quad (2)$$

Onde:
C = consumo de combustível da aeronave "a", expresso em kg, para cada fase f no aeródromo p;
nM = número de motores da aeronave "a";
Fc = fluxo de combustível, em kg/s, de cada motor da aeronave "a" na fase f;
t = tempo, em segundos, que a aeronave "a" permanece na fase f no aeródromo p.

$$E_{g,a,f,p} = Fe_{g,a,f} \times C_{a,f,p} \quad (3)$$

Onde:
E = emissão, expressa em kg, do gás g pela aeronave a na fase f no aeródromo p;
C = consumo de combustível da aeronave "a", expresso em kg, para cada fase f no aeródromo p;
Fe = fator de emissão do gás g, em $kg_{gás}/kg_{combustível}$, da aeronave a na fase f.

4.2.2 Cálculo de emissões em Cruzeiro

A fase *Cruise* ou Cruzeiro é definida como a etapa de voo realizada pelas aeronaves em altitudes superiores aos 914,4 metros.
Para o cálculo de emissões nessa fase, baseou-se na metodologia Tier 3A, que depende de informações do modelo da aeronave e dos aeródromos de origem e destino e é descrita no guia da EMEP/EEA de 2013 (EMEP/CORINAIR, 2013). Esse guia apresenta, para cada família de aeronaves, uma tabela com o consumo de combustível e as emissões totais em voo de acordo com a distância entre os aeródromos. Os resultados tabelados levam em consideração o perfil dos voos, como a altitude de cruzeiro que varia de acordo com a distância de voo e interfere nos tempos de cada fase (Climb, Cruise e Descent). Munido da distância do voo, a massa de combustível consumido ou de gases emitidos é calculada por interpolação linear na tabela (Equação 4).

$$M_{a,d,g} = Y_{1\,a,g} + \left(Y_{2\,a,g} - Y_{1\,a,g}\right) \times \frac{d - X_1}{X_2 - X_1} \quad (4)$$

Onde:
d = distância de voo em km calculada entre os aeródromos de origem e destino;
M = massa expressa em kg do combustível consumido ou do gás emitido g no voo de distância d percorrida pela aeronave a;
X_1 = distância tabelada imediatamente inferior à distância d;
X_2 = distância tabelada imediatamente superior à distância d;
Y_1 = massa de combustível consumida ou do gás g emitida tabelada para a aeronave a para a distância X_1;
Y_2 = massa de combustível consumida ou do gás g emitida tabelada para a aeronave a para a distância X_2.

As emissões em cruzeiro são calculadas com base nos aeródromos de origem e destino de cada voo. Estas informações são usadas para calcular a distância direta, que é a menor distância entre dois pontos medida ao longo da superfície de uma esfera.
Essa distância foi calculada a partir das coordenadas geográficas dos aeródromos de origem e destino (convertidas para radianos) e a partir do raio médio da Terra (6.371 km). A equação 5 apresenta a expressão utilizada no cálculo.

$$d_{GC} = 2asin\left(\sqrt{sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)} + \cos\varphi_1 cos\varphi_2 sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)\right)R_T \quad (5)$$

Onde:
dGC = distância direta estimada;
Δφ = diferença entre as latitudes dos aeródromos de origem e destino;
φ1 = latitude do aeródromo de origem;
φ2 = latitude do aeródromo de destino;
Δλ = diferença entre as longitudes dos aeródromos de origem e destino;
RT = raio médio da Terra.

4.2.3 Cálculo de emissões por Unidade Auxiliar de Potência (APU)

De forma geral, aeronaves destinadas ao transporte regular possuem um equipamento formado por uma turbina a gás conectada a um gerador elétrico, destinado a suprir energia elétrica e pneumática durante as operações em solo, denominado APU (Auxiliary Power Unit - unidade auxiliar de potência).

A APU é, em geral, instalada no cone da cauda das aeronaves, após a caverna de pressão. A fonte de energia dessas unidades é o combustível armazenado nos tanques principais, dessa forma, as emissões aqui estimadas também são provenientes da combustão do querosene de aviação em uma turbina a gás. Logo, os poluentes resultantes da utilização da APU são os mesmos gerados na queima de combustível nos motores.
O consumo de combustível é estimado a partir do tempo de uso da APU e do fluxo de combustível. Calculado esse consumo, são estimadas as emissões a partir de fatores de emissão específicos para cada gás ou poluente (Equações 6 e 7).

$$C_{a,f} = FC_{a,f} \times t_{a,f} \quad (6)$$

Onde:
C = consumo de combustível da APU na aeronave a, na fase de uso f;
Fc = fluxo de combustível, em kg/s, de cada APU na aeronave a, na fase de uso f;
t = tempo, em segundos, que a unidade APU é usada na aeronave a, na fase de uso f.

$$E_{g,a,f} = Fe_{g,a,f} \times C_{a,f} \quad (7)$$

Onde:
E = emissão, expressa em kg, do gás g pela aeronave a na fase de uso f;
C = consumo de combustível da APU na aeronave a, na fase de uso f;
Fe = fator de emissão do gás g, em $kg_{gás}/kg_{combustível}$, da aeronave a na fase de uso f.

5. ESTUDO DE CASO

A partir da aplicação da metodologia supra apresentada, foi possível dar início aos estudos:

5.1 Escolha do local para estudo

De acordo com o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil 2014, e considerando dados de 2013, seguida pela ligação São Paulo-Brasília, Guarulhos-Salvador e Guarulhos-Porto Alegre, a ponte aérea Rio-São Paulo entre os aeroportos de Congonhas (SBSP) e Santos Dumont (SBRJ) desponta com enorme vantagem sobre os demais pares em número de movimentações.
O trecho a ser estudado possui uma extensão, via estrada, de 447 km e é percorrido em um tempo aproximado de 6h10 minutos. O avião percorre o trecho em um tempo aproximado de 55 minutos.

5.2 Levantamento dos dados - Aviação

Para realização do estudo de caso foram levantados os dados relacionados a seguir, visando calcular a emissão de CO_2. Para a definição da aeronave mais utilizada no trecho foram utilizados os dados de horário de transporte (HOTRAN) disponibilizados por ANAC (2017), considerando o trecho escolhido. Os dados relativos aos aeródromos de origem e destino foram obtidos a partir de ANAC (2017) e os dados relativos às características da aeronave utilizada e ao tipo de combustível utilizado na aviação comercial foram obtidos a partir de ANAC (2014).

- Origem: Aeroporto de São Paulo - Congonhas (SBSP)
- Latitude: 22º 54’ 36” S
- Longitude: 43º 9’ 45” W
- Destino: Aeroporto do Rio de Janeiro - Santos Dumont (SBRJ)
- Latitude: 23º 37’ 34” S
- Longitude: 46º 39’ 23” W
- Aeronave mais utilizada no trecho: A319
- Quantidade de assentos disponíveis: 132
- Classe Aeronave: L2J - Landplane (terrestre), 2 motores, motor a jato
- Categoria da aeronave: Fuselagem estreita
- Combustível utilizado: Querosene de aviação
- Fator de emissão do CO_2 para o querosene de aviação: 3,15 $kgCO_2/kgQAv$

5.3 Resultados - Aviação

5.3.1 Ciclo LTO

A Tabela 2 apresenta as emissões de CO_2, em kg, por etapa do ciclo LTO. Observa-se que as informações relativas ao número de motores

da aeronave utilizada no estudo, tempo de cada fase do ciclo LTO e fator de emissão foram obtidas a partir de ANAC (2014) e as informações relativas ao fluxo de combustível foram obtidas a partir de EEA (2017). Esses dados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Dados utilizados por etapa do ciclo LTO

	Taxi out	***Take off***	***Climb out***	***Final approach***	***Landing***	***Taxi in***
Tempo (s)	762	42	132	240	-	264
Fluxo de combustível (kg/s)	0,123	1,042	0,868	0,328	-	0,123
Consumo de combustível (kg)	187,452	87,528	229,152	157,44	-	64,944

Tabela 2: Resultados para emissões de CO_2, em kg, por etapa do ciclo LTO

	Taxi out	***Take off***	***Climb out***	***Final approach***	***Landing***	***Taxi in***	**Total**
Emissões CO_2 (kg)	590,47	275,71	721,83	495,93	*	204,57	2.288,53

*Por falta de informação disponível, não foram consideradas as emissões durante a corrida de desaceleração no pouso (etapa *Landing* do ciclo LTO).

5.3.3 Cruzeiro

As informações relativas à distância direta estimada, às distâncias e às massas de combustível tabeladas (obtidas a partir de EASA (2015)), à massa de combustível consumida e às emissões de CO_2 calculadas, em kg, para a fase de Cruzeiro são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Dados e resultados para emissões de CO_2, em kg, para a fase de Cruzeiro

d (km)	**X_1**	**X_2**	**Y_1**	**Y_2**	**M(KgQ Av)**	**Emissões CO_2 (kg)**
402,23	250	500	1812,23	2819,85	2.425,80	7.641,29

5.3.4 Unidade Auxiliar de Potência (APU)

A Tabela 5 apresenta as emissões de CO_2, em kg, por fase de uso do APU.

Observa-se que as informações relativas ao tempo de cada fase de uso da APU, o fator de emissão e o fluxo de combustível foram obtidas a partir de ANAC (2014). Esses dados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Dados utilizados por fase de uso da APU

	Partida	***Gate out***	**MES**	***Gate in***
Tempo (s)	180	216	34,8	4.069,2
Fluxo de combustível (kg/s)	0,021	0,033	0,038	0,033
Consumo de combustível (kg)	3,78	7,128	1,3224	134,284

Tabela 5: Resultados para emissões de CO_2, em kg, por fase de uso do APU.

	Partida	***Gate out***	***Main Engine Start (MES)***	***Gate in***	**Total**
Emissões CO_2 (kg)	11,907	22,4532	4,17	422,99	461,52

5.3.5 Emissão total

A Tabela 6 apresenta as emissões de CO_2, em kg, para cada fase de voo. É apresentado também o valor calculado para a aeronave mais utilizada no trecho, bem como para cada passageiro dessa aeronave, considerando uma taxa de ocupação máxima da aeronave.

Tabela 6: Resultados para emissões de CO_2, em kg, para cada fase de voo.

	LTO	**Cruzeiro**	**APU**	**Total**	**Total / passageiro**
Emissões CO_2 (kg)	2.288,53	7,641,29	461,52	10.391,33	78,72

5.4 Levantamento dos dados - Automóvel

Para realização do estudo de caso foram levantados os dados relacionados a seguir, visando calcular a emissão de CO_2 com o uso do automóvel:

- Origem: Aeroporto de São Paulo - Congonhas (SBSP)
- Destino: Aeroporto do Rio de Janeiro - Santos Dumont (SBRJ)
- Modelo do automóvel: Gol 1.0
- Anos do modelo: 2002 - 2015
- Extensão do percurso: 447 km
- Trecho urbano: 48 km
- Trecho rodoviário: 399 km
- Quantidade de automóveis: 132

O trecho percorrido pelo automóvel possui uma extensão total de 447 km, sendo que 48 km é considerado trecho urbano/cidade e 399 km é estrada/rodovia.

5.5 Resultados - Automóvel

Para a obtenção dos valores de frota para a quantidade de 132 veículos que irá percorrer o trecho de 447 km entre São Paulo e Rio de Janeiro, utilizou-se como base a frota circulante de automóveis no Estado de São Paulo estimada para o ano de 2015.

Em 2015, estimou-se um total de 7.978.127 automóveis, com modelos de carro entre os anos de 2002 e 2015. Assim, determinou-se a porcentagem da frota de cada ano, para posteriormente calcular a frota para os 132 veículos (CETESB, 2015).

Ainda em relação ao cálculo da frota, a quantidade de carro para cada ano teve que ser dividida em relação ao uso do modelo de carro flex, quantos carros são flex e usam gasolina e quantos são flex e usam etanol. Assim, foi necessário determinar a porcentagem de venda de gasolina e de etanol por ano, para poder aplicar no cálculo da frota e determinar a quantidade de carros flex-gasolina e flex-etanol. A Tabela 7 apresenta as porcentagens de vendas calculadas para a gasolina e para o etanol entre os anos de 2006 e 2015.

Tabela 7: Vendas de gasolina C e etanol hidratado pelas distribuidoras para o Estado de São Paulo (mil m³) (ANP, 2016).

Ano	Etanol	Gasolina	Total	% Gasolina	% Etanol
2006	3743,68	7041,66	10785,34	65	35
2007	5545,12	7153,91	12699,03	56	44
2008	7251,25	7020,31	14271,56	49	51
2009	8610,00	6696,78	15306,78	44	56
2010	8374,26	7436,24	15810,49	47	53
2011	6490,31	9461,88	15952,18	59	41
2012	5834,46	10305,84	16140,30	64	36
2013	6656,75	10476,82	17133,57	61	39
2014	7576,59	10849,79	18426,38	59	41
2015	9456,06	9436,73	18892,79	50	50

Para a obtenção do fator de emissão do poluente CO_2, que depende do tipo de veículo, do poluente e do combustível utilizado, foi utilizado, como base, os fatores de emissão fornecidos pela CETESB em 2015. Ressalta-se que somente a partir do ano de 2002 foram disponibilizados dados do fator de emissão para o CO_2 e, por isso, este estudo engloba o cálculo da emissão de modelos de veículos a partir do ano de 2002. Ressalta-se que o fator de emissão de CO_2 de cada ano depende do tipo do combustível utilizado e da autonomia do veículo.

Para o cálculo dos fatores de emissão de CO_2 do presente estudo, foi considerado que a frota dos 132 automóveis é composta por veículos do modelo Gol 1.0, visto que tal modelo foi o mais vendido no Estado de São Paulo entre os anos de 2002 e 2015. Desta forma, foi necessária a obtenção da autonomia do modelo por ano, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Autonomia do automóvel modelo Gol 1.0 vendidos entre os anos 2012 e 2015.

Ano	Cidade				Estrada			
	Etanol	Gasolina	Flex Gasol	Flex Etanol	Etanol	Gasolina	Flex Gasol	Flex Etanol
2002	-	12,2	-	-	-	15,7	-	-
2003	-	13,4	-	-	-	16	-	-
2004	-	12,2	10,4	-	-	15,7	14,1	-
2005	-	12,2	10,4	7,4	-	15,7	14,1	9,6
2006	-	11,0	10,8	7,6	-	14,9	14,1	9,6
2007	-	11,0	10,8	7,4	-	14,9	14,1	9,6
2008	-	11,0	10,8	7,4	-	14,9	14,1	9,6
2009	-	9,8	13,9	7,5	-	14,2	19,9	10,9
2010	-	9,8	10,5	7,5	-	12,3	14,2	10,9
2011	-	10,5	10,8	7,4	-	12,3	14,1	9,5
2012	-	11,1	10,8	7,4	-	13,2	14,1	9,5
2013	-	11,1	12,0	8,4	-	13,2	14,1	9,8
2014	-	11,6	11,6	7,7	-	13,9	13,9	9,6
2015	-	8,6	11,6	7,7	-	7,2	13,9	9,6

Deste modo, os resultados para a emissão de CO_2 para a frota de 132 veículos, modelo Gol 1.0, entre os anos de 2002 e 2015, ao percorrer o trecho de 447 km entre o Aeroporto de Congonhas em São Paulo/SP e o Aeroporto Santos Dumont no Rio de Janeiro/RJ, são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 Resultados obtidos para 132 veículos.

Ano	Combustível	CO_2 (g/km)	Autonomia (km/L)	Frota	GOL 1.0				48 km	399 km	Total
					Autonomia Cidade	CO_2 (g/km) Cidade	Autonomia Estrada	CO_2 (g/km) Estrada	Urbano	Estrada	
2002	Gasolina C	198	10,9	4	12,2	174,4	15,7	110,8	36.674,24	193.709,69	230.383,92
	Etanol	191	7,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
2003	Gasolina C	194	11,2	4	13,4	155,9	16,0	110,9	31.972,91	188.995,41	220.968,32
	Etanol	183	7,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
	Flex-Gasol.C	210	10,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
	Flex-Etanol	200	6,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
2004	Gasolina C	190	11,4	4	12,2	176,7	15,7	118,3	33.007,55	183.779,64	216.787,18
	Etanol	160	8,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
	Flex-Gasol.C	201	10,8	1	10,4	208,4	14,1	139,6	7.328,16	40.791,52	48.119,67
	Flex-Etanol	190	7,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
2005	Gasolina C	192	11,3	2	12,2	176,7	15,7	117,2	20.588,52	113.546,19	134.134,72
	Etanol	160	8,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
	Flex-Gasol.C	188	11,5	2	10,4	206,0	14,1	145,5	21.013,73	123.382,71	144.396,44
	Flex-Etanol	180	7,7	1	7,4	187,0	9,6	135,6	10.143,03	61.127,62	71.270,65
2006	Gasolina C	174	11,3	1	11,0	178,6	14,9	118,6	11.565,53	63.816,07	75.381,60
	Etanol	200	6,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
	Flex-Gasol.C	203	11,7	4	10,8	218,6	14,1	161,4	38.730,11	237.625,34	276.355,44
	Flex-Etanol	195	7,8	2	7,6	200,0	9,6	150,0	18.837,42	117.439,53	136.276,95
2007	Gasolina C	174	11,3	1	11,0	178,6	14,9	118,6	8.612,97	47.524,46	56.137,43

	Flex-Gasol.C	203	11,7	5	10,8	218,6	14,1	161,4	49.497,25	303.686,24	353.183,48
	Flex-Etanol	195	7,8	4	7,4	205,0	9,6	150,0	35.976,72	218.821,80	254.798,51
2008	Gasolina C	201	9,6	1	11,0	171,7	14,9	90,0	5.993,96	26.127,63	32.121,59
	Flex-Gasol.C	181	11,4	5	10,8	190,5	14,1	138,1	45.161,23	272.166,99	317.328,22
	Flex-Etanol	175	7,7	5	7,4	181,8	9,6	131,8	44.514,86	268.271,57	312.786,42
2009	Gasolina C	222	9,9	1	9,8	224,2	14,2	125,6	6.648,93	30.950,78	37.599,71
	Flex-Gasol.C	178	11,5	5	13,9	140,9	19,9	48,0	33.787,02	95.675,74	129.462,76
	Flex-Etanol	171	7,8	6	7,5	177,6	10,9	103,0	54.765,87	264.152,35	318.918,22
2010	Gasolina C	207	10,8	1	9,8	226,2	12,3	178,3	7.840,73	51.367,57	59.208,30
	Flex-Gasol.C	177	11,9	6	10,5	197,8	14,2	142,8	54.101,48	324.608,90	378.710,38
	Flex-Etanol	171	8,2	6	7,5	185,6	10,9	114,7	57.160,57	293.630,30	350.790,87
2011	Gasolina C	198	11,1	1	10,5	208,7	12,3	176,6	11.757,52	82.698,30	94.455,81
	Flex-Gasol.C	178	12,2	7	10,8	198,4	14,1	150,3	65.183,19	410.360,50	475.543,69
	Flex-Etanol	170	8,6	5	7,4	193,7	9,5	152,2	43.651,69	285.100,11	328.751,80
2012	Gasolina C	199	11,1	1	11,1	199,0	13,2	161,4	7.848,14	52.895,38	60.743,52
	Flex-Gasol.C	180	12,1	8	10,8	199,3	14,1	150,2	75.879,33	475.413,74	551.293,07
	Flex-Etanol	173	8,5	4	7,4	195,4	9,5	152,6	42.106,29	273.444,19	315.550,48
2013	Gasolina C	220	10,2	1	11,1	200,6	13,2	155,3	6.184,25	39.798,62	45.982,86
	Flex-Gasol.C	176	12,5	7	12,0	183,5	14,1	153,9	65.645,75	457.531,93	523.177,68
	Flex-Etanol	169	8,6	5	8,4	172,9	9,8	145,4	39.289,87	274.607,13	313.897,00
2014	Gasolina C	205	11,1	1	11,6	195,5	13,9	153,1	5.498,72	35.801,82	41.300,54
	Flex-Gasol.C	173	12,6	6	11,6	187,1	13,9	155,6	56.076,74	387.843,99	443.920,74
	Flex-Etanol	165	9,2	4	7,7	192,0	9,6	157,7	40.192,25	274.418,65	314.610,90
2015	Gasolina	187	11,7	1	8,6	236,5	7,2	258,9	9.336,22	84.948,58	94.284,80
	Flex-Gasolina	167	13,2	4	11,6	187,2	13,9	158,1	39.819,91	279.563,36	319.383,28
	Flex-Etanol	157	9,3	4	7,7	184,0	9,6	151,9	39.212,80	269.138,30	308.351,10
TOTAL EMISSÃO (g)											8.386,368,08
TOTAL EMISSÃO/PASSAGEIRO (kg/passageiro)											63,53

Ao somar as emissões de cada ano e, por sua vez, de cada tipo de combustível, obteve-se a emissão total de CO_2 igual a 8.386,368,08 g. Assim, se cada passageiro optar por ir de São Paulo ao Rio de Janeiro de automóvel, cada um com seu próprio veículo, sendo um total de 132 veículos, a emissão de CO_2 por passageiro é igual a 63,53 kg de CO_2/passageiro.

Por fim, se o veículo tiver sua capacidade máxima ocupada, 5 passageiros, sendo um total de 27 veículos para percorrer o trecho, os resultados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Resultados obtidos para 27 veículos.

Ano	**Combustível**	**CO_2 (g/km)**	**Autonomia (km/L)**	**Frota**	**GOL 1.0**				**48 km**	**399 km**	**Total**
					Autonomia Cidade	**CO_2 (g/km) Cidade**	**Autonomia Estrada**	**CO_2 (g/km) Estrada**	**Urbano**	**Estrada**	
2002	Gasolina C	198	10,9	1	12,2	174,4	15,7	110,8	7.501,55	39.622,44	47.123,98
	Etanol	191	7,2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
2003	Gasolina C	194	11,2	1	13,4	155,9	16,0	110,9	6.539,91	38.658,15	45.198,07
	Etanol	183	7,5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
	Flex-Gasol.C	210	10,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00

	Flex-Etanol	200	6,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
2004	Gasolina C	190	11,4	1	12,2	176,7	15,7	118,3	6.751,54	37.591,29	44.342,83
	Etanol	160	8,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
	Flex-Gasol.C	201	10,8	0	10,4	208,4	14,1	139,6	1.498,94	8.343,72	9.842,66
	Flex-Etanol	190	7,3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
2005	Gasolina C	192	11,3	0	12,2	176,7	15,7	117,2	4.211,29	23.225,36	27.436,65
	Etanol	160	8,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
	Flex-Gasol.C	188	11,5	0	10,4	206,0	14,1	145,5	4.298,26	25.237,37	29.535,64
	Flex-Etanol	180	7,7	1	7,4	187,0	9,6	135,6	10.143,03	61.127,62	71.270,65
2006	Gasolina C	174	11,3	0	11,0	178,6	14,9	118,6	2.365,68	13.053,29	15.418,96
	Etanol	200	6,9	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
	Flex-Gasol.C	203	11,7	1	10,8	218,6	14,1	161,4	7.922,07	48.605,18	56.527,25
	Flex-Etanol	195	7,8	2	7,6	200,0	9,6	150,0	18.837,42	117.439,53	136.276,95
2007	Gasolina C	174	11,3	0	11,0	178,6	14,9	118,6	1.761,74	9.720,91	11.482,66
	Flex-Gasol.C	203	11,7	1	10,8	218,6	14,1	161,4	10.124,44	62.117,64	72.242,08
	Flex-Etanol	195	7,8	1	7,4	205,0	9,6	150,0	7.358,87	44.759,00	52.117,88
2008	Gasolina C	201	9,6	0	11,0	171,7	14,9	90,0	1.226,04	5.344,29	6.570,32
	Flex-Gasol.C	181	11,4	1	10,8	190,5	14,1	138,1	9.237,52	55.670,52	64.908,04
	Flex-Etanol	175	7,7	5	7,4	181,8	9,6	131,8	44.514,86	268.271,57	312.786,42
2009	Gasolina C	222	9,9	0	9,8	224,2	14,2	125,6	1.360,01	6.330,84	7.690,85
	Flex-Gasol.C	178	11,5	1	13,9	140,9	19,9	48,0	6.910,98	19.570,04	26.481,02
	Flex-Etanol	171	7,8	6	7,5	177,6	10,9	103,0	54.765,87	264.152,35	318.918,22
2010	Gasolina C	207	10,8	0	9,8	226,2	12,3	178,3	1.603,79	10.507,00	12.110,79
	Flex-Gasol.C	177	11,9	1	10,5	197,8	14,2	142,8	11.066,21	66.397,27	77.463,49
	Flex-Etanol	171	8,2	6	7,5	185,6	10,9	114,7	57.160,57	293.630,30	350.790,87
2011	Gasolina C	198	11,1	0	10,5	208,7	12,3	176,6	2.404,95	16.915,56	19.320,51
	Flex-Gasol.C	178	12,2	1	10,8	198,4	14,1	150,3	13.332,92	83.937,38	97.270,30
	Flex-Etanol	170	8,6	5	7,4	193,7	9,5	152,2	43.651,69	285.100,11	328.751,80
2012	Gasolina C	199	11,1	0	11,1	199,0	13,2	161,4	1.605,30	10.819,51	12.424,81
	Flex-Gasol.C	180	12,1	2	10,8	199,3	14,1	150,2	15.520,77	97.243,72	112.764,49
	Flex-Etanol	173	8,5	4	7,4	195,4	9,5	152,6	42.106,29	273.444,19	315.550,48
2013	Gasolina C	220	10,2	0	11,1	200,6	13,2	155,3	1.264,96	8.140,63	9.405,59
	Flex-Gasol.C	176	12,5	2	12,0	183,5	14,1	153,9	13.427,54	93.586,08	107.013,62
	Flex-Etanol	169	8,6	5	8,4	172,9	9,8	145,4	39.289,87	274.607,13	313.897,00
2014	Gasolina C	205	11,1	0	11,6	195,5	13,9	153,1	1.124,74	7.323,10	8.447,84
	Flex-Gasol.C	173	12,6	1	11,6	187,1	13,9	155,6	11.470,24	79.331,73	90.801,97
	Flex-Etanol	165	9,2	4	7,7	192,0	9,6	157,7	40.192,25	274.418,65	314.610,90
2015	Gasolina	187	11,7	0	8,6	236,5	7,2	258,9	1.909,68	17.375,85	19.285,53
	Flex-Gasolina	167	13,2	1	11,6	187,2	13,9	158,1	8.144,98	57.183,42	65.328,40
	Flex-Etanol	157	9,3	4	7,7	184,0	9,6	151,9	39.212,80	269.138,30	308.351,10
					TOTAL EMISSÃO (g)						3.919.760,62
					TOTAL EMISSÃO/PASSAGEIRO (kg/passageiro)						29,70

Ao somar as emissões de cada ano e, por sua vez, de cada tipo de combustível, obteve-se a emissão total de CO_2 igual a 3.919.760,62 g.
Se cada passageiro optar por ir de São Paulo ao Rio de Janeiro de automóvel, cada veículo com 5 passageiros, sendo um total de 27 veículos, a emissão de CO_2 por passageiro é igual a 29,70 kg de CO_2/passageiro.
Portanto, há uma redução de 53,25% em relação à emissão de CO_2 quando o veículo possui um passageiro e uma redução de 29,72% em relação à emissão de CO_2 quando o veículo possui dois passageiros.

6. CONCLUSÕES

Com a realização do estudo, foi possível estimar a emissão de gases CO_2 a partir do voo de uma aeronave, caracterizada como a mais utilizada no trecho Rio-São Paulo, entre os aeroportos de Congonhas – São Paulo/SP e Santos Dumont – Rio de Janeiro/RJ. Ressalta-se que foi possível ainda obter o valor de emissão por passageiros dessa aeronave, considerando sua capacidade máxima de ocupação. Em adição, foi possível estimar a emissão de gases CO_2 para a frota de 132 veículos para o mesmo trecho, entre os aeroportos de Congonhas e Santos Dumont.
Observou-se, a partir dos resultados obtidos, a possibilidade de comparação dos valores obtidos por passageiro do transporte aéreo e dos valores de emissão calculados para uma frota de 132 veículos com a mesma origem e destino, a partir do modo rodoviário e considerando que cada passageiro ocupa um carro. Dessa forma, observa-se que a quantidade de gases CO_2 emitidos a partir dos veículos automotores é 19,30% menor que a emissão obtida por passageiro para o modo aéreo. Além disso, variando-se as taxas de ocupação do carro, observou-se que há uma alteração significativa nos valores de emissão de CO_2 para o veículo, variando de 63,53 kg para 29,70 kg, valores calculados para 1 e para 5 passageiros, respectivamente.
Observa-se assim que a variação na taxa de ocupação dos automóveis altera de forma considerável a massa de gases poluentes emitidos. Ressalta-se ainda, que o aproveitamento médio da capacidade de passageiros das aeronaves foi de 72,9% para voos domésticos em 2012, medido em RPK⁄ASK (*Revenue passenger kilometer* ou passageiros-quilômetros pagos transportados por *Available Seat Kilometers ou Assentos*-quilômetros ofertados). Dessa forma, ressalta-se o potencial mais poluente do modo aéreo, em comparação ao modo rodoviário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC, Agência Nacional de aviação Civil (2014). Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil - Ano-base 2013. Disponível em: http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente. Acesso em: 05/10/2017.

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil (2017). Lista de aeródromos públicos. Disponível em: http://www.anac.gov.br/Anac/assuntos/setor-regulado/aerodromos. Acesso em 24/10/2017.

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil (2017). Voos Autorizados Vigentes (HOTRAN). Disponível em http://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/empresas/autorizacao-de-servicos/solicitacao-de-hotran Acesso em 24/10/2017.

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil (2017). Lista de aeródromos públicos. Disponível em: http://www.anac.gov.br/Anac/assuntos/setor-regulado/aerodromos. Acesso em 24/10/2017.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2016). Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro, RJ.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2016). Emissões veiculares no estado de São Paulo 2015. Disponível em: http://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/. Acesso em 20/10/2017.

EASA, European Aviation Safety Agency (2015). EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013. Disponível em: .https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-a-aviation-annex/view. Acesso em 24/10/2017.

EEA, European Environment Agency (2017). ICAO Engine Emissions Databank. Disponível em: https://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank#group-easa-downloads. Acesso em 24/10/2017.

GERENCIAMENTO DE RUÍDO AEROPORTUÁRIO: O MONITORAMENTO INDIRETO DE RUÍDO AERONÁUTICO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DO IMPACTO

Edson Santos da Silva
Centro Universitário do Distrito Federal – UDF
SEP SUL 704/904, Conjunto A, CEP 70390-045,
Fone (61) 3704-8884; edson.silva@udf.edu.br
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO
Setor Comercial Sul Quadra 04, Bloco A nº 58, CEP: 70312-970, Brasília – DF,
Fone: (61) 3312-2751; edsonsantos@infraero.gov.br

Bruna Maria Abinader Costa
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO
Setor Comercial Sul Quadra 04, Bloco A nº 58, CEP: 70312-970, Brasília – DF,
Fone: (61) 3312-2751; brunaabinader@infraero.gov.br

RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo analisar o monitoramento indireto do ruído aeronáutico nas áreas circunvizinhas aos aeroportos, o qual demostrará a importância do monitoramento para o contexto regulatório dos usos e ocupações urbanas considerando a "*Abordagem Equilibrada"* indicada pela ICAO, utilizando como estudo de caso o Aeroporto Internacional de Campo Grande. A pesquisa tem como parâmetro analisar as áreas impactadas, da cidade de Campo Grande, pelo ruído aeronáutico, utilizando as sobreposições das curvas de ruído (extraídas do monitoramento), com Planos de Zoneamento de Ruído - PZR, para a verificação das respectivas compatibilizações com os Planos Diretores do Município.

Palavras-Chave: poluição sonora; ruído aeronáutico; zonas urbanas; planejamento urbano.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the indirect monitoring of aeronautical noise in the surrounding areas of airports, which will demonstrate the importance of monitoring for the regulatory context of urban uses and occupations considering the "Balanced Approach" indicated by the ICAO, using as case study Campo Grande International Airport. The research has as a parameter to analyze the impacted areas of the city of Campo Grande, by aeronautical noise, using the noise curve overlaps (extracted from monitoring), with Noise Zoning Plans - PZR, to verify their compatibility with the Master Plans of the Municipality.

Keywords*: noise pollution; aeronautical noise; urban areas; urban planning.*

1- INTRODUÇÃO

Os aeroportos brasileiros passam por diversos conflitos entre seu entorno imediato e suas operações, em especial, os ruídos aeronáuticos provocados pelos pousos e decolagens dos mais diversos tipos de aeronaves. Com o crescente avanço tecnológico na aviação civil e a necessidade de ampliação dos componentes aeroportuários os órgãos responsáveis pela regulação da aviação civil, por décadas, indicam a preocupação em apontar mecanismos possíveis de apresentar ações de mitigações, a médio e longo prazo, para as questões do ruído aeronáutico, a fim de possibilitar a harmonia entre aeroporto e cidade.

A ICAO - *International Civil Aviation Organization* impulsionada pela importância do tema, editou a Resolução A33/7, definida na 33ª Assembleia, realizada em Montreal, em 25 de novembro de 2001, onde recomendou a utilização do conceito da "*Abordagem Equilibrada*", que contempla quatro elementos essenciais para o gerenciamento do ruído aeroportuário, os quais são descritos abaixo:

1- Redução de Ruído na Fonte;

2- Planejamento e Gestão do Uso do Solo; (grifo nosso)

3- Orientações de procedimentos operacionais específicos para redução do ruído;

4- Aplicação de restrições operacionais aos aeroportos.

Dos quatro elementos, **o Planejamento e Gestão do Uso do Solo**, talvez seja o que permita o processo de mitigação mais eficiente para o gerenciamento do ruído aeroportuário, porém é um dos mais complexos, já que envolvem direta e indiretamente diversos atores a exemplo de prefeituras municipais, órgãos ambientais, operadores dos aeroportos, agências reguladoras etc., para que seja possível a inserção de uma efetiva política de planejamento e uso do solo em áreas sensíveis ao ruído.

No Brasil, a ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil, responsável pelo fomento da aviação civil (Lei Federal nº 11.182/05, art. 8º, inciso X), regulamentou os PZRs - Planos de Zoneamento de Ruído de Aeródromos, através do RBAC - Regulamento Brasileiro da Aviação Civil, nº 161/13, estabelecendo para os operadores dos aeródromos os requisitos de elaboração, aplicação, divulgação e cumprimento dos referidos planos por todos os agentes responsáveis pela mitigação do impacto ambiental, ruído aeronáutico.

Nesse sentido, o operador aeroportuário se obriga a criar meios para gerenciar o ruído aeronáutico. Desta forma, entende-se que um dos fatores preponderantes para um bom gerenciamento é o monitoramento das ações dos impactos gerados pelo ruído, onde o mesmo possibilitará a observação das alternativas de mitigação, apoiados pela fiscalização do zoneamento de ruído pelos órgãos municipais.

O RBAC nº 161, no item 161.55, já prevê a necessidade do projeto de monitoramento de ruído para aeroportos que apresente média superior a 120 mil movimentos anuais e que possua regiões de uso residencial ou misto com mais de 50% das áreas definidas pelas curvas validadas pela ANAC, obrigando o operador a apresentar o projeto para análise e aceitação da Agência.

Atualmente, consta ação de monitoramento de ruído permanente instalado no Aeroporto Santos Dumont (SBRJ), e outros que são realizados pontualmente, conforme verificação de necessidade, pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO, que é nomeado como monitoramento de ruído direto - MRD, entretanto, manter esta ação tem gerado altos custos e muitas vezes não representa o panorama geral das operações aeroportuárias.

Para tanto, este artigo, apresenta uma proposta de metodologia de gerenciamento de ruído denominado de Monitoramento de Ruído Indireto - MRI, que procura através de modelagens e análises dos zoneamentos urbano e aeroportuário apresentar os impactos nas áreas circunvizinhas ao aeroporto e possíveis ações de mitigação e eliminação.

O artigo detalhará o tema proposto em seis partes, conforme descrito abaixo:

1- Referencial teórico;

2-"*Abordagem Equilibrada*" e suas ferramentas na Gestão do Ruído;

3- Monitoramento indireto e metodologia aplicada;

4- Caraterização das áreas de estudo e avaliação.
5- Resultados
6- Considerações finais.

2- REFERENCIAL TEÓRICO

A forte urbanização brasileira, a partir da década de 1940; as ocupações irregulares; a ausência de planejamentos, que indicassem o correto ordenamento das malhas urbanas; e o acelerado avanço tecnológico, trouxeram conflitos entre atividades aeroportuárias e o uso e ocupação do solo nas proximidades dos sítios aeroportuários (SILVA, 2018).

Dados do Instituto Brasileiro de Estatística Brasileira - IBGE, apresentaram taxas de urbanização[1] em 1940 de 31,24% da população vivendo em áreas urbanas, aumentando, de acordo com o último censo de 2010, para 84,36%, ou seja, um aumento de mais de duas vezes e meio. O panorama previsto para o ano de 2018 foi de 89,94%[2] de áreas urbanizadas, com áreas de 100 a 300 mil habitantes.

Nesse perfil de áreas urbanizadas está concentrado, grande parte, próximo aos principais aeroportos brasileiros, em cidades (polos) e grandes capitais.

No mesmo período do crescimento urbano, desde a década de 40, é apontado em diversas literatura o início da impulsão do setor aéreo brasileiro, em virtude do aproveitamento das tecnologias que surgiriam na Segunda Guerra Mundial e que continuaram a avançar no pós-guerra.

A partir do início dos anos 90 novas empresas aéreas são criadas e aumentam a medida que o mercado se flexibiliza para o setor privado (FILHO e FRANÇA, 2002).

Ao longo de várias décadas, mesmo com as oscilações econômicas brasileiras, o setor aéreo apresentou significativos percentuais de ofertas e demandas de voos. Segundo ANAC[3], o crescimento da demanda por voos foi da ordem de 6,3%, e oferta de 9,6%.

Por consequência a este crescimento, houve a necessidade de aumento da infraestrutura aeroportuária, e a relação com o entorno dos aeroportos se tornaram mais presente, e paralelo a isso as malhas urbanas e a densidade populacional urbana brasileira vieram aumentando proporcionalmente no decorrer dos anos.

Os PZRs (Planos de Zoneamento de Ruído) estabelecem para os operadores dos aeródromos os requisitos de elaboração e aplicação dos referidos Planos, definindo critérios aplicáveis nas análises de questões relacionadas ao ruído aeronáutico. Sendo, pela regulação, o operador é responsável pela divulgação e garantia do cumprimento do estabelecido no PZR por todos os agentes envolvidos.

Diante do exposto, esta pesquisa tem o intuito de trazer a foco as relações entre operador e município de forma que se busque obter a máxima harmonia entre operação aeroportuária, o uso e ocupação do solo no entorno do aeroporto e as áreas impactadas pelas rotas das aeronaves, tendo como posposta de ferramenta de fiscalização o MRI (Monitoramento Indireto de Ruído). Isto porque, os PZR são uma das bases de dados e informações para que o município planeje a ocupação urbana, pois, dá ciência dos impactos gerados pelo ruído aeroportuário em uma área específica que sobressaem ao sítio aeroportuário, área da qual o operador não tem gestão.

Destarte, avaliando por este ângulo, verifica-se que é imprescindível a realização de leituras ampliadas dos conflitos entre aeroporto e cidade, em especial, o tema relacionado ao impacto ambiental ruído aeronáutico, e que seja observado como um dos principais impactos sobre as populações circunvizinhas, pois, conforme aponta Caldas (2013) o ruído aeronáutico é o mais pulsante ponto de conflito entre população e o equipamento aeroporto.

Com base nesses argumentos, é importante a compreensão e discussão da *"Aborda-*

[1] Disponível em https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122, acessado em 02/04/2019.

[2] Disponível em https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-denoticias/releases/21494-ibge-apresenta-panorama-da-urbanizacao-no-brasil, acessado em 02/04/2019

[3] Disponível em https://www.anac.gov.br/noticias/2017/demanda-e-oferta-do-transporte-aereo-mantem-indices-de-crescimento, acessado em 02/04/2019

gem Equilibrada" da ICAO, que apresentamos em seguida.

3- "ABORDAGEM EQUILIBRADA" e suas ferramentas na gestão do ruído

A ICAO validou o conceito de *"Abordagem Equilibrada"* pela Resolução A33-7, adotada na 33ª Assembleia. O conceito propõe a análise de pontos de intervenções no problema do ruído de forma eficaz, onde enfatizamos: 1. Redução de Ruído na Fonte; 2. Planejamento e Gestão do Uso do Solo; 3. Orientações de procedimentos operacionais específicos para redução do ruído; e 4. Aplicação de restrições operacionais aos aeroportos.

Dos pontos indicados pela ICAO, com exceção da redução do ruído na fonte, que carece exclusivamente de intervenções da indústria aeronáutica a partir de aprimoramentos tecnológicos nas aeronaves, os outros três elementos requerem demandas de diversos agentes e setores públicos e sociedade.

As orientações de procedimento operacionais específicos para redução de ruído, acarreta fortes preocupações com a segurança operacional, uma vez que os estudos são dirigidos em mudanças de rotas e ou gabaritos nas malhas aeroviárias.

Já as restrições operacionais, com as medidas restritivas de pouso e decolagem das aeronaves, redução de *slots*, etc., motivam prejuízos financeiros ao operador, inviabilizando, dessa forma, o funcionamento eficiente e eficaz do equipamento aeroporto.

Por conseguinte, o planejamento e gestão do uso do solo viabilizariam a visualização das questões urbanas e as respectivas restrições de uso e/ou ocupações do solo, de modo a serem mitigadas a curto, médio e longo prazo, possibilitando a gestão ativa do solo urbano.

Outrossim, independente da ferramenta utilizada pelo conceito de *"Abordagem Equilibrada",* vale ressaltar, que carece de definições claras de regras, e a divulgação da competência específica dos diferentes atores, os quais tem o compromisso na identificação das soluções viáveis. (CALDAS, 2010)

Portanto, analisando por essas premissas, a proposta do **Monitoramento Indireto de Ruído - MRI**, possibilita dinamicidade da fiscalização e gestão do solo urbano, com baixo custo e maior eficiência na observação do impacto, corroborando com o Planejamento indicado pela *"Abordagem Equilibrada"* da ICAO, o que apresentamos a partir da sua definição inicial.

4- METODOLOGIA APLICADA AO MONITORAMENTO DE RUÍDO. INDIRETO– MRI

4.1 MONITORAMENTO DE RUÍDO INDIRETO MRI (o que seria?)

Posicionando o operador aeroportuário na fiscalização das áreas impactadas, onde o mesmo deve sinalizar aos órgãos responsáveis pelo planejamento urbano e ambiental ações pontuais em diversas áreas urbanas, bem como, apontar a existência ou não de diretrizes urbanas que corrijam eventuais distorções entre as áreas com restrições e seus respectivos usos, consequentemente, indica-se, neste estudo, a ferramenta de Monitoramento de Ruído Indireto – MRI, como suporte de extração de informações que darão possibilidade de análise para as tomadas de decisões a serem repassadas aos órgãos competentes e população.

O MRI possibilitaria ainda, redução dos altos custos patrocinados por verba pública com os MDR (monitoramentos de ruído direto), isto é, através de equipamentos fixos, sendo, portanto, utilizados apenas quando houver necessidade de verificação de conflitos existentes e evidenciados que superem as áreas inerentes aos limites apontados no PZR.

O objetivo principal do monitoramento é demonstrar as áreas de impacto do ruído aeronáutico, comparando com as áreas que necessitam de restrições de uso do solo, e que devem estar de acordo com as curvas de ruído e PZR.

Para essas comparações há necessidade que sejam observadas as legislações locais, as LUOS (Lei de Uso e Ocupação do Solo), os Planos Diretores Municipais, etc. e demais aspectos oriundos ao desenvolvimento e planejamento urbano no entorno imediato dos aeroportos e de áreas de rotas e que fazem parte das zonas (superfícies) de proteção de aproximação e decolagem das aeronaves.

Para efeito desse estudo foi escolhido o Aeroporto Internacional de Campo Grande – Mato Grosso do Sul- SBCG, seguindo a metodologia aplicada a seguir.

4.2 METODOLOGIA APLICADA

Semelhante à metodologia aplicada à elaboração das curvas de ruído para o horizonte final de planejamento, indicadas nos PZRs, exigidos pela NBR nº 12.859/83 e o RBAC nº161/13, para este estudo são modeladas curvas seguindo modelo matemático, neste caso, aplicado ao *software INM – integrated Noise Model* a partir dos seguintes dados:

1- Modelos das Aeronaves;
2- Número de Movimentos das Aeronaves, em média diária, distribuídos em movimentos diurno e noturno;
3- Dados técnicos operacionais (rotas de voo, procedimentos de pouso e decolagem);
4- Dados de condições atmosféricas e dados técnicos do aeroporto.

Após a modelagem das curvas de ruído, as mesmas são georreferenciadas e projetadas sobre a malha urbana do município, através do software Qgis.

A projeção das curvas permite, dessa maneira, a visualização espacial da área abrangida pelo ruído aeronáutico. Em seguida é realizado a avaliação da área abrangida pelas curvas à luz do RBAC nº 161/13, ou seja, sobrepostas aos PZRs existentes, também de forma georreferenciadas.

Para a elaboração das curvas de ruído, proposto como MRI, são utilizados os números de movimento operacional do aeroporto – pousos e decolagens, compreendido a um ano de operação, e como premissa de estudo, deste artigo, foram considerados os anos 2017 e 2018.

Posteriormente as curvas geradas para o período indicado são sobrepostas ao PZR aprovado e registrado através de Portaria pela ANAC. As sobreposições permitiram analisar a operação atual e os horizontes de planejamento indicados para o aeroporto analisado, de acordo com as diretrizes do PDIR - Plano Diretor Aeroportuário, considerando o horizonte de planejamento para operação e saturação (Utilização máxima) do sítio aeroportuário indicado para o ano de 2029, avaliado e elaborado pela operadora do aeródromo, e validado e aprovado pela ANAC e DECEA.

A contar da modelagem das curvas atuais (MRI) e sobreposições dos PZR e PDIR aeroportuário, além do Plano Diretor da cidade, são verificadas as áreas (uso e ocupação) e número de população impactada, e as respectivas tipologias das edificações.

Em conjunto é verificado nas legislações vigentes as diretrizes de uso e ocupação do solo, a fim encontrar possibilidades para suprimir ou mitigar os impactos, tomando como base as operações aeroportuárias e as configurações das áreas urbanas.

5- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E AVALIAÇÃO

O Aeroporto Internacional de Campo Grande - SBCG, localizado na capital do Estado do Mato Grosso do Sul, é vocacionado para a recepção de atividades como o turismo ecológico, os eventos históricos e para atender a agroindústria.

O aeroporto possui uma área que perfaz 10,82 km², onde a sua área terminal de passageiros possui 7.215 m², a qual processa em média 5.112 pessoas por dia, com 53 voos, processando, ainda, 5.940 kg de carga aérea. A área do terminal tem a capacidade de receber 1,6 milhões de passageiros ao ano. O aeroporto possui uma pista de pouso e decolagem com dimensões de 2.600 x 45 m (INFRAERO, 2018).

Localizado entre as regiões de Imbirussu e Lagoa, o SBCG está distante 7 Km do centro da cidade, e as principais vias de acesso são as Avenidas Wilson Paes de Barros e Duque de Caxias, e a Rua Cel. Athos P. da Silveira, representado pela Figura 1.

A densidade demográfica das regiões de Imbirussu e Lagoa, considerando a estimativa de crescimento anual, é de 1,72%, de acordo com o Perfil Socioeconômico 2016 de Campo Grande[4], estimado como apresentado na Tabela 1 e representado pela Figura 01, abaixo.

Tabela 1: População estimada para as Regiões de Imbirussu e Lagoa – Campo Grande/MS.

DENSIDADE DEMOGRÁFICA REGIÃO NO ENTORNO DO AEROPORTO SBCG			
REGIÃO	POPULAÇÃO ESTIMADA 2018	ÁREA EM km²	POPULAÇÃO/km²
IMBIRUSSU	102.150	23,443	4357
LAGOA	118.700	24,878	4771

Fonte: Prefeitura de Campo Grande/MS

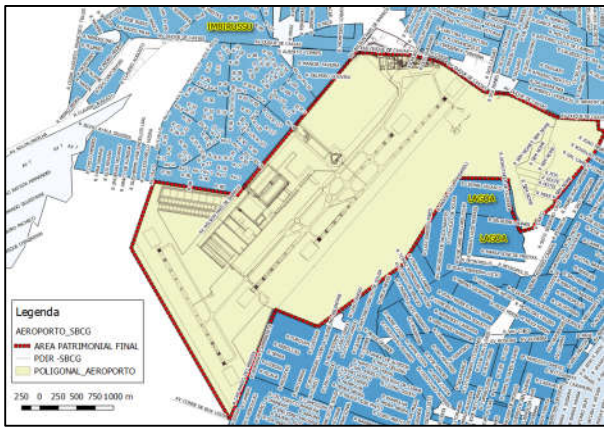


Figura 1: Perímetro do sítio aeroportuário –SBCG
FONTE: DFMA/INFRAERO e Prefeitura de Campo Grande - adaptado pelo autor

A cidade de Campo Grande possui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental – PDDUA, instituído pela Lei Complementar n.º 341, de 28 de dezembro de 2018.

Anteriormente o PDDUA era regido pela Lei Complementar n.º 96, de 06 novembro de 2006. No referido documento, o artigo 51 fazia menção sobre a Zona de Proteção de Aeródromo – ZPA,

Posteriormente, a Lei Complementar n.º 107 de 21 de dezembro de 2007, alterou os dispositivos da Lei Complementar n.º 96 que dispôs sobre o ordenamento do uso e da ocupação do solo. Tais instrumentos não traziam nenhum controle aos limites de uso e ocupação no entorno imediato dos aeroportos, em especial as zonas de ruído.

Atualmente no PDDAU vigente (LC nº 341/2018), em seu artigo 29, é indicado a Zona Especial de Proteção do Aeroporto – ZEPA e nela compreende não só os limites da área aeroportuária, mas também áreas externas ao Aeroporto – SBCG, representado na Figura 2.

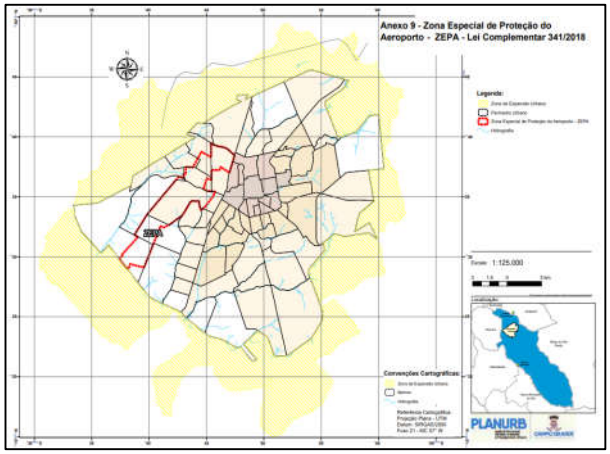


Figura 2: Representação gráficas da Zona Especial de Proteção do Aeroporto - ZEPA
Fonte: Prefeitura de Campo Grande - MS

Considerando as tipologias das edificações, em conformidade com o contido na Leis de Uso e Ocupação do Solo - LUOS do município de Campo Grande (Lei complementar nº 211/2012 – Anexo III), as Zonas 02, 05, 06 e 07, onde estão inseridas as poligonais das curvas de ruído do PZR vigente, representadas na Figura 3, são permitidos os usos residenciais (uni e multifamiliar), comércio (varejista e atacadista), serviço e industrial.

Vale acrescentar, como verificado na Figura 3, que estas Zonas indicadas pela LUOS, no parágrafo acima, já estavam contempladas como áreas de restrições no PZR validado em 1984 pela Portaria 629/GC5.

A Lei n.º 2.909, de 28 de julho de 1992, instituiu o Código de Polícia Administrativa do Município de Campo Grande/MS prevendo limites de ruído nas zonas residências, comerciais industriais e institucionais com máximo de 55dB (A) a 70dB (A).

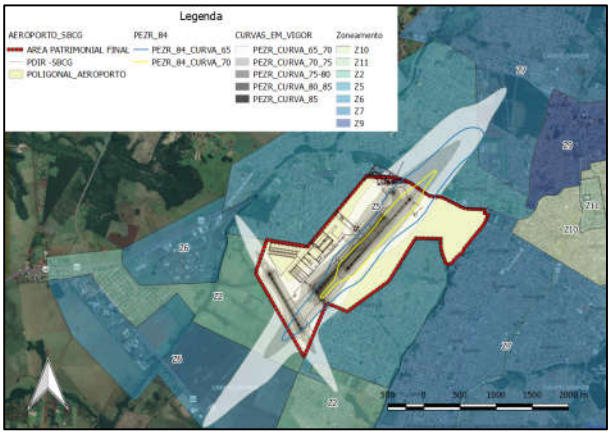


Figura 3: Representação sobreposição das curvas nas zonas de uso e ocupação do solo. FONTE: INFRAERO, adaptado pelo autor.

5.1 CONFIGURAÇÕES URBANAS E OPERACIONAIS AEROPORTUÁRIAS

A densidade populacional permite verificar o número de pessoas impactadas pelo ruído aeronáutico. Verificado através de pesquisa, o IBGE (2010), informa que a população de Campo Grande no último censo era de 786.797 mil habitantes distribuídos em uma área de 8.092,951 km². Em 2018, a estimativa realizada pelo instituto foi para cerca de 12,56% de crescimento.

A Tabela 2 abaixo apresenta esses números e o número de habitantes distribuídos/km².

Tabela 2 Densidade demográfica 2010/2018.

ANO	ÁREA DE CAMPO GRANDE	POPULAÇÃO	POPULAÇÃO/km²
2010	8.092,951 km²	786,797	97,22 hab./km²
2018		885,711*	109,44 hab./km

*População estimada

FONTE: IBGE/2018.

A partir deste cenário, buscou-se, inicialmente, traçar o perímetro das curvas de ruído, atual, que seria o referido MRI, utilizando, conforme já descrito, dois períodos operacionais, os anos de 2017 e 2018, que representará as possíveis áreas que excedem o sítio aeroportuário, possibilitando extrair as áreas relativas a cada nível de ruído estipulado pelas curvas traçadas e, consequentemente a área e a respectiva população impactada.

De acordo com os dados estatísticos da Navegação Aérea da Infraero[4], no período avaliado para o ano de 2017, ocorreram 18.792 pousos e decolagens, média de 51,49 por dia, entre 01 de janeiro a 31 de dezembro desse ano. As operações predominantemente aconteceram no período diurno, 73,20% (07h às 21h 59min) e 26,80% no horário noturno (22h às 06h 59min).

As áreas relacionadas às curvas de ruído referente às operações ao ano de 2017 estão referenciadas na Tabela 3 e representada geograficamente na Figura 4 em seguida.

[4] Dados retirados do site: http://navaer.infraero.gov.br/setadta/pesquisaMovimento.php?LOCALIDADE=SBCG&ANO=2017&varID=0&ok=Avan%E7ar, acessado em 24/09/2018;

Tabela 3 Dimensionamento das áreas abrangidas pelas curvas de ruído operação ano base 2017.

INTENSIDADE NORA	DIMENSIONAMENTO DA ÁREA ABRGIDA
85 dB	0,252177km²
80 dB	0,370490 km2
75 dB	0,501702 km2
70 dB	0,685871 km2
65 dB	1,290189 km2

FONTE: elaborado pelo autor

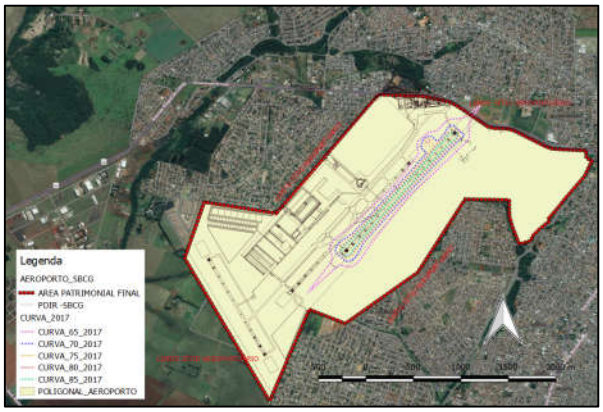


Figura 4- Representação geográfica das curvas de ruído _ operações Jan/Dez_2017.
FONTE: elaborado pelo autor

Para as curvas de ruído referente à operação de 2018, ocorreram 19.358 movimentos de pouso e decolagem, média diária de 53,03 entre 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2018. A predominância de voos diurnos e noturnos entre as cabeceiras, bem como a distribuição de utilização permaneceram as mesmas do ano de 2017.

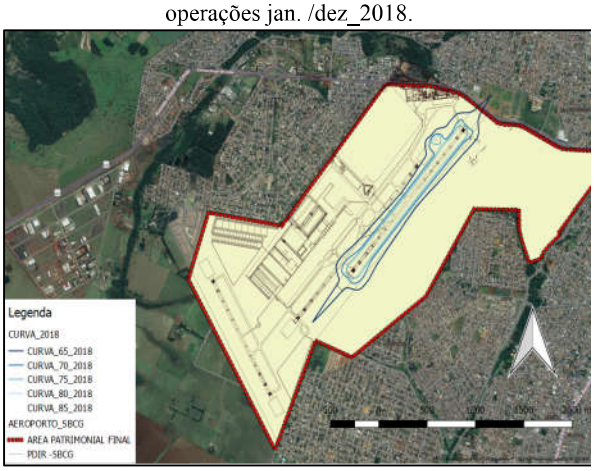
As áreas abrangidas pelas curvas de ruído, constam na Tabela 4, e estão representadas geograficamente na Figura 5.

Tabela 4 - Dimensionamento das áreas abrangidas pelas curvas de ruído operação ano base 2018.

INTENSIDADE SONORA	DIMENSIONAMENTO DA ÁREA ABRANGIDA
85 dB	0,255499 km²
80 dB	0,373453 km²
75 dB	0,504773 km²
70 dB	0,692652 km²
65 dB	1,315380 km²

FONTE: elaborado pelo autor

Figura - 5 Representação geográfica das curvas de ruído _ operações jan. /dez_2018.



FONTE: elaborado pelo autor

6- RESULTADOS

Como pode ser verificado nas modelagens das curvas 2017 e 2018, as áreas das curvas de ruído não ultrapassaram os limites do PZR vigente (Figura 3), apresentando-se dentro dos limites do sítio aeroportuário, representado na Figura 4 e 5.

Verificou-se, ainda, que pelo MRI, a partir do traçado de curvas com operações atuais, isto é, com a estrutura existente e demandas utilizadas nos anos – base (entre os meses de janeiro a dezembro) 2017 e 2018, a representação de que áreas impactadas pelo ruído aeronáutico são bem menores, do indicado no PZR vigente, com horizonte final de planejamento e utilização do aeroporto para o ano de 2029, e onde curvas do MRI com nível de 70dB (A) nem mesmo ultrapassa o sítio aeroportuário, e 65dB (A) ultrapassa extremamente inferior a do PZR, mesmo assim, ainda dentro do Plano.

Quanto à população existente nestas áreas, com possibilidade de impacto ao ruído aeronáutico, a Tabela 5 aponta o número da população total de cada bairro adjacente ao sítio aeroportuário. Nos bairros do entorno do aeroporto, o IBGE/2010 apresentou a população para o ano de 2010 de acordo com a Tabela 6 e foi estimado a população, inserindo cerca de 13,76% de aumento representado na estimativa de crescimento populacional para todo o município de Campo Grande (IBGE/2018).

Tabela 5 - População bairros impactados pelas curvas de ruído aeronáutico.

ÁREAS IMPACTADAS PELAS CURVAS DE RUÍDO 65 a 75dB (A)		
	POPULAÇÃO CENSO 2010	**POPULAÇÃO 2018***
SANTO ANTONIO	13.529	15.391
SANTO AMARO	23.501	26,735
SÃO CONRADO	18.541	21.092
NOVA CAMPO GRANDE	10.541	11.991
*população estimada		

FONTE: Elaborado por Edson Silva

Tabela 6 - População adjacente ao sítio aeroportuário com maior possibilidade de impacto.

NÚMERO DE HABITANTES/KM² COM POSSIBILIDADES DE IMPACTO				
	POPULAÇÃO CENSO 2010	**hab./km²**	**PZR PARA 2018**	**hab./km²**
SANTO ANTONIO	13.529	3.250	15.391	3.697
SANTO AMARO	23.501		26.735	
SÃO CONRADO	18.541		21.092	
NOVA CAMPO GRANDE	10.541		11.991	

O MRI possibilitou, portanto, indicar ao planejador urbano a possibilidade de dimensionar os níveis de ruído, definir e verificar os usos e ocupação do solo, apresentando os condicionantes necessários a fiscalização, monitoramento e contenção de usos incompatíveis indicados na LUOS e Plano Diretor do município de Campo Grande vigente, não precisando considerar, no momento, o Plano Diretor do Aeroporto, mas que as medidas necessárias sejam tomadas para evitar as incompatibilizações de uso futuras, a partir deste.

Em mais um filtro, as curvas de ruído, realizadas pelo MRI, para os anos de 2017 e 2018, estimaram população de 10 a 15 hab./km², e considerou 02 bairros (bairro Santo Antônio e Santo Amaro) dos 04 bairros diretamente impactados pelas curvas de ruído aeronáutico (PZR), podendo ser verificado nas indicações de áreas da Tabela 7 logo abaixo.

Tabela 7 - População adjacente ao sítio aeroportuário com maior possibilidade de impacto

ÁREAS IMPACTADAS PELAS CURVAS DE RUÍDO 65 a 75 dB (A)									
BAIRROS	**POPULAÇÃO**	**ÁREA km²**	**Hab./km²**	**ÁREA km² PZR**	**Hab./km²**	**ÁREA km² CURVAS 2017**	**Hab./km²**	**ÁREA km² CURVAS 2018**	**Hab./km 2**
SANTO ANTÔNIO	13.529	3,472	3896	4,074	4.887	0,008467	10,15	0,011358	13,6261
SANTO AMARO	23.501	4,315	5446						

FONTE: elaborado pelo autor

Já com relação às tipologias, após estudos da configuração da cidade, verificou-se que as edificações "assentadas" nas zonas indicadas nas áreas de impacto de ruído aeroportuário (Figura 3), possuem características construtivas que, aparentemente, não possuem nenhuma preocupação com tratamento acústico. Entretanto, se necessário, cabem verificações dos procedimentos de aprovações dos projetos arquitetônicos junto ao órgão responsável da prefeitura de Campo Grande.

Tais condições podem ser percebidas por quase 90% do perímetro do PZR, com a predominância de uso residencial e tipologias semelhantes às elencadas na tabela 8.

Demostrando a tese que não houve restrições no uso do solo, onde foi permitido, de forma direta ou não, a construção de residências, por exemplo, em áreas que a priori não deveria haver certos tipos de edificação, ou seja, certos tipos de uso (Escolas, hospitais, residências etc.).

Observa-se também, que as tipologias são relativamente simples e não existe a aplicação de material, que bloqueia/trate o impacto relacionado ao ruído aeronáutico.

Tabela 4: Tipologia das Edificações

TIPOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES				
	ALVENARIA	**COBERTURA**	**AFASTAMENTO**	**NÚMERO DE PAVIMENTOS**
PREDOMINANTEMENTE	TIJOLOS DE BARRO (08 FUROS)	TELHA SOBRE ENGRADAMENTO DE MADEIRA	EXISTENTES PARA O LAGRADOURO	01 a 02

Fonte: Elaborado pelo autor.

7- CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo teve como objetivo apresentar a proposta da utilização do Monitoramento Indireto de Ruído – MRI, realizado para o Aeroporto Internacional de Campo Grande (SBCG), aplicado como ferramenta de visualização da contabilização das limitações de uso e ocupação do solo, para possível suporte na gestão, monitoramento, controle e fiscalização de áreas impactadas pelos órgãos competentes.

Para efeito de sustentação dos argumentos de planejamento e eficiência dos Planos Diretores Aeroportuários – PDIR e Planos de Zoneamento de Ruído – PZR, foi demonstrado que respeitando os traçados das curvas, calculados para o planejamento futuro e expansão das operações aeroportuárias, bem como, expandindo as relações entre planejamento urbano e aeroportuário, os conflitos entre aeroporto e cidade podem ser mitigados e harmonizados.

A existência de instrumento legal que oriente e regule o uso e ocupação do solo, como no caso do município de Campo Grande, facilita sobremaneira as articulações e o processo de mitigação do impacto ambiental ruído aeronáutico.

Entretanto, verifica-se que carece de indicações, em documentos (a exemplo de Leis) de forma mais clara quanto às restrições nos limites demarcados, possibilitando aos técnicos e gestores envolvidos, trabalharem na redução das áreas sensíveis à permanência do ruído.

Todavia, é importante esclarecer que a fiscalização dos órgãos municipais responsáveis pelo uso e ocupação do solo se apresente ativa e fazedora do cumprimento das regulamentações, em especial, as Zonas relacionadas

ao Ruído e as de Proteção do Aeroporto, e que devem estar contidas de forma clara e objetiva no Plano Diretor das cidades, e como nos Planos da cidade Campo Grande.

Cabe ao operador aeroportuário, à luz do RBAC nº 161/13, oferecer subsídios ao planejamento urbano, conforme realizados aqui, neste ensaio, a partir do PZR registrado junto à ANAC, e monitorar o ruído aeronáutico provocado pelas operações de pouso e decolagem do aeródromo.

Como pôde ser observado, o Monitoramento de Ruído Indireto permitiu zelar pelas operações do aeroporto dentro das curvas de planejamento futuro, quando confrontado com os PZRs validados pela ANAC, inclusive revelando que, hoje, há níveis menores de ruído, e que também são menores os impactos em áreas e número de população por km².

Por fim, a Infraero, através do Monitoramento Indireto, tem observado os avanços e possíveis redirecionamentos dos impactos, e oportunizando as orientações aos órgãos municipais responsáveis, se necessário, a realizar ações diretas, para os cenários atuais e futuros.

8- REFERÊNCIAS

BENTES, F. M.; SLAMA, J. G. Sensitivity analysis of airport noise using computer simulation. Journal of aerospace technology and management, v. 3, n. 3, P. 295-300, 2011.

BIELSCHOWSKY, Pablo; CUSTÓDIO, Marcos da Cunha A Evolução do Setor de Transporte Aéreo Brasileiro, Revista Eletrônica Novo Enfoque, ano 2011, v.13, n. 13 pg. 72-93.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL Nº 161. DOU de 13/09/2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DE ESTADO DA AERONÁUTICA. Portaria nº 13/GM5. DOU de 05/01/1994.

CALDAS, Tânia Cristina de Menezes Elementos para uma Política de Gestão Integrada dos Impactos do Ruído Aeronáutico – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

FILHO, Jonas Liasch; FRANÇA, Valmir de. Análise da política nacional de transporte aéreo. Revista Geografia – V. 11, n. 02 julhos/dezembros 2002.

FURTADO, V. H. et al. "Aspectos de Segurança na Integração de Veículos Aéreos Não Tripulados (Vant) No Espaço Aéreo Brasileiro". Aerial Transportation Symposium, 2008, Rio de Janeiro. *Annals of the VII SITRAER*. Rio de Janeiro: E-Papers, 2008. v. 1 and 2. p. 92-99

HELENO, T.; SLAMA, J. G. Fuzzy. Modeling of Annoyance Caused by Aircraft Noise Using LAeqD and LAeqN MetricsD and LAeqN metrics. Journal of Aerospace Technology and Management, v. 5, n. 1, p. 103-110, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018) https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/panorama (acessado em 03/10/2018)

ICAO - International Virtual Aviation Organization. Available at: <http://www.ivao.aero>. Accessed on 23 mar. 2009.

INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO – PLANURB, Perfil Socioeconômico de Campo Grande/Instituto Municipal de Planejamento Urbano – PLANURB. 23 ed. Rev. Campo Grande, 2016.

LI, Y.; SMITH, M.; ZHANG, X. Measurement and control of aircraft landing gear broadband noise. Aerospace Science and Technology, 23. p. 213–223, 2012.

LIJESEN, M.; STRAATEN, W. V. D.; DEKKERS, J.; ELK, R. V.; BLOKDIJK, J. How much noise reduction at airports? Transportation Research Part D: Transport and Environment, 15(1), 51-59: 2010.

ROCHA, R. B.; SLAMA, J. G. Adequação do zoneamento urbano ao zoneamento sonoro dos aeroportos. SITRAER 7, p. 629 – 640: 2008.

SILVA, Edson Santos da. Dinâmica urbanas e aeroportuárias: análise crítica sobre os planos diretores urbanos e aeroportuários e os conflitos entre os instrumentos de regulação – Brasília, 2018

VISMARI, L. F. Vigilância dependente automática no controle de tráfego aéreo: avaliação de risco baseada em modelagem em redes de Petri fluidas e Estocásticas. 2007. Dissertation (Master's Degree) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS EM AEROPORTOS DE MÉDIO PORTE: ESTUDO DE CASO NO AEROPORTO INTERNACIONAL DE CAMPO GRANDE, MATO GROSSO DO SUL

WATER RESOURCE MANAGEMENT AT MEDIUM SIZED AIRPORTS: CASE STUDY AT CAMPO GRANDE INTERNATIONAL AIRPORT, MATO GROSSO DO SUL

Ana Flávia Vieira Tavares
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO
SCS Quadra 04 Bloco A nº 58, CEP: 70312-970, Brasília – DF, (61) 3312-3051, aftavares@infraero.gov.br

Damiana Loures Vieira Botelho
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO
SCS Quadra 04 Bloco A nº 58, CEP: 70312-970, Brasília – DF, (61) 3312-1771, dlvieira@infraero.gov.br

José Carlos Aravéchia Júnior
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO
SCS Quadra 04 Bloco A nº 58, CEP: 70312-970, Brasília – DF, (61) 3312-3215, jcajunior@infraero.gov.br

Leiliane Marques da Silva
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO
SCS Quadra 04 Bloco A nº 58, CEP: 70312-970, Brasília – DF, (61) 3312-3182, lmsilva2@infraero.gov.br

RESUMO

Para permitir a implantação, expansão e operação de aeroportos, é indispensável a utilização de recursos naturais, dentre eles a água. O objetivo deste trabalho é apresentar o gerenciamento de recursos hídricos em aeroportos de médio porte, dando ênfase ao Aeroporto Internacional de Campo Grande por ser o maior aeroporto da rede Infraero no Mato Grosso do Sul. A metodologia consistiu no levantamento *in loco* de dados e na avaliação de riscos potenciais. Como resultado, identificou-se quatro riscos baixos, sete riscos médios e dois riscos altos para o abastecimento de água do Aeroporto, apontando as medidas de controle preventiva e corretiva.

Palavras-chave: Aeroporto, Abastecimento de Água, Esgotamento Sanitário, Gerenciamento de Recursos Hídricos, Consumo de Água.

ABSTRACT

The implementation, expansion and operation of airports use natural resources, including water. The objective of this paper is to present the management of water resources in medium-sized airports, emphasizing Campo Grande International Airport as the largest airport of the Infraero network in Mato Grosso do Sul. The methodology consisted of collection on-site data and potential risk assessment. As a result, four low risks, seven medium risks and two high risks for the airport water supply were identified, pointing the preventive and corrective control measures.

Keywords: Airport, Water Supply, Sanitary Sewage, Water Resources Management, Water Consumption.

1. INTRODUÇÃO

A gestão de recursos hídricos nas bacias hidrográficas deve contemplar todo o conjunto de relações disponibilidade/demanda, usos múltiplos, impactos e ações de conservação, e recuperação de mananciais. Um dos componentes muito importantes do ponto de vista qualitativo e quantitativo é a inserção dos aeroportos do Brasil nas diferentes bacias hidrográficas (Tundisi *et al*., 2011).

O aeroporto é considerado o maior equipamento urbano de um município, possuindo em seus limites um número de pessoas e serviços muitas vezes superior ao do município em que se encontra. Para permitir a implantação, expansão e operação dessa infraestrutura, é indispensável a utilização de recursos naturais, dentre eles a água (Reis, 2004).

De acordo com IIEGA/PMSP (2009), aeroportos consomem grandes quantidades de água, produzem e processam resíduos sólidos e líquidos e sua expansão está diretamente relacionada com a disponibilidade hídrica e a carga orgânica produzida após o tratamento dos resíduos. A gestão de recursos hídricos em aeroportos é, portanto, um processo estratégico que envolve quantidades consideráveis de água com problemas de inserção nas bacias hidrográficas e nas disponibilidades de águas superficiais e subterrâneas.

A gestão dos recursos hídricos em aeroportos deve ser considerada como parte e componente do diagnóstico, planejamento e alocação de água na bacia hidrográfica da qual faz parte o aeroporto. Somente com a concepção de que o aeroporto é um dos componentes e usuários dos recursos hídricos da baia hidrográfica é que se pode avançar no processo de gestão de recursos hídricos dos aeroportos, dentro deste contexto sistêmico e estratégico (Nakagami, 1989).

A gestão de recursos hídricos em aeroportos deve: a) considerar o suprimento adequado de águas para os passageiros, usuários de aeroportos e funcionários; b) oferecer uma avaliação permanente da qualidade da água disponível para segurança coletiva de usuários e passageiros; c) controlar as fontes possíveis de contaminação, avaliação dos riscos e toxicidade; d) criar medidas para redução da demanda e reuso de água envolvendo a educação ambiental e a sustentabilidade do aeroporto e desenvolvendo sistemas de tratamento de resíduos líquidos adequados; e) estimular e motivar o treinamento e a capacitação de gestores e técnicos; e f) avaliar constantemente as atividades na bacia hidrográfica para identificar fontes de contaminação e legalização da qualidade da água e da quantidade disponível. A avaliação da quantidade e da qualidade depende da aplicação de metodologias adequadas e tecnologias apropriadas com a aplicação da legislação (Tundisi, 2009).

As instalações aeroportuárias são capazes de receber um *mix* de passageiros e usuários vindos de diversas partes do país e do mundo, ao mesmo tempo em que atende a sua população fixa. Para que haja garantia do correto controle da qualidade da água nas instalações aeroportuárias, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), órgão federal responsável pela fiscalização e controle sanitário, estabeleceu, por meio da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 091/2016, os critérios de qualidade a serem atendidos nos sistemas de tratamento e/ou distribuição de água potável nos portos, aeroportos e passagens de fronteira. Da mesma forma, a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) nº430/2011 e os normativos estaduais dispõem sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Desta forma, o objetivo do estudo é apresentar o gerenciamento de recursos hídricos em aeroportos de médio porte, dando ênfase ao Aeroporto Internacional de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, por ser o maior aeroporto da rede Infraero no estado. Os objetivos específicos do estudo são:

- Descrever o sistema de abastecimento do aeroporto;
- Relacionar os reservatórios existentes no sítio aeroportuário;
- Relacionar os pontos para coletas de amostras de água em conformidade com os padrões exigidos pela RDC nº 091/2016;

- Relacionar os pontos para coletas de amostras de efluentes em conformidade com os padrões exigidos pela Resolução Conama nº430/2011.

2. METODOLOGIA

2.1. Local do Estudo

O Aeroporto Internacional de Campo Grande foi criado em 21 de julho de 1953 e absorvido pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero) em 03 de fevereiro de 1975. As principais vocações do Aeroporto são negócios e escala estratégica em relação aos países integrantes do Mercosul.

O sítio aeroportuário possui área patrimonial de 10,80 milhões de m², sendo 31,47 milhões de m² de pátio de aeronaves, 7.215 m² de Terminal de Passageiros com capacidade de 1,6 milhão de passageiros e uma pista de pouso e decolagem de 2.600m x 45m (Figura 1).



Figura 1: Identificação do Aeroporto Internacional de Campo Grande. Fonte: *Google Earth*, 2019

O Aeroporto está inserido na Região Hidrográfica do Rio Paraná, mais especificadamente na Bacia Lagoa, mesmo nome do seu córrego principal. O Córrego Lagoa ocorre fora do sítio aeroportuário, sendo contribuinte do principal rio de Campo Grande, o Rio Anhanduí.

A cabeceira do Córrego Buriti (Figura 2) aflora na área da pista de pouso e decolagem, cujo sistema de drenagem conduz as águas deste Córrego até a porção do terreno próxima ao Córrego Lagoa (fora do sítio).

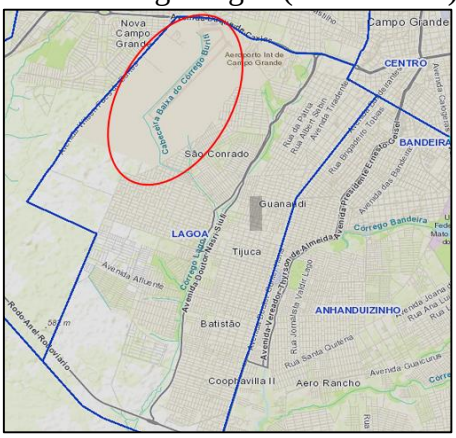


Figura 2: Hidrografia do sítio aeroportuário. Fonte: SIMGEO, 2018

O lençol freático é raso em diversos pontos do sítio aeroportuário, havendo dois afloramentos de água principais: Córrego Buriti, disciplinado por vala em placas de concreto e um outro que é conduzido por meio de uma vala com leito de terra. Há ainda área alagada de extensão relevante localizada na porção sudoeste do terreno, próximo à Seção Contra Incêndio (SCI).

A disponibilidade hídrica abundante que ocorre no Aeroporto é aproveitada por meio de dois poços artesianos: um fornece água à SCI e o outro é ligado à rede de distribuição do Terminal de Passageiros e edificações de apoio, sendo que ambos poços possuem captações do Aquífero Guarani.

2.2. Levantamento de dados

O gerenciamento dos recursos hídricos do Aeroporto Internacional de Campo Grande foi avaliado *in loco* a partir de critérios quantitativos e qualitativos, sendo que para identificar os principais aspectos relacionados

ao gerenciamento foi realizado levantamento da infraestrutura, dos equipamentos e dos procedimentos operacionais que são utilizados para o gerenciamento dos recursos hídricos no Aeroporto, constituindo um diagnóstico.

2.3. Avaliação dos riscos

Para caracterizar um risco associado a um perigo, determina-se a pontuação da probabilidade de ocorrência, e a pontuação da severidade das consequências, conforme Tabela 1. O resultado do cruzamento dessa pontuação auxiliará na avaliação dos riscos (BRASIL, 2012).

Tabela 1: Probabilidade de ocorrência e de consequência de riscos. Fonte: BRASIL, 2012

Consequências			***Ocorrência***		
Nível	Descritor	Descrição das Consequências	Nível	Descritor	Descrição da probabilidade de ocorrência
1	Insignificante	Sem impacto detectável	16	Quase certo	Frequência diária ou semanal
2	Baixa	Pequeno impacto sobre a qualidade estética ou organoléptica da água e/ou baixo risco à saúde, que pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento.	8	Muito frequente	Frequência mensal ou mais espaçada
3	Moderada	Elevado impacto estético e/ou com risco potencial à saúde, que pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento.	4	Frequente	Frequência anual ou mais espaçada
4	Grave	Potencial impacto à saúde, que não pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento.	2	Pouco frequente	A cada 5-10 anos
5	Muito Grave	Elevado risco potencial à saúde, que não pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento.	1	Raro	Apenas em circunstâncias excepcionais

A avaliação do risco é resultante do cruzamento da consequência *versus* ocorrência.

Para essa avaliação de risco dos perigos identificados para o sistema de abastecimento de água do Aeroporto de Campo Grande foi utilizada a metodologia adotada pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2012), utilizando uma matriz semiquantitativa de priorização de riscos, conforme apresentado na Figura 3.

Ocorrência	Consequências				
	Insignificante Peso 1	Baixa Peso 2	Moderada Peso 4	Grave Peso 8	Muito grave Peso 16
Peso 5 Muito frequente	5	10	20	40	80
Peso 4	4	8	16	32	64
Frequente Peso 3	3	6	12	24	48
Pouco frequente Peso 2	2	4	8	16	32
Raro Peso 1	1	2	4	8	16

Figura 3: Matriz semiquantitativa de priorização de risco. Fonte: BRASIL, 2012

3. RESULTADOS

3.1. Sistema de Abastecimento de Água

O Aeroporto Internacional de Campo Grande efetua seu abastecimento de água por meio da concessionária de serviços públicos de fornecimento de água e esgotamento sanitário do município de Campo Grande – Águas Guariroba S.A. A Concessionária atende o Terminal de Passageiros e demais edificações, exceto para a SCI, onde o abastecimento é feito exclusivamente por meio de poço artesiano com vazão de 60 m³/h (Figura 4).



Figura 4: Cisterna do poço artesiano da SCI

O Aeroporto possui um segundo poço artesiano com vazão de 8 m³/h que realiza o fornecimento principal de água em casos de intermitência da rede pública gerida pela Concessionária (Figura 5).



Figura 5: Poço artesiano do Terminal de Passageiros

O sistema de armazenamento em todo o Aeroporto é composto por 9 (nove) principais reservatórios (não se incluem as caixas d'água de 500 litros, 1 m³ e 3 m³ existentes).

O poço artesiano do Terminal de Passageiros e a ligação de água da Concessionária abastecem diretamente o reservatório elevado de concreto de 25 m³, o qual é denominado castelo d'água (Figura 6).



Figura 6: Castelo d'água do Terminal de Passageiros

A desinfecção por cloro só é realizada na água bombeada do poço artesiano do Terminal de Passageiros e poço artesiano da SCI, de acordo com a solicitação da Anvisa.

A capacidade de reserva total instalada do Aeroporto é de 165.000 litros, dos quais apenas 30.000 litros destinam-se às edificações do Aeroporto, exceto à SCI.

Dentre todos os reservatórios existentes, 4 (quatro) destinam-se ao Combate ao Incêndio. Destes, totalizam 135.000 litros, considerando o reservatório elevado do sistema de água da torre da SCI, a cisterna do sistema de Combate ao Incêndio do Terminal de Passageiros (Figura 7), a cisterna do sistema de água da SCI e o reservatório elevado da SCI. Do total de volume dos reservatórios elevados, cerca de 80% destinam-se ao Combate ao Incêndio.



Figura 7: Cisterna próxima ao Terminal de Passageiros

As unidades de reserva de água localizadas na SCI do Aeroporto são de concreto; 02 (dois) reservatórios são elevados, sendo 1 (um) localizado na torre da área de testes dos veículos de Combate ao Incêndio (CCI's), conforme Figura 8, e o outro localizado na edificação da SCI, que fornece água para as dependências da edificação. O terceiro reservatório é a cisterna que armazena água do poço artesiano da SCI. Os volumes destes reservatórios são de 13 m³, 42 m³ e 50 m³, respetivamente.



Figura 8: Reservatório da SCI destinado ao abastecimento dos CCI's

O sistema de armazenamento e distribuição da água no Aeroporto está esquematizado na Figura 9:

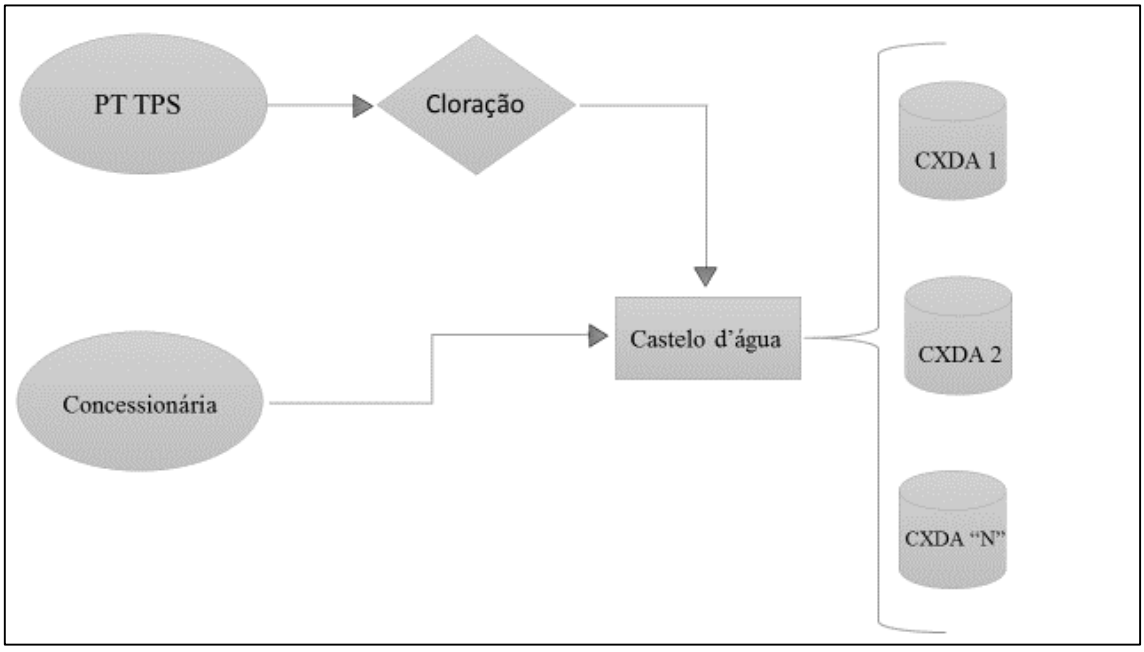


Figura 9: *Layout* simplificado do sistema de abastecimento de água do Aeroporto

Na Tabela 2 estão relacionados os reservatórios existentes de acordo com sua localização, tipo e capacidade de armazenamento de água.

Tabela 2: Relação dos reservatórios principais do Aeroporto

Localização	*Tipo*	*Capacidade (m^3)*
Terminal de Passageiros (Aeroporto)	Elevado	**5**
Castelo d'água (Aeroporto)	Elevado	**25**
Próximo ao Terminal de Passageiros (Aeroporto)	Cisterna	**30**
Torre (SCI)	Elevado	**13**
Poço (SCI)	Cisterna	**50**
Edificações (SCI)	Elevado	**42**

O ponto de fornecimento de água para abastecimento das aeronaves é realizado por meio de *Drinking Water* (QTA), responsável pelo abastecimento dos veículos operados pelas Empresas de Serviço Auxiliar do Transporte Aéreo (Figura 10):



Figura 10: QTA do Aeroporto

O Aeroporto é abastecido Águas Guariroba S.A., cuja Estação de Tratamento de Água (ETA) engloba as etapas de tratamento da Figura 11:

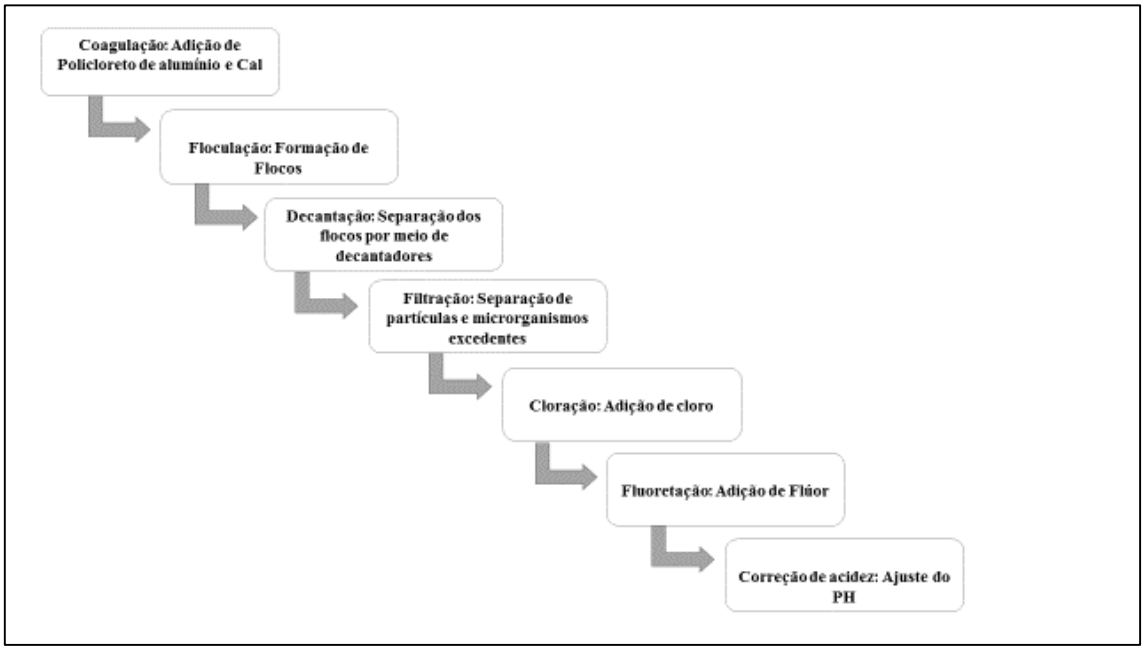


Figura 11: Etapas de tratamento de água

3.2. Identificação e avaliação dos potenciais riscos do Sistema de Abastecimento de Água

Diversos fatores podem influenciar a qualidade da água em todo seu trajeto, desde sua captação até o ponto mais distante da rede de distribuição. No caso do seu sistema de abastecimento de água, o Aeroporto identificou e avaliou os riscos em potencial que podem comprometer a qualidade da água para consumo humano (Tabela 3):

Tabela 3: Identificação e classificação dos riscos potenciais no sistema de abastecimento de água

	Identificação do Perigo	*Causa*	*Risco Potencial*
Reservatórios	Concentração de cloro abaixo do permitido	Deficiência na manutenção dos reservatórios, falha na dosagem de cloro, presença de substâncias redutoras	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos
	Concentração do cloro acima do permitido	Falha na desinfecção, na dosagem de cloro	Intoxicação (diarréia, alteração da flora intestinal) asma, irritação das mucosas
	Turbidez acima do permitido	Possível contaminação do reservatório	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção
	pH abaixo do permitido	Possível contaminação do reservatório	Corrosão na tubulação
	pH acima do permitido	Possível contaminação do reservatório	Incrustação tubulação
	Bactérias heterotróficas acima do permitido	Falha na desinfecção, contaminação do recipiente e no momento da coleta	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos
	Presença de coliformes totais	Falha na desinfecção, contaminação do recipiente e no momento da coleta	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos
	Presença de Escherichia coli	Falha na desinfecção, contaminação do recipiente e no momento da coleta	Infecção intestinal. Interrupção do abastecimento
	Ato de Vandalismo	Falta de segurança	Contaminação da água reservada
Rede de Distribuição	Concentração de cloro abaixo do permitido	Falha na desinfecção, Falta de manutenção	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos
	Concentração do cloro acima do permitido	Falha na desinfecção, Falta de manutenção	Intoxicação (diarréia, alteração da flora intestinal) asma, irritação das mucosas
	Turbidez acima do permitido	Característica do poço. Falta de manutenção e limpeza. Entrada de substância na rede	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção. Entrada de substâncias devido a alguma tubulação quebrada
	Bactérias heterotróficas acima do permitido	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede e pontos com estagnação na distribuição	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos. Possíveis problemas de saúde em indivíduos sensíveis (crianças e idosos)
	Presença de coliformes totais	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede e estagnação na distribuição. Contaminação do recipiente no momento da coleta	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos
	Presença de Escherichia coli	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede e estagnação na distribuição. Contaminação do recipiente no momento da coleta	Infecção intestinal. Interrupção do abastecimento
	Rompimento da tubulação	Falta de manutenção	Possível ingresso de contaminação
	Entupimento na rede	Entrada de objetos estranhos no sistema. Falta de manutenção	Aumento da probabilidade de contaminação
Rede de Distribuição da	Concentração de cloro acima ou abaixo do permitido	Falha na desinfecção, falta de manutenção, dosagem de cloro excessiva	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos. Intoxicação (diarréia, alteração da flora intestinal) asma, irritação das mucosas.
	Pressão reduzida ou negativa na rede	Programação da concessionária de águas e esgoto	Aumento da probabilidade de contaminação devido à entrada de terra, ar, esgoto, na tubulação.

	Qualidade da água fornecida eventualmente prejudicada	Chuvas fortes, falha no sistema de tratamento ou obras de reparos próximo ao ponto de abastecimento	Alteração organoléptica da água, possível aumento da presença de organismos patogênicos.

Para avaliar o risco dos perigos identificados, é utilizada metodologia adotada pelo Ministério da Saúde (Brasil, 2012) que consiste na utilização de uma matriz de priorização de riscos. A Tabela 4 apresenta a análise dos riscos da rede de abastecimento de água do Aeroporto:

Tabela 4: Análise dos riscos da rede de abastecimento de água do Aeroporto

	Identificação do perigo	***Consequência***	***Ocorrência***	***Score***	***Análise do risco***
Água Subterrânea	Concentração de cloro acima ou abaixo do permitido.	2	4	8	Médio
	Turbidez acima do permitido	1	4	4	Baixo
	pH acima do permitido	2	4	8	Médio
	Bactérias heterotróficas acima do permitido	1	8	8	Médio
	Cor aparente acima do permitido	1	4	4	Baixo
Rede de Distribuição e Reserva	Concentração de cloro abaixo ou acima do permitido	2	4	8	Médio
	Turbidez acima do permitido	1	4	4	Baixo
	pH abaixo ou acima do permitido	1	4	4	Baixo
	Bactérias heterotróficas acima do permitido	2	4	8	Médio
	Presença de coliformes totais	2	4	8	Médio
	Presença de Escherichia coli	2	4	8	Médio
	Rompimento da tubulação	1	16	16	Alto
	Ato de Vandalismo	1	16	16	Alto

Verificou-se 4 (quatro) riscos baixos, 7 (sete) riscos médios e 2 (dois) riscos altos. Para todos os riscos identificados, o Aeroporto realiza medidas de controle preventiva e corretiva.

O monitoramento diário de cloro exemplifica uma medida de controle com vistas à manutenção da qualidade da água, assim como as rotinas de manutenção programadas no sistema de distribuição. As análises ensejadas no monitoramento do padrão de potabilidade microbiológica e físico-química, conforme a RDC nº 91/2016 e a PRC nº 05/2017, subsidiam indicadores da qualidade de água ofertada.

O aeroporto realiza procedimentos de limpeza e desinfecção de reservatórios e tubulações a cada 180 (cento e oitenta) dias, ou após a realização de obras na rede de distribuição ou sempre que houver suspeita de contaminação.

3.3. Medidas de eficientização do consumo de água

A Figura 12 apresenta o consumo de água do Aeroporto de janeiro de 2018 a maio de 2019:

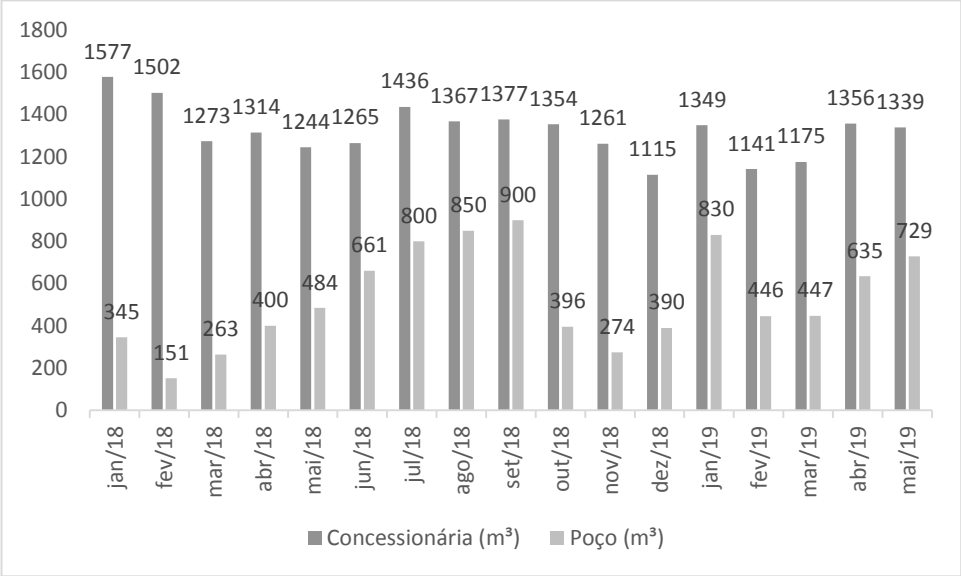


Figura 12: Consumo de água do Aeroporto

O consumo médio medido é de aproximadamente 1.850 m³/mês. O Aeroporto possui 32 (trinta e dois) hidrômetros instalados nas principais entradas de água do sítio aeroportuário. O sistema de hidrometração instalado oferece como maior ganho a cobrança dos gastos com água por parte dos concessionários do aeroporto.

Os *chillers* do sistema de climatização são refrigerados a ar, portanto, o Aeroporto não possui torres de água gelada, não havendo consumo de água de condensação. O Aeroporto possui as seguintes medidas de eficientização de consumo de água:

- Uso de válvulas com sistema de descarga limitado a 6,8 litros por fluxo;
- Instalação de torneiras ou válvulas com fechamento automático;
- Instalação de válvula para chuveiro com fechamento automático e temporizado;
- Hidrômetros dotados de leitura telemétrica instalados;
- Instalação de eliminadores de ar antes dos hidrômetros;
- Avaliação da utilização de fontes alternativas de água não potáveis;
- Reuso de águas cinzas;
- Construção de tanques de contenção nas áreas de treinamento dos CCI's;
- Reaproveitamento da água utilizada nos testes diários dos equipamentos CCI's;
- Segregação do sistema hidrossanitário;
- Dispositivos para medição da vazão de entrada e saída nas elevatórias;
- Remoção de fossas e sumidouros existentes no sítio aeroportuário.

3.4. Pontos de coleta de amostras e plano de amostragem de água

O Aeroporto realiza a amostragem e análise de água em 11 (onze) pontos de coleta:

- Poço artesiano do Terminal de Passageiros;
- Poço artesiano da SCI;
- Castelo d'água do Terminal de Passageiros;
- Copa da área administrativa;
- Ponto de entrada da água da Concessionária;
- Copa do prédio de operações;
- QTA;
- Bebedouro do Terminal de Passageiros;
- Restaurante do Terminal de Passageiros;

- Copa do Terminal de Passageiros;
- Copa/refeitório da SCI.

Estes pontos escolhidos pelo Aeroporto atendem à RDC nº 91/2016 com relação à vulnerabilidade hidráulica e sanitária. Os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos analisados compreendem, respectivamente: cor aparente, sólidos dissolvidos totais e turbidez; cloro residual livre (residuais do agente desinfetante: cloro residual livre e combinado, dióxido de cloro), pH, cloreto, ferro e coliformes totais, *Escherichia coli* e bactérias heterotróficas.

A Tabela 5 apresenta os parâmetros de análise, a frequência de coleta e o número mínimo de amostras realizados pelo Aeroporto:

Tabela 5: Plano de amostragem de água consolidado do Aeroporto

Parâmetros	***Frequência***	***Nº mínimo de amostras***
Cor aparente	Mensal	**10**
Sólidos Dissolvidos	Mensal	**10**
Turbidez	Mensal	**10**
Residuais de	Mensal	**10**
pH	Bimestral	**04**
Cloreto	Bimestral	**04**
Ferro	Bimestral	**04**
Coliformes Totais	Mensal	**06**
Escherichia coli	Mensal	**06**
Bactérias Heterotróficas	Mensal	**2 (20% das amostras p/ coliformes totais)**

3.5. Sistema de Esgotamento Sanitário

O sistema de esgotamento sanitário do Aeroporto é compreendido pela rede coletora dos esgotos gerados no Terminal de Passageiros e nas edificações restantes, considerando a gama de atividades desenvolvidas no sítio aeroportuário (administrativas, de alimentação, de concessionários).

Além dos esgotos sanitários das instalações fixas, o Aeroporto tem como contribuinte de sua rede coletora os efluentes oriundos dos sanitários das aeronaves, coletados pela *Quick Toillet Unit* (QTU), conforme Figura 13, e despejados na cloaca (Figura 14), que constitui um componente da rede de esgotos, sendo ambos os tipos classificados como esgotos sanitários domésticos.



Figura 13: Modelo de QTU que opera no Aeroporto



Figura 14: Cloaca do Aeroporto

A rede coletora do Aeroporto é interligada à rede pública de esgotos, a qual afasta e encaminha os efluentes sanitários domésticos até a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da Águas Guariroba S.A, concessionária de Campo Grande. O Aeroporto realiza campanhas de monitoramento dos efluentes trimestralmente, com coleta e análise do efluente gerado.

O sistema de esgotamento sanitário municipal é composto por redes coletoras, interceptores, estações elevatórias, emissários de recalque e estações de tratamento. Os efluentes são submetidos às seguintes etapas de tratamento (Figura 15):

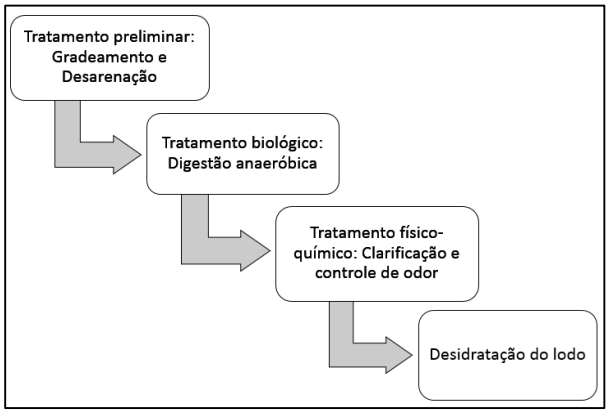


Figura 15: Etapas de tratamento de esgoto

3.6. Identificação e avaliação dos potenciais riscos do Sistema de Esgotamento Sanitário

Alguns fatores podem influenciar a qualidade do tratamento dos efluentes sanitários, em especial o tratamento biológico. Assim, o Aeroporto identificou os perigos, as causas e os riscos associados à rede coletora de esgotos, conforme Tabela 6.

Tabela 6: Identificação e classificação dos riscos potenciais na gestão dos efluentes sanitários

	Identificação do Perigo	***Causa***	***Risco Potencial***
Rede coletora	Contaminação com efluentes oleosos	Direcionamento/ligação clandestina	Prejuízos ao tratamento convencional e contaminação de corpos receptores com óleos, graxas, contaminantes inorgânicos
	Rupturas e vazamentos	Manutenção preventiva deficiente	Transtornos de natureza sanitária no sítio aeroportuário, podendo afetar a operacionalidade e acarretar prejuízos financeiros e de imagem
	Enchentes/entrada de águas pluviais na rede	Direcionamento/ligação clandestina	Prejuízos ao tratamento convencional devido ao incremento da vazão coletada
	Ligação de águas cinzas na rede	Direcionamento/ligação clandestina	Prejuízos ao tratamento convencional e possível contaminação de corpos receptores

A Tabela 7 apresenta a análise dos riscos da rede coletora de esgoto do Aeroporto:

Tabela 7: Análise dos riscos da rede coletora de esgoto do Aeroporto

	Identificação do perigo	***Consequência***	***Ocorrência***	***Score***	***Análise do risco***
Rede coletora	Contaminação com efluentes oleosos	1	4	4	Baixo
	Rupturas e vazamentos	2	8	16	Alto
	Enchentes/entrada de águas pluviais na rede	1	8	8	Médio
	Ligação de águas cinzas na rede	1	4	4	Alto

Verificou-se 01 (um) risco baixo, 01 (um) risco médio e 02 (dois) riscos altos. Para todos os riscos identificados, o Aeroporto realiza medidas de controle preventiva e corretiva.

Como medidas preventivas são realizadas ações programadas de manutenção. Com relação às medidas corretivas, as mesmas normalmente são adotadas de imediato, evitando prejuízos à operacionalidade, aos usuários ou concessionários do Aeroporto e ao solo.

Como ação de mitigação de risco são realizadas vistorias para verificar a integridade da rede coletora, das tampas dos poços de visita, das ligações das edificações contribuintes à rede, bem como realização de limpeza periódica para evitar entupimentos.

O monitoramento por meio de análises laboratoriais também é uma medida de controle, tendo em vista a possibilidade de as áreas responsáveis do Aeroporto conhecerem as características físico-químicas do efluente sanitário e detectarem eventuais alterações que impliquem riscos de natureza higiênico-sanitária ou operacional ou ambiental.

3.7. Pontos de coleta de amostras e plano de amostragem de efluentes

O Aeroporto realiza a amostragem e análise dos efluentes na saída do Terminal de Passageiros, na saída da cloaca, no final da rede coletora do Aeroporto, na entrada e na saída da Caixa Separadora de Água e Óleo da SCI e à jusante do sistema do pátio de aeronaves.

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos são monitorados trimestralmente e seguem a Resolução CONAMA nº 430/2011.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O crescimento no movimento operacional do Aeroporto Internacional de Campo Grande nos próximos anos deverá refletir também em um crescimento no consumo de água e geração de efluentes. Acompanhando este crescimento, o gerenciamento de recursos hídricos do Aeroporto deve-se mostrar eficiente em todas as suas etapas, com alguns pontos de possível melhoria como reforma e identificação do QTA e melhoria da capacidade de reservação de água.

O monitoramento do consumo mensal de água bem como as análises laboratoriais de água e efluentes configuram-se como informações importantes no gerenciamento de recursos hídricos de aeroportos. A partir da avaliação desses parâmetros torna-se possível predizer demandas futuras e avaliar, mesmo que de maneira inicial, a necessidade de infraestrutura para atendimento, servindo como importante ferramenta para auxílio na gestão de recursos hídricos em aeroportos semelhantes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada nº 091/2016. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2884120/RDC_91_2016_COMP.pdf/99de6998-22c0-4ec4-8811-4762a414f598>. Acesso em 03 jul. 2019.

BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Plano de Segurança da água: garantindo a qualidade e promovendo a saúde. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/plano_seguranca_agua_qualidade_sus.pdf>. Acesso em 23 jul. 2019.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 430/2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em 03 jul. 2019.

IIEGA/PMSP. Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente de São Paulo. Manual de gerenciamento de bacias hidrográficas. São Paulo: Manual, 2010.

NAKAGAMI, K. A strategic concept of river/lake basin management and planning. Second Expert Group Workshop on River/Lake Basin Approaches to Evironmentally Sound Management of Water Resourses: Focus on Policy Responses to Water Resources Management Issues and Problems, 1989, Tailândia.

REIS, M. M. Ecoeficiencia na utilização dos recursos hídricos em aeroportos. 2004. Tese pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação, Rio de Janeiro. 2004.

TUNDISI, J. G.; CORRÊA, T. H. P.; GENOVEZ, V. C. R. O. Fontes e Diagnósticos de Oferta Hídrica para Instalações Aeroportuárias. Uso Eficiente de Água em Aeroportos. RiMa Editora. São Paulo: Livro, 2011. p. 17-27.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA, T. A Água. Publifolha. São Paulo: Livro, 2009.

Organized by

Institutional supported by

Financial sponsored by