

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS — UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO

LEANDRO COSTA PEREIRA CRISPIM DE SOUSA

MODELO DE AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA OPERACIONAL DE AEROPORTOS

SÃO LEOPOLDO

2020

Leandro Costa Pereira Crispim de Sousa

MODELO DE AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA OPERACIONAL DE AEROPORTOS

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos — UNISINOS

Orientador:

Prof. Dr. Luiz A. O. Rocha

Co-orientador:

Prof. Dr. André L. Korzenowski

São Leopoldo

2020

S725m Sousa, Leandro Costa Pereira Crispim de.
Modelo de avaliação da segurança operacional de aeroportos / por Leandro Costa Pereira Crispim de Sousa. – São Leopoldo, 2020.

159 f. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Luiz A. O. Rocha; Coorientação: Prof. Dr. André L. Korzenowski, Escola Politécnica.

1.Aeronáutica comercial – Medidas de segurança. 2.Aeroportos – Brasil – Medidas de defesa. 3.Aeronáutica – Medidas de segurança – Planejamento. 4.Análise de envoltória de dados. I.Rocha, Luiz A. O. II.Korzenowski, André L. III.Título.

CDU 656.7:351.814.2
656.71(81): 351.814.1

Catálogo na publicação:
Bibliotecária Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252

LEANDRO COSTA PEREIRA CRISPIM DE SOUSA

MODELO DE AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA OPERACIONAL DE AEROPORTOS

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em (dia) (mês) (ano)

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda – UNISINOS

Prof.^a Dra. Débora Oliveira da Silva – UNISINOS

Prof. Dr. Tiago Wickstrom Alves – UNISINOS

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Alberto Oliveira Rocha, pela sua disponibilidade, pela oportunidade, ajuda e apoio no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. André Luis Korzenowski, pelo auxílio na definição do tema de pesquisa, pelas ideias e contribuições ao longo da construção deste trabalho.

À equipe de professores do PPGEPS UNISINOS, pelas contribuições realizadas ao longo de todas as disciplinas do programa e pelo conhecimento compartilhado, essencial para meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

À banca examinadora do projeto de qualificação, professores doutores André Luis Korzenowski, Daniel Pacheco Lacerda, Débora Oliveira da Silva e Luiz Alberto Oliveira Rocha.

Aos colegas de mestrado, pela contribuição nos trabalhos e atividades do curso.

À ANAC por ter concedido o afastamento para a realização de curso de pós-graduação, sem o qual não teria sido possível a realização do mestrado.

A todos os profissionais e colegas da ANAC que contribuíram com valiosas informações para a construção do trabalho.

Aos meus familiares, por todo apoio e compreensão pelas minhas ausências durante esta jornada.

RESUMO

Para que o crescimento do setor aéreo seja sustentável, é necessário que a infraestrutura e gestão operacional dos aeroportos sejam capazes de absorver a demanda crescente por voos, sem que ocorra a degradação da segurança operacional. Embora a questão da segurança operacional na aviação civil atraia grande preocupação do público, notavelmente poucos estudos investigaram a eficiência da segurança operacional da aviação civil. Neste sentido, a presente pesquisa tem por objetivo desenvolver um modelo de avaliação da segurança operacional para os aeroportos brasileiros que permita identificar suas fragilidades e oportunidades de melhoria. Para atingir o objetivo proposto, foi adotado nesta pesquisa o Método de Modelagem em DEA (MMDEA). Num primeiro momento, identifica-se os principais critérios para avaliação da segurança operacional de aeroportos. Em seguida, é proposto um modelo DEA para a avaliação da eficiência da segurança operacional de aeroportos, no qual as variáveis foram obtidas a partir da revisão sistemática da literatura e validada por especialistas do processo. Para avaliação da eficiência, foi utilizado um modelo Retorno Variável de Escala (VRS) com orientação a output. Nesta pesquisa foram avaliados 125 aeroportos brasileiros, tendo como período de análise o ano de 2018. Os resultados da pesquisa mostram que é possível avaliar a eficiência da segurança operacional de aeroportos utilizando o método DEA, sendo identificados os aeroportos com os melhores e piores desempenhos em relação à segurança operacional, o que permite o ranqueamento dos entes. Por fim, é realizada uma análise comparativa entre a eficácia e a eficiência da segurança operacional dos aeroportos, com o objetivo de classificar os aeroportos em quatro grupos distintos, em função da eficácia e eficiência. Para cada grupo são propostas à ANAC diferentes ações de gestão e priorização da fiscalização dos aeroportos. Ao utilizar elementos objetivos para mensurar a eficiência da segurança operacional, a presente pesquisa contribui para estudos associados à análise da segurança operacional de aeroportos. Além disso, o modelo proposto nesta pesquisa permite auxiliar os gestores de aeroportos e a autoridade de aviação civil nos processos de tomada de decisão e na elaboração de ações para a melhoria da segurança operacional nos aeroportos.

Palavras-chave: Análise Envoltória de Dados. Aeroporto. Segurança operacional.

ABSTRACT

For the sustainable growth of the airline sector, it is necessary that the infrastructure and operational management of airports are able to absorb the growing demand for flights, without the degradation of safety. Although the issue of civil aviation safety has attracted great public concern, notably few studies have investigated the efficiency of civil aviation safety. In this sense, the present research aims to develop a safety performance evaluation model for Brazilian airports that identifies their weaknesses and opportunities for improvement. To achieve the proposed objective, the DEA Modeling Method (MMDEA) was adopted in this research. At first, the main criteria for assessing the safety performance of airports are identified. Then, a DEA model is proposed to evaluate the efficiency of airport safety, where the variables were obtained from a systematic literature review and validated by process experts. To evaluate efficiency, a Variable Returns to Scale (VRS) model with output orientation was used. In this research, 125 Brazilian airports were evaluated, using the year 2018 as the period of analysis. The results of the research show that it is possible to evaluate the efficiency of airport safety using the DEA method, where airports with the best and worst safety performances are identified, allowing to rank the entities. Finally, a comparative analysis is carried out between the effectiveness and efficiency of airport safety, allowing the classification of airports into four distinct groups, according to their effectiveness and efficiency. For each group, different management actions and prioritization of airport inspection are proposed to ANAC. By using objective elements to measure the efficiency of safety, this research contributes to studies associated with the analysis of safety performance at airports. Also, the model proposed in this research can assist airport managers and the civil aviation authority managers at decision-making processes and at the development of actions to improve airports safety performance.

Keywords: Data Envelopment Analysis. Airport. Safety.

LISTA DE FIGURAS

1	Variação percentual da quantidade de passageiros pagos transportados em relação ao ano anterior	11
2	Acidentes fatais e fatalidades a bordo de aeronave comercial por fase de voo.	12
3	Fluxograma de tratamento dos artigos.	17
4	Evolução anual de publicações.	18
5	Principais inputs e outputs de eficiência em aeroportos.	38
6	Setores de análise da segurança operacional.	40
7	Modelagem do ponto de vista da pesquisa operacional.	42
8	Método de modelagem em DEA (MMDEA)	44
9	Modelo conceitual DEA	48
10	Modelo conceitual DEA validado	51
11	Modelo DEA final.	54
12	Comparação entre a eficiência e o comprimento efetivo de pista.	66
13	Comparação entre a eficiência e o movimento de aeronaves.	67
14	Comparação entre a eficiência e o movimento de passageiros.	68
15	Comparação entre a eficiência e a carga processada.	69
16	Comparação entre a eficiência e eficácia da segurança operacional dos aeroportos.	71
17	Quadrantes do gráfico comparativo entre eficiência e eficácia.	72

LISTA DE TABELAS

1	Estatística descritiva dos estudos de análise de eficiência em aeroportos. . .	37
2	Estatística descritiva dos estudos de análise de eficiência da segurança operacional.	41
3	Estatística descritiva dos dados coletados.	55
4	Valores da constante para cada variável invertida.	57
5	Estatística descritiva dos dados após tratamento.	57
6	Seleção de variáveis pelo método Stepwise.	59
7	Estatística descritiva das eficiência calculadas.	61
8	Aeroportos com melhor desempenho da segurança operacional.	62
9	Aeroportos com eficiência de escala ótima.	63
10	Aeroportos com pior desempenho da segurança operacional.	65
11	Estatística descritiva dos dados utilizados na comparação entre eficácia e eficiência.	70
12	Distribuição dos aeroportos nos quatro quadrantes.	72

LISTA DE QUADROS

1	Resultado inicial das pesquisas.	16
2	Estudos de avaliação da segurança operacional de aeroportos	26
3	Tipos de eficiência calculados em DEA	35
4	Classificação dos estudos de análise de aeroportos por tipos de eficiência. . .	36
5	Classificação dos estudos de eficiência da segurança operacional por setor. .	39
6	Principais variáveis classificadas por tipo.	47
7	Profissionais da empresa, responsáveis por apoiar a pesquisa.	49
8	Fontes dos dados coletados	55
9	Aeroportos com eficiência técnica e/ou eficiência de escala.	64

LISTA DE SIGLAS

AHP	Processo de Análise Hierárquica
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ARIS	<i>Architecture of Integrated Information Systems</i>
AVSEC	<i>Aviation Security</i>
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
COMAER	Comando da Aeronáutica
CRS	<i>Constant Returns to Scale</i> (Retorno Constante de Escala)
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i> (Análise Envoltória de Dados)
DMU	<i>Decision Making Unit</i> (Unidade de Tomada de Decisão)
MCDA	<i>Multiple-Criteria Decision Analysis</i> (Análise de Decisão Multicritério)
MMDEA	Método de Modelagem em DEA
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional
PSO-BR	Programa Brasileiro para a Segurança Operacional da Aviação Civil
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
SAGEPE	Sistema para Análise e Gestão da Produtividade e Eficiência
SGSO	Sistema de Gestão da Segurança Operacional
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
VRS	<i>Variable Returns to Scale</i> (Retorno Variável de Escala)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	15
1.2 Justificativa	15
1.2.1 Justificativa Teórica	15
1.2.2 Justificativa Prática	21
1.3 Delimitações	22
1.4 Estrutura do Trabalho	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1 Sistema Aéreo Brasileiro	24
2.1.1 Aeroportos	25
2.2 Análise Envoltória de Dados	27
2.2.1 Modelo Retorno Constante de Escala (CRS - Constant Returns to Scale)	28
2.2.2 Modelo Retorno Variável de Escala (VRS - Variable Returns to Scale)	31
2.2.3 Alvos e Folgas	34
2.2.4 Tipos de eficiência calculados em DEA	35
2.3 Análise de eficiência em aeroportos	36
2.4 Análise de eficiência da segurança operacional	39
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	42
3.1 Metodologia	42
3.2 Método de Trabalho	43
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	61
4.1 Análise da eficiência da segurança operacional	61
4.2 Análise comparativa entre eficácia e eficiência	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
REFERÊNCIAS	76
APÊNDICE A ESTUDOS DE ANÁLISE DE EFICIÊNCIA EM AEROPORTOS	87
APÊNDICE B ESTUDOS DE ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DA SEGURANÇA OPERACIONAL	106
APÊNDICE C PLANILHA COM OS DADOS DOS AEROPORTOS	123
APÊNDICE D PLANILHA COM OS DADOS TRATADOS	129
APÊNDICE E PLANILHA DOS ESCORES OBTIDOS PELA DEA	135
APÊNDICE F PLANILHA COM OS DADOS PARA COMPARAÇÃO DA EFICÁCIA E EFICIÊNCIA	141
ANEXO A ARTIGO	147
A.1 Artigo para a Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional	147

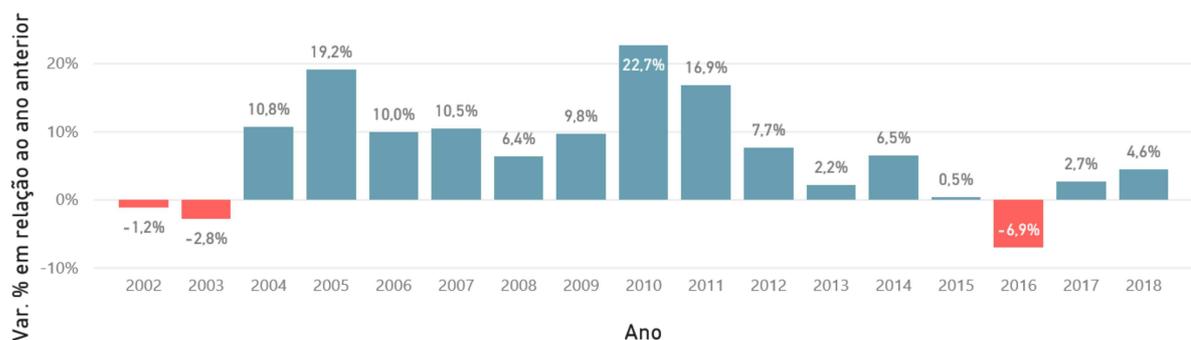
1 INTRODUÇÃO

Segundo Ball et al. (2010), o crescimento do setor aéreo é um fator cada vez mais importante e um fenômeno oneroso. Este crescimento provoca congestionamento nos aeroportos causado pela incompatibilidade entre demanda e capacidade, visto que as companhias aéreas programam mais voos do que a capacidade operacional suportada pelos aeroportos. O aumento dos atrasos nos voos acarreta um maior custo às companhias aéreas, aos passageiros e à sociedade.

Por sua vez, Brooker (2009) prevê que esse crescimento considerável continue a ocorrer nas próximas décadas. Seguindo esta tendência, nos últimos anos é visto um crescimento do setor aéreo brasileiro, motivado por vários fatores, entre os quais o crescimento da economia, a inclusão dos passageiros das classes B e C, a sua relação custo/benefício, a estabilidade econômica, entre outros (RODOLFO; MARCOS; FERREIRA, 2015).

De acordo com os dados da ANAC - Consulta Interativa (2019) mostrado na Figura 1, o setor aéreo brasileiro quase que dobrou o volume de passageiros transportados na última década e, após o recuo ocorrido em 2016, o setor voltou a apresentar crescimento de 2,7% em 2017 e um crescimento ainda maior no ano de 2018, com uma variação positiva de 4,6% quando comparado ao mesmo período do ano anterior.

Figura 1 - Variação percentual da quantidade de passageiros pagos transportados em relação ao ano anterior



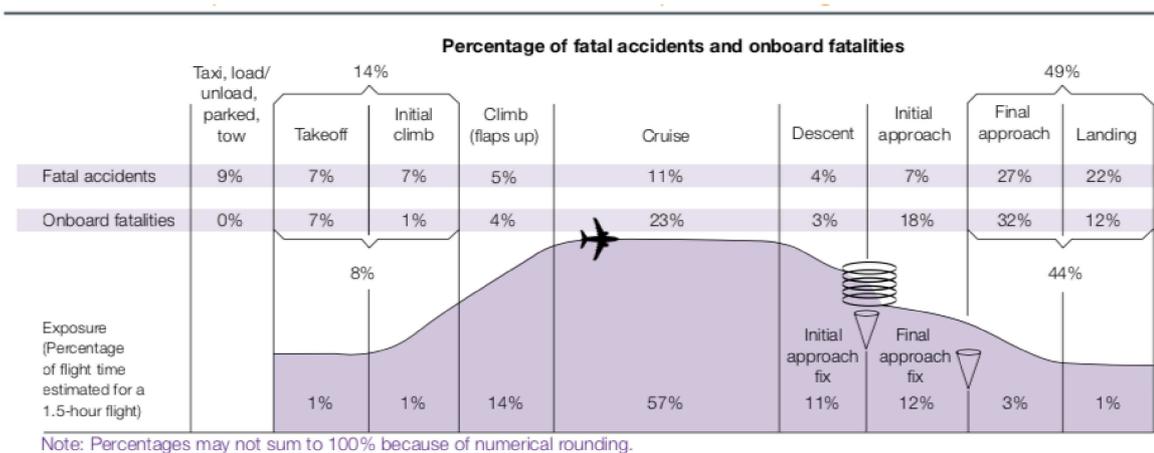
Fonte: ANAC - Consulta Interativa (2019).

Em 2018 o Brasil possuía cerca de 579 aeródromos públicos ativos, sendo que 125 são aeródromos com voo regular ou charter, ou seja, nos quais existe a prestação de serviços de transporte aéreo público de passageiros (ANAC - Aeródromos Públicos, 2018). Para que o crescimento do setor aéreo seja sustentável, é necessário que a infraestrutura e a gestão operacional desses aeroportos sejam capazes de absorver a demanda crescente sem que ocorra a degradação da segurança operacional. Para tal, não deve haver o aumento da quantidade de eventos de segurança operacional nos aeroportos.

Eventos de segurança operacional é definido como o conjunto de acidentes, incidentes graves, incidentes, ocorrências de solo, ocorrências anormais ou qualquer situação de risco que cause ou tenha o potencial de causar dano, lesão ou ameaça à viabilidade da operação aeroportuária ou aérea. (ANAC, 2019).

De acordo com Benedetto (2002), embora a frequência esperada de acidentes aéreos seja menor do que para outras modalidades de transporte, a gravidade desses acidentes é quase sempre catastrófica, sendo que em sua maioria ocorrem durante procedimentos no aeroporto ou em sua proximidade. Segundo dados da Boeing (2017) apresentados na Figura 2, de 2008 a 2017, 27% dos acidentes com vítimas fatais ocorreram durante a aproximação final, 22% no pouso, 9% com a aeronave em solo e 7% na decolagem. Mesmo representando apenas 5% do tempo para um voo de uma hora e meia, tem-se nesse período em que a aeronave está no aeroporto ou em sua proximidade, um total de 65% dos acidentes fatais com aeronaves comerciais.

Figura 2 - Acidentes fatais e fatalidades a bordo de aeronave comercial por fase de voo.



Fonte: Boeing (2017).

Embora o objetivo final seja a eliminação de acidentes com aeronaves e incidentes graves, reconhece-se que a aviação não pode estar completamente livre de perigos e riscos associados. Assim, a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) define como segurança operacional o estado em que a possibilidade de danos às pessoas ou de danos materiais é reduzida e mantida em um nível aceitável, ou abaixo deste, por meio de um processo contínuo de identificação de perigos e gestão de riscos da segurança operacional (OACI, 2018).

A ocorrência de uma sequência de eventos de segurança operacional com consequências menores, indica a falha de componentes relevantes para a segurança operacional que podem desencadear um acidente. Assim, a análise de dados sobre eventos de segurança operacional pode revelar lacunas na segurança operacional, o que possibilita a implementação de ações corretivas antes da ocorrência do acidente (WREATHALL, 2009).

Um problema existente é que cada organização define seu próprio conjunto de indicadores de desempenho de segurança operacional, o que torna difícil a identificação de uma relação entre os indicadores definidos por um aeroporto e os demais. Tradicionalmente, taxas de acidentes eram utilizadas para avaliar o desempenho em segurança, porém como os acidentes tornaram-se raros, passou-se a inserir incidentes e demais eventos de menores proporções na análise, por proporcionar um maior histórico de dados. (ROELEN; KLOMPSTRA, 2012).

Segundo Gonçalves e Correia (2016), a avaliação da segurança operacional do aeroporto requer um processo estruturado com avaliações multidimensionais, ou seja, uma análise de decisão multicritério (MCDA). Esta área de pesquisa consiste em um conjunto de abordagens formais que buscam levar em conta vários critérios para auxiliar uma pessoa ou grupo no processo de tomada de decisão.

Trabalhos na literatura abordaram o tema de avaliação da segurança operacional e/ou riscos aeroportuários utilizando distintos métodos. Benedetto (2002) propôs um modelo para avaliação da segurança operacional de aeroportos durante tempestades. Os resultados do sistema de suporte à decisão mostraram que as tempestades muito curtas (duração de cerca de 5 minutos) são as mais críticas, entretanto esse modelo considera apenas aspectos meteorológicos para a avaliação da segurança do aeroporto.

Por sua vez, Chen, Chen e Lin (2009) classificaram as principais ameaças e os erros humanos que afetam a segurança operacional da aviação. O processo de análise hierárquica (AHP) foi utilizado para calcular o peso de cada critério, sendo então classificados por ordem de importância. Os resultados mostraram que os erros da tripulação de voo é considerada a ameaça mais importante à segurança operacional da aviação, seguida pelos erros da equipe de manutenção de aeronaves. Neste caso, o ranqueamento é baseado apenas em medidas subjetivas, uma vez que o peso de cada critério é definido pelos diferentes profissionais da aviação civil que responderam ao questionário submetido pelo autor.

O estudo de Pacheco, Fernandes e Domingos (2014) também é baseado apenas em medidas subjetivas. Uma metodologia de lógica fuzzy é apresentada para mensurar os riscos de acidentes aéreos nos aeroportos, a partir da percepção de uma amostra de pilotos. Essa metodologia foi aplicada a dois aeroportos da cidade do Rio de Janeiro e os resultados mostram que a percepção de risco dos pilotos para o Aeroporto Santos Dumont é maior do que para o Aeroporto do Galeão.

A revisão da literatura realizada por Markovits-Somogyi (2011) identificou que Data Envelopment Analysis (DEA) é amplamente aplicada para a avaliação de empresas do setor de transportes. A maior parte dos estudos de DEA abrange aeroportos, portos, empresas de transporte público e ferrovias. Por sua vez, Loos et al. (2016) identificaram que a palavra-chave Data Envelopment Analysis (DEA) foi a mais utilizada nos estudos de medição do desempenho aeroportuário, tendo sido utilizada no cálculo de eficiência econômica e eficiência operacional de aeroportos.

A metodologia DEA é um modelo não paramétrico de fronteira introduzido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) que é utilizada para avaliar a eficiência relativa de diferentes unidades de tomada de decisão (DMUs), estabelecendo um indicador de avaliação da eficiência da relação inputs/outputs dessas unidades. Piran, Lacerda e Camargo (2018) propõem que a DEA seja a principal técnica a ser utilizada para análise de eficiência de sistemas produtivos de bens e serviços, pois apresenta as seguintes vantagens:

- Os inputs e outputs não precisam obedecer a um padrão de medidas iguais e não necessitam de uma forma funcional que os relacionem;
- As relações entre inputs e outputs podem ser transformados em um único índice de eficiência de fácil interpretação e que não necessita de atribuição prévia e subjetiva de pesos às variáveis consideradas no modelo;
- As diferenças de porte entre as diferentes DMUs podem ser tratadas com a adoção de modelos que prevejam retornos variáveis de escala;
- Mais de uma DMU pode ser classificada como eficiente, compondo a fronteira de eficiência relativa e servindo como benchmark para as DMUs ineficientes; e
- Estabelecimento de metas de atuação e oportunidades de melhoria a partir da identificação dos alvos e folgas calculados, possibilitando que DMUs ineficientes alcancem a fronteira de eficiência.

Desta forma, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, cujos procedimentos são detalhados na seção 1.2.1. Num primeiro momento foram utilizados os termos "DEA", "airport" e "safety" na pesquisa, entretanto nenhum resultado foi obtido com essa busca, evidenciando a inexistência de estudo de aplicação de DEA para o cálculo da eficiência da segurança operacional de aeroportos. Posteriormente, realizando a busca apenas com os termos "DEA" e "safety", foram obtidos estudos que utilizam DEA para avaliar a eficiência da segurança operacional em outros setores.

Hermans et al. (2009) propõem um modelo computacional baseado em DEA para avaliar a segurança no trânsito em 21 países europeus. No setor da construção civil, El-Mashaleh, Rababeh e Hyari (2010) utilizam a DEA para avaliar o desempenho de segurança de 45 empreiteiras. Por sua vez, Wu et al. (2015) propõem um modelo DEA para avaliar a eficácia do controle de segurança operacional marítima ao longo do rio Yangtze na China. No setor ferroviário, Noroozadeh e Sadjadi (2013) utilizam a DEA para estimar os escores de eficiência das ferrovias de 25 países europeus considerando medidas de segurança operacional.

Embora a questão da segurança operacional na aviação civil atraia grande preocupação do público, notavelmente poucos estudos investigaram a eficiência da segurança operacional da aviação civil (CUI; LI, 2015). Stolzer et al. (2018) avaliaram o sistema de gerenciamento de

segurança operacional de diversos operadores aéreos, em sua maioria empresas aéreas americanas e Martin e Roman (2010) avaliaram a segurança operacional de 10 empresas aéreas norte americanas. Por sua vez, Cui e Li (2015) e Barak e Dahooei (2018) propuseram estudos similares para avaliação de empresas aéreas da China e Irã, respectivamente. Através desses estudos é possível verificar a aplicabilidade do uso da DEA para avaliar a segurança operacional na aviação civil, o que mostra a relevância do estudo proposto.

No Brasil, apesar de possuir um vasto repositório com dados e informações dos aeroportos brasileiros, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) utiliza apenas a periodicidade de fiscalização e o resultado da última fiscalização para avaliar a criticidade desses aeroportos, não fazendo uso de nenhuma ferramenta de avaliação multidimensional (ANAC, 2017). Diante do contexto apresentado, este trabalho possui a seguinte questão de pesquisa: O método DEA é aplicável para avaliar a segurança operacional de aeroportos com base nos dados existentes no repositório da ANAC?

Portanto, a presente pesquisa enquadra-se na área da Engenharia de Produção: Pesquisa Operacional; subárea: Modelagem, simulação e otimização. Esse enquadramento é justificado pelo propósito da pesquisa, em criar um modelo de análise de eficiência para a avaliação da segurança operacional de aeroportos, permitindo o ranqueamento dos entes.

1.1 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa consiste em desenvolver um modelo DEA para avaliar a segurança operacional de aeroportos.

Para se atingir o objetivo geral do trabalho, os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

1. identificar os principais critérios para avaliação da segurança operacional de aeroportos;
2. propor um modelo para a avaliação da segurança operacional de aeroportos, utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA) como método de análise multicritério;
e
3. aplicar o modelo DEA para os aeroportos brasileiros, analisando a influência de cada critério no resultado da eficiência da segurança operacional.

1.2 Justificativa

1.2.1 Justificativa Teórica

Do ponto de vista teórico, foi realizada uma revisão sistemática da literatura referente ao problema de pesquisa, com objetivo de encontrar estudos de avaliação da eficiência da segu-

rança operacional em aeroportos. Para o presente estudo, foi utilizada a base de dados Scopus (Elsevier), que é considerada a maior base de resumos e citações da literatura revisada por especialistas. Num primeiro momento foram utilizados os termos "DEA", "airport" e "safety" para busca no título, resumo e palavras-chave do conteúdo do acervo. Entretanto não foi obtido nenhum resultado com essa busca, identificando assim uma lacuna na literatura.

Em seguida, na busca por estudos de avaliação de eficiência correlatos, foi realizada uma nova pesquisa dividida em três fases. Na primeira pesquisa foram buscados os termos "airport" e "safety", numa segunda pesquisa os termos "DEA" e "airport" e finalmente os termos "DEA" e "safety". A primeira pesquisa teve como objetivo encontrar estudos de avaliação da segurança operacional em aeroportos, visando identificar os tipos de análise existentes na literatura e quais os métodos que foram utilizados. A segunda pesquisa teve como objetivo encontrar estudos de aplicação de DEA em aeroportos, para identificar em qual contexto que o método já foi aplicado. Por fim, a terceira pesquisa teve como objetivo encontrar estudos de aplicação de DEA para avaliação de segurança operacional, visando identificar em quais setores o método foi aplicado no cálculo da eficiência da segurança operacional.

O resultado inicial destas pesquisas encontra-se no Quadro 1, no qual também é apresentada a string de consulta a base de dados Scopus que pode ser utilizada diretamente na ferramenta de pesquisa avançada do sistema para retornar os mesmos resultados obtidos no presente estudo. Não houve restrição para a data inicial das publicações, estendendo-se até maio de 2019, mês de realização da pesquisa. O único filtro aplicado foi o de tipo de documento, para que a busca retornasse apenas artigos.

Quadro 1 - Resultado inicial das pesquisas.

Termos	String de Consulta Scopus	Estudos encontrados
AIRPORT e SAFETY	(TITLE-ABS-KEY (airport) AND TITLE-ABS-KEY (safety)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar"))	1.626
DEA e AIRPORT	(TITLE-ABS-KEY (dea) AND TITLE-ABS-KEY (airport)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar"))	111
DEA e SAFETY	(TITLE-ABS-KEY (dea) AND TITLE-ABS-KEY (safety)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar"))	233

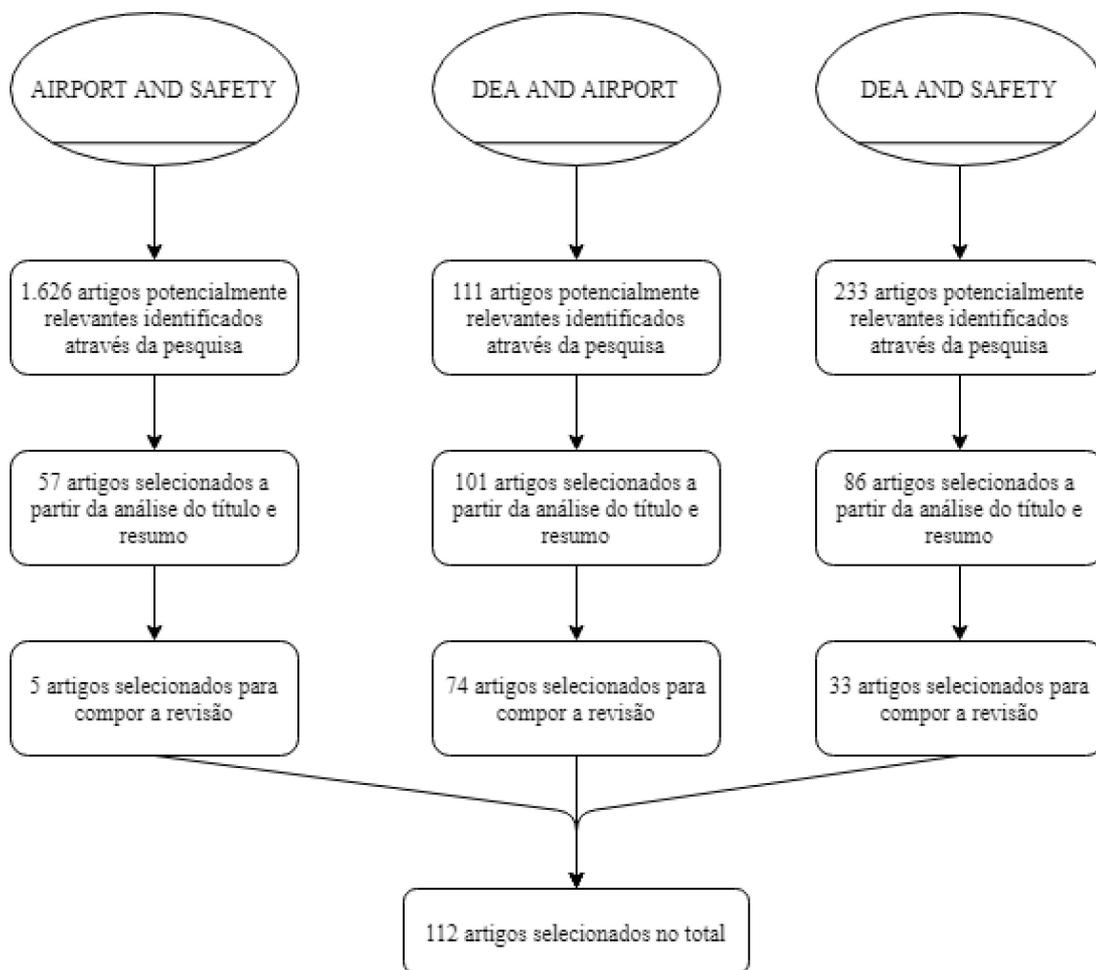
Fonte: Elaborado pelo autor.

Todos os documentos obtidos na etapa anterior foram analisados quanto ao título e resumo, verificando se o artigo realmente abordava o tema da pesquisa. Na primeira pesquisa foram selecionados artigos sobre a segurança operacional relacionada às operações aeroportuárias. Desses artigos foram excluídos aqueles que não tratavam de aeroportos ou que tratavam de aeroportos sob outros aspectos como segurança contra atos de interferência ilícita, tráfego aéreo, meteorológicos, pavimentos e dispositivos de rádio comunicação.

Na segunda pesquisa foram selecionados artigos de aplicação de DEA em aeroportos, sendo excluídos artigos que não tratavam de operações aeroportuárias. Na terceira pesquisa foram selecionados artigos de aplicação de DEA para avaliação da eficiência da segurança operacional de organizações, sendo assim foram excluídos artigos que não avaliavam organizações.

A Figura 3 apresenta o fluxo de tratamento dos artigos para cada uma das pesquisas realizadas. A primeira etapa de refinamento fez com que o número inicial de 1.970 artigos fossem reduzidos a 244 artigos selecionados. Uma segunda etapa de refinamento fez com que esse número fosse reduzidos a um resultado final de 112 artigos selecionados para análise.

Figura 3 - Fluxograma de tratamento dos artigos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

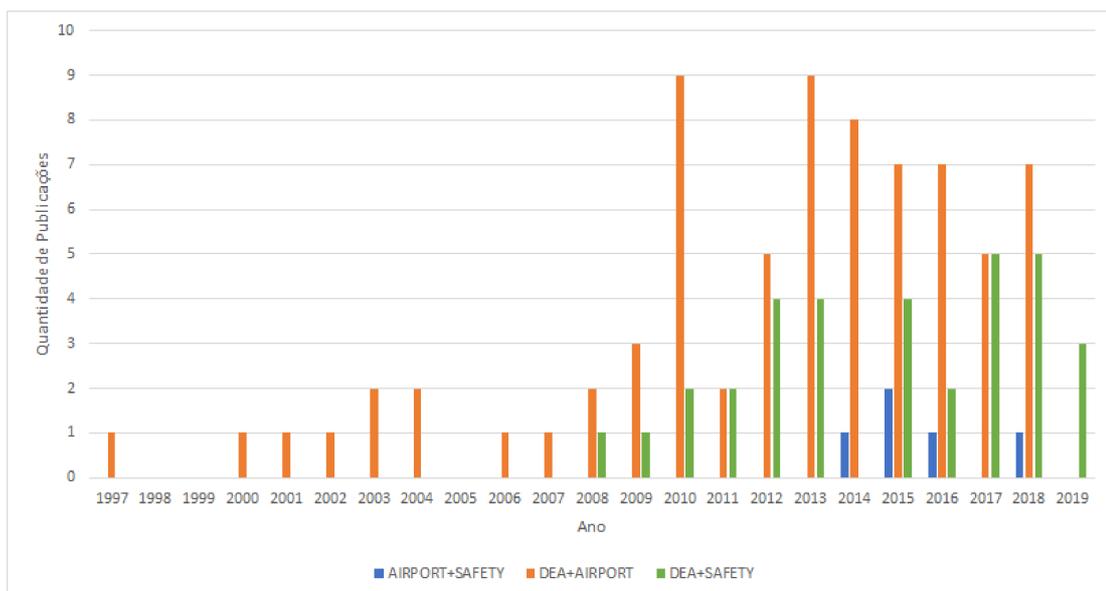
Na segunda etapa de refinamento foram utilizados os seguintes critérios de inclusão dos estudos no escopo da revisão:

- a) trabalhos com possibilidade de acesso ao texto completo; e
- b) trabalhos nos idiomas inglês ou português.

Após a leitura do texto completo dos artigos, foram selecionados na primeira pesquisa apenas aqueles que utilizaram métodos quantitativos para a avaliação da segurança das operações em aeroportos. Para os artigos da segunda e terceira pesquisa foram selecionados apenas aqueles que fizeram a aplicação da metodologia DEA e que apresentaram de forma clara os critérios de input e output do modelo DEA utilizado na pesquisa.

Obtida a partir do resultado final de 112 artigos selecionados, a evolução anual das publicações é apresentada na Figura 4. O gráfico apresenta uma evolução crescente das publicações para as pesquisas realizadas, sendo possível identificar que apenas nos últimos anos foram realizados estudos para a avaliação da segurança operacional de aeroportos, demonstrando a contemporaneidade do assunto proposto. Além disso, é visto que estudos cada vez mais recentes vem utilizando a ferramenta DEA para a avaliação de aeroportos e para a avaliação da eficiência da segurança operacional nas mais diversas áreas.

Figura 4 - Evolução anual de publicações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De uma forma resumida, é apresentada a seguir os principais achados de cada uma das três pesquisas realizadas na literatura. Na primeira pesquisa foram obtidos 5 artigos de avaliação da segurança operacional em aeroportos. Conforme esperado, nenhum desses estudos utilizou o método DEA. Entretanto foi possível identificar que o método TOPSIS (em inglês, Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) é o mais utilizado para avaliar a segurança operacional de aeroportos, tendo sido utilizado nos dois artigos descritos a seguir.

Chang, Shao e Chen (2015) propuseram um modelo TOPSIS para avaliar o desempenho de sistemas de gerenciamento de segurança operacional de aeroportos baseado em um questionário respondido por especialistas que trabalham no setor de aviação, acadêmicos e governo. O modelo é aplicado a três aeroportos internacionais de Taiwan, permitindo avaliar e comparar a

performance do sistema de gerenciamento de segurança operacional desses aeroportos. Entretanto, esse modelo é baseado em medidas subjetivas e além disso não permite que metas sejam estabelecidas para que aeroportos considerados com baixa performance possam melhorar.

Por sua vez, Gonçalves e Correia (2016) propuseram um modelo TOPSIS, utilizando critérios baseados em eventos de segurança operacional, para a avaliação, controle e melhoria da segurança operacional de aeroportos. Esse modelo foi aplicado ao Aeroporto de Guarulhos, utilizando 5 anos de dados, e possibilitou avaliar a evolução da segurança operacional desse aeroporto ao longo do tempo. Esse método apresentou a vantagem de não necessitar de atribuição subjetiva de pesos aos critérios, entretanto ele se limita a um único aeroporto e não utiliza nenhuma característica operacional do aeroporto como critério do modelo. Para estudos futuros, o autor sugere que sejam utilizados diferentes métodos para realizar a modelagem multicritério.

Na segunda pesquisa foram obtidos 74 artigos de DEA aplicados a aeroportos. Após análise, foi possível identificar que a modelagem DEA foi principalmente utilizada para o cálculo da eficiência operacional e/ou econômica dos aeroportos. Também é identificada a utilização de diferentes critérios para o cálculo dessas eficiências e que serão apresentados no Capítulo 2, a partir de uma análise mais detalhada desses estudos.

Gillen e Lall (1997) foram os primeiros a aplicar DEA para o cálculo da eficiência operacional de aeroportos. Neste estudo foi desenvolvido um modelo de avaliação da produtividade de terminais e operações no lado ar¹ de 21 aeroportos dos Estados Unidos ao longo do período de cinco anos. Para isto, definiu o aeroporto como produtor de duas classes distintas de serviços, separando em serviços de terminal e movimentos. Os serviços de terminal foram modelados com duas saídas: número de passageiros e quilos de carga transportada, além de seis entradas: número de pistas, número de portões, área do terminal, número de funcionários, número de esteiras de coleta de bagagem e número de vagas de estacionamento públicas. Os movimentos foram modelados com duas saídas: movimentos de empresas aéreas e movimentos de passageiros, além de quatro entradas: área do aeroporto, número de pistas, área da pista e número de empregados. Por fim, o autor conclui que a eficiência do terminal é melhorada por meio da expansão do número de portões e do seu gerenciamento de modo a garantir sua utilização efetiva. Quanto a eficiência dos movimentos, é identificado que esta é melhorada, principalmente, ao se reduzir o número de movimentos da aviação geral no aeroporto.

Quanto a eficiência econômica de aeroportos, Sarkis (2000) foi o primeiro a realizar um estudo empírico para avaliar a eficiência econômica de 44 dos principais aeroportos dos Estados Unidos. Para tal, propôs um modelo DEA considerando quatro entradas: custos operacionais do aeroporto, número de funcionários do aeroporto, portões e pistas, e cinco saídas: receita operacional, fluxo de passageiros, movimento de aviação comercial, movimento de aviação geral e total de carga transportada. Por fim, concluiu que os critérios selecionados para seu modelo DEA não são exaustivos, podendo ser utilizados dados financeiros adicionais e maior detalhamento dos custos, identificando onde esses custos podem ser usados. O autor também

¹Área de movimento do aeroporto, terrenos adjacentes e edificações, ou parte delas, cujo acesso é controlado.

afirma que o uso de outras premissas de modelagem e critérios adicionais no modelo poderiam fornecer mais esclarecimentos sobre a eficiência econômica dos aeroportos.

Na terceira pesquisa foram obtidos 33 artigos de DEA para avaliação da eficiência da segurança operacional em organizações. Após análise, foi possível identificar que esse método é utilizado em sua maioria para a avaliação da segurança operacional do transporte rodoviário. Além disso, foi possível verificar que a ferramenta é amplamente utilizada para avaliar a segurança operacional em diversos setores como: transporte ferroviário, transporte aéreo, transporte marítimo e indústria. No caso do setor aéreo, é observada a utilização do método DEA para avaliar a segurança operacional de empresas aéreas, conforme visto nos dois artigos descritos a seguir.

A definição de eficiência de segurança da aviação civil foi proposta pela primeira vez por Cui e Li (2015), ao utilizar a modelagem DEA e índice Malmquist para calcular a eficiência da segurança da aviação civil de dez companhias aéreas chinesas no período de 2008 a 2012. Como critérios de entrada do modelo foram utilizados número de trabalhadores na segurança do voo, valor investido em ativos fixos de segurança operacional, valor investido em ativos intangíveis de segurança operacional e valor investido em pesquisa e desenvolvimento. Como saídas do modelo foram utilizados o percentual do volume de vendas de passageiros sem acidentes ou sem incidentes para o volume total de passageiros e a taxa de lucro líquido. Os resultados indicaram que o fator mais importante que afeta a eficiência da segurança da aviação civil das companhias aéreas chinesas é o investimento em treinamento e desenvolvimento de pessoal de segurança da aviação e de pilotos de linha aérea. Além disso, o autor sugere para trabalhos futuros que o método e modelo de seu estudo sejam aplicados às companhias aéreas de outros países.

Por sua vez, Barak e Dahooei (2018) propõe um novo método híbrido usando a modelagem fuzzy DEA e diferentes métodos de lógica fuzzy de tomada de decisão multicritério (F-MADM) para avaliar a segurança operacional de sete empresas aéreas iranianas e selecionar a mais segura. Neste estudo, o fuzzy DEA é utilizado para calcular os pesos dos critérios, em contraste com a abordagem convencional do uso do DEA para cálculo da eficiência das DMUs. Em seguida, um ranking de cada empresa aérea (DMU), com base nos pesos obtidos, é obtido usando os métodos MADM. Seis métodos MADM, incluindo Fuzzy SAW, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy VIKOR, ARAS-F, COPRAS-F e Fuzzy MULTIMOORA, são implementados para classificar as empresas aéreas. Os resultados mostraram que diferentes métodos MADM produzem resultados diferentes e isso pode confundir os tomadores de decisão. Desta forma, foi utilizado o método de agregação de intervalos de utilidade para preencher essa lacuna e permitir a tomada de decisões robustas.

A partir dos estudos obtidos na revisão da literatura, pode-se verificar a aplicabilidade do método DEA para o propósito deste estudo, de criar um modelo para avaliação da segurança operacional de aeroportos. Com o objetivo de auxiliar a definição das variáveis de inputs e outputs, uma análise mais detalhada desses 112 artigos selecionados será apresentada no Capítulo

2. Essa análise pretende avaliar em qual contexto e quais foram os inputs e outputs utilizados nos modelos propostos por esses estudos.

A lacuna encontrada na literatura justifica teoricamente a proposição do presente estudo. A análise de estudos correlatos também possibilitou identificar a viabilidade do estudo, identificando o uso da modelagem DEA para o cálculo de diferentes eficiências em aeroportos. Além disso, foi identificado o uso da modelagem DEA para a avaliação da segurança operacional em distintos setores, incluindo o de transportes, estando assim correlacionado com aeroportos.

1.2.2 Justificativa Prática

Do ponto de vista prático, verifica-se que o estabelecimento de um modelo robusto para a avaliação da segurança operacional de aeroportos, permite identificar os aeroportos mais seguros e cujas melhores práticas podem passar a ser utilizadas pelos aeroportos com menor nível de segurança operacional, proporcionando um aprimoramento da gestão aeroportuária.

Além disso, a avaliação de criticidade para a priorização da fiscalização do setor aeroportuário pela autoridade de aviação civil brasileira é feita atualmente com base na periodicidade de fiscalização e no resultado da última fiscalização, não sendo considerados aspectos relevantes como as características físicas do aeroporto e quantidade de eventos de segurança operacional ocorridos no mesmo.

Com a utilização de uma modelagem DEA é possível realizar uma análise multicritério dos dados dos aeroportos, possibilitando o cálculo da eficiência da segurança operacional e o estabelecimento de um único indicador para avaliação da segurança dos aeroportos. Este método também permite estabelecer benchmarks, que podem auxiliar na identificação de fragilidades e oportunidades de melhoria na segurança operacional dos aeroportos ineficientes. A busca pela minimização de diferenças eventualmente observadas pode nortear o processo de gestão aeroportuária com o objetivo de aprimorar a segurança operacional desses aeroportos.

O indicador de eficiência da segurança operacional permitirá classificar os aeroportos, sendo possível identificar aqueles mais críticos, que necessitam de ações de fiscalização *in loco* mais recorrente, daqueles que podem ter seu desempenho acompanhado por ações à distância, que requerem um menor custo para serem executadas. A utilização de uma análise multicritério para priorização das ações de fiscalização, permitirá uma melhor alocação dos recursos humanos e financeiros da ANAC, possibilitando que seus esforços sejam concentrados nos aeroportos com menores níveis de segurança operacional.

Ainda no âmbito de aeroportos, mas utilizando outra abordagem, é verificada a possibilidade de aplicação da metodologia DEA para o cálculo da eficiência da segurança contra atos de interferência ilícita, comumente conhecida como *security*. O setor de Aviation Security (AV-SEC) da ANAC possui dados de fiscalização, como análises, auditorias e testes, que podem ser utilizados numa modelagem DEA para realizar uma avaliação multicritério dos aeroportos com o objetivo de aprimorar os processos de segurança contra atos de interferência ilícita.

É possível a aplicação da metodologia DEA em outros setores da aviação civil. Por exemplo, modelos DEA podem ser definidos para a avaliação de empresas aéreas, aeronaves, empresas de manutenção e centros de instrução. Como em aeroportos, pode ser realizada a avaliação da eficiência da segurança operacional dessas entidades, mas também outros tipos de eficiência podem ser analisadas, como a eficiência econômica ou a eficiência operacional.

De forma similar como para os aeroportos, a avaliação da segurança operacional dessas outras entidades da aviação civil também pode redefinir a forma de priorização das ações de fiscalização da ANAC. Isso possibilitaria um maior enfoque das ações de fiscalização in-locu nas entidades identificadas com baixa eficiência da segurança operacional, permitindo assim uma melhor utilização dos recursos disponíveis da ANAC.

Por fim, não estando limitada apenas aos aeroportos, a proposição de um modelo para avaliação da segurança operacional pretende contribuir tanto para a teoria, quanto para aspectos gerenciais, ao auxiliar o processo de tomada de decisão de gestores de aeroportos e gestores da autoridade de aviação civil, buscando melhorar a gestão e priorização de suas ações de melhoria da segurança operacional.

1.3 Delimitações

Este estudo pretende propor um modelo para avaliação da segurança operacional de aeroportos, restringindo sua aplicação aos aeroportos brasileiros, nos quais existe a prestação de serviços de transporte aéreo público de passageiros.

Esse modelo pretende ser um instrumento para o auxílio na tomada de decisão de gestores de aeroporto e gestores da autoridade de aviação civil, buscando priorizar suas ações de fiscalização e regulação. Para tanto, serão utilizadas informações coletadas junto à autoridade de aviação civil brasileira como dados para o modelo.

O modelo proposto pretende considerar apenas fatores referentes à segurança operacional dos aeroportos. Sendo assim, o modelo não deve considerar e nem avaliar os aspectos referentes à segurança contra atos de interferência ilícita, comumente conhecida como *security*.

Não será considerada, neste estudo, qualquer avaliação de cunho econômico ou financeiro sobre os aeroportos. Assim, somente a eficiência técnica será considerada no escopo de análise, não sendo objeto de avaliação neste trabalho a eficiência alocativa ou eficiência em custos. As medições de eficiência serão baseadas em DEA, não sendo utilizado nenhum outro método de análise multicritério para este objetivo.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo, denominado introdução, apresenta uma breve contextualização sobre a segurança operacional em aeroportos. Em seguida, traz o objeto de estudo, problema de pesquisa, objetivo geral e obje-

tivos específicos. Por fim, apresenta a justificativa de pesquisa que aborda a relevância deste trabalho do ponto de vista teórico e prático.

O segundo capítulo demonstra o referencial teórico relacionado ao tema de pesquisa. Nesta seção são abordados o sistema aéreo brasileiro, segurança operacional em aeroportos e análise por envoltória de dados. A metodologia de pesquisa utilizada neste trabalho é apresentada no capítulo três. Nesta seção, é apresentado o Método de Modelagem em DEA (MMDEA), contemplando a definição do modelo DEA, do período de tempo da análise e das DMUs. Por fim, é apresentado o processo de coleta e tratamento de dados.

No capítulo quatro é realizada a apresentação e discussão dos resultados. Avalia-se o comportamento das eficiências da segurança operacional dos aeroportos, bem como a influência de cada critério no resultado dessa eficiência. Por fim, é realizada uma análise entre a eficiência e eficácia da segurança operacional dos aeroportos, resultando em quatro diferentes quadrantes nos quais os aeroportos desse estudo são classificados.

Por fim, o capítulo cinco compreende as considerações finais do trabalho seguido pelas referências bibliográficas utilizadas e pelos apêndices que complementam este trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado o referencial teórico utilizado para a elaboração desta pesquisa. O capítulo abordará os conceitos sobre o sistema aéreo brasileiro, segurança operacional em aeroportos, análise envoltória de dados (DEA), análise de eficiência em aeroportos e análise de eficiência da segurança operacional.

2.1 Sistema Aéreo Brasileiro

A segurança operacional no transporte aéreo depende de operações complexas, que envolvem principalmente as empresas aéreas, o controle de tráfego aéreo e os aeroportos. (PACHECO; FERNANDES; DOMINGOS, 2014).

No contexto da aviação, a OACI (2018) define segurança operacional como o estado no qual o risco de lesões a pessoas ou danos a bens é reduzido ou mantido em um nível aceitável, ou abaixo deste, através de um processo contínuo de identificação de perigos e gestão de riscos, com uso de técnicas preditivas que complementam as técnicas reativas.

A partir da década de noventa, houve o surgimento de um mercado de aviação civil cada vez mais competitivo graças ao crescimento global da aviação civil. Neste contexto e com o intuito de evitar a degradação dos níveis de segurança operacional, em 2006, a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) introduziu o Sistema de Gestão da Segurança Operacional (SMS - Safety Management System) na aviação civil, publicando a 1ª edição do Doc 9859 - Manual de Gerenciamento de Segurança Operacional. Uma das ferramentas desse sistema é o monitoramento contínuo por meio de indicadores de segurança operacional, mas que geralmente são baseados apenas no número de acidentes e incidentes. (LOBIANCO; CORREIA, 2013)

Com a projeção de que o tráfego aéreo mundial continue crescendo nas próximas décadas, a OACI publicou em 2013 o Anexo 19, intitulado Gestão da Segurança Operacional, com o objetivo de reforçar o papel desempenhado pelo Estado na gestão da segurança operacional em seu país, enfatizando o conceito de desempenho geral da segurança operacional em todos os domínios, em coordenação com os prestadores de serviços aéreos.

No Brasil, encontra-se em vigor desde 2009, o Programa Brasileiro para a Segurança Operacional da Aviação Civil (PSO-BR) que estabelece as diretrizes e requisitos que devem ser adotadas pelo estado brasileiro, com o objetivo de buscar a melhoria contínua nos níveis da segurança operacional na aviação civil brasileira. Este programa direciona a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e o Comando da Aeronáutica (COMAER) a realizarem o monitoramento e mensuração dos resultados alcançados para a segurança operacional de seus entes regulados (ANAC; COMAER, 2017).

2.1.1 Aeroportos

O Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) nº 153, intitulado Aeródromos - Operação, Manutenção e Resposta à Emergência, estabelece para os operadores de aeródromo que atuam em aeródromo civil público brasileiro, compartilhado ou não, requisitos e parâmetros mínimos de segurança operacional a serem cumpridos durante as etapas de planejamento, execução, monitoramento e melhoria contínua das operações aeroportuárias, manutenção e resposta à emergência em aeródromos (ANAC, 2019).

Aeródromo compartilhado é definido como aeródromo sede de unidade aérea militar, que compartilha sua infraestrutura com aeródromo civil, sediando tanto operações aéreas militares como operações civis de transporte aéreo de passageiros e carga (ANAC, 2013). Para atender ao RBAC nº 153, o operador de aeródromo deve desenvolver, implantar, manter e garantir a melhoria contínua de um Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO) adequado à complexidade das operações realizadas sob sua responsabilidade.

Segundo Roelen e Klompstra (2012) as taxas de acidentes eram utilizadas para avaliar o desempenho da segurança operacional na aviação, entretanto os acidentes tornaram-se raros. Desta forma, com o objetivo de se utilizar um maior histórico de dados, passou-se a considerar todos os eventos de segurança operacional.

Eventos de segurança operacional são definidos como o conjunto de acidentes, incidentes graves, incidentes, ocorrências de solo, ocorrências anormais ou qualquer situação de risco que cause ou tenha o potencial de causar dano, lesão ou ameaça à viabilidade da operação aeroportuária ou aérea. (ANAC, 2019)

Os seguintes estudos de avaliação da segurança operacional de aeroportos foram encontrados na literatura. Pacheco, Fernandes e Domingos (2014) propõem um método para mensurar os riscos de acidentes aeronáuticos nos aeroportos, com base em um questionário utilizado para obter as percepções de risco de uma amostra de pilotos que operam no aeroporto. Como resultado foram obtidos os riscos a serem priorizados pelo SGSO dos aeroportos e das empresas aéreas.

Também baseado em um questionário, Fu e Chan (2014) propõem um método para a avaliação conceitual da cultura organizacional de segurança operacional do aeroporto. Como resultado foram obtidos os itens a serem priorizados na implementação de melhorias no desempenho geral da cultura organizacional de segurança operacional do aeroporto.

Baseado em um questionário e em entrevistas a gestores de segurança operacional, Chang, Shao e Chen (2015) propõem um método para a avaliação do desempenho do SGSO de aeroportos. Como resultado foi obtido o ranqueamento do desempenho do SGSO dos três aeroportos internacionais analisados. Esse resultado pretende fornecer às autoridades aeronáuticas e administradores desses aeroportos instruções para gerenciamento dos riscos à segurança operacional e alocação de materiais e recursos para a realização de treinamentos, a fim de evitar acidentes aéreos.

Por sua vez, utilizando critérios quantitativos baseados em eventos de segurança operacional, Gonçalves e Correia (2016) propõem um modelo para avaliação, controle e melhoria da segurança operacional em aeroportos. Concluiu-se que a segurança operacional do aeroporto analisado não manteve uma tendência de melhoria contínua com o passar dos anos. Além disso, foi possível identificar tendências, critérios com desempenho baixo e a realização de recomendações para a melhoria da segurança operacional do aeroporto.

Por fim, Rezaee e Yousefi (2018) propõem uma abordagem inteligente de tomada de decisão para identificar e analisar riscos em aeroportos. Nesta pesquisa foram realizadas entrevistas com especialistas que atuam no aeroporto para identificação dos riscos existentes. Numa segunda etapa, foi utilizado o método DEA para priorização desses riscos com o objetivo de identificar os principais riscos a serem considerados pelos gestores desse aeroporto.

O Quadro 2 apresenta um resumo da amostra e dos métodos utilizados nos estudos de avaliação da segurança operacional de aeroportos encontrados na literatura.

Quadro 2 - Estudos de avaliação da segurança operacional de aeroportos

Artigos	Métodos	Amostra
Pacheco, Fernandes e Domingos (2014)	Lógica Fuzzy	Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão e Aeroporto Santos Dumont
Fu e Chan (2014)	Método Fuzzy Delphi (FDM); Fuzzy AHP; Análise da Variância (ANOVA)	Aeroporto Internacional de Taipei Songshan em Taiwan
Chang, Shao e Chen (2015)	TOPSIS	3 Aeroportos Internacionais de Taiwan
Gonçalves e Correia (2016)	TOPSIS	Aeroporto Internacional de Guarulhos no Brasil
Rezaee e Yousefi (2018)	Mapa Cognitivo Fuzzy (FCM); Análise Envoltória de Dados Baseado em Folgas (SB-DEA)	Aeroporto Internacional de Urmia no Irã

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dos estudos apresentados, apenas o estudo de Gonçalves e Correia (2016) utiliza critérios sem subjetividade e baseados em eventos de segurança operacional. Mesmo tendo sido aplicado em um único aeroporto, o método TOPSIS poderia ter sido utilizado para comparar a segurança operacional de diferentes aeroportos, entretanto não seria o mais adequado caso houvesse diferença de escala entre os aeroportos, ou seja, não proporcionaria uma comparação adequada entre um aeroporto de grande porte frente a um aeroporto de pequeno porte.

Além disso, o método TOPSIS não possibilita o estabelecimento de metas para a melhoria da segurança operacional. O estudo de Gonçalves e Correia (2016) avaliou a evolução da

segurança operacional do aeroporto ao longo de cinco anos e identificou os principais critérios a serem priorizados. Todavia, devido ao método utilizado, não é possível o estabelecimento de metas de atuação para que o aeroporto busque alcançar seu melhor desempenho identificado dentro do período analisado.

Essas duas limitações apresentadas pelo método TOPSIS não são encontradas no método DEA, o que justifica a escolha desse método para o presente estudo. Apesar de Loos et al. (2016) identificarem o método DEA como o mais utilizado para a medição do desempenho aeroportuário, apenas estudos de análise de eficiência econômica e eficiência operacional de aeroportos foram encontrados na literatura. Contudo, estudos de aplicação da DEA para a avaliação da eficiência da segurança operacional de empresas aéreas, rodovias e ferrovias também foram encontrados, demonstrando a viabilidade da presente pesquisa. Na seção 2.2 serão apresentados os conceitos relativos à análise envoltória de dados (DEA).

2.2 Análise Envoltória de Dados

Análise Envoltória de Dados (DEA) é um modelo não paramétrico de fronteira introduzido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) que é utilizado para avaliar a eficiência relativa de diferentes unidades de tomada de decisão (DMUs). Para cada DMU a eficiência é definida como a razão entre a soma ponderada das saídas e a soma ponderada das entradas. A DEA é uma técnica baseada em programação linear e o modelo básico requer apenas informações sobre entradas e saídas do sistema a ser analisado, podendo-se utilizar várias medidas de entradas e saídas.

Desde o seu desenvolvimento, a DEA vem ganhando crescentes contribuições de pesquisadores e gestores que buscam a sua aplicação nos mais diferentes ramos da economia, dos negócios e da sociedade em geral. Desta forma, a DEA está em constante desenvolvimento pelos pesquisadores, sendo amplamente aceita tanto no campo acadêmico como empresarial (LIU et al., 2013).

Uma revisão da literatura sobre os estudos de DEA aplicada ao setor de transportes foi elaborada por Markovits-Somogyi (2011). Esse estudo revelou que a DEA é amplamente aplicada para a avaliação de empresas no setor de transportes, abrangendo em sua maioria aeroportos, portos, empresas de transporte público e ferrovias. Isso demonstra a aceitação do método DEA para avaliar unidades de tomada de decisão do setor de transportes.

Piran, Lacerda e Camargo (2018) elencam os seguintes benefícios obtidos pela utilização da DEA:

- a) análise simultânea de múltiplas saídas (output) e entradas (input) em uma medida única de eficiência;
- b) identificação dos benchmarks nos períodos da análise realizada;

- c) análise da produtividade e da eficiência em economias de escalas constantes ou variáveis;
- d) análise orientada para a maximização das saídas (outputs) ou redução das entradas (inputs) em uma operação, processo ou organização;
- e) análise e definição das metas e oportunidades de melhoria a partir da identificação dos alvos e folgas calculados; e
- f) suporte a avaliação de benchmarks externos e internos.

Ainda de acordo com Piran, Lacerda e Camargo (2018), a DEA permite a análise de produtividade e eficiência entre diferentes DMUs, auxiliando os gestores no processo de tomada de decisão com o objetivo de:

- a) melhor utilização dos recursos;
- b) redução de custos;
- c) melhor alocação de investimentos; e
- d) definição mais precisa de metas, entre outras.

Os modelos mais utilizados de DEA são: modelo retorno constante de escala (CRS) e modelo retorno variável de escala (VRS). O modelo CRS será apresentado na seção 2.2.1 e o modelo VRS será apresentado na seção 2.2.2. Para ambos os modelos pode-se optar pela orientação a entrada (input) ou saída (output).

A orientação a entrada deve ser utilizada quando se desejar minimizar as entradas e manter constantes as saídas, possibilitando identificar o quanto de entrada deve ser reduzida para se obter a mesma eficiência da DMU eficiente. Quando for utilizada a orientação a saída, se deseja manter constantes as entradas e maximizar as saídas, sendo possível quantificar o aumento das saídas necessário para se obter a mesma eficiência da DMU eficiente. Na próxima seção é apresentado o modelo com retorno constante de escala (CRS).

2.2.1 Modelo Retorno Constante de Escala (CRS - Constant Returns to Scale)

O modelo CRS foi proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e opera com retornos constantes de escala para a construção de uma superfície linear não paramétrica. Este modelo deve ser utilizado quando existir uma relação constante de escala entre as saídas (outputs) e entradas (inputs) das DMUs analisadas. Assim, é normalmente recomendado para a execução de benchmarks internos. No modelo CRS as DMUs eficientes são aquelas cuja eficiência calculada é igual a 1.

O modelo CRS orientado a entrada (input) é representado pelas equações 2.1, 2.2 e 2.3:

$$MAX_{eff0} = \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0}} \quad (2.1)$$

Sendo que:

$$\frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik}} \leq 1, \forall k \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} u_j &\geq 0, \forall j \\ v_i &\geq 0, \forall i \end{aligned} \quad (2.3)$$

Onde:

- $eff0$ = eficiência da DMU 0 em análise
- u_j = peso calculado para o output j, $j=1, \dots, n$
- v_i = peso calculado para o input i, $i=1, \dots, n$
- y_{j0} = quantidade do output j para DMU em análise
- x_{i0} = quantidade do input i para DMU em análise
- y_{jk} = quantidade do output j para DMU k, $k=1, \dots, n$
- x_{ik} = quantidade do input i para DMU k, $k=1, \dots, n$
- k = número DMU em análise
- m = número de outputs
- n = número de inputs

O modelo matemático apresentado deve ser resolvido para cada uma das DMUs, podendo ser transformado em um problema de programação linear. Para tal, é necessário que o denominador da função objetivo seja igual a 1, onde as variáveis de decisão são os pesos u_j e v_i . A equação 2.4 é a função objetivo do modelo de programação que deve ser maximizada.

$$MAX_{eff0} = \sum_{j=1}^m u_j y_{j0} \quad (2.4)$$

Sendo que:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n v_i x_{i0} &= 1 \\ \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} &\leq 0, \forall k \\ u_j &\geq 0, \forall j \\ v_i &\geq 0, \forall i \end{aligned} \quad (2.5)$$

No conjunto de equações 2.5, a segunda equação contempla o conjunto de restrições (uma para cada DMU) que limita a eficiência das DMUs na função objetivo. Por fim, a terceira e quarta equações determinam que as entradas e saídas do modelo devem ser maior ou igual a zero.

O modelo CRS orientado a saída (output) é representado pelas equações 2.6, 2.7 e 2.8. Neste modelo temos que a eficiência é calculada pelo inverso da função objetivo (h_0) = $1/E$, definindo a relação das entradas sobre as saídas.

$$Min_{h_0} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0}}{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0}} \quad (2.6)$$

Sendo que:

$$\frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik}}{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk}} \leq 1, \forall k \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} u_j &\geq 0, \forall j \\ v_i &\geq 0, \forall i \end{aligned} \quad (2.8)$$

Onde:

- $h_0 = 1/eff_0$
- v_i = peso calculado para o input i , $i=1, \dots, n$
- u_j = peso calculado para o output j , $j=1, \dots, m$
- x_{i0} = quantidade do input i para DMU em análise
- y_{j0} = quantidade do output j para DMU em análise
- x_{ik} = quantidade do input i para DMU k , $k=1, \dots, n$
- y_{jk} = quantidade do output j para DMU k , $k=1, \dots, m$

- k = número DMU em análise
- n = número de inputs
- m = número de outputs

O modelo matemático apresentado deve ser resolvido para cada uma das DMUs, podendo ser transformado em um problema de programação linear. Para tal, é necessário que o denominador da função objetivo seja igual a 1, onde as variáveis de decisão são os pesos u_j e v_i . A equação 2.9 é a função objetivo do modelo de programação que deve ser minimizada.

$$Min_{h0} = \sum_{i=1}^n v_i x_{i0} \quad (2.9)$$

Sendo que:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m u_j y_{j0} &= 1 \\ \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} &\leq 0, \forall k \\ u_j &\geq 0, \forall j \\ v_i &\geq 0, \forall i \end{aligned} \quad (2.10)$$

No conjunto de equações 2.10, a segunda equação contempla o conjunto de restrições (uma para cada DMU) que limita a eficiência das DMUs na função objetivo. Por fim, a terceira e quarta equações determinam que as entradas e saídas do modelo devem ser maior ou igual a zero.

Na próxima seção é apresentado o modelo com retornos variáveis de escala (VRS).

2.2.2 Modelo Retorno Variável de Escala (VRS - Variable Returns to Scale)

O modelo VRS foi proposto por Banker, Charnes e Cooper (1984), deriva do modelo CRS e considera como variáveis os rendimentos de escala, permitindo que DMUs de portes diferentes sejam comparadas e utilizadas na mesma análise. Sendo assim, o modelo VRS é normalmente recomendado para a execução de benchmarks externos.

A diferença entre os modelos CRS e VRS está no acréscimo de uma variável de retorno de escala "u" ao numerador, ou "v" ao denominador, do modelo matemático. Essas variáveis tem como objetivo garantir que as restrições das DMUs não limitem a função objetivo.

O modelo VRS orientado a entrada (input) é representado pelas equações 2.11, 2.12 e 2.13:

$$MAX_{eff0} = \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0} + u}{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0}} \quad ou \quad MAX_{eff0} = \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0} + v} \quad (2.11)$$

Sendo que:

$$\frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk} + u}{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik}} \leq 1, \forall k \quad \text{ou} \quad \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + v} \leq 1, \forall k \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} u_j &\geq 0, \forall j \\ v_i &\geq 0, \forall i \end{aligned} \quad (2.13)$$

Onde:

- eff_0 = eficiência da DMU 0 em análise
- u_j = peso calculado para o output j, j=1, ...n
- v_i = peso calculado para o input i, i=1, ...n
- y_{j0} = quantidade do output j para DMU em análise
- x_{i0} = quantidade do input i para DMU em análise
- y_{jk} = quantidade do output j para DMU k, k=1, ...n
- x_{ik} = quantidade do input i para DMU k, k=1, ...n
- u = variável de retorno a escala do numerador
- v = variável de retorno a escala do denominador
- k = número DMU em análise
- m = número de outputs
- n = número de inputs

O modelo matemático apresentado deve ser resolvido para cada uma das DMUs, podendo ser transformado em um problema de programação linear. Para tal, é necessário que o denominador da função objetivo seja igual a 1, onde as variáveis de decisão são os pesos u_j e v_i . A equação 2.14 é a função objetivo do modelo de programação que deve ser maximizada.

$$MAX_{eff_0} = \sum_{j=1}^m u_j y_{j0} + u \quad (2.14)$$

Sendo que:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n v_i x_{i0} &= 1 \\ - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} + u &\leq 0, \forall k \\ u_j &\geq 0, u \in \mathfrak{R} \\ v_i &\geq 0, v \in \mathfrak{R} \end{aligned} \quad (2.15)$$

No conjunto de equações 2.15, a segunda equação contempla o conjunto de restrições (uma para cada DMU) que limita a eficiência das DMUs na função objetivo. Por fim, a terceira e quarta equações determinam que as entradas e saídas do modelo devem ser maior ou igual a zero.

O modelo VRS orientado a saída (output) é representado pelas equações 2.16, 2.17 e 2.18:

$$Min_{eff0} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0} + u}{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0}} \quad ou \quad Min_{eff0} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0}}{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0} + v} \quad (2.16)$$

Sendo que:

$$\frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + u}{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk}} \leq 1, \forall k \quad ou \quad \frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik}}{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk} + v} \leq 1, \forall k \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} u_j &\geq 0, \forall j \\ v_i &\geq 0, \forall i \end{aligned} \quad (2.18)$$

Onde:

- $eff0$ = eficiência da DMU 0 em análise
- v_i = peso calculado para o input i, $i=1, \dots, n$
- u_j = peso calculado para o output j, $j=1, \dots, n$
- x_{i0} = quantidade do input i para DMU em análise
- y_{j0} = quantidade do output j para DMU em análise
- x_{ik} = quantidade do input i para DMU k, $k=1, \dots, n$
- y_{jk} = quantidade do output j para DMU k, $k=1, \dots, n$
- u = variável de retorno a escala do numerador

- v = variável de retorno a escala do denominador
- k = número DMU em análise
- n = número de inputs
- m = número de outputs

O modelo matemático apresentado deve ser resolvido para cada uma das DMUs, podendo ser transformado em um problema de programação linear. Para tal, é necessário que o denominador da função objetivo seja igual a 1, onde as variáveis de decisão são os pesos u_j e v_i . A equação 2.19 é a função objetivo do modelo de programação que deve ser minimizada.

$$Min_{eff0} = \sum_{i=1}^n v_i x_{i0} + u \quad (2.19)$$

Sendo que:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m u_j y_{j0} &= 1 \\ - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} + v &\leq 0, \forall k \\ u_j &\geq 0, u \in \mathfrak{R} \\ v_i &\geq 0, v \in \mathfrak{R} \end{aligned} \quad (2.20)$$

No conjunto de equações 2.20, a segunda equação contempla o conjunto de restrições (uma para cada DMU) que limita a eficiência das DMUs na função objetivo. Por fim, a terceira e quarta equações determinam que as entradas e saídas do modelo devem ser maior ou igual a zero. Na próxima seção é apresentada a análise de alvos e folgas.

2.2.3 Alvos e Folgas

Uma das vantagens da utilização da técnica DEA é a obtenção dos alvos e folgas no cálculo da eficiência. Os alvos são os valores de referência a serem utilizados pela DMU ineficiente em relação a cada entrada ou saída para que esta alcance a eficiência. As folgas são os valores que indicam o quão distante a DMU ineficiente encontra-se da fronteira de eficiência, ou seja a diferença necessária para que esta alcance a DMU benchmark. Sendo assim, é possível quantificar quanto de entrada deve ser reduzida ou de saída deve ser aumentada para que a DMU ineficiente torne-se eficiente.

A equação 2.21 indica como se calcula o alvo para as DMUs ineficientes. Para tal deve-se realizar o produto da posição atual de determinada entrada pelos pesos calculados para as DMU eficientes ou benchmarkings,

$$\sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \quad (2.21)$$

onde:

- x_{ik} = quantidade do input i para DMU k, $k=1, \dots, n$
- λ_k = somatório dos pesos calculados para as DMUs consideradas benchmarkings

2.2.4 Tipos de eficiência calculados em DEA

O modelo DEA permite o cálculo de diferentes tipos de eficiência técnica conforme apresentado no Quadro 3. O cálculo da eficiência técnica padrão foi demonstrado anteriormente, tendo sido o modelo CRS apresentado na seção 2.2.1 e o modelo VRS na seção 2.2.2. Para obtenção da fronteira invertida da eficiência técnica é realizada a troca dos inputs com os outputs e vice-versa, obtendo uma fronteira ineficiente constituída pelas entidades com piores práticas gerenciais.

Quadro 3 - Tipos de eficiência calculados em DEA

Tipo de eficiência	Descrição
Eficiência técnica (padrão)	Constituída pelas unidade eficientes, ou seja, pelas DMUs com os melhores desempenhos, que executam as melhores práticas.
Fronteira invertida da eficiência técnica	Constituída pelas unidade ineficientes, ou seja, pelas DMUs com os piores desempenhos, que não executam as melhores práticas.
Eficiência técnica composta	Constituída por um índice agregado entre eficiência técnica (padrão) e fronteira invertida da eficiência técnica. Para que uma DMU obtenha melhor desempenho, é necessário que obtenha elevado escore na eficiência técnica (padrão) e reduzido escore na fronteira invertida da eficiência técnica.
Eficiência técnica composta (normalizada)	Constituída pela normalização do escore de eficiência da DMU com melhor desempenho na eficiência técnica composta. Nesse caso, essa DMU de melhor desempenho é considerada 100% eficiente e os demais escores de eficiência são normalizados sucessivamente.

Fonte: Piran, Lacerda e Camargo (2018)

A eficiência técnica composta é utilizada na resolução do problema de discriminação entre as DMUs e pode ser apresentada de forma normalizada. O cálculo da eficiência técnica composta é dado pela média aritmética entre a eficiência técnica em relação à fronteira padrão e a ineficiência técnica em relação à fronteira invertida, conforme representado na equação 2.22.

$$\text{Eficiência Técnica Composta} = \frac{\text{Eficiência Técnica} + (1 - \text{Fronteira Invertida})}{2} \quad (2.22)$$

Na próxima seção serão apresentados os estudos de aplicação de DEA para a análise de eficiência em aeroportos.

2.3 Análise de eficiência em aeroportos

A partir da revisão sistemática da literatura apresentada no Capítulo 1, foram encontrados 74 artigos que utilizaram o método DEA para a análise da eficiência de aeroportos. Num primeiro momento esses artigos foram classificados por tipo de eficiência calculada, ou seja, pela unidade de análise do modelo DEA. A unidade de análise é o elemento analisado pelo modelo DEA proposto. Como resultado dessa análise, foi possível identificar que o método DEA foi utilizado para calcular a eficiência operacional e/ou econômica de aeroportos, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Classificação dos estudos de análise de aeroportos por tipos de eficiência.

Tipo de eficiência	Autores
Econômica	Bazargan e Vasigh (2003), Pacheco e Fernandes (2003), Yoshida e Fujimoto (2004), Barros e Dieke (2007), Barros e Dieke (2008), Lam, Low e Tang (2009), Yang (2010a), Yang (2010b), Assaf e Gillen (2012), Gitto e Mancuso (2012), Adler, Liebert e Yazhensky (2013), De Nicola, Gitto e Mancuso (2013), Badiola et al. (2014), Li (2014), Lai et al. (2015), Merkert e Assaf (2015), Ülku (2015), Zou et al. (2015), Chang et al. (2016), Coto-Millán et al. (2016), Liu (2016), Liu (2017), Carlucci, Cirà e Coccorese (2018), Fernandes e Pacheco (2018), Lee e Kim (2018), Storto (2018a), Rabar, Zenzerović e Šajrih (2017), Storto (2018b) e Yoshimoto, Alves e Caetano (2018)
Operacional	Gillen e Lall (1997), Sarkis (2000), Gillen e Lall (2001), Martín e Román (2001), Fernandes e Pacheco (2002), Yu (2004), Martín e Román (2006), Fung, Chow e Van Hui (2008), Chi-Lok e Zhang (2009), Yu (2010a), Chow, Fung e Law (2010), Ha, Yoshida e Zhang (2010), Roghanian e Foroughi (2010), Suzuki et al. (2010), Yu (2010b), Lozano e Gutiérrez (2011), Wanke (2012a), Wanke (2012b), Barros, Bin Liang e Peypoch (2013), Ha et al. (2013), Khezrimotlagh, Salleh e Mohsenpour (2013), Lozano, Gutiérrez e Moreno (2013), Wanke (2013), Yu, Chern e Hsiao (2013), Tsui et al. (2014), Maghbouli, Amirteimoori e Kordrostami (2014), Sutton e Baek (2009), Suzuki et al. (2014), Wu et al. (2014), Amoroso, Castelluccio e Maritano (2015), D'Alfonso, Daraio e Nastasi (2015), Fragoudaki e Giokas (2016), Fragoudaki, Giokas e Glyptou (2016), Gutiérrez e Lozano (2016), Wanke, Barros e Nwagbe (2016), Chen, Lai e Piboonrungrroj (2017), Öztürk e Bal (2017), Wanke e Barros (2017) e Ennen e Batool (2018)
Econômica e Operacional	Curi, Gitto e Mancuso (2011), Merkert e Mangia (2012), Merkert e Mangia (2013), Augustyniak (2014), Merkert e Mangia (2014) e Augustyniak, López-Torres e Kalinowski (2015)

Do ponto de vista operacional, Gillen e Lall (1997) aplicaram o método DEA para avaliar o desempenho dos aeroportos, propondo dois modelos DEA com base nas múltiplas saídas que os aeroportos produzem e nas múltiplas entradas que eles utilizam. O primeiro modelo DEA avalia o desempenho dos terminais de passageiros e o segundo avalia o desempenho das operações aéreas do aeroporto. O resultado desses modelos são utilizados em uma regressão Tobit, na qual são incluídas variáveis ambientais, estruturais e administrativas, fornecendo um índice de desempenho final para cada aeroporto. Nesse estudo foram analisados um conjunto de dados de 21 aeroportos nos EUA durante um período de cinco anos. Além de analisar o desempenho do aeroporto, foi possível identificar a importância relativa de cada variável em afetar o desempenho final, auxiliando a tomada de decisão gerencial.

Do ponto de vista econômico, Bazargan e Vasigh (2003) utilizaram dados financeiros e operacionais num modelo DEA para analisar as medidas de eficiência e desempenho de 45 aeroportos dos Estados Unidos. Além de identificar os aeroportos eficientes e ineficientes, esse estudo concluiu que aeroportos de pequeno porte tendem a ter uma eficiência econômica relativa maior do que os aeroportos de grande porte.

Com o objetivo de auxiliar na seleção das variáveis a serem utilizadas como input e output do modelo DEA do presente estudo, foi realizada uma análise detalhada desses 74 artigos. Nessa análise foram identificadas as DMU's analisadas por cada estudo e as variáveis utilizadas como input e/ou output de cada modelo DEA.

Devido a extensão do quadro de análise dos 74 estudos, é apresentada na Tabela 1 apenas a estatística descritiva dos estudos de análise de eficiência em aeroportos. Entretanto, o quadro completo com o detalhamento de todos os estudos pode ser observado no Apêndice A, onde esses estudos foram agrupados pelo modelo DEA utilizado. Desta forma, estudos que utilizaram os mesmos inputs e outputs na sua modelagem DEA, foram agrupados numa mesma linha, resultando em 56 diferentes modelos DEA para avaliação de eficiência em aeroportos.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos estudos de análise de eficiência em aeroportos.

VARIÁVEIS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÍNIMO	MÁXIMO
DMUs	42,36	24,63	3	110
Critérios	7,20	1,95	4	12
Inputs	3,89	1,64	1	11
Outputs	3,31	1,23	1	6

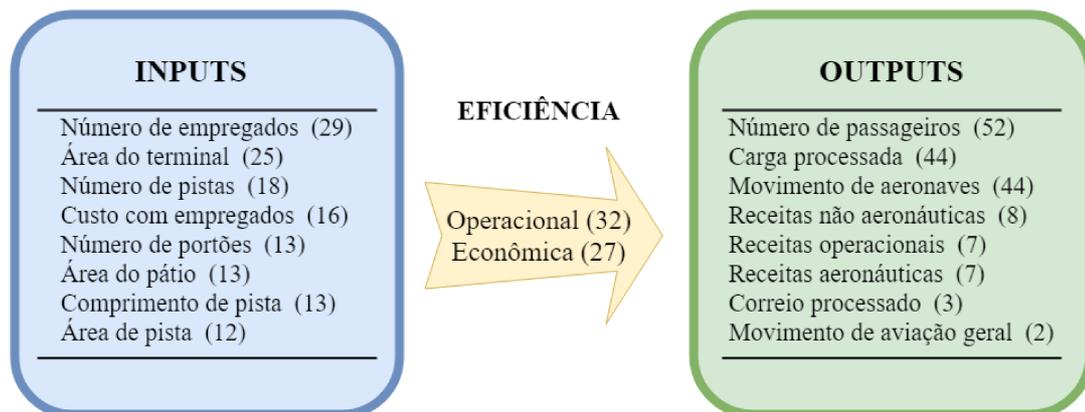
n = 74 artigos

Da amostra utilizada por cada estudo, é possível identificar que o estudo de Gillen e Lall (2001) utilizou a maior amostra, analisando a eficiência operacional de 22 aeroportos dos Estados Unidos pelo período de 5 anos, totalizando uma amostra de 110 DMUs. Nesse estudo foi analisada a relação entre a eficiência das operações aéreas e a eficiência dos serviços do terminal de passageiros de aeroportos. Como resultado, foi concluído que o aeroporto ter serviços do terminal de passageiro eficientes não implica em também ser eficiente nas operações aéreas.

Ao analisar a quantidade de aeroportos avaliada por cada estudo, é possível identificar que o estudo de Assaf e Gillen (2012) utilizou a maior amostra, analisando a eficiência econômica de um total de 73 aeroportos de vários países. Nesse estudo foi examinado o impacto conjunto que a estrutura de governança e a regulamentação econômica têm sobre a eficiência aeroportuária, concluindo que a forma de regulamentação econômica é relativamente mais importante no resultado da eficiência econômica dos aeroportos.

A Figura 5 apresenta um resumo dos resultados obtidos da análise detalhada desses 74 artigos. O valor que se encontra entre parênteses representa a quantidade de vezes que a variável ou o tipo de eficiência foram utilizados em um modelo DEA. Houve estudos que foram contabilizados nas duas categorias de eficiência, uma vez que existem estudos que avaliaram tanto a eficiência operacional quanto a eficiência econômica de aeroportos. Sendo assim, 32 modelos DEA foram utilizados para calcular a eficiência operacional de aeroportos, enquanto 27 modelos DEA foram utilizados para calcular a eficiência econômica de aeroportos.

Figura 5 - Principais inputs e outputs de eficiência em aeroportos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nessa figura foram apresentadas apenas as principais variáveis dos modelos DEA analisados, ou seja, aquelas mais utilizadas como input ou output dentro desses estudos. Como input, foi identificado o uso da variável "Número de empregados" em 29 modelos DEA, da variável "Área do terminal" em 25 modelos DEA e da variável "Número de pistas" em 18 modelos DEA. Olhando para o output, foi identificado o uso da variável "Número de passageiros" em 52 modelos DEA, da variável "Carga processada" em 44 modelos DEA e da variável "Movimento de aeronaves" em 44 modelos DEA.

Na próxima seção serão apresentados e analisados os estudos de aplicação de DEA para a análise de eficiência da segurança operacional.

2.4 Análise de eficiência da segurança operacional

A partir da revisão sistemática da literatura apresentada no Capítulo 1, foram encontrados 33 artigos que utilizaram o método DEA para a análise de eficiência da segurança operacional. Num primeiro momento esses artigos foram classificados por setor, cujas organizações tiveram sua eficiência da segurança operacional calculada.

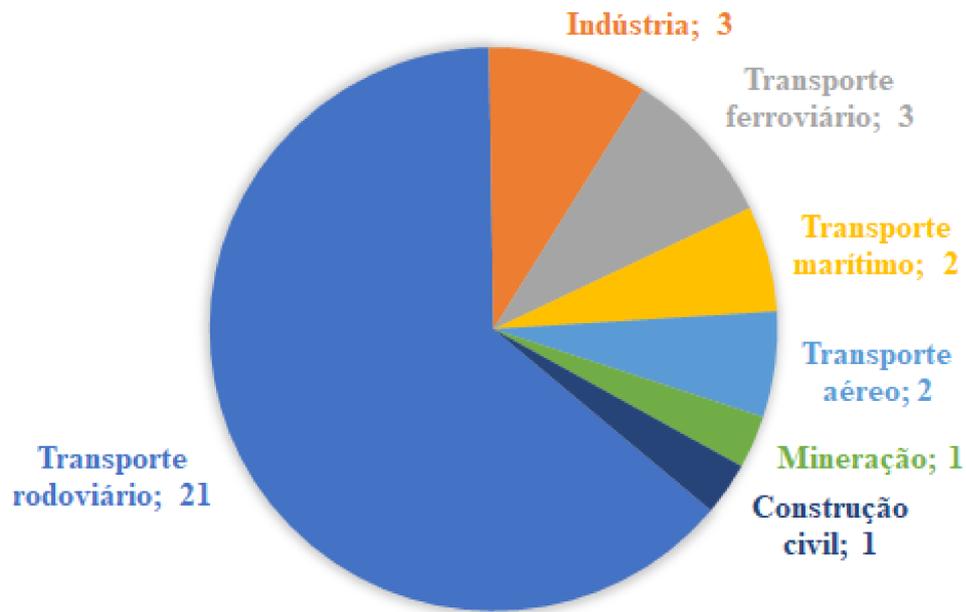
Conforme resultado apresentado no Quadro 5, é possível identificar que o método DEA foi utilizado para calcular a eficiência da segurança operacional de organizações pertencentes a diversos setores. Isso mostra a flexibilidade do método, onde a partir da escolha de diferentes critérios e a definição de diferentes modelos, possibilita o cálculo da eficiência da mesma unidade de análise para organizações de setores distintos.

Quadro 5 - Classificação dos estudos de eficiência da segurança operacional por setor.

Setor	Autores
Construção civil	El-Mashaleh, Rababeh e Hyari (2010)
Indústria	Beriha, Patnaik e Mahapatra (2011), Nissi e Rapposelli (2012) e Yeh (2017)
Mineração	TONG e DING (2008)
Transporte aéreo	Cui e Li (2015) e Barak e Dahooei (2018)
Transporte ferroviário	Noroozadeh e Sadjadi (2013), Djordjević, Krmac e Mlinarić (2018) e Roets, Verschelde e Christiaens (2018)
Transporte marítimo	Wang e Lee (2012) e Wu et al. (2015)
Transporte rodoviário	Lin e Lan (2009), Sun, Rong e Yao (2010), Shen et al. (2011), Chen et al. (2012), Shen et al. (2012), Egilmez e McAvoy (2013), Sadeghi, Ayati e Neghab (2013), Shen et al. (2013), Shen et al. (2015), Alper, Sinuany-Stern e Shinar (2015), Pakkar (2016), Pal e Mitra (2016), Brijs et al. (2017a), Brijs et al. (2017b), Davoodi, Amelian e Shojaei (2017), Rosić et al. (2017), Nikolaou e Dimitriou (2018), Shah et al. (2018), Dadashi e Mirbaha (2019), Ganji e Rassafi (2019) e Ganji, Rassafi e Xu (2019)

A partir do quadro acima, foi elaborada a Figura 6 que apresenta os setores estudados e o quantitativo de estudos encontrados para cada setor. É possível identificar que o transporte rodoviário é o setor que possui a maior quantidade de estudos de avaliação da segurança operacional utilizando DEA. Nesses estudos foram analisadas diferentes organizações desse setor, como por exemplo: rodovias, empresas de ônibus, terminais rodoviários e departamentos de polícia rodoviária.

Figura 6 - Setores de análise da segurança operacional.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por estarem no mesmo setor dos aeroportos, cabe destacar dois estudos que utilizaram DEA para analisar a eficiência da segurança operacional de empresas aéreas. Cui e Li (2015) utilizaram o método DEA e o índice Malmquist para avaliar a segurança operacional de 10 companhias aéreas chinesas no período de 2008 a 2012. Para esse modelo DEA foram propostos como inputs o número de empregados, custo operacional, investimento em safety e investimento em P&D. Como outputs foram propostos a porcentagem do volume de passageiros transportados sem acidentes ou incidentes sobre o volume total de passageiros transportados e a taxa de lucro líquido. Como resultado, concluíram que o fator mais importante para a segurança operacional das companhias aéreas chinesas é o investimento em treinamento e desenvolvimento de pessoal de segurança operacional da aviação e pilotos das companhias aéreas.

Por sua vez, Barak e Dahoei (2018) utilizaram um método híbrido usando o método DEA e, numa segunda etapa, seis métodos de tomada de decisão multicritério (MADM) para avaliar a segurança operacional de 7 companhias aéreas iranianas. Esse método híbrido foi utilizado, pois os dados de segurança operacional de muitas das companhias aéreas analisadas não estavam disponíveis ou não eram confiáveis. Para esse modelo DEA foram propostos como inputs o número de empregados, capital investido em segurança e custos. Como outputs foram propostos a razão do lucro líquido pela receita e a razão do número de voos seguros pelo total de voos comerciais anuais. Esses critérios foram avaliados por dez especialistas do setor para obtenção dos pesos utilizados no ranqueamento de cada companhia aérea. Como resultado, foi possível identificar a companhia aérea iraniana mais segura.

Com o objetivo de auxiliar na seleção das variáveis a serem utilizadas como input e output do modelo DEA do presente estudo, foi realizada uma análise detalhada desses 33 artigos. Nessa análise foram identificadas as DMU's analisadas por cada estudo e as variáveis utilizadas como input e/ou output de cada modelo DEA.

Devido a extensão do quadro de análise dos 33 estudos selecionados, é apresentada na Tabela 2 apenas a estatística descritiva dos estudos de análise de eficiência de segurança operacional. Entretanto, o quadro completo com o detalhamento de todos os estudos pode ser observado no Apêndice B, onde esses estudos foram agrupados pelo modelo DEA utilizado. Desta forma, estudos que utilizaram os mesmos inputs e outputs na sua modelagem DEA, foram agrupados numa mesma linha, resultando em 31 diferentes modelos DEA para avaliação de eficiência da segurança operacional.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos estudos de análise de eficiência da segurança operacional.

VARIÁVEIS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÍNIMO	MÁXIMO
DMUs	38,03	38,68	5	197
Critérios	7,61	3,73	3	17
Inputs	4,09	2,79	1	13
Outputs	3,52	3,25	1	14

n = 33 artigos

Da amostra utilizada por cada estudo, é possível identificar que o estudo de Alper, Sinuany-Stern e Shinar (2015) utilizou a maior amostra, analisando a eficiência da segurança operacional de rodovias de 197 municípios de Israel. Nesse estudo, os municípios foram escalonados do mais eficiente para o menos eficiente e foram calculadas as melhorias necessárias para os municípios ineficientes. Também foi avaliado o efeito de vários parâmetros demográficos na eficiência dos municípios, concluindo que o tamanho da população é a variável ambiental mais significativa a afetar a eficiência dos municípios.

Mesmo quando a unidade de análise é a mesma, os modelos DEA de análise de eficiência da segurança operacional apresentam recorrência de poucas variáveis utilizadas. Isso se deve pelos modelos terem sido aplicados a diferentes organizações de setores distintos. Assim, é possível observar a recorrência de variáveis como "Número de fatalidades", "Número de lesões" e "Número de acidentes". Normalmente essas variáveis aparecem como output dos modelos DEA analisados, entretanto, por se tratarem de variáveis indesejáveis à segurança operacional, alguns modelos apresentam essas variáveis como input.

No próximo capítulo serão abordados os procedimentos metodológicos utilizados na realização desta pesquisa.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo tem por objetivo apresentar o método proposto para avaliar a eficiência da segurança operacional de aeroportos. Num primeiro momento, é definido o método de pesquisa aplicado. Em seguida, apresenta-se o método de trabalho estruturado para que o presente estudo possa ser replicado, contemplando os passos a serem seguidos para se atingir o objetivo da pesquisa.

3.1 Metodologia

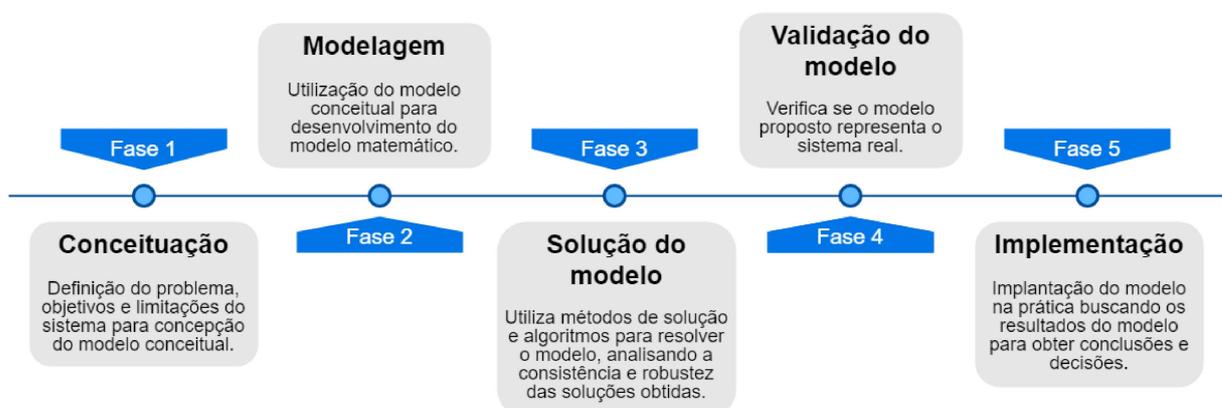
Este estudo busca obter conhecimentos de ordem prática, tendo como finalidade esclarecer como a segurança operacional de um aeroporto pode ser avaliada. Assim, este estudo é classificado como de natureza aplicada com objetivos exploratórios.

Para tal, é empregada uma abordagem quantitativa com o objetivo de auxiliar no desenvolvimento de um modelo para a avaliação da segurança operacional de aeroportos, utilizando o método de Análise Envoltória de Dados (DEA) como método de análise multicritério.

Para esta pesquisa é utilizada a modelagem axiomática descritiva, que está preocupada em analisar modelos quantitativos com o objetivo de entender o processo e explicar o comportamento do sistema modelado (BERTRAND; FRANSOO, 2002).

As fases para a pesquisa em modelagem foram definidas inicialmente por Mitroff et al. (1974). Conforme apresentado na Figura 7, para a abordagem de um problema de modelagem do ponto de vista da pesquisa operacional, Fleury e Miguel (2012) propõem a organização da modelagem em cinco fases.

Figura 7 - Modelagem do ponto de vista da pesquisa operacional.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O processo é iniciado com a criação de um modelo conceitual do sistema estudado (BERTRAND; FRANSOO, 2002). Segundo Fleury e Miguel (2012), o modelo conceitual é uma abstração do sistema real sendo considerado apenas uma fração das variáveis originais. Entretanto, se o modelo conceitual não representa corretamente o problema real então todo o trabalho está comprometido.

Em seguida, é construído o modelo considerando a relação das variáveis do sistema e elaborando, de acordo com Fleury e Miguel (2012), um modelo matemático analítico ou um modelo experimental de simulação. Na próxima fase é resolvido o modelo, cuja solução deve ser analisada quanto a sua consistência e robustez.

A validação do modelo é feita pela comparação com o sistema real, verificando a representatividade do modelo proposto. Por fim, deve ser implementado o modelo na prática, onde seus resultados devem ser utilizados nas conclusões e decisões do sistema real (BERTRAND; FRANSOO, 2002). Na próxima seção será apresentado o método de trabalho estruturado para se atingir os objetivos da presente pesquisa.

3.2 Método de Trabalho

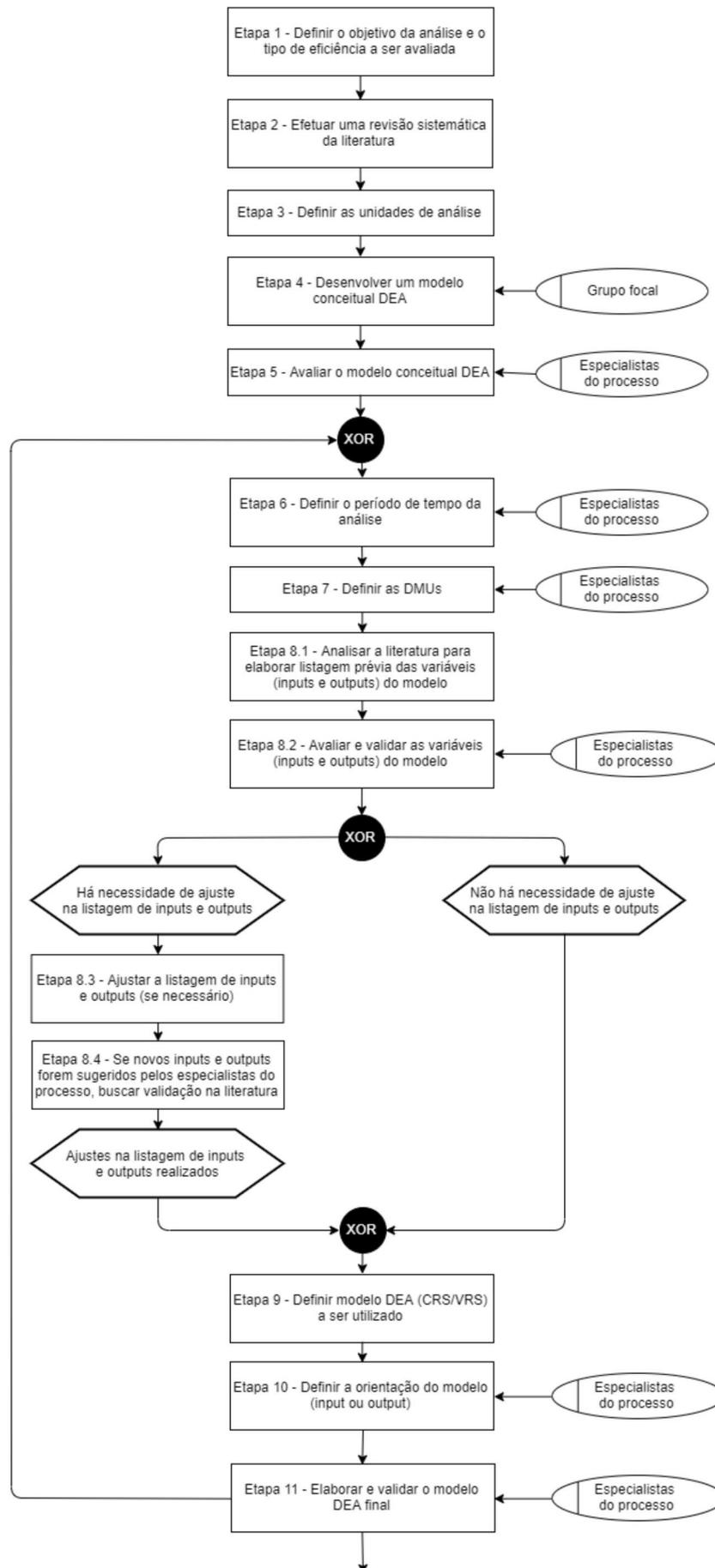
O método de trabalho é responsável por definir a sequência de passos lógicos que o pesquisador deve executar para atingir os objetivos de pesquisa. Sendo assim, será adotado o Método de Modelagem em DEA (MMDEA) proposto por Piran, Lacerda e Camargo (2018). Este método oferece uma visão global e sistêmica do processo, contemplando todas as fases de modelagem em DEA. Na aplicação deste método é considerada a interação entre os pesquisadores e especialistas do processo, o que aproxima a teoria da prática.

O fluxograma do MMDEA é apresentado na Figura 8, utilizando o framework ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) concebido por Scheer (2013). Neste fluxo, os retângulos representam as atividades que devem ser executadas; os círculos ovais indicam os responsáveis que devem participar da atividade sinalizada; os círculos representam um conector lógico de decisão onde o executor deve tomar a decisão de caminho a ser seguido, neste fluxo temos apenas o conector lógico "ou exclusivo" ou "disjunção exclusiva", mais conhecido por XOR; e os hexágonos representam um evento de decisão, conectando a decisão tomada com o restante do processo.

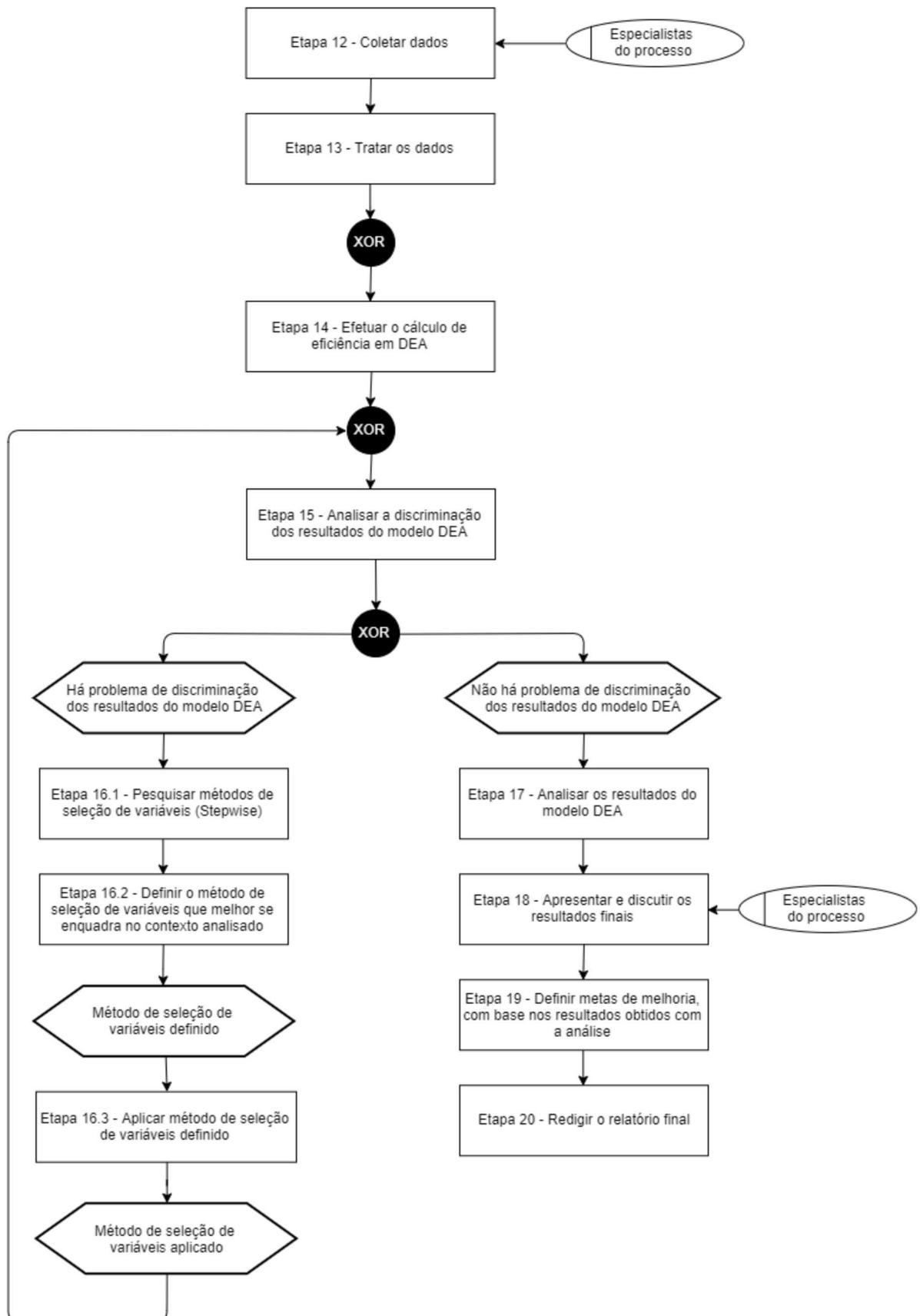
A seguir serão detalhadas cada uma das etapas e subetapas delineadas no MMDEA.

Figura 8 - Método de modelagem em DEA (MMDEA)

(continua)



(conclusão)



Etapa 1 - Objetivo da análise e do tipo de eficiência a ser avaliada

A primeira etapa do método consiste na identificação do problema a ser analisado e na definição do objetivo da análise. O problema de se avaliar adequadamente um aeroporto quanto à sua segurança operacional foi apresentado na seção 1.1. Quanto ao objetivo deste trabalho, de se desenvolver um modelo para avaliar a eficiência da segurança operacional de aeroportos, foi detalhado na seção 1.2. Em síntese, este estudo pretende avaliar a eficiência técnica do aeroporto, relativa a sua segurança operacional.

Etapa 2 - Revisão sistemática da literatura

Nesta etapa é recomendada a realização de uma revisão sistemática da literatura, como por exemplo, seguindo os procedimentos propostos por Morandi e Camargo (2015). A revisão sistemática da literatura é utilizada para mapear, encontrar, avaliar criticamente, consolidar e agregar os resultados de estudos primários relevantes acerca de uma questão ou tópico de pesquisa, bem como identificar lacunas a serem preenchidas, resultando em uma síntese.

Para a obtenção de informações relevantes ao tema estudado, deve-se realizar pesquisa de artigos, dissertações, teses e livros, em bases de dados de publicações científicas nacionais e internacionais. Nesta revisão, deve-se buscar pesquisas similares ao problema de pesquisa definido, com o objetivo de auxiliar nas próximas etapas do método, como na definição das DMUs ou nas variáveis de inputs e outputs a serem estabelecidas para o modelo DEA.

Os procedimentos para a revisão sistemática da literatura do presente estudo foram apresentados na seção 1.2.1. Essa revisão foi dividida em três fases, onde foram pesquisados os termos "DEA", "airport" e "safety", agrupados dois a dois, para busca no título, resumo e palavras-chave do conteúdo do acervo.

A partir da análise dos estudos selecionados, foi possível verificar a aplicabilidade do método DEA para o propósito deste estudo, de criar um modelo para avaliar a eficiência da segurança operacional de aeroportos. Em seguida, foi apresentada no Capítulo 2 uma análise detalhada dos artigos selecionados, tendo como objetivo auxiliar a definição das variáveis de inputs e outputs a ser realizada nas etapas 4 e 8 do método de trabalho. Nesta análise foram avaliados o contexto utilizado e as variáveis de input e output utilizadas nos modelos DEA propostos pelos estudos encontrados na literatura.

Etapa 3 - Unidade de análise

Na terceira etapa, é necessária a definição da unidade de análise do estudo, ou seja o elemento a ser analisado no contexto do estudo. Para esta pesquisa, foi definida a segurança operacional como unidade de análise a ser utilizada como base para o desenvolvimento do modelo DEA.

Etapa 4 - Modelo conceitual DEA

Por ser uma representação simplificada da realidade, o modelo conceitual a ser desenvolvido, nesta etapa, permite um melhor entendimento do contexto da análise que será efetuada. A partir da revisão sistemática da literatura apresentada no Capítulo 2, foi possível identificar estudos que auxiliaram na elaboração do modelo conceitual DEA.

Para a avaliação da segurança operacional de aeroportos, foi definido um processo no qual inputs que representam o risco operacional são transformados em outputs que representam a segurança operacional. Com o objetivo de selecionar as variáveis de input e output desse modelo DEA, as principais variáveis encontradas na literatura foram classificadas por tipo, onde o resultado pode ser observado no Quadro 6.

Quadro 6 - Principais variáveis classificadas por tipo.

Capacidade Operacional	Financeiro	Risco Operacional	Segurança Operacional
Área do pátio	Custo com empregados	Área de pista	Número de acidentes
Área do terminal	Receitas aeronáuticas	Carga processada	Número de fatalidades
Número de pistas	Receitas não aeronáuticas	Comprimento de pista	Número de lesões
Número de portões	Receitas operacionais	Correio processado	
		Movimento de aeronaves	
		Movimento de aviação geral	
		Número de empregados	
		Número de passageiros	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a classificação das principais variáveis, foi realizada uma análise para verificar a relevância dessas variáveis para o modelo DEA proposto. Quanto a capacidade operacional, caso um aeroporto passe a operar acima de sua capacidade, representaria um risco às operações, com impacto direto na segurança operacional desse aeroporto. Entretanto, no Brasil, aeroportos saturados são coordenados, ou seja, com o objetivo de harmonizar a demanda por operações aéreas com a capacidade aeroportuária disponível, o acesso à infraestrutura desses aeroportos é restringida, sendo necessária a alocação prévia de um slot¹ para que ocorra uma operação aérea. Então, por existir esse mecanismo de controle que proporciona a mitigação desse risco, as variáveis do tipo capacidade operacional não foram consideradas para compor o modelo DEA.

Quanto ao aspecto financeiro, foi apresentada na seção 1.3 a delimitação do presente estudo, na qual não se pretende realizar avaliação de cunho econômico ou financeiro sobre os aeroportos. Desta forma, não será analisado o impacto de questões econômicas sobre a

¹Horário estabelecido para uma aeronave realizar uma operação de chegada (calço) ou uma operação de partida (descalço) em um aeroporto coordenado.

segurança operacional dos aeroportos e, por isso, as variáveis do tipo financeiro também não foram consideradas para compor o modelo DEA.

Visto que o risco operacional impacta diretamente na segurança operacional de aeroportos, as variáveis desse tipo foram consideradas para compor o modelo DEA. Entretanto, por terem sido identificadas similaridades entre algumas dessas variáveis, foi necessário selecionar aquelas que passariam a compor o modelo DEA.

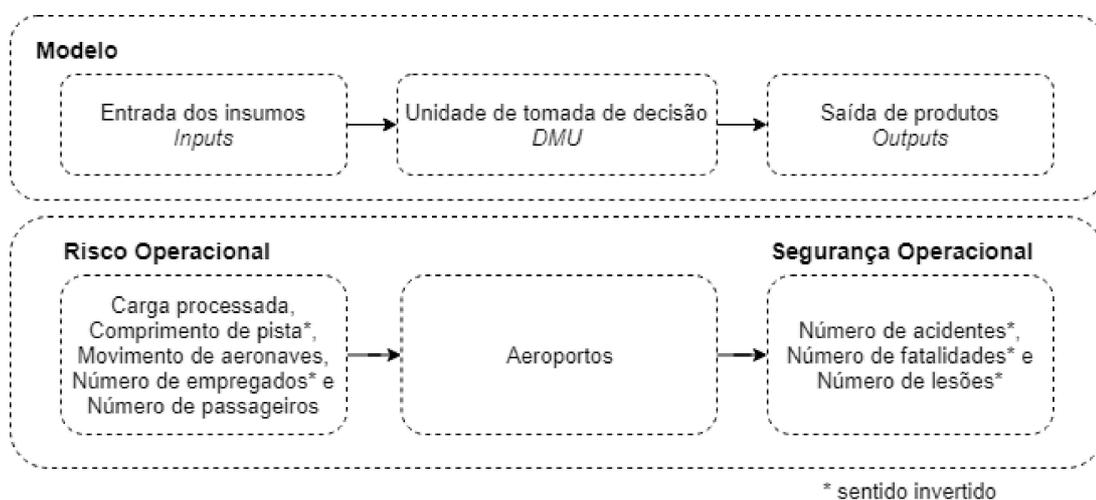
A primeira similaridade foi encontrada entre a variável área de pista e a variável comprimento de pista, uma vez que a área é representada pela multiplicação do comprimento pela largura. A largura de pista de aeroportos é padronizada e, por regulamento, é definida com base no comprimento de pista, o que a torna diretamente dependente desta variável. Sendo assim, optou-se por descartar a variável área de pista e incluir no modelo DEA apenas a variável comprimento de pista.

Outra similaridade foi encontrada entre a variável carga processada e correio processado. O correio processado é um tipo de carga e seu quantitativo já está contabilizado na variável carga processada. Desta forma, por ser uma variável mais abrangente, a carga processada foi a variável escolhida.

Por fim, as variáveis movimento de aeronaves e movimento de aviação geral, também, são similares. A aviação geral é um tipo de tráfego de aeronave e, por este motivo, já está contabilizada na variável movimento de aeronaves. Desta forma, por ser uma variável mais abrangente, foi escolhida a variável movimento de aeronaves.

Nenhum problema foi identificado em relação às variáveis do tipo segurança operacional, possibilitando a inserção no modelo dessas três variáveis. Sendo assim, o modelo conceitual DEA definido para o presente estudo é apresentado na Figura 9, contemplando um total de cinco variáveis como input e três variáveis como output do modelo.

Figura 9 - Modelo conceitual DEA



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Piran, Lacerda e Camargo (2018).

Como o objetivo do modelo DEA é minimizar os inputs e maximizar os outputs, então o modelo definido para avaliar a eficiência da segurança operacional de aeroportos tem como objetivo minimizar o risco operacional e maximizar a segurança operacional. Portanto, é necessário atenção à orientação das variáveis para que sigam a mesma orientação representada pelo modelo. Após análise das variáveis definidas para o modelo conceitual, foram assinaladas com um asterisco as variáveis com sentido invertido, onde será necessária a inversão de seus valores caso essas variáveis permaneçam no modelo DEA final.

Etapa 5 - Avaliação do modelo conceitual DEA

Para a avaliação do modelo conceitual DEA, devem ser convidados especialistas e gestores do processo para analisar a estrutura conceitual proposta para a pesquisa. É recomendável que o grupo escolhido possua conhecimento e experiência no processo estudado, para que as variáveis relevantes do processo sejam contempladas no modelo proposto (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018).

Uma vez elaborado, o modelo conceitual DEA proposto na etapa 4 foi apresentado e discutido com três gestores de segurança operacional de aeroportos que atuam na ANAC, órgão que tem por competência regular e fiscalizar as atividades da aviação civil e a infraestrutura aeronáutica e aeroportuária no Brasil. O quadro 7 sintetiza a função, competência e tempo de atuação na organização de cada profissional que participou como especialista do processo com o objetivo de apoiar a presente pesquisa.

Quadro 7 - Profissionais da empresa, responsáveis por apoiar a pesquisa.

Função	Competência	Tempo atuação
Gerente	Manter atualizado o cadastro de aeródromos civis públicos e coordenar as ações de fiscalização em operadores de aeródromos.	10 anos
Gerente Técnico	Planejar e executar as ações de fiscalização em operadores de aeródromos com o objetivo de verificar a manutenção do cumprimento dos requisitos e dos parâmetros de infraestrutura e segurança operacional estabelecidos em regulamento.	12 anos
Coordenador	Promover a implementação e supervisionar a efetividade dos Sistemas de Gerenciamento da Segurança Operacional dos operadores de aeródromos.	6 anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após discussão com os especialistas do processo, houve a proposta de inclusão de duas novas variáveis e a alteração de uma variável no modelo conceitual DEA. O resultado das fiscalizações aeroportuárias foi proposto como variável de output a ser incluída no modelo, pois essa variável representa o nível de conformidade do aeroporto aos requisitos e parâmetros de infraestrutura e segurança operacional estabelecidos em regulamento. Sendo assim, essa variável é estabelecida como um percentual da quantidade de itens conformes durante uma fiscalização sobre a quantidade de itens fiscalizados.

Também foi proposta a inclusão no modelo da variável número de eventos de segurança operacional, como variável de output, motivada pela limitação do histórico de dados de acidentes, uma vez que se tratam de eventos raros. Conforme definido pela ANAC (2019), eventos de segurança operacional são o conjunto de acidentes, incidentes graves, incidentes, ocorrências de solo, ocorrências anormais ou qualquer situação de risco que cause ou tenha o potencial de causar dano, lesão ou ameaça à viabilidade da operação aeroportuária ou aérea.

Desta forma, a variável número de eventos de segurança operacional contabiliza o número de acidentes, que já é uma variável de output do modelo. Portanto, ao invés de se utilizar o número de eventos de segurança operacional, optou-se por utilizar a variável número de incidentes como output do modelo. O número de incidentes é definido como a quantidade de eventos de segurança operacional excluída a quantidade de acidentes.

Por fim, foi proposta a alteração da variável comprimento de pista pela variável comprimento efetivo de pista. Segundo Horonjeff et al. (1962), quanto maior a elevação do aeroporto, menos densa é a atmosfera, exigindo comprimentos de pista mais longos para que a aeronave atinja a velocidade apropriada de decolagem. Esse aumento não é linear, pois em altitudes mais altas, a taxa de aumento é maior do que em altitudes mais baixas. Para fins de planejamento, pode-se estimar que, entre o nível do mar e 1.500 metros acima do nível do mar, o comprimento de pista necessário para uma determinada aeronave aumenta aproximadamente 7% a cada 300 metros de aumento na elevação. Em aeroportos localizados em altitudes mais altas, a taxa de aumento pode chegar a 10%.

Desta forma, o comprimento de pista efetivo é o comprimento de pista corrigido pela altitude do aeroporto. A alteração dessa variável permite que a comparação entre os aeroportos seja realizada de forma mais apropriada, pois estabelece um padrão ao considerar um comprimento de pista como se todos os aeroportos estivessem ao nível do mar. Além disso, essa alteração possibilita um avanço na literatura, uma vez que nenhum dos estudos analisados utilizou a elevação do aeroporto para corrigir a variável comprimento de pista.

As demais variáveis do modelo conceitual DEA foram validadas pelos especialistas do processo. Após realizadas as alterações sugeridas, o modelo conceitual DEA validado é apresentado na Figura 10, contemplando um total de cinco variáveis como input e cinco variáveis como output do modelo. Após análise dessas variáveis, foram assinaladas com um asterisco as variáveis com sentido inverso à orientação do modelo, onde será necessária a inversão de seus valores caso essas variáveis permaneçam no modelo DEA final.

Figura 10 - Modelo conceitual DEA validado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Etapa 6 - Período de tempo da análise

Na etapa 6, é necessário definir o período de tempo da análise, o qual varia de acordo com o tipo de benchmark a ser realizado. Como períodos base podem ser utilizados dias, meses ou anos. No benchmark interno, é realizada uma análise longitudinal, na qual a DMU será comparada com ela mesma num momento diferente de tempo, podendo-se verificar a evolução de sua eficiência ao longo do tempo. Por sua vez, no benchmark externo, é realizada uma análise transversal, na qual diferentes DMUs são analisadas no mesmo período de tempo (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018).

Como a presente pesquisa pretende comparar diversos aeroportos, com o objetivo de identificar aqueles com melhor desempenho em relação a segurança operacional, então será necessária uma análise transversal para que seja efetuado o benchmark externo. Por ser o período no qual estão disponíveis os dados mais recentes e representativos da realidade atual dos aeroportos, definiu-se o período inicial da análise como janeiro de 2018 e o período final da análise como dezembro de 2018, visando obter uma análise dos aeroportos referente ao último ano-calendário disponível.

Etapa 7 - DMUs

Esta etapa consiste em definir as DMUs (do inglês *Decision Making Units*), que representa o que será comparado na análise a ser realizada. Como, neste estudo, pretende-se comparar os diversos aeroportos quanto a segurança operacional, então, cada aeroporto será definido como uma DMU diferente.

No Brasil existem atualmente 125 aeroportos com prestação de serviços de transporte aéreo público de passageiros, abrangendo os maiores e mais importantes aeroportos da aviação civil brasileira. Sendo assim, cada aeroporto foi definido como uma DMU a ser analisada, fazendo com que essa pesquisa possua um total de 125 DMUs.

Etapa 8 - Variáveis do modelo DEA

Na oitava etapa, devem ser definidas as variáveis de entrada (inputs) e de saída (outputs) a serem utilizadas no modelo DEA. Por ser considerada a etapa mais importante do processo de modelagem, o método proposto por Piran, Lacerda e Camargo (2018) estabelece as seguintes etapas intermediárias para a definição destas variáveis:

1. Com base na literatura, deve-se elaborar uma listagem prévia das variáveis do modelo;
2. Avaliar e validar essas variáveis com especialistas do processo em análise;
3. Caso necessário, deve-se realizar ajustes nas variáveis do modelo;
4. Caso os especialistas sugeriram novas variáveis, deve-se buscar validação na literatura.

É importante verificar a disponibilidade de dados das variáveis listadas no modelo para o período de tempo da análise definido. Caso exista indisponibilidade de dados para uma variável, então será necessário excluí-la do modelo DEA.

Para o presente estudo, a listagem prévia das variáveis baseada na literatura foi realizada no Capítulo 2. A avaliação dessas variáveis para utilização no modelo foi realizada na Etapa 4 do método de trabalho, seguida pela validação dessas variáveis com especialistas do processo, que foi realizada na Etapa 5. Por fim, foram realizados ajustes no modelo para se obter o modelo conceitual DEA validado.

Ao se analisar a disponibilidade de dados para as variáveis listadas no modelo conceitual e para o período de tempo da análise definido, foi verificada a necessidade de exclusão de quatro variáveis desse modelo, sendo estas: número de empregados, número de lesões, número de fatalidades e resultado de fiscalização.

As variáveis número de empregados e número de lesões foram excluídas devido à indisponibilidade de dados, pois não existe um banco de dados completo e confiável dessas variáveis para os 125 aeroportos a serem analisados. Por sua vez, apesar de haver disponibilidade de dados para a variável número de fatalidades, a mesma também foi excluída. No ano de 2018, período de tempo da análise, não houve nenhum registro de fatalidades nas operações que ocorreram nos 125 aeroportos a serem analisados, o que torna irrelevante o uso dessa variável no modelo.

Para a variável resultado de fiscalização, existe a disponibilidade de dados para todos os 125 aeroportos a serem analisados. Entretanto, devido a limitação de recursos financeiros e de pessoal da ANAC, apenas alguns desses aeroportos foram fiscalizados no ano de 2018. Os dados do restante desses aeroportos são referentes à fiscalização ocorrida em data anterior ao ano de 2018, ou seja, fora do período de tempo da análise definido. Sendo assim, com o objetivo de não inserir viés ao modelo, foi decidido pela exclusão dessa variável.

Apesar de excluída do modelo DEA, a variável resultado da fiscalização é um bom indicador para avaliar a eficácia da segurança operacional de aeroportos, pois possibilita avaliar a capacidade do aeroporto em atender aos requisitos de segurança operacional, sem considerar os recursos utilizados. Desta forma, essa variável será utilizada na análise e discussão dos resultados, com o objetivo de se realizar uma análise comparativa entre a eficiência da segurança operacional, obtida pelo modelo DEA, e a eficácia da segurança operacional, representada pelo resultado da última fiscalização realizada no aeroporto.

Etapa 9 - Modelo DEA (CRS/VRS)

A etapa 9 consiste em definir o modelo DEA a ser utilizado, podendo ser utilizado o modelo CRS ou o modelo VRS, apresentados anteriormente nas seções 2.2.1 e 2.2.2. Na presente pesquisa pretende-se realizar um benchmark externo, então o modelo DEA utilizado será o VRS, uma vez que para as diferentes DMUs não existe similaridade na relação de escala entre as variáveis do modelo.

Etapa 10 - Orientação do modelo

Nesta etapa, deve-se definir a orientação do modelo DEA que pode ser orientado a entrada (input) ou saída (output). No modelo orientado a entrada tem-se a busca pela minimização dos recursos de entrada enquanto a saída é mantida constante. Por sua vez, o modelo orientado a saída busca manter a entrada constante, enquanto maximiza a saída.

No contexto definido para esse estudo, temos como constante as entradas, uma vez que a infraestrutura aeroportuária não é mutável, demandando tempo e grande investimento financeiro para sua expansão. Além disso, as demais entradas: carga processada, movimentação de aeronaves e movimentação de passageiros, não são controláveis, pois dependem do mercado. Assim, o modelo é definido como orientado a saída, buscando a maximização dos outputs para que a segurança operacional do aeroporto seja considerada ótima.

Etapa 11 - Elaboração e validação do modelo

Após a conclusão das etapas anteriores, deve-se elaborar o modelo DEA final que deve ser apresentado aos especialistas do processo para que ocorra a validação final do modelo. É importante que essa validação seja efetuada pelo mesmo grupo de especialistas que vem acompanhando e auxiliando as demais atividades do processo de modelagem.

Realizadas as definições do projeto de modelagem, o modelo DEA final é apresentado na Figura 11, contemplando um total de quatro variáveis como input e duas variáveis como output do modelo. Após análise, as variáveis com sentido inverso à orientação do modelo foram assinaladas com um asterisco, uma vez que será necessária a inversão de seus valores

Figura 11 - Modelo DEA final.



Fonte: Elaborado pelo autor.

durante a etapa de tratamento dos dados. O modelo DEA final foi validado pelos três gestores de segurança operacional de aeroportos da ANAC que vêm participando como especialistas do processo.

Após a definição do modelo DEA final, é necessário avaliar o número mínimo de DMUs em relação ao número de variáveis para se obter um resultado significativo com um conjunto claro de unidades eficientes e ineficientes. Uma regra geral é dada por Banker et al. (1989), o qual estabelece que o número mínimo de DMUs necessárias para o estudo, n , é dada por $\max\{m \times s, 3(m + s)\}$, em que m representa o número de variáveis de inputs, enquanto s representa o número de variáveis de outputs.

Como foram estabelecidas quatro variáveis como inputs e duas variáveis como outputs no modelo DEA final, então o número mínimo de DMUs necessárias para o estudo, n , é dada por $\max\{4 \times 2, 3(4 + 2)\} = \max\{8, 18\} = 18$. Como na Etapa 7 ficou definido que o presente estudo contará com um total de 125 DMUs, então este total supera o valor mínimo de 18 DMUs estabelecido pela regra. Isso demonstra que o modelo DEA definido possui quantidade suficiente de DMUs para que não apresente problema de discriminação dos resultados.

Etapa 12 - Coleta de dados

Na etapa 12, deve-se executar o processo de coleta de dados, que normalmente conta com o apoio dos especialistas do processo. O Quadro 8 sintetiza as diferentes fontes de dados utilizadas, todas de caráter público, onde são apresentados os links utilizados na coleta dos dados dos 125 aeroportos analisados pela presente pesquisa.

Para os casos em que o aeroporto possui mais de uma pista de pouso e decolagem, foi considerado apenas o dado da pista de maior comprimento efetivo, que é calculado a partir dos dados de comprimento de pista e altitude do aeroporto. Esses dados, em conjunto com os dados de carga processada, movimentação de aeronaves e movimentação de passageiros, foram obtidos no site da ANAC. Por sua vez, os dados de número de acidentes e número de incidentes foram obtidos junto ao site do Portal Brasileiro de Dados Abertos, onde na página do Centro

Quadro 8 - Fontes dos dados coletados

Dados	Fonte
Comprimento de pista	AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Listas de aeródromos civis cadastrados . Disponível em: < https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/cadastro-de-aerodromos-civis >. Acesso em: 20 dez. 2018.
Altitude	
Carga processada	AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Dados estatísticos . Disponível em: < https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/dados-estatisticos/dados-estatisticos >. Acesso em: 20 fev. 2019.
Movimento de aeronaves	
Número de passageiros	
Número de acidentes	Portal Brasileiro de Dados Abertos. CENIPA - Ocorrências Aeronáuticas na Aviação Civil Brasileira . Disponível em: < http://www.dados.gov.br/dataset/ocorrencias-aeronauticas-da-aviacao-civil-brasileira >. Acesso em: 20 fev. 2019.
Número de incidentes	

Fonte: Elaborado pelo autor.

de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) ficam disponibilizados os dados de ocorrências aeronáuticas da aviação civil brasileira dos últimos 10 anos.

Devido a extensão da planilha de dados para os 125 aeroportos, é apresentada na Tabela 3 apenas a estatística descritiva dos dados coletados. Entretanto, a planilha completa com todos os dados pode ser observada no Apêndice C. As variáveis altitude do aeroporto e comprimento de pista foram obtidas em metros, enquanto a variável carga processada foi obtida em quilos. As demais variáveis do modelo são adimensionais, pois representam apenas números de entidades, não sendo aplicável nenhuma dimensão física.

Os nomes das variáveis foram reduzidos para uma melhor apresentação nas tabelas de dados. Desta forma, a variável altitude do aeroporto foi resumida apenas para altitude, a variável comprimento de pista para comprimento, a variável movimento de aeronaves para PD, a variável movimento de passageiros para PAX, a variável carga processada para carga, a variável número de acidentes para acidente e a variável número de incidentes para incidente.

Tabela 3 - Estatística descritiva dos dados coletados.

VARIÁVEIS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÍNIMO	MÁXIMO
ALTITUDE (m)	364,39	342,42	2	1.356
COMPRIMENTO (m)	2.012,32	564,74	900	4.000
PD	18.731,48	41.100,75	57	278.570
PAX	1.733.607,48	5.019.645,20	117	42.230.432
CARGA (kg)	13.203.784,92	54.948.465,11	0	507.906.000
ACIDENTE	0,04	0,20	0	1
INCIDENTE	0,68	1,31	0	6

n = 125 aeroportos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Etapa 13 - Tratamento de dados

Nesta etapa, deve ser realizado o tratamento dos dados coletados, para que seja possível a inserção correta dos dados no software que realizará o cálculo da eficiência do modelo DEA. Para tal, os dados devem ser organizados em uma única planilha eletrônica, cuja primeira coluna deve possuir a identificação ou codificação das DMUs, seguida pelas colunas das variáveis de entrada (input) e por fim as colunas das variáveis de saída (output), sendo que cada variável do modelo DEA deve estar disposta em apenas uma coluna da planilha de dados.

A primeira etapa no tratamento dos dados foi o cálculo da variável comprimento efetivo de pista a partir dos dados de comprimento de pista e altitude do aeroporto. Em seguida, foi necessário transladar a variável carga para que não apresentasse nenhum valor zero. Por fim, foi realizada a inversão de três variáveis com o objetivo de adequá-las à orientação do modelo DEA proposto, uma vez que na modelagem DEA é necessário configurar os dados de modo que as entradas tenham a característica de valores menores serem melhores e as saídas com a característica de valores maiores serem melhores.

Para o cálculo do comprimento de pista efetivo foi considerada a correção de 7% a cada 300 metros de elevação do aeroporto. Foi necessário utilizar apenas esse fator de correção pois a maior altitude, entre os 125 aeroportos a serem analisados, é de 1.356 metros, ou seja, inferior a 1.500 metros. Portanto, a fórmula utilizada para o cálculo do comprimento efetivo de pista é representada pela equação 3.1.

$$\text{Comprimento efetivo} = \text{Comprimento} \times \left(1 - \left(\frac{\text{Altitude}}{300} \times 0,07 \right) \right) \quad (3.1)$$

A necessidade de transladar a variável carga se deve ao fato de modelos DEA não serem capazes de concluir uma análise com números negativos ou nulos. Sendo assim, todos os valores das variáveis devem ser estritamente positivos. Segundo Ali e Seiford (1990), a translação dos valores de dados no modelo VRS não altera o resultado da fronteira de eficiência. Desta forma, para resolver o problema de valor nulo, foi adicionada uma unidade para todos os valores da variável carga.

Conforme identificado no modelo DEA final, as variáveis comprimento efetivo, número de acidentes e número de incidentes possuem sentido inverso à orientação do modelo e por isso devem ser invertidas. Para tal, foi utilizado o método para tratamento de variáveis indesejáveis proposto por Seiford e Zhu (2002), que pode ser aplicado tanto para inputs quanto para outputs de modelo VRS. Nesse método, a inversão das variáveis é dada por: $f(U) = -U + \beta$, onde os valores têm seu sinal invertido e é adicionada uma constante β para que se obtenha apenas valores positivos.

Na Tabela 4 são apresentados os valores da constante que foram considerados para cada variável invertida.

Tabela 4 - Valores da constante para cada variável invertida.

Variável	β
Comprimento efetivo de pista	4.000
Número de acidentes	2
Número de incidentes	7

Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Sarkis (2007), outro problema que deve ser observado na preparação dos dados para o modelo DEA, é a desigualdade entre as magnitudes dos dados. Essa desigualdade pode causar problemas na execução do cálculo do modelo, podendo ocorrer problemas de erro de arredondamento. Para garantir que os dados sejam de magnitude similar, é sugerida a normalização dos dados, que é realizada através da divisão dos valores de cada variável pela média do conjunto de dados dessa variável.

Apesar dos dados das variáveis do modelo desta pesquisa apresentarem magnitudes diferentes, o software SAGEPE não apresentou erro na execução do cálculo do modelo. Além disso, foi realizado o cálculo com os valores normalizados e o resultado obtido foi exatamente o mesmo apresentado pelos valores não normalizados. Isso demonstra que, apesar das diferenças de magnitude, não é necessária a normalização dos dados para o modelo desta pesquisa.

Após realizado o tratamento dos dados, o resultado é apresentado de forma descritiva na Tabela 5. Devido à extensão da tabela para os 125 aeroportos, a planilha completa com todos os dados tratados pode ser observada no Apêndice D.

Tabela 5 - Estatística descritiva dos dados após tratamento.

VARIÁVEIS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÍNIMO	MÁXIMO
INVERSO COMPRIMENTO EFETIVO	2152,25	560,89	8,40	3238,39
PD	18.731,48	41.100,75	57	278.570
PAX	1.733.607,48	5.019.645,20	117	42.230.432
CARGA	13.203.785,92	54.948.465,11	1	507.906.001
INVERSO ACIDENTE	1,96	0,20	1	2
INVERSO INCIDENTE	6,32	1,31	1	7

n = 125 aeroportos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Etapa 14 - Cálculo da eficiência em DEA

A etapa 14 consiste no cálculo da eficiência em DEA, que pode ser efetuada utilizando softwares estatísticos como o R-Cran ou utilizando softwares específicos do método DEA, como o MaxDEA, SIAD ou SAGEPE.

Para o cálculo da eficiência em DEA desta pesquisa, foi utilizado o software SAGEPE (Sistema para Análise e Gestão da Produtividade e Eficiência), desenvolvido por Piran, Lacerda e Camargo (2018) pertencentes ao Grupo de Pesquisa para Modelagem e Aprendizagem (GMAP/UNISINOS).

Etapa 15 - Analisar a discriminação dos resultados

Nesta etapa, deve-se verificar se o modelo DEA desenvolvido apresenta problema de discriminação dos resultados, ou seja, quando todas as DMUs apresentam valor de eficiência igual ou próximas de 100%. Para solucionar o problema de discriminação dos resultados, deve-se utilizar um método de seleção de variáveis, conhecido como Stepwise. Caso o modelo não apresente problemas de discriminação, então pode-se prosseguir para a análise dos resultados (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018).

Conforme sugerido pelo MMDEA, após análise do resultado das eficiências obtidas na presente pesquisa, foi aplicado o método de seleção de variáveis Stepwise.

Etapa 16 - Método de seleção de variáveis (Stepwise)

Esta etapa consiste na aplicação do método Stepwise, para verificar se o modelo DEA definido possui variáveis que podem ser consideradas irrelevantes, e que podem estar provocando o problema de discriminação dos resultados (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018).

O método Stepwise desenvolvido por Wagner e Shimshak (2007), auxilia a identificação das variáveis que realmente impactam no cálculo da eficiência do modelo. Para tal, o cálculo de eficiência das DMUs é realizado considerando todas as variáveis e, em seguida, é retirada progressivamente do modelo cada variável e contabilizado o seu impacto no resultado da nova eficiência obtida.

O software SAGEPE, a ser utilizado nesta pesquisa, já possui o método Stepwise implementado, sendo apresentado nos resultados do cálculo da eficiência. Sendo assim, para a seleção das variáveis do modelo, basta analisar os resultados obtidos pelo método Stepwise e verificar se existe alguma variável irrelevante a ser excluída do modelo DEA.

Para a presente pesquisa, o software SAGEPE não apontou nenhuma variável como irrelevante. Mesmo assim, com o objetivo de demonstrar a aplicação desse método, foi realizada a aplicação manual do método Stepwise, onde foi efetuado o cálculo da média das eficiências retirando-se cada uma das variáveis do modelo.

A Tabela 6 apresenta o resultado da aplicação do método de seleção de variáveis Stepwise no modelo DEA proposto.

Tabela 6 - Seleção de variáveis pelo método Stepwise.

Representação	Descrição da variável	Média eficiências	Variação média eficiências
E0	Modelo original	0,8695	-
Retira input 1	Comprimento efetivo	0,9585	-0,0890
Retira input 2	PD	0,8714	-0,0019
Retira input 3	PAX	0,8696	-0,0001
Retira input 4	Carga	0,8701	-0,0006

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar a variação média das eficiências, percebe-se que nenhum resultado foi igual a zero, ou seja, todas as variáveis estabelecem impacto sobre os escores de eficiência do modelo proposto, corroborando o resultado apresentado pelo software SAGEPE. Desta forma, definiu-se que não seriam excluídas variáveis do modelo, permanecendo o modelo DEA estabelecido originalmente.

Etapa 17 - Análise dos resultados

A etapa 17 consiste na análise dos resultados obtidos pelo cálculo da eficiência. É sugerido pelo MMDEA que sejam realizadas análises dos alvos e folgas e dos benchmarks. A análise e discussão dos resultados da presente pesquisa será apresentada no Capítulo 4.

Etapa 18 - Resultados finais

Nesta etapa, o pesquisador deve apresentar os resultados obtidos e análises efetuadas, aos especialistas do processo que participaram do processo de modelagem. O conhecimento dos especialistas é importante para melhor compreender os resultados alcançados e auxiliar na redação do relatório final.

Os resultados obtidos e análises efetuadas serão apresentadas aos especialistas do processo em uma palestra que ocorrerá na ANAC. Esse evento fará parte do Papo ANACadêmico, iniciativa que tem como objetivo incentivar a disseminação de estudos, pesquisas e trabalhos acadêmicos sobre temas relacionados à Aviação Civil realizados pelos servidores da Agência.

Etapa 19 - Metas de melhoria

A etapa 19 consiste na utilização dos resultados obtidos para a definição de metas de melhoria. A análise de alvos e folgas deve fornecer subsídios para a elaboração de planos de

ação que busquem as melhorias apontadas pelos resultados finais.

No contexto deste trabalho, ao se obter o resultado final da eficiência dos aeroportos quanto a segurança operacional, será possível identificar os aeroportos críticos, servindo como subsídio para a melhoria dos processos de fiscalização e regulação que são executados diariamente pela ANAC.

Etapa 20 - Relatório final

Na última etapa do método, o pesquisador deve redigir um relatório final com o objetivo de documentar e comunicar as descobertas da análise efetuada. Para tal, está sendo redigida a presente dissertação de mestrado acadêmico, que contempla todos os procedimentos executados para o desenvolvimento do presente trabalho. Após a coleta e tratamento dos dados, os resultados obtidos serão apresentados no próximo capítulo, onde também haverá uma discussão desses resultados.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da eficiência da segurança operacional dos aeroportos, a partir da coleta e tratamento dos dados. É também realizada uma análise comparativa entre a eficiência e a eficácia da segurança operacional dos aeroportos. O objetivo da comparação é classificar os aeroportos em quatro distintos quadrantes, sendo que para cada quadrante serão propostas à autoridade de aviação civil brasileira diferentes ações de gestão e priorização da fiscalização dos aeroportos.

4.1 Análise da eficiência da segurança operacional

A planilha com os dados tratados foi utilizada no software SAGEPE para cálculo da eficiência da segurança operacional dos 125 aeroportos a serem analisados. Devido a extensão da tabela dos resultados obtidos, a Tabela 7 apresenta apenas a estatística descritiva para as eficiências calculadas. Entretanto, a planilha completa com os escores obtidos pela DEA pode ser observada no Apêndice E.

Tabela 7 - Estatística descritiva das eficiência calculadas.

EFICIÊNCIAS CALCULADAS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÍNIMO	MÁXIMO
Eficiência Padrão	0,994	0,051	0,50	1,00
Eficiência Invertida	0,689	0,154	0,50	1,00
Eficiência Composta	0,652	0,087	0,25	0,75
Eficiência Composta Normalizada	0,869	0,116	0,33	1,00
Eficiência de Escala	0,700	0,174	0,30	1,00

n = 125 aeroportos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar a eficiência técnica padrão é possível identificar que apenas o Aeroporto 14 e o Aeroporto 55 foram considerados ineficientes. Desta forma, com o objetivo de resolver esse problema de discriminação, foi realizada a análise da eficiência técnica composta que leva em consideração tanto a fronteira padrão quanto a fronteira invertida.

A partir do resultado obtido para a eficiência composta normalizada, é possível identificar que o problema de discriminação dos resultados foi solucionado. Dos 125 aeroportos analisados, apenas 18 aeroportos foram considerados eficientes tecnicamente, ou seja, possuem eficiência composta normalizada igual a 1.

A Tabela 8 apresenta a lista dos 18 aeroportos que obtiveram o melhor desempenho quanto à segurança operacional.

Tabela 8 - Aeroportos com melhor desempenho da segurança operacional.

DMU	Eficiência composta normalizada
Aeroporto 2	1,000000
Aeroporto 3	1,000000
Aeroporto 9	1,000000
Aeroporto 12	1,000000
Aeroporto 23	1,000000
Aeroporto 41	1,000000
Aeroporto 42	1,000000
Aeroporto 44	1,000000
Aeroporto 64	1,000000
Aeroporto 67	1,000000
Aeroporto 69	1,000000
Aeroporto 81	1,000000
Aeroporto 88	1,000000
Aeroporto 89	1,000000
Aeroporto 92	1,000000
Aeroporto 98	1,000000
Aeroporto 100	1,000000
Aeroporto 120	1,000000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido ao resultado apresentado, a gestão operacional desses aeroportos deve servir de exemplo para os demais aeroportos. As boas práticas utilizadas nesses aeroportos poderiam ser disseminadas para os demais aeroportos, proporcionando meios para que os aeroportos ineficientes possam atingir a fronteira de eficiência.

Com relação a atuação da ANAC, o acompanhamento desses aeroportos poderia ser realizado à distância, alocando os recursos que seriam gastos na fiscalização desses aeroportos, em fiscalizações de aeroportos considerados ineficientes e que necessitam de uma atuação mais ostensiva por parte da agência.

Outra eficiência a ser analisada é a eficiência de escala. Essa eficiência é o resultado do nível de máxima produção situada sob a fronteira eficiente. Dos 125 aeroportos analisados, apenas 15 aeroportos possuem eficiência de escala ótima, ou seja, eficiência de escala igual a 1. Para os demais aeroportos, nos quais a eficiência de escala é diferente de 1, foi realizado o somatório dos pesos calculados para se obter o rendimento de escala. O somatório obtido para cada um desses aeroportos foi menor que 1, o que representa um retorno de escala decrescente.

Como nesse modelo foram comparados aeroportos de portes completamente diferentes, então era esperado um rendimento de escala variável para a maioria das DMUs. Sendo assim, a função produção desse modelo não é linear, o que justifica a utilização do modelo VRS, ao invés do modelo CRS, para o cálculo das eficiências (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Para esses aeroportos que apresentam um retorno de escala decrescente, um aumento nos inputs provoca um aumento proporcionalmente menor nos outputs.

A Tabela 9 apresenta a lista dos 15 aeroportos que possuem eficiência de escala ótima.

Tabela 9 - Aeroportos com eficiência de escala ótima.

DMU	Eficiência de escala
Aeroporto 32	1,00
Aeroporto 45	1,00
Aeroporto 64	1,00
Aeroporto 69	1,00
Aeroporto 81	1,00
Aeroporto 92	1,00
Aeroporto 101	1,00
Aeroporto 105	1,00
Aeroporto 112	1,00
Aeroporto 114	1,00
Aeroporto 118	1,00
Aeroporto 120	1,00
Aeroporto 121	1,00
Aeroporto 122	1,00
Aeroporto 123	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando a lista de aeroportos eficientes com a lista de aeroportos com eficiência de escala ótima, é possível identificar quais aeroportos possuem eficiência técnica e/ou eficiência de escala. O resultado desta comparação é apresentado no Quadro 9, no qual são identificados os aeroportos que apresentam apenas eficiência técnica, apenas eficiência de escala e tanto eficiência técnica quanto eficiência de escala.

Quadro 9 - Aeroportos com eficiência técnica e/ou eficiência de escala.

DMU	Eficiência técnica	Eficiência de escala
Aeroporto 69	Sim	Sim
Aeroporto 81	Sim	Sim
Aeroporto 92	Sim	Sim
Aeroporto 64	Sim	Sim
Aeroporto 120	Sim	Sim
Aeroporto 12	Sim	Não
Aeroporto 9	Sim	Não
Aeroporto 41	Sim	Não
Aeroporto 3	Sim	Não
Aeroporto 23	Sim	Não
Aeroporto 100	Sim	Não
Aeroporto 98	Sim	Não
Aeroporto 89	Sim	Não
Aeroporto 42	Sim	Não
Aeroporto 67	Sim	Não
Aeroporto 44	Sim	Não
Aeroporto 2	Sim	Não
Aeroporto 88	Sim	Não
Aeroporto 114	Não	Sim
Aeroporto 121	Não	Sim
Aeroporto 122	Não	Sim
Aeroporto 32	Não	Sim
Aeroporto 101	Não	Sim
Aeroporto 105	Não	Sim
Aeroporto 118	Não	Sim
Aeroporto 123	Não	Sim
Aeroporto 112	Não	Sim
Aeroporto 45	Não	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na análise do quadro comparativo, é possível observar que apenas 5 aeroportos são considerados eficientes tecnicamente e, ao mesmo tempo, apresentam eficiência de escala. Treze aeroportos são considerados eficientes tecnicamente, mas apresentam ineficiência de escala, possuindo retorno de escala decrescente. Isso indica que esses aeroportos operam sem desperdícios, porém acima da escala ótima. Dez aeroportos apresentam eficiência de escala, mas são tecnicamente ineficientes. Isso indica que esses aeroportos operam na escala ótima, entretanto possuem desperdícios. Os outros 97 aeroportos analisados, que não aparecem nesse quadro comparativo, apresentam tanto ineficiência técnica quanto ineficiência de escala.

Ao analisar os aeroportos ineficientes, é possível destacar 18 aeroportos que apresentaram os menores valores para a eficiência composta normalizada e, por este motivo, são considerados os mais ineficientes entre os 125 aeroportos analisados. A Tabela 10 apresenta a lista dos 18 aeroportos que obtiveram pior desempenho quanto a segurança operacional.

Tabela 10 - Aeroportos com pior desempenho da segurança operacional.

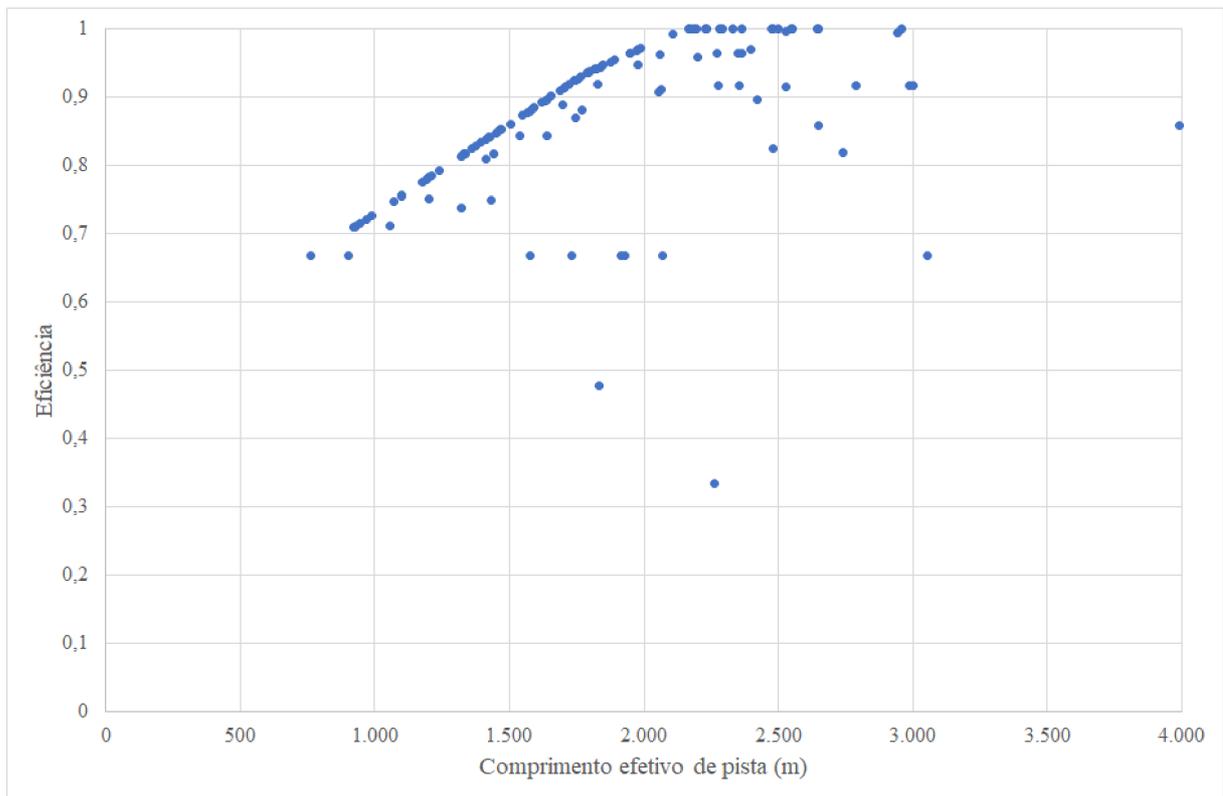
DMU	Eficiência composta normalizada
Aeroporto 14	0,333333
Aeroporto 55	0,476190
Aeroporto 1	0,666667
Aeroporto 4	0,666667
Aeroporto 7	0,666667
Aeroporto 28	0,666667
Aeroporto 34	0,666667
Aeroporto 45	0,666667
Aeroporto 84	0,666667
Aeroporto 115	0,666667
Aeroporto 112	0,708377
Aeroporto 109	0,709168
Aeroporto 103	0,710436
Aeroporto 111	0,710706
Aeroporto 106	0,714261
Aeroporto 116	0,720636
Aeroporto 123	0,725445
Aeroporto 76	0,737574

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como, no ano de 2018, foram registrados tanto acidentes quanto incidentes apenas no Aeroporto 14 e no Aeroporto 55, era esperado que esses aeroportos apresentassem os menores valores para a eficiência da segurança operacional. Sendo assim, é necessário atenção por parte dos gestores desses aeroportos, para melhorar os procedimentos operacionais com o objetivo de reduzir as ocorrências de acidentes e incidentes. Além disso, é recomendável que a ANAC efetue ações de fiscalização nesses aeroportos, para avaliar o cumprimento dos requisitos e dos parâmetros de segurança operacional estabelecidos em regulamento.

Em seguida, foi realizada uma análise de cada variável utilizada como input no modelo em relação à eficiência calculada. O gráfico apresentado na Figura 12 ilustra a comparação entre a eficiência calculada para cada aeroporto em relação à variável comprimento efetivo de pista.

Figura 12 - Comparação entre a eficiência e o comprimento efetivo de pista.

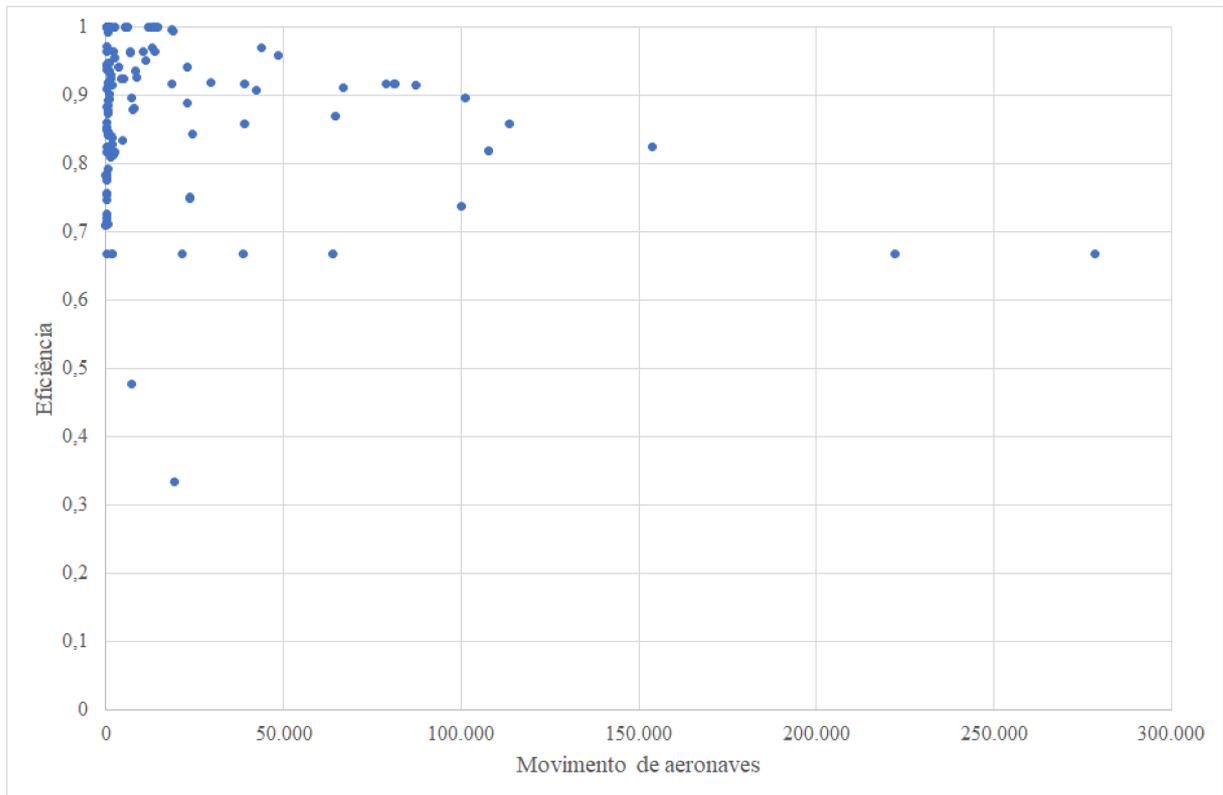


Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme observado no gráfico, os aeroportos que possuem um maior comprimento efetivo de pista tendem a apresentar uma maior eficiência da segurança operacional. Esse era o comportamento esperado, pois um maior comprimento efetivo de pista representa um menor risco operacional no aeroporto. Mesmo possuindo um alto comprimento efetivo de pista, alguns aeroportos apresentaram baixos valores para a eficiência da segurança operacional. Isso ocorreu devido ao fato de que, no ano de 2018, ocorreram acidentes e/ou incidentes nesses aeroportos, o que impactou diretamente no resultado da eficiência da segurança operacional.

O gráfico apresentado na Figura 13 ilustra a comparação entre a eficiência calculada para cada aeroporto em relação à variável movimento de aeronaves.

Figura 13 - Comparação entre a eficiência e o movimento de aeronaves.

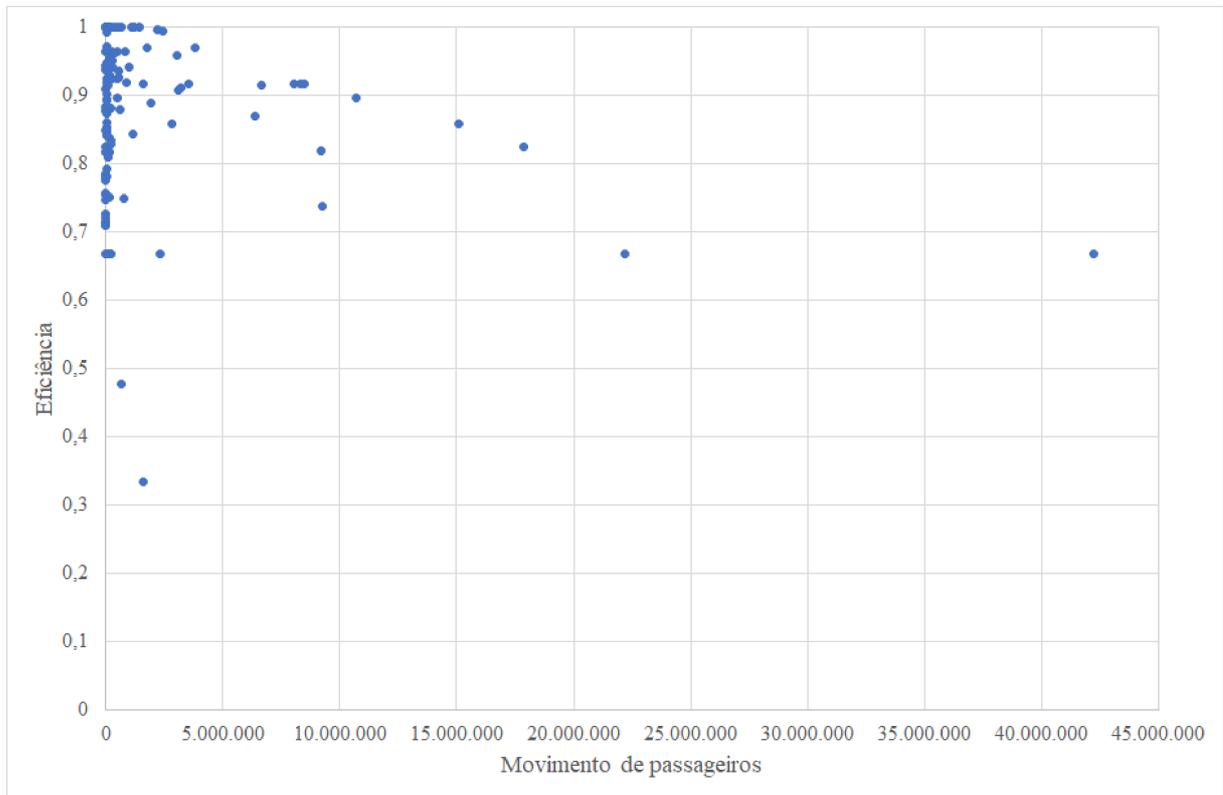


Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme observado no gráfico, os aeroportos que possuem um maior movimento de aeronaves tendem a apresentar uma menor eficiência da segurança operacional. Esse era o comportamento esperado, pois um maior movimento de aeronaves, ou seja um maior número de pousos e decolagens no aeroporto, representa um maior risco operacional. Devido a um maior impacto por outra variável do modelo ou à ocorrência de acidentes e/ou incidentes, alguns aeroportos com baixo movimento de aeronaves apresentaram baixa eficiência da segurança operacional.

O gráfico apresentado na Figura 14 ilustra a comparação entre a eficiência calculada para cada aeroporto em relação à variável movimento de passageiros.

Figura 14 - Comparação entre a eficiência e o movimento de passageiros.

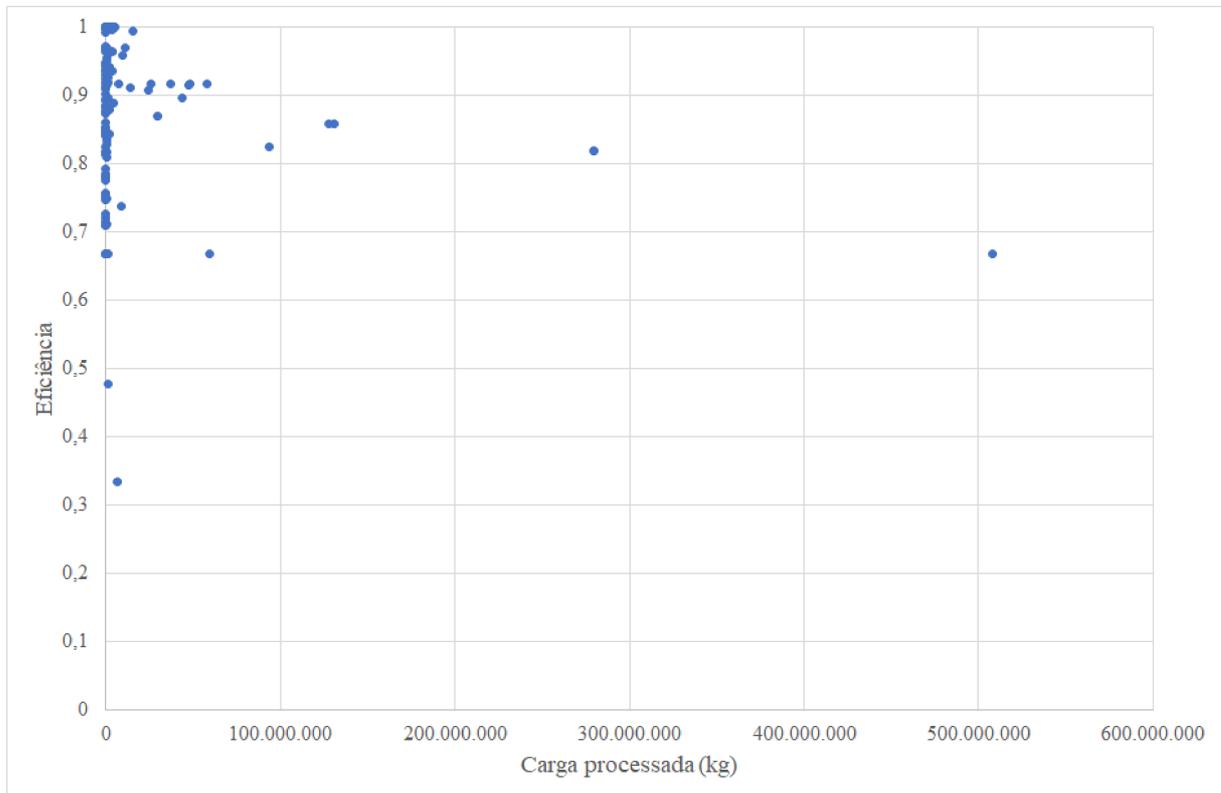


Fonte: Elaborado pelo autor.

De forma similar ao observado com a variável de movimento de aeronaves, observa-se no gráfico acima que os aeroportos que possuem um maior movimento de passageiros tendem a apresentar uma menor eficiência da segurança operacional. Esse era o comportamento esperado, pois um maior movimento de passageiros, ou seja um maior número de pessoas embarcando e desembarcando no aeroporto, representa um maior risco operacional. Entretanto, alguns aeroportos com baixo movimento de passageiros apresentaram baixa eficiência da segurança operacional. Isso ocorreu devido a um maior impacto por outra variável do modelo ou à ocorrência de acidentes e/ou incidentes nesses aeroportos.

O gráfico apresentado na Figura 15 ilustra a comparação entre a eficiência calculada para cada aeroporto em relação à variável carga processada.

Figura 15 - Comparação entre a eficiência e a carga processada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De forma similar ao observado com as variáveis de movimento de aeronaves e movimento de passageiros, observa-se no gráfico acima que os aeroportos que possuem uma maior quantidade de carga processada tendem a apresentar uma menor eficiência da segurança operacional. Esse era o comportamento esperado, pois um maior volume de carga processada no aeroporto representa um maior risco operacional. Entretanto, alguns aeroportos com baixa quantidade de carga processada apresentaram baixa eficiência da segurança operacional. Isso ocorreu devido a um maior impacto por outra variável do modelo ou à ocorrência de acidentes e/ou incidentes nesses aeroportos.

Na próxima seção será realizada uma análise comparativa entre a eficiência e a eficácia da segurança operacional dos aeroportos.

4.2 Análise comparativa entre eficácia e eficiência

Conforme descrito no Capítulo 3, a variável resultado da fiscalização foi retirada do modelo DEA para não inserir viés ao modelo. Entretanto, essa variável será utilizada como indicador para avaliar a eficácia da segurança operacional dos aeroportos e será comparada com a eficiência da segurança operacional obtida pelo modelo DEA.

Por se tratar de informações que não são públicas, os dados da variável resultado da fiscalização, para os 125 aeroportos analisados, foram obtidos juntamente aos especialistas do processo. Com o objetivo de proporcionar uma melhor comparação, foi realizada a normalização do resultado da fiscalização e da eficiência obtida pela DEA, através da divisão dos valores de cada variável pela média do conjunto de dados dessa variável.

Devido a extensão da planilha de dados para os 125 aeroportos, é apresentada na Tabela 11 apenas a estatística descritiva dos dados utilizados para comparar a eficácia e a eficiência. Entretanto, a planilha completa com todos os dados pode ser observada no Apêndice F. Por não ser aplicável nenhuma dimensão física, todos os dados apresentados nessa tabela são adimensionais.

Tabela 11 - Estatística descritiva dos dados utilizados na comparação entre eficácia e eficiência.

DADOS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÍNIMO	MÁXIMO
Resultado da fiscalização	0,963825	0,045163	0,769565	1,000000
Resultado da fiscalização normalizado	1,000000	0,046859	0,798449	1,037533
Eficiência	0,869485	0,115823	0,333333	1,000000
Eficiência normalizada	1,000000	0,133208	0,383369	1,150106

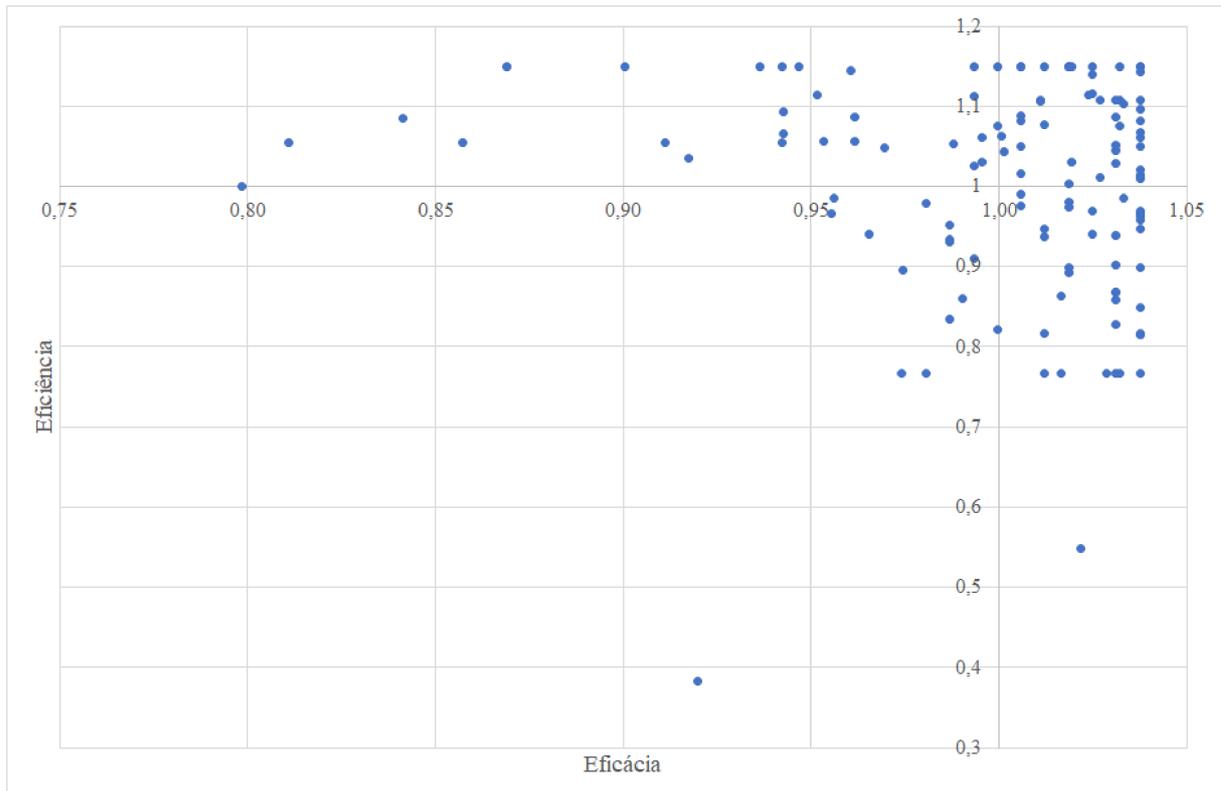
n = 125 aeroportos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado da fiscalização é estabelecido como o percentual da quantidade de itens conformes durante uma fiscalização sobre a quantidade de itens fiscalizados. Sendo assim, como o menor valor apresentado para o resultado da fiscalização é 77%, então é possível afirmar que todos os 125 aeroportos analisados tendem a cumprir a maioria dos itens fiscalizados, apresentando não conformidades pontuais perante os requisitos e parâmetros estabelecidos em regulamento.

O gráfico apresentado na Figura 16 ilustra a comparação realizada entre a eficiência e a eficácia da segurança operacional para cada aeroporto. No eixo horizontal é disposta a eficácia da segurança operacional, representada pelo resultado da fiscalização normalizado. Por sua vez, é disposta no eixo vertical a eficiência da segurança operacional obtida pelo modelo DEA, com seus valores normalizados.

Figura 16 - Comparação entre a eficiência e eficácia da segurança operacional dos aeroportos.

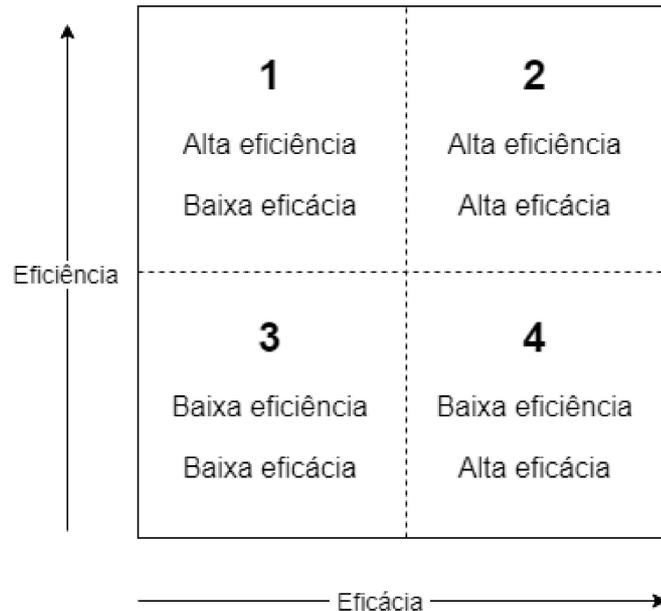


Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse gráfico, os eixos horizontal e vertical foram traçados sobre o valor 1 que, devido a normalização realizada nos dados, é a média dos valores tanto para a eficácia quanto para a eficiência. Isso possibilita a divisão do gráfico em quatro quadrantes, nos quais os 125 aeroportos podem ser divididos.

A Figura 17 representa como é realizada a divisão do gráfico comparativo em quatro quadrantes. Aeroportos com eficiência maior que 1 serão considerados com alta eficiência, enquanto aeroportos com eficiência menor que 1 serão considerados com baixa eficiência. O mesmo acontece para os valores de eficácia, no qual uma eficácia maior que 1 será considerada como alta eficácia, enquanto uma eficácia menor que 1 será considerada como baixa eficácia.

Figura 17 - Quadrantes do gráfico comparativo entre eficiência e eficácia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a definição dos quadrantes, os 125 aeroportos analisados foram classificados nos quatro quadrantes e o resultado é apresentado na Tabela 12. Quanto a eficiência da segurança operacional, 59% dos aeroportos apresentaram alta eficiência, enquanto 41% apresentaram baixa eficiência. Por sua vez, ao analisar a eficácia da segurança operacional, 66% dos aeroportos apresentaram alta eficácia, enquanto 34% apresentaram baixa eficácia.

Tabela 12 - Distribuição dos aeroportos nos quatro quadrantes.

Quadrante	Quantidade de aeroportos	Percentual
1 - Alta eficiência e baixa eficácia	28	22%
2 - Alta eficiência e alta eficácia	46	37%
3 - Baixa eficiência e baixa eficácia	15	12%
4 - Baixa eficiência e alta eficácia	36	29%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A classificação em quatro diferentes quadrantes permite que sejam propostas à ANAC diferentes ações quanto a fiscalização e a regulamentação dos aeroportos brasileiros. Para os 28 aeroportos classificados no quadrante 1, é sugerido que sejam realizados esforços para identificar o motivo desses aeroportos apresentarem baixa eficácia, mesmo apresentando alta eficiência da segurança operacional. Neste caso, devem ser investigados quais as não conformidades identificadas durante a fiscalização desses aeroportos, com o objetivo de verificar se esses itens realmente impactam a segurança operacional, ou se seria o caso de revisar a regulamentação.

Por apresentarem alta eficiência e alta eficácia, os aeroportos do quadrante 2 são os que apresentam menor risco quanto a segurança operacional. Para os 46 aeroportos classificados nesse quadrante, é sugerido que a ANAC faça um acompanhamento à distância desses aeroportos, podendo ser realizadas fiscalizações in loco com uma menor periodicidade.

Por apresentarem baixa eficiência e baixa eficácia, os aeroportos do quadrante 3 são os que apresentam maior risco quanto a segurança operacional. Para os 15 aeroportos classificados nesse quadrante, é sugerido que a ANAC faça um acompanhamento ostensivo desses aeroportos, podendo ser realizadas fiscalizações in loco com uma maior periodicidade.

Além disso, as boas práticas dos aeroportos classificados no quadrante 2 podem ser disseminadas entre os aeroportos do quadrante 3. A partir da identificação dos aeroportos benchmarks, é possível definir metas de melhorias para que esses aeroportos possam aumentar sua eficiência da segurança operacional.

Para os 36 aeroportos classificados no quadrante 4, é sugerido que sejam realizados esforços para identificar o motivo desses aeroportos apresentarem alta eficácia, mesmo apresentando baixa eficiência da segurança operacional. Neste caso, devem ser revistos os procedimentos de fiscalização adotados nesses aeroportos, com o objetivo de verificar o motivo pelo qual os requisitos de segurança operacional foram apontados como conforme durante a fiscalização. Também pode ser realizada uma nova fiscalização in loco nesses aeroportos, com o objetivo de identificar se os requisitos do regulamento continuam a ser cumpridos.

Além disso, as boas práticas dos aeroportos classificados no quadrante 2 podem ser disseminadas entre os aeroportos do quadrante 4. A partir da identificação dos aeroportos benchmarks, é possível definir metas de melhorias para que esses aeroportos possam aumentar sua eficiência da segurança operacional. No próximo capítulo serão apresentadas as considerações finais da presente pesquisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como propósito avaliar a eficiência da segurança operacional de aeroportos por meio da análise envoltória de dados. Realizou-se uma pesquisa explicativa e exploratória para desenvolver um estudo quantitativo da segurança operacional dos aeroportos brasileiros. Foram analisados 125 aeroportos com os dados referentes ao ano de 2018. Essa amostra foi definida por abarcar todos os aeroportos brasileiros, que em 2018, realizaram a prestação de serviços de transporte aéreo público de passageiros.

Os resultados obtidos mostraram que é possível avaliar a eficiência da segurança operacional de aeroportos utilizando DEA. Foram identificados os aeroportos com os melhores e piores desempenhos em relação a segurança operacional, permitindo o ranqueamento dos entes. Além disso, foi verificado o efeito de cada variável, utilizada como input no modelo DEA, na eficiência da segurança operacional.

Em seguida, foi realizada uma análise comparativa entre a eficiência e a eficácia da segurança operacional, onde os aeroportos foram classificados em quatro diferentes quadrantes, conforme seus valores de eficácia e eficiência. Para cada quadrante foram propostas à ANAC diferentes ações de gestão e priorização da fiscalização dos aeroportos brasileiros.

O quadrante 2, com 46 aeroportos - ou 37%, contemplou a maior parte dos aeroportos analisados. Como nesse quadrante estão os aeroportos que apresentaram alta eficiência e alta eficácia, então pode-se concluir que a maior parte dos aeroportos brasileiros, nos quais existe a prestação de serviços de transporte aéreo público de passageiros, apresenta bom desempenho quanto a segurança operacional.

Por outro lado, contemplando a menor parte dos aeroportos analisados, com 15 aeroportos - ou 12%, o quadrante 3 reúne os aeroportos que apresentaram baixa eficiência e baixa eficácia. Como esses aeroportos apresentam maior risco quanto a segurança operacional, então são necessárias melhorias na gestão desses aeroportos. A ANAC deve passar a exigir ações de melhoria por parte dos gestores desses aeroportos. Além disso, até que esse cenário seja revertido, a ANAC deve passar a realizar um acompanhamento ostensivo nesses aeroportos.

Para a teoria, a presente pesquisa contribui para estudos associados com a análise da segurança operacional de aeroportos. A contribuição consiste na utilização de elementos objetivos para mensurar a eficiência da segurança operacional. Além disso, estudos que investigam a eficiência da segurança operacional na aviação civil são escassos na literatura (CUI; LI, 2015).

Para os aeroportos e para a autoridade de aviação civil, a presente pesquisa proporciona um modelo capaz de auxiliar os gestores nos processos de tomada de decisão e na elaboração de ações para a melhoria da segurança operacional nos aeroportos.

O presente estudo apresenta limitações. Em relação ao modelo DEA, não foi possível avaliar a evolução da segurança operacional nos aeroportos, uma vez que foi definido o período de tempo de análise de um ano e foram analisados apenas os dados referentes a 2018.

Outra limitação do modelo está nas limitações associada à obtenção de variáveis. Não foi possível obter informações sobre o número de empregados dos aeroportos, visto que não é uma informação disponibilizada pelos aeroportos e que não é encontrada no repositório de dados da ANAC. Por não ser disponibilizado pelo CENIPA, também não foi possível obter informações sobre os números de lesões ocorridas nos aeroportos, em decorrência de eventos de segurança operacional.

Outro fator limitador do modelo DEA é que, apesar de robusto e validado por especialistas durante o processo, esse modelo continua passível de questionamentos. Nos estudos que utilizam DEA, não se pode ter clareza do uso de todas variáveis possíveis, porém deve-se fazer esforços para incluir as variáveis que fazem sentido prático para a análise da eficiência investigada. (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018)

Esta pesquisa proporciona a oportunidade para novos estudos associados à análise da eficiência da segurança operacional na aviação civil, uma vez que o modelo desenvolvido nesta pesquisa pode ser implementado em outros setores da aviação civil. Ademais, o modelo desenvolvido nesta pesquisa pode gerar importantes aprendizados para a gestão aeroportuária.

Sugere-se que pesquisas futuras utilizem o modelo proposto por esta pesquisa, com o objetivo de avaliar a evolução da segurança operacional nos aeroportos, fazendo uso de um histórico de dados maior. Por fim, sugere-se que estudos relativos à análise de eficiência da segurança operacional de aeroportos sejam aprofundados a partir desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ADLER, N.; LIEBERT, V.; YAZHEMSKY, E. Benchmarking airports from a managerial perspective. **Omega (United Kingdom)**, v. 41, n. 2, p. 442–458, 2013.
- ALI, A. I.; SEIFORD, L. M. Translation invariance in data envelopment analysis. **Operations research letters**, v. 9, n. 6, p. 403–405, 1990.
- ALPER, D.; SINUANY-STERN, Z.; SHINAR, D. Evaluating the efficiency of local municipalities in providing traffic safety using the Data Envelopment Analysis. **Accident Analysis and Prevention**, v. 78, p. 39–50, 2015.
- AMOROSO, S.; CASTELLUCCIO, F.; MARITANO, L. A DEA-based transport heliports' efficiencies evaluation. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, v. 87, n. 2, p. 131–138, 2015.
- ANAC - Aeródromos Públicos. **Lista de Aeródromos Civis Públicos Cadastrados**. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/cadastrado-aerodromos-civis/aerodromos-publicos-xls>>. Acesso em: 20 dez. 2018.
- ANAC - Consulta Interativa. **Consulta Interativa – Indicadores do Mercado de Transporte Aéreo**. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-de-transporte-aereo/consulta-interativa>>. Acesso em: 20 fev. 2019.
- ANAC, A. N. d. A. C. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil. RBAC nº 161, Emenda 01. Planos de Zoneamento de Ruído de Aeródromos - PZR**. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-161/@@display-file/arquivo_norma/RBAC161EMD01.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2019.
- ANAC, A. N. d. A. C. **MPR/SIA-601-R02 - Gestão da Fiscalização Aeroportuária**. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2017/47/anexo-iv-mpr-sia-601-r02>>. Acesso em: 30 abr. 2019.
- ANAC, A. N. d. A. C. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil. RBAC nº 153, Emenda 03. Aeródromos – Operação, Manutenção e Resposta à Emergência**. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-153-emd-03/@@display-file/arquivo_norma/RBAC153EMD03.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2019.
- ANAC, A. N. d. A. C.; COMAER, C. d. A. **Programa Brasileiro para a Segurança Operacional da Aviação Civil - PSO-BR**. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/gerenciamento-da-seguranca-operacional/arquivos/pso-br.pdf>>. Acesso em: 06 fev. 2019.
- ASSAF, A. G.; GILLEN, D. Measuring the joint impact of governance form and economic regulation on airport efficiency. **European Journal of Operational Research**, v. 220, n. 1, p. 187–198, 2012.
- AUGUSTYNIAK, W. Efficiency change in regional airports during market liberalization. **Economics and Sociology**, v. 7, n. 1, p. 85–93, 2014.

AUGUSTYNIAK, W.; LÓPEZ-TORRES, L.; KALINOWSKI, S. Performance of Polish regional airports after accessing the European Union: does liberalisation impact on airports' efficiency? **Journal of Air Transport Management**, v. 43, p. 11–19, 2015.

BADIOLA, A.; INGLADA, V.; AGÜEROS, M.; COTO-MILLÁN, P.; CASARES-HONTAÑÓN, P.; PESQUERA, M. Á. Small is beautiful? The impact of economic crisis, low cost carriers, and size on efficiency in Spanish airports (2009–2011). **Journal of Air Transport Management**, v. 40, p. 34–41, 2014.

BALL, M.; BARNHART, C.; DRESNER, M.; HANSEN, M.; NEELS, K.; ODoni, A.; PETERSON, E.; SHERRY, L.; TRANI, A.; ZOU, B. Total delay impact study: a comprehensive assessment of the costs and impacts of flight delay in the united states. **NEXTOR Research Symposium, Washington DC**, 2010.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, 1984.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W.; SWARTS, J.; THOMAS, D. An introduction to data envelopment analysis with some of its models and their uses. **Research in governmental and nonprofit accounting**, v. 5, n. 1, p. 125–163, 1989.

BARAK, S.; DAHOOEI, J. H. A novel hybrid fuzzy DEA-Fuzzy MADM method for airlines safety evaluation. **Journal of Air Transport Management**, v. 73, n. January, p. 134–149, 2018.

BARROS, C. P.; Bin Liang, Q.; PEYPOCH, N. The efficiency of French regional airports: an inverse b-convex analysis. **International Journal of Production Economics**, v. 141, n. 2, p. 668–674, 2013.

BARROS, C. P.; DIEKE, P. U. Performance evaluation of Italian airports: a data envelopment analysis. **Journal of Air Transport Management**, v. 13, n. 4, p. 184–191, 2007.

BARROS, C. P.; DIEKE, P. U. Measuring the economic efficiency of airports: a simar-wilson methodology analysis. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 44, n. 6, p. 1039–1051, 2008.

BAZARGAN, M.; VASIGH, B. Size versus efficiency: a case study of u.s. commercial airports. **Journal of Air Transport Management**, v. 9, n. 3, p. 187–193, 2003.

BENEDETTO, A. A decision support system for the safety of airport runways: the case of heavy rainstorms. **Transportation research part A: policy and practice**, v. 36, n. 8, p. 665–682, 2002.

BERIHA, G. S.; PATNAIK, B.; MAHAPATRA, S. S. Safety performance evaluation of Indian organizations using data envelopment analysis. **Benchmarking**, v. 18, n. 2, p. 197–220, 2011.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002.

BOEING, O. **Statistical summary of commercial jet airplane accidents, Worldwide operations 1959–2017**. Technical Report, Aviation Safety Boeing Commercial Airplanes, Seattle, Washington 98124-2207, USA, 2017. Disponível em: <www.boeing.com/news/techissues/pdf/statsum.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2018.

- BRIJS, T.; BEHNOOD, H. R.; SHEN, Y.; NEGHAB, M. P.; AYATI, E. A fuzzy decision-support system in road safety planning. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport**, p. 1–13, 2017.
- BRIJS, T.; SHAH, S.; BASHEER, M.; PIRDAVANI, A.; SHEN, Y.; AHMAD, N. Road Safety Risk Evaluation Using GIS-Based Data Envelopment Analysis—Artificial Neural Networks Approach. **Applied Sciences**, v. 7, n. 9, p. 886, 2017.
- BROOKER, P. Simple models for airport delays during transition to a trajectory-based air traffic system. **Journal of Navigation**, v. 62, n. 4, p. 555–570, 2009.
- CARLUCCI, F.; CIRÀ, A.; COCCORESE, P. Measuring and explaining airport efficiency and sustainability: evidence from Italy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 2, p. 1–17, 2018.
- CHANG, Y. H.; SHAO, P. C.; CHEN, H. J. Performance evaluation of airport safety management systems in Taiwan. **Safety Science**, v. 75, p. 72–86, 2015.
- CHANG, Y. T.; Kevin Park, H.; ZOU, B.; KAFLE, N. Passenger facility charge vs. airport improvement program funds: a dynamic network DEA analysis for U.S. airport financing. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 88, p. 76–93, 2016.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, 1978.
- CHEN, C.-C.; CHEN, J.; LIN, P.-C. Identification of significant threats and errors affecting aviation safety in Taiwan using the analytical hierarchy process. **Journal of Air Transport Management**, v. 15, n. 5, p. 261–263, 2009.
- CHEN, C. M.; DU, J.; HUO, J.; ZHU, J. Undesirable factors in integer-valued DEA: evaluating the operational efficiencies of city bus systems considering safety records. **Decision Support Systems**, v. 54, n. 1, p. 330–335, 2012.
- CHEN, Y. H.; LAI, P. L.; PIBOONRUNGROJ, P. The relationship between airport performance and privatisation policy: a nonparametric metafrontier approach. **Journal of Transport Geography**, v. 62, n. March 2016, p. 229–235, 2017.
- CHI-LOK, A. Y.; ZHANG, A. Effects of competition and policy changes on Chinese airport productivity: an empirical investigation. **Journal of Air Transport Management**, v. 15, n. 4, p. 166–174, 2009.
- CHOW, C. K. W.; FUNG, M. K. Y.; LAW, J. S. Estimating technical efficiencies of airports in the Greater China: stochastic output distance function method vs. data envelopment analysis method. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, v. 2, n. 3, p. 284, 2010.
- COTO-MILLÁN, P.; INGLADA, V.; FERNÁNDEZ, X. L.; INGLADA-PÉREZ, L.; PESQUERA, M. Á. The "effect procargo" on technical and scale efficiency at airports: the case of Spanish airports (2009–2011). **Utilities Policy**, v. 39, p. 29–35, 2016.
- CUI, Q.; LI, Y. The change trend and influencing factors of civil aviation safety efficiency: the case of Chinese airline companies. **Safety Science**, v. 75, p. 56–63, 2015.
- CURI, C.; GITTO, S.; MANCUSO, P. New evidence on the efficiency of Italian airports: a bootstrapped DEA analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 45, n. 2, p. 84–93, 2011.

- DADASHI, A.; MIRBAHA, B. Prioritizing highway safety improvement projects: a monte-carlo based data envelopment analysis approach. **Accident Analysis and Prevention**, v. 123, n. June 2018, p. 387–395, 2019.
- D'ALFONSO, T.; DARAIIO, C.; NASTASI, A. Competition and efficiency in the Italian airport system: new insights from a conditional nonparametric frontier analysis. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 80, p. 20–38, 2015.
- DAVOODI, S. M. R.; AMELIAN, S.; SHOJAEI, A. A. Road safety evaluation using data envelopment analysis case study: roads in provinces in iran. **International Journal of Vehicle Safety**, v. 9, n. 3, p. 253, 2017.
- DE NICOLA, A.; GITTO, S.; MANCUSO, P. Airport quality and productivity changes: a malmquist index decomposition assessment. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 58, p. 67–75, 2013.
- DJORDJEVIĆ, B.; KRMAC, E.; MLINARIĆ, T. J. Non-radial DEA model: a new approach to evaluation of safety at railway level crossings. **Safety Science**, v. 103, n. November 2017, p. 234–246, 2018.
- EGILMEZ, G.; MCAVOY, D. Benchmarking road safety of U.S. states: a dea-based malmquist productivity index approach. **Accident Analysis and Prevention**, v. 53, p. 55–64, 2013.
- EL-MASHALEH, M. S.; RABABEH, S. M.; HYARI, K. H. Utilizing data envelopment analysis to benchmark safety performance of construction contractors. **International Journal of Project Management**, v. 28, n. 1, p. 61–67, 2010.
- ENNEN, D.; BATOOL, I. Airport efficiency in Pakistan - A Data Envelopment Analysis with weight restrictions. **Journal of Air Transport Management**, v. 69, n. April, p. 205–212, 2018.
- FERNANDES, E.; PACHECO, R. R. Efficient use of airport capacity. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 36, n. 3, p. 225–238, 2002.
- FERNANDES, E.; PACHECO, R. R. Managerial performance of airports in Brazil before and after concessions. **Transportation Research Part A**, v. 118, n. August, p. 245–257, 2018.
- FLEURY, A. C. C.; MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- FRAGOUDAKI, A.; GIOKAS, D. Airport performance in a tourism receiving country: evidence from greece. **Journal of Air Transport Management**, v. 52, p. 80–89, 2016.
- FRAGOUDAKI, A.; GIOKAS, D.; GLYPTOU, K. Efficiency and productivity changes in Greek airports during the crisis years 2010–2014. **Journal of Air Transport Management**, v. 57, p. 306–315, 2016.
- FU, Y. K.; CHAN, T. L. A conceptual evaluation framework for organisational safety culture: an empirical study of taipei songshan airport. **Journal of Air Transport Management**, v. 34, p. 101–108, 2014.
- FUNG, M. K. Y.; CHOW, C. K. W.; Van Hui, Y. Measuring the efficiency of airports in China with the DEA and endogenous-weight TFP methods. **International Journal of Transport Economics**, v. 35, n. 1, p. 45–73, 2008.

- GANJI, S. S.; RASSAFI, A. A. DEA Malmquist productivity index based on a double-frontier slacks-based model: iranian road safety assessment. **European Transport Research Review**, v. 11, n. 1, 2019.
- GANJI, S. S.; RASSAFI, A.; XU, D.-L. A double frontier DEA cross efficiency method aggregated by evidential reasoning approach for measuring road safety performance. **Measurement**, v. 136, p. 668–688, 2019.
- GILLEN, D.; LALL, A. Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 33, n. 4, p. 261–273, dec 1997.
- GILLEN, D.; LALL, A. Non-parametric measures of efficiency of US airports. **International Journal of Transport Economics/Rivista internazionale di economia dei trasporti**, p. 283–306, 2001.
- GITTO, S.; MANCUSO, P. Bootstrapping the Malmquist indexes for Italian airports. **International Journal of Production Economics**, v. 135, n. 1, p. 403–411, 2012.
- GONÇALVES, T. J. M.; CORREIA, A. R. A multicriteria model to evaluate airport ramp safety: a study at são paulo international airport. **Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**, v. 24, n. 3, p. 454–464, 2016.
- GUTIÉRREZ, E.; LOZANO, S. Efficiency assessment and output maximization possibilities of European small and medium sized airports. **Research in Transportation Economics**, v. 56, p. 3–14, 2016.
- HA, H. K.; WAN, Y.; YOSHIDA, Y.; ZHANG, A. Airline market structure and airport efficiency: evidence from major northeast asian airports. **Journal of Air Transport Management**, v. 33, p. 32–42, 2013.
- HA, H. K.; YOSHIDA, Y.; ZHANG, A. Comparative analysis of efficiency for major Northeast Asia airports. **Transportation Journal**, v. 49, n. 4, p. 9–23, 2010.
- HERMANS, E.; BRIJS, T.; WETS, G.; VANHOOF, K. Benchmarking road safety: lessons to learn from a data envelopment analysis. **Accident Analysis and Prevention**, v. 41, n. 1, p. 174–182, 2009.
- HORONJEFF, R.; MCKELVEY, F. X.; SPROULE, W.; YOUNG, S. **Planning and design of airports**. McGraw-Hill New York, 1962. v. 4.
- KHEZRIMOTLAGH, D.; SALLEH, S.; MOHSENPOUR, Z. A new robust mixed integer-valued model in DEA. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, n. 24, p. 9885–9897, 2013.
- LAI, P. L.; POTTER, A.; BEYNON, M.; BERESFORD, A. Evaluating the efficiency performance of airports using an integrated AHP/DEA-AR technique. **Transport Policy**, v. 42, p. 75–85, 2015.
- LAM, S. W.; LOW, J. M. W.; TANG, L. C. Operational efficiencies across Asia Pacific airports. **Transportation Research Part E**, v. 45, n. 4, p. 654–665, 2009.
- LEE, M. J.; KIM, C. A network DEA aeronautical and non-aeronautical production model: an application to south korea airports. **Journal of Economic Structures**, v. 7, n. 1, 2018.

- LI, S. L. The cost allocation approach of airport service activities. **Journal of Air Transport Management**, v. 38, p. 48–53, 2014.
- LIN, E. T.; LAN, L. W. Accounting for accidents in the measurement of transport inefficiency: a case of taiwanese bus transit. **International Journal of Environment and Sustainable Development**, v. 8, n. 3/4, p. 365, 2009.
- LIU, D. Measuring aeronautical service efficiency and commercial service efficiency of East Asia airport companies: an application of network data envelopment analysis. **Journal of Air Transport Management**, v. 52, p. 11–22, 2016.
- LIU, D. Evaluating the multi-period efficiency of East Asia airport companies. **Journal of Air Transport Management**, v. 59, p. 71–82, 2017.
- LIU, J. S.; LU, L. Y.; LU, W. M.; LIN, B. J. Data envelopment analysis 1978-2010: a citation-based literature survey. **Omega (United Kingdom)**, 2013.
- LOBIANCO, J. F. B.; CORREIA, A. R. Methodology to Obtain Airport Safety Indicators Using Safety Management Systems. **Journal of the Brazilian Air Transportation Research Society**, v. 9, n. 1, p. 1–12, 2013.
- LOOS, M. J.; Taboada Rodriguez, C. M.; PETRI, S. M.; MATOS, L. d. S. Mapping the State of the Art of Airport Performance Measurement. **Revista ESPACIOS**, v. 37, n. N° 26, p. 25, 2016.
- LOZANO, S.; GUTIÉRREZ, E. Efficiency Analysis and Target Setting of Spanish Airports. **Networks and Spatial Economics**, v. 11, n. 1, p. 139–157, 2011.
- LOZANO, S.; GUTIÉRREZ, E.; MORENO, P. Network DEA approach to airports performance assessment considering undesirable outputs. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, n. 4, p. 1665–1676, 2013.
- MAGHBOULI, M.; AMIRTEIMOORI, A.; KORDROSTAMI, S. Two-stage network structures with undesirable outputs : a dea based approach. **MEASUREMENT**, v. 48, p. 109–118, 2014.
- MARKOVITS-SOMOGYI, R. Measuring efficiency in transport: the state of the art of applying data envelopment analysis. **Transport**, v. 26, n. 1, p. 11–19, 2011.
- MARTÍN, J. C.; ROMÁN, C. An application of DEA to measure the efficiency of Spanish airports prior to privatization. **Journal of Air Transport Management**, v. 7, n. 3, p. 149–157, 2001.
- MARTÍN, J. C.; ROMÁN, C. A benchmarking analysis of Spanish commercial airports. A comparison between SMOP and DEA ranking methods. **Networks and Spatial Economics**, v. 6, n. 2, p. 111–134, 2006.
- MARTIN, J. C.; ROMAN, C. Evaluating the service quality of major air carriers: a dea approach. **International Journal of Applied Management Science**, v. 2, n. 4, p. 351, 2010.
- MERKERT, R.; ASSAF, A. G. Using DEA models to jointly estimate service quality perception and profitability - Evidence from international airports. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 75, p. 42–50, 2015.

- MERKERT, R.; MANGIA, L. Management of airports in extreme winter conditions-some lessons from analysing the efficiency of Norwegian airports. **Research in Transportation Business and Management**, v. 4, p. 53–60, 2012.
- MERKERT, R.; MANGIA, L. Explanatory Power of Different Data Envelopment Analysis Models for Determining Airports' Cost-Efficiency. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2336, p. 91–96, 2013.
- MERKERT, R.; MANGIA, L. Efficiency of Italian and Norwegian airports: a matter of management or of the level of competition in remote regions? **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 62, p. 30–38, 2014.
- MITROFF, I. I.; BETZ, F.; PONDY, L. R.; SAGASTI, F. On managing science in the systems age: two schemas for the study of science as a whole systems phenomenon. **Interfaces**, v. 4, n. 3, p. 46–58, 1974.
- MORANDI, M. I. W. M.; CAMARGO, L. F. R. Systematic Literature Review. In: **Design science research: a method for science and technology advancement**. New York: Springer, 2015. p. 129–158.
- NIKOLAOU, P.; DIMITRIOU, L. Evaluation of road safety policies performance across Europe: results from benchmark analysis for a decade. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 116, n. June 2018, p. 232–246, 2018.
- NISSI, E.; RAPPOSELLI, A. Analysing industrial accidents in European countries using data envelopment analysis. **AIEL Series in Labour Economics**, v. 6, p. 93–101, 2012.
- NOROOZZADEH, A.; SADJADI, S. J. A new approach to evaluate railways efficiency considering safety measures. **Decision Science Letters**, v. 2, n. 2, p. 71–80, 2013.
- OACI, O. d. A. C. I. **Doc 9859, Safety Management Manual (SMM)**. 4th Edition. ed. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2018.
- ÖZTÜRK, E.; BAL, H. Ranking the Airports with Data Envelopment Analysis and Canonical Correlation Analysis. **Journal of Science**, v. 30, n. 2, p. 237–245, 2017.
- PACHECO, R. R.; FERNANDES, E. Managerial efficiency of Brazilian airports. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 37, n. 8, p. 667–680, 2003.
- PACHECO, R. R.; FERNANDES, E.; DOMINGOS, E. M. Airport airside safety index. **Journal of Air Transport Management**, v. 34, p. 86–92, 2014.
- PAKKAR, M. S. Using DEA and AHP for Hierarchical Structures of Data. **Industrial Engineering and Management Systems**, v. 15, n. 1, p. 49–62, 2016.
- PAL, D.; MITRA, S. K. An application of the directional distance function with the number of accidents as an undesirable output to measure the technical efficiency of state road transport in India. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 93, p. 1–12, 2016.
- PIRAN, F. S.; LACERDA, D. P.; CAMARGO, L. F. R. **Análise e Gestão da Eficiência**. 2018.
- RABAR, D.; ZENZEROVIĆ, R.; ŠAJRIH, J. An empirical analysis of airport efficiency: the croatian case. **Croatian Operational Research Review**, v. 8, n. 2, p. 471–487, dec 2017.

- REZAAE, M. J.; YOUSEFI, S. An intelligent decision making approach for identifying and analyzing airport risks. **Journal of Air Transport Management**, v. 68, p. 14–27, 2018.
- RODOLFO, A.; MARCOS, A.; FERREIRA, L. Um Modelo de Simulação para Gestão da Capacidade dos Aeroportos Brasileiros. **Revista Eletrônica de Administração**, p. 1–26, 2015.
- ROELEN, A.; KLOMPSTRA, M. The challenges in defining aviation safety performance indicators. **Helsinki, Finland. PSAM**, v. 11, 2012.
- ROETS, B.; VERSCHELDE, M.; CHRISTIAENS, J. Multi-output efficiency and operational safety: an analysis of railway traffic control centre performance. **European Journal of Operational Research**, v. 271, n. 1, p. 224–237, 2018.
- ROGHANIAN, E.; FOROUGH, A. An empirical study of iranian regional airports using robust data envelopment analysis. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 1, n. 1, p. 65–72, 2010.
- ROSIĆ, M.; PEŠIĆ, D.; KUKIĆ, D.; ANTIĆ, B.; BOŽOVIĆ, M. Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method. **Accident Analysis and Prevention**, v. 98, p. 277–286, 2017.
- SADEGHI, A.; AYATI, E.; NEGHAB, M. P. Identification and prioritization of hazardous road locations by segmentation and data envelopment analysis approach. **Promet - Traffic - Traffico**, v. 25, n. 2, p. 127–136, jan 2013.
- SARKIS, J. Analysis of the operational efficiency of major airports in the United States. **Journal of Operations Management**, v. 18, n. 3, p. 335–351, 2000.
- SARKIS, J. Preparing your data for DEA. In: **Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis**. Springer, 2007. p. 305–320.
- SCHEER, A.-w. Architecture of Integrated Information Systems (ARIS). In: **Business Process Engineering Study Edition**. 2013. p. 4–16.
- SEIFORD, L. M.; ZHU, J. Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. **European journal of operational research**, v. 142, n. 1, p. 16–20, 2002.
- SHAH, S. A. R.; AHMAD, N.; SHEN, Y.; PIRDAVANI, A.; BASHEER, M. A.; BRIJS, T. Road safety risk assessment: an analysis of transport policy and management for low-, middle-, and high-income asian countries. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 2, 2018.
- SHEN, Y.; HERMANS, E.; BAO, Q.; BRIJS, T.; WETS, G. Road safety development in Europe: a decade of changes (2001-2010). **Accident Analysis and Prevention**, v. 60, p. 85–94, 2013.
- SHEN, Y.; HERMANS, E.; BAO, Q.; BRIJS, T.; WETS, G. Serious Injuries: an additional indicator to fatalities for road safety benchmarking. **Traffic Injury Prevention**, v. 16, n. 3, p. 246–253, 2015.
- SHEN, Y.; HERMANS, E.; BRIJS, T.; WETS, G.; VANHOOF, K. Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions. **Accident Analysis and Prevention**, v. 48, p. 430–441, 2012.

- SHEN, Y.; HERMANS, E.; RUAN, D.; WETS, G.; BRIJS, T.; VANHOOF, K. A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: a case study in road safety performance evaluation. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 12, p. 15262–15272, 2011.
- STOLZER, A. J.; FRIEND, M. A.; TRUONG, D.; TUCCIO, W. A.; AGUIAR, M. Measuring and evaluating safety management system effectiveness using Data Envelopment Analysis. **Safety Science**, v. 104, n. November 2017, p. 55–69, 2018.
- STORTO, C. Ownership structure and the technical, cost, and revenue efficiency of Italian airports. **Utilities Policy**, v. 50, n. January, p. 175–193, 2018.
- STORTO, C. Io. The analysis of the cost-revenue production cycle efficiency of the Italian airports: a nsbm dea approach. **Journal of Air Transport Management**, v. 72, n. June, p. 77–85, 2018.
- SUN, L.; RONG, J.; YAO, L. Measuring Transfer Efficiency of Urban Public. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 136, n. December, p. 314–319, 2010.
- SUTTON, W. T.; BAEK, S. Recovering from delays: an analysis of airport operations using data envelopment analysis. **Applications of Management Science**, v. 13, p. 89–112, oct 2009.
- SUZUKI, S.; NIJKAMP, P.; PELS, E.; RIETVELD, P. Comparative performance analysis of European airports by means of extended data envelopment analysis. **Journal of Advanced Transportation**, v. 48, n. 3, p. 185–202, apr 2014.
- SUZUKI, S.; NIJKAMP, P.; RIETVELD, P.; PELS, E. A distance friction minimization approach in data envelopment analysis: a comparative study on airport efficiency. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 2, p. 1104–1115, 2010.
- TONG, L.; DING, R. jia. Efficiency assessment of coal mine safety input by data envelopment analysis. **Journal of China University of Mining and Technology**, v. 18, n. 1, p. 88–92, 2008.
- TSUI, W. H. K.; BALLI, H. O.; GILBEY, A.; GOW, H. Operational efficiency of Asia–Pacific airports. **Journal of Air Transport Management**, v. 40, p. 16–24, 2014.
- ÜLKÜ, T. A comparative efficiency analysis of Spanish and Turkish airports. **Journal of Air Transport Management**, v. 46, p. 56–68, 2015.
- WAGNER, J. M.; SHIMSHAK, D. G. Stepwise selection of variables in data envelopment analysis: procedures and managerial perspectives. **European Journal of Operational Research**, 2007.
- WANG, H. C.; LEE, H. S. Evaluating navigation safety for harbours in Taiwan: an empirical study. **Journal of Marine Engineering and Technology**, v. 11, n. 3, p. 31–37, 2012.
- WANKE, P.; BARROS, C. P. Efficiency thresholds and cost structure in Senegal airports. **Journal of Air Transport Management**, v. 58, p. 100–112, 2017.
- WANKE, P.; BARROS, C. P.; NWAOGBE, O. R. Assessing productive efficiency in Nigerian airports using Fuzzy-DEA. **Transport Policy**, v. 49, p. 9–19, 2016.
- WANKE, P. F. Efficiency of Brazil’s airports: evidences from bootstrapped dea and fdh estimates. **Journal of Air Transport Management**, v. 23, p. 47–53, 2012.

- WANKE, P. F. Socio-Economic Planning Sciences Capacity shortfall and efficiency determinants in Brazilian airports : evidence from bootstrapped dea estimates. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 46, n. 3, p. 216–229, 2012.
- WANKE, P. F. Physical infrastructure and flight consolidation efficiency drivers in Brazilian airports: a two-stage network-dea approach. **Journal of Air Transport Management**, v. 31, p. 1–5, aug 2013.
- WREATHALL, J. Leading? Lagging? Whatever! **Safety Science**, v. 4, n. 47, p. 493–494, 2009.
- WU, B.; WANG, Y.; ZHANG, J.; SAVAN, E. E.; YAN, X. Effectiveness of maritime safety control in different navigation zones using a spatial sequential DEA model: yangtze river case. **Accident Analysis and Prevention**, v. 81, p. 232–242, 2015.
- WU, H.; LI, Y.; YANG, X.; ZHANG, B.; ZHAI, W.; XIA, Q. An estimation of returns to scale of airport airside under multiple optimal solutions in DEA. **Journal of Air Transport Management**, v. 40, p. 149–156, 2014.
- YANG, H. H. Efficiency and productivity evidence from international airports in the Asia-Pacific region. **Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers**, v. 27, n. 2, p. 157–168, 2010.
- YANG, H. H. Measuring the efficiencies of Asia-Pacific international airports - Parametric and non-parametric evidence. **Computers and Industrial Engineering**, v. 59, n. 4, p. 697–702, 2010.
- YEH, L. T. Incorporating workplace injury to measure the safety performance of industrial sectors in Taiwan. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 12, 2017.
- YOSHIDA, Y.; FUJIMOTO, H. Japanese-airport benchmarking with the DEA and endogenous-weight TFP methods: testing the criticism of overinvestment in japanese regional airports. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 40, n. 6, p. 533–546, 2004.
- YOSHIMOTO, D.; ALVES, C. J. P.; CAETANO, M. Airports economic efficient frontier. **Journal of Operations and Supply Chain Management**, v. 11, n. 1, p. 26, 2018.
- YU, M. M. Measuring physical efficiency of domestic airports in Taiwan with undesirable outputs and environmental factors. **Journal of Air Transport Management**, v. 10, n. 5, p. 295–303, 2004.
- YU, M. M. Assessment of airport performance using the SBM-NDEA model. **Omega**, v. 38, n. 6, p. 440–452, 2010.
- YU, M. M. Capacity efficiency measurement using a three-stage DEA approach: evidence from domestic airports in taiwan. **Transportation Planning and Technology**, v. 33, n. 2, p. 221–235, 2010.
- YU, M. M.; CHERN, C. C.; HSIAO, B. Human resource rightsizing using centralized data envelopment analysis: evidence from taiwan's airports. **Omega (United Kingdom)**, v. 41, n. 1, p. 119–130, 2013.

ZOU, B.; KAFLE, N.; CHANG, Y. T.; PARK, K. US airport financial reform and its implications for airport efficiency: an exploratory investigation. **Journal of Air Transport Management**, v. 47, p. 66–78, 2015.

APÊNDICE A ESTUDOS DE ANÁLISE DE EFICIÊNCIA EM AEROPORTOS

(continua)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
<p>Gillen e Lall (1997); Gillen e Lall (2001)</p>	<p>Operacional</p>	<p>21 Aeroportos dos Estados Unidos; 22 Aeroportos dos Estados Unidos</p>	<p>(i) Serviços de terminal: (1) Número de pistas; (2) Número de portões; (3) Área do terminal; (4) Número de empregados; (5) Número de esteiras de coleta de bagagem; (6) Número de vagas de estacionamento. (ii) Movimentos: (1) Área do aeroporto; (2) Número de pistas; (3) Área de pista; (4) Número de empregados.</p>	<p>(i) Serviços de terminal: (1) Número de passageiros; (2) Carga processada. (ii) Movimentos: (1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros.</p>
<p>Sarkis (2000)</p>	<p>Operacional</p>	<p>44 Aeroportos dos Estados Unidos</p>	<p>(1) Custo operacional; (2) Número de empregados; (3) Número de portões; (4) Número de pistas.</p>	<p>(1) Receitas operacionais; (2) Movimento de aeronaves; (3) Movimento de aviação geral; (4) Número de passageiros; (5) Carga processada.</p>

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Martín e Román (2001); Martín e Román (2006); Barros, Bin Liang e Peypoch (2013)	Operacional	37 Aeroportos da Espanha; 34 Aeroportos da Espanha; 27 Aeroportos da França	(1) Número de empregados; (2) Custo operacional; (3) Custo material.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada.
Fernandes e Pacheco (2002)	Operacional	35 Aeroportos do Brasil	(1) Área do pátio; (2) Área do terminal de embarque; (3) Número de balcões de check-in; (4) Comprimento da fachada; (5) Número de vagas de estacionamento; (6) Área para coleta de bagagem.	(1) Número de passageiros.
Bazargan e Vassigh (2003)	Econômica	45 Aeroportos dos Estados Unidos	(1) Custo operacional; (2) Custo não operacional; (3) Número de pistas; (4) Número de portões.	(1) Número de passageiros; (2) Movimento de aeronaves; (3) Movimento de aviação geral; (4) Receitas operacionais; (5) Receitas não operacionais; (6) Percentual de tempo de operação.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Pacheco e Fernandes (2003); Fernandes e Pacheco (2018)	Econômica	35 Aeroportos do Brasil; 60 Aeroportos do Brasil	(1) Número de empregados; (2) Custo com empregados; (3) Custo operacional.	(1) Número de passageiros; (2) Carga processada; (3) Receita operacional; (4) Receita comercial; (5) Outras receitas.
Yoshida e Fujimoto (2004)	Econômica	67 Aeroportos do Japão	(1) Comprimento de pista; (2) Área do terminal; (3) Custo de acesso; (4) Número de empregados.	(1) Número de passageiros; (2) Carga processada; (3) Movimento de aeronaves.
Yu (2004)	Operacional	14 Aeroportos de Taiwan	(1) Área de pista; (2) Área do pátio; (3) Área do terminal; (4) Número de rotas.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Ruído de aeronaves.
Barros e Dieke (2007); Barros e Dieke (2008)	Econômica	31 Aeroportos da Itália; 31 Aeroportos da Itália	(1) Custo com empregados; (2) Capital investido; (3) Custo operacional excluindo o custo com empregados.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada; (4) Recibo de serviços auxiliares; (5) Vendas aeronáuticas; (6) Vendas comerciais.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Fung, Chow e Van Hui (2008); Chi-Lok e Zhang (2009); Chow, Fung e Law (2010)	Operacional	41 Aeroportos da China; 25 Aeroportos da China; 29 Aeroportos da China	(1) Área do terminal; (2) Comprimento de pista.	(1) Número de passageiros; (2) Carga processada; (3) Movimento de aeronaves.
Lam, Low e Tang (2009)	Econômica	11 Aeroportos da Região Ásia-Pacífico	(1) Número de empregados; (2) Capital investido; (3) Custo operacional excluindo o custo com empregados; (4) Valor de mercado.	(1) Número de passageiros; (2) Movimento de aeronaves; (3) Carga processada.
Sutton e Baek (2009)	Operacional	67 Aeroportos dos Estados Unidos	(1) Número de pistas; (2) Número de portões; (3) Número de voos de chegada programados.	(1) Receitas operacionais; (2) Receitas não operacionais; (3) Número de voos partindo sem atraso.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Yu (2010a); Yu, Chern e Hsiao (2013)	Operacional	15 Aero- portos de Taiwan; 18 Aero- portos de Taiwan	(1) Número de empregados; (2) Área de pista; (3) Área do pátio; (4) Área do terminal.	(1) Número de passageiros; (2) Movimento de aeronaves; (3) Carga processada.
Suzuki et al. (2010); Suzuki et al. (2014)	Operacional	30 Aero- portos da Europa; 19 Aero- portos da Europa	(1) Número de pistas; (2) Área do terminal; (3) Número de portões; (4) Número de empregados.	(1) Número de passageiros; (2) Movimento de aeronaves.
Yang (2010b)	Econômica	12 Aero- portos da Região Ásia- Pacífico	(1) Número de empregados; (2) Número de pistas; (3) Custo operacional.	(1) Receitas operacionais.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Roghanian e Foroughi (2010); Ha, Yoshida e Zhang (2010)	Operacional	21 Aeroportos do Irã; 7 Aeroportos da Região Ásia-Pacífico	(1) Número de empregados; (2) Área do terminal; (3) Comprimento de pista.	(1) Número de movimentos; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada.
Yang (2010a)	Econômica	12 Aeroportos da Região Ásia-Pacífico	(1) Número de empregados; (2) Número de pistas; (3) Custo operacional.	(1) Número de passageiros; (2) Carga processada; (3) Receita operacional.
Yu (2010b)	Operacional	14 Aeroportos de Taiwan	(1) Área de pista; (2) Área do pátio; (3) Área do terminal.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Ruído de aeronaves.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Curi, Gitto e Mancuso (2011)	Econômica e Operacional	18 Aeroportos da Itália	(i) Econômica: (1) Área do aeroporto; (2) Custo com empregados; (3) Outros custos. (ii) Operacional: (1) Número de empregados; (2) Número de pistas; (3) Área do pátio.	(i) Econômica: (1) Receitas aeronáuticas; (2) Receitas não aeronáuticas. (ii) Operacional: (1) Número de passageiros; (2) Movimento de aeronaves; (3) Carga processada.
Lozano e Gutiérrez (2011)	Operacional	41 Aeroportos da Espanha	(1) Área de pista; (2) Capacidade do pátio; (3) Capacidade de processamento de passageiros; (4) Número de esteiras de coleta de bagagem; (5) Número de balcões de check-in; (6) Número de portões.	(1) Número de passageiros; (2) Carga processada; (3) Movimento de aeronaves.
Gitto e Mancuso (2012)	Econômica	28 Aeroportos da Itália	(1) Custo com empregados; (2) Capital investido; (3) Custo operacional excluindo o custo com empregados.	(1) Número de passageiros; (2) Movimento de aeronaves; (3) Carga processada; (4) Receitas aeronáuticas; (5) Receitas não aeronáuticas.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Assaf e Gillen (2012)	Econômica	73 Aeroportos Internacionais da Europa; América do Norte e Austrália	(1) Número de empregados; (2) Custo operacional excluindo o custo com empregados; (3) Número de pista; (4) Área do terminal.	(1) Número de passageiros; (2) Movimento de aeronaves; (3) Receitas não aeronáuticas.
Wanke (2012a)	Operacional	65 Aeroportos do Brasil	(1) Movimento de aeronaves.	(1) Número de passageiros; (2) Carga processada; (3) Correio processado.
Wanke (2012b)	Operacional	63 Aeroportos do Brasil	(1) Área do aeroporto; (2) Área do pátio; (3) Número de pistas; (4) Comprimento de pista; (5) Número de vagas de estacionamento de aeronave; (6) Área do terminal; (7) Número de vagas de estacionamento.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Merkert e Mangia (2012); Merkert e Mangia (2013); Merkert e Mangia (2014)	Econômica e Operacional	46 Aeroportos da Noruega; 46 Aeroportos da Noruega e 35 Aeroportos da Itália; 46 Aeroportos da Noruega e 35 Aeroportos da Itália	(i) Econômica: (1) Custo operacional; (2) Custo com empregados; (3) Custo material. (ii) Operacional: (1) Área do terminal; (2) Área do pátio; (3) Número de pistas; (4) Comprimento de pista; (5) Área de pista; (6) Área do aeroporto; (7) Número de empregados .	(i) Econômica: (1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada. (ii) Operacional: (1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada.
Lozano, Gutiérrez e Moreno (2013); Maghbouli, Amirteimoori e Kordrostami (2014)	Operacional	39 Aeroportos da Espanha; 39 Aeroportos da Espanha	(1) Área de pista; (2) Capacidade do pátio; (3) Número de portões; (4) Número de esteiras de coleta de bagagem; (5) Número de balcões de check-in.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada; (4) Número de voos atrasados; (5) Número acumulado de voos atrasados.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Adler, Liebert e Yazhemyky (2013)	Econômica	43 Aeroportos da Europa	(1) Custo com empregados; (2) Outros custos operacionais; (3) Capacidade de pista; (4) Capacidade do terminal.	(1) Receitas aeronáuticas; (2) Receitas não aeronáuticas; (3) Número de passageiros internacionais; (4) Número de passageiros domésticos; (5) Carga processada; (6) Movimento de aeronaves.
De Nicola, Gitto e Mancuso (2013); Badiola et al. (2014); Coto-Millán et al. (2016)	Econômica	20 Aeroportos da Itália; 35 Aeroportos da Espanha; 35 Aeroportos da Espanha	(1) Custo com empregados; (2) Capital investido; (3) Custo operacional excluindo o custo com empregados.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada.
Wanke (2013)	Operacional	63 Aeroportos do Brasil	(1) Área do terminal; (2) Número de vagas de estacionamento de aeronaves; (3) Número de pistas.	(1) Número de passageiros; (2) Carga processada; (3) Movimento de aeronaves.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Ha et al. (2013)	Operacional	12 Aeroportos do Nordeste da Ásia	(1) Comprimento de pista; (2) Área do terminal; (3) Número de empregados.	(1) Número de passageiros + Carga processada.
Khezrimotlagh, Salleh e Mohsenpour (2013)	Operacional	39 Aeroportos da Espanha	(1) Número de vagas de estacionamento de aeronave; (2) Número de esteiras de coleta de bagagem; (3) Número de balcões de check-in; (4) Número de portões.	(1) Número de passageiros; (2) Movimento de aeronaves; (3) Carga processada.
Tsui et al. (2014)	Operacional	21 Aeroportos da Região Ásia-Pacífico	(1) Número de empregados; (2) Número de pistas; (3) Comprimento de pista; (4) Área do terminal.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Li (2014)	Econômica	Aeroporto de Magong em Taiwan	(1) Número de empregados; (2) Custo com empregados; (3) Área do pátio; (4) Área do terminal de carga; (5) Área do terminal de passageiros; (6) Número de voos programados; (7) Número de passageiros; (8) Número de passageiros desembarcados; (9) Número de passageiros embarcados; (10) Capacidade de passageiros na hora pico; (11) Carga processada.	(1) Custo operacional.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Augustyniak (2014); Augustyniak, López-Torres e Kalinowski (2015)	Econômica e Operacional	4 Aeroportos da Polônia e 11 Aeroportos da Alemanha; 4 Aeroportos da Polônia e 11 Aeroportos da Alemanha	(i) Econômica: (1) Custo com empregados; (2) Custo de capital. (ii) Operacional: (1) Número de empregados; (2) Área do terminal; (3) Número de portões; (4) Número de balcões de check-in.	(i) Econômica: (1) Receita total; (2) Número de passageiros. (ii) Operacional: (1) Movimento de aeronaves; (2) Carga processada; (3) Número de passageiros.
Wu et al. (2014)	Operacional	37 Aeroportos da China	(1) Distância disponível para decolagem; (2) Distância disponível para pouso; (3) Número de vagas de estacionamento para aeronave.	(1) Movimento de aeronaves.
Merkert e Assaf (2015)	Econômica	30 Aeroportos Internacionais	(1) Comprimento de pista; (2) Área do terminal.	(1) Número de passageiros; (2) Carga processada; (3) Movimento de aeronaves; (4) Margem EBITDA.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Lai et al. (2015)	Econômica	24 Aeroportos Internacionais	(1) Número de empregados; (2) Número de portões; (3) Número de pistas; (4) Área do terminal; (5) Comprimento de pista; (6) Custo Operacional.	(1) Número de passageiros; (2) Carga processada; (3) Correio processado; (4) Receitas operacionais.
Zou et al. (2015)	Econômica	42 Aeroportos dos Estados Unidos	(1) Custo com empregados; (2) Custo material; (3) Custo de capital.	(1) Número de passageiros; (2) Movimento de aeronaves; (3) Carga processada; (4) Receitas não aeronáuticas; (5) Minutos de atraso nos voos de chegada.
D'Alfonso, Dairaio e Nastasi (2015)	Operacional	34 Aeroportos da Itália	(1) Área do aeroporto; (2) Número de pistas; (3) Número de terminal de passageiros; (4) Número de portões; (5) Número de balcões de check-in; (6) Número de empregados.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Ülkü (2015)	Econômica	41 Aeroportos da Espanha e 32 Aeroportos da Turquia	(1) Área de pista; (2) Custo com empregados; (3) Custo operacional excluindo o custo com empregados.	(1) Receita comercial; (2) Número de passageiros; (3) Movimento de aeronaves; (4) Carga processada.
Amoroso, Castelluccio e Maritano (2015)	Operacional	42 Aeroportos da Itália	(1) Área do aeroporto; (2) Número de vagas de estacionamento de aeronave; (3) Área do terminal; (4) Área do pátio.	(1) Número de passageiros; (2) Número de residentes que podem chegar de carro ao aeroporto em 90 minutos; (3) Movimento de aeronaves na hora pico; (4) Lucro líquido.
Wanke, Barros e Nwaogbe (2016)	Operacional	30 Aeroportos da Nigéria	(1) Capacidade do terminal; (2) Área de pista; (3) Número de empregados; (4) Área do pátio.	(1) Número de passageiros; (2) Movimento de aeronaves; (3) Carga processada; (4) Correio processado.
Chang et al. (2016)	Econômica	41 Aeroportos dos Estados Unidos	(1) Número de empregados; (2) Custo material; (3) Capital investido; (4) Investimento em marketing e propaganda.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de voos atrasados; (3) Número de passageiros; (4) Carga processada.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Liu (2016); Liu (2017)	Econômica	10 Aeroportos do Leste da Ásia; 10 Aeroportos do Leste da Ásia	(1) Área de pista; (2) Custo com empregados; (3) Custo operacional excluindo o custo com empregados.	(1) Receitas operacionais; (2) Movimento de aeronaves; (3) Número de passageiros + Carga processada.
Fragoudaki e Giokas (2016); Fragoudaki, Giokas e Glyptou (2016)	Operacional	38 Aeroportos da Grécia; 38 Aeroportos da Grécia	(1) Comprimento de pista; (2) Área do pátio; (3) Área do terminal.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada.
Gutiérrez e Lozano (2016)	Operacional	21 Aeroportos da Europa	(1) Área de pista; (2) Número de portões; (3) Número de vagas de estacionamento de aeronave; (4) Número de voos programados; (5) Número de empresas aéreas.	(1) Número de passageiros; (2) Movimento de aeronaves; (3) Carga processada.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Chen, Lai e Pibonrunroj (2017)	Operacional	24 Aeroportos da Europa e da Região Ásia-Pacífico	(1) Número de empregados; (2) Número de portões; (3) Número de pistas; (4) Área do terminal; (5) Comprimento de pista.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada; (4) Receitas operacionais.
Wanke e Barros (2017)	Operacional	5 Aeroportos do Senegal	(1) Número de empregados; (2) Comprimento de pista.	(1) Número de passageiros; (2) Movimento de aeronaves; (3) Carga processada.
Rabar, Zenzorović e Šajrih (2017)	Econômica	7 Aeroportos da Croácia	(1) Custo com empregados; (2) Despesa total; (3) Total de ativos.	(1) Total de receita .
Öztürk e Bal (2017)	Operacional	51 Aeroportos da Turquia	(1) Área do terminal; (2) Área do aeroporto.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada.
Storto (2018b)	Econômica	45 Aeroportos da Itália	(1) Área do terminal; (2) Área do pátio; (3) Comprimento de pista; (4) Número de empregados; (5) Custo material; (6) Custo com empregados.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada; (4) Receitas aeronáuticas; (5) Receitas não aeronáuticas.

(continuação)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Carlucci, Cirà e Coccoresse (2018)	Econômica	34 Aero-portos da Itália	(1) Custo com empregados; (2) Capital investido; (3) Outros custos.	(1) Número de passageiros; (2) Carga processada; (3) Movimento de aeronaves; (4) Receitas aeronáuticas; (5) Receitas de serviços auxiliares; (6) Receitas comerciais.
Storto (2018a)	Econômica	38 Aero-portos da Itália	(i) Custo: (1) Custo operacional excluindo o custo com empregados; (2) Custo com empregados. (ii) Operacional: (1) Área do terminal; (2) Área do pátio; (3) Área de pista; (4) Número de empregados. (iii) Receita: (1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada.	(i) Custo: (1) Área do terminal; (2) Área do pátio; (3) Área de pista; (4) Número de empregados. (ii) Operacional: (1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros; (3) Carga processada. (iii) Receita: (1) Receitas aeronáuticas; (2) Receitas não aeronáuticas.

(conclusão)

Artigos	Tipo de eficiência	Amostra	Inputs	Outputs
Lee e Kim (2018)	Econômica	14 Aeroportos da Coreia do Sul	(1) Capacidade do aeroporto; (2) Área destinada a duty-free; (3) Área destinada a restaurantes; (4) Número de vagas de estacionamento; (5) Número de empregados; (6) Número de pistas; (7) Capacidade do terminal.	(1) Receitas aeronáuticas; (2) Receitas não aeronáuticas; (3) Movimento de aeronaves; (4) Carga processada; (5) Número de passageiros.
Ennen e Batool (2018)	Operacional	12 Aeroportos do Paquistão	(1) Número de pistas; (2) Número de taxiways; (3) Área do terminal; (4) Número de empregados.	(1) Movimento de aeronaves; (2) Número de passageiros domésticos; (3) Número de passageiros internacionais; (4) Número de passageiros; (5) Movimento de aeronaves comerciais; (6) Carga processada.
Yoshimoto, Alves e Caetano (2018)	Econômica	3 Aeroportos do Brasil	(1) Área do terminal; (2) Número de passageiros; (3) Custos operacionais.	(1) Receitas comerciais; (2) Receitas com estacionamento de veículos; (3) Receitas com marketing.

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE B ESTUDOS DE ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DA SEGURANÇA OPERACIONAL

(continua)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
TONG e DING (2008)	Mineração	Mina de carvão da China	(1) Custo de instalações e equipamentos por empregado; (2) Custo de inspeção por instalação e equipamento por empregado; (3) Custo com educação e treinamento em segurança; (4) Custo de proteção pessoal por empregado; (5) Custo de gestão de segurança por empregado; (6) Número de gerentes e técnicos de segurança; (7) Número de horas de trabalho aplicados a problemas com segurança.	(1) Percentual de redução do valor de danos por acidente em relação ao ano anterior.
Lin e Lan (2009)	Transporte rodoviário	10 Empresas de ônibus de Taiwan	(1) Número de veículos; (2) Número de empregados; (3) Combustível consumido.	(1) Número de veículo x quilômetro percorrido; (2) Número de fatalidades; (3) Número de lesões graves; (4) Número de lesões leves; (5) Número de acidentes sem lesão.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
El-Mashaleh, Rababeh e Hyari (2010)	Construção civil	50 Empre- teiras da Jordânia	(1) Gastos com segurança como percen- tual do total de receitas.	(1) Número de acidentes que não causam invalidez e não envolvam perda de dias de trabalho; (2) Número de acidentes que não causam invalidez e que envolva perda de dias de trabalho; (3) Número de acidentes que causam in- validez temporária; (4) Número de acidentes que causam in- validez parcial permanente; (5) Número de acidentes que causam in- validez total permanente ou fatalidade.
Sun, Rong e Yao (2010)	Transporte rodoviário	10 Ter- minais rodoviários da China	(1) Área do terminal; (2) Custos operacionais; (3) Número de empregados; (4) Capacidade de ônibus por dia.	(1) Número de passageiros; (2) Segurança de transferência; (3) Tempo médio de transferência do pas- sageiro no terminal.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Shen et al. (2011)	Transporte rodoviário	Rodovias de 19 Países da Europa	(1) Fatalidades envolvendo ao menos um motorista alcoolizado; (2) Média de velocidade em estradas urbanas; (3) Média de velocidade em estradas rurais; (4) Média de velocidade em auto-estradas; (5) Limite de velocidade em estradas urbanas; (6) Limite de velocidade em estradas rurais; (7) Limite de velocidade em auto-estradas; (8) Percentual de não uso de cinto de segurança nos assentos dianteiros; (9) Percentual de não uso de cinto de segurança nos assentos traseiros; (10) Percentual de não uso de cadeirinha de criança; (11) Percentual de não uso de capacete por ciclistas; (12) Percentual de não uso de capacete por motorista de móbiles; (13) Percentual de não uso de capacete por motociclistas.	(1) Número de fatalidades por milhão de habitantes; (2) Número de lesões graves por milhão de habitantes; (3) Número de lesões leves por milhão de habitantes; (4) Número de colisões por milhão de habitantes.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Beriha, Patnaik e Mahapatra (2011)	Indústria	30 Organizações industriais da Índia	(1) Custo com cuidados de saúde; (2) Custo em treinamento sobre segurança; (3) Custo de investimento em segurança e ambiente saudável; (4) Custo com equipamento e ferramentas de segurança.	(1) Número de acidentes que não causam invalidez e não envolvam perda de dias de trabalho; (2) Número de acidentes que não causam invalidez e que envolvam perda de dias de trabalho; (3) Número de acidentes que causam invalidez temporária; (4) Número de acidentes que causam invalidez parcial permanente; (5) Número de acidentes que causam invalidez total permanente ou fatalidade.
Shen et al. (2012); Shen et al. (2013)	Transporte rodoviário	Rodovias de 27 Países da Europa; Rodovias de 27 Países da Europa	(1) Número de pessoas da população; (2) Número de passageiro x quilômetro; (3) Número de carros.	(1) Número de fatalidades.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Chen et al. (2012)	Transporte rodoviário	Operação de ônibus da cidade de Kaoh-siung em Taiwan	(1) Número de veículos; (2) Número de empregados; (3) Combustível consumido.	(1) Número de quilômetros percorridos; (2) Número de passageiros; (3) Número de acidentes.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Wang e Lee (2012)	Transporte marítimo	4 Portos comerciais de Taiwan	(1) Número de atracadouros.	(1) Número de casualidades por colisão; (2) Número de casualidades por encalhe; (3) Número de casualidades por vazamento; (4) Número de casualidades por incêndio; (5) Número de casualidades por emborcamento; (6) Número de casualidades por falha estrutural; (7) Número de casualidades por falha de maquinário; (8) Número de casualidades por entrelaçamento; (9) Número de casualidades por mau tempo; (10) Número de casualidades por sumiço de navio; (11) Outras casualidades.
Nissi e Rapposelli (2012)	Indústria	3 setores da indústria de 15 países da Europa	(1) Número de empregados.	(1) Valor agregado para cada setor; (2) Número de acidentes industriais resultante em 3 ou mais dias fora do trabalho.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Egilmez e McA- voy (2013)	Transporte rodoviário	Rodovias dos 50 Estados dos Estados Unidos	(1) Custo com segurança; (2) Número de veículos; (3) Número de motoristas; (4) Número de milhas percorridas pelos veículos; (5) Comprimento total de rodovias; (6) Condição geral das rodovias; (7) Percentual de uso do cinto de segu- rança.	(1) Número de acidentes com fatalidade.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Sadeghi, Ayati e Neghab (2013)	Transporte rodoviário	154 seções de rodovias do Irã	(1) Comprimento da seção da rodovia; (2) Razão de curvatura; (3) Razão de tangência; (4) Condição do pavimento; (5) Largura da rodovia; (6) Limite de velocidade; (7) Número de vias de acesso pelo comprimento da seção; (8) Proporção de zona de não ultrapassagem; (9) Índice de perigo na seção da rodovia; (10) Taxa de variação de curvatura; (11) Índice de distância da seção de dois hubs; (12) Média anual do tráfego diário.	(1) Número de acidentes.
Noroozadeh e Sadjadi (2013)	Transporte ferroviário	Ferrovias de 25 países da Europa	(1) Número de empregados; (2) Número de locomotivas; (3) Número de vagões de trem; (4) Comprimento da linha ferroviária.	(1) Quantidade de passageiro x quilômetro; (2) Número de acidentes; (3) Número de fatalidades.
Cui e Li (2015)	Transporte aéreo	10 Empresas aéreas da China	(1) Número de empregados; (2) Custo operacional; (3) Investimento em safety; (4) Investimento em P&D.	(1) Percentual do volume de passageiro transportado sem acidente ou incidente sobre o total; (2) Lucro líquido.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Wu et al. (2015)	Transporte marítimo	4 Seções do Rio Yangtzé na China	(1) Número de navios; (2) Número de canais; (3) Número de faixas de via navegável; (4) Número de pontes.	(1) Número de incidentes; (2) Número de acidentes classificados; (3) Número de acidentes com fatalidade; (4) Número de naufrágios; (5) Valor da perda econômica dos danos .

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Alper, Sinuany-Stern e Shinar (2015)	Transporte rodoviário	Rodovias de 197 municípios de Israel	(1) Percentual do orçamento alocado a cada município; (2) Número de horas de sala de aula dedicadas à educação sobre segurança no trânsito.	(1) Percentual de carros novos; (2) Número de carros particulares; (3) Média de idade de carros particulares; (4) Número de motoristas alcoolizados envolvidos em acidente pelo local de residência do motorista; (5) Número de motoristas alcoolizados envolvidos em acidente pelo local do acidente; (6) Percentual de orçamento utilizado em segurança; (7) Número de multas por velocidade; (8) Número de multas por falta de uso do cinto de segurança; (9) Número de fatalidades; (10) Número de pessoas com ferimento grave; (11) Número de pessoas com ferimento leve; (12) Número de acidentes; (13) Custo dos acidentes; (14) Número de pedestres envolvidos em acidentes.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Shen et al. (2015)	Transporte rodoviário	Rodovias de 10 Países da Europa	(1) Número de pessoas da população; (2) Número de passageiro x quilômetro; (3) Número de carros.	(1) Número de fatalidades; (2) Número de pessoas gravemente feridas.
Pal e Mitra (2016)	Transporte rodoviário	37 Empresas de ônibus da Índia	(1) Número de ônibus na frota; (2) Número de empregados; (3) Combustível consumido; (4) Custos operacionais; (5) Idade média da frota de ônibus.	(1) Número de quilômetros percorridos; (2) Número de passageiro-quilômetro; (3) Número de passageiros; (4) Valor das receitas; (5) Número de acidentes.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Pakkar (2016)	Transporte rodoviário	Rodovias de 19 Países da Europa	(1) Número de fatalidades; (2) Número de lesões graves; (3) Número de lesões leves; (4) Número de colisões.	(1) Percentual de fatalidades envolvendo ao menos um motorista alcoolizado; (2) Média de velocidade em estradas urbanas; (3) Média de velocidade em estradas rurais; (4) Média de velocidade em auto-estradas; (5) Percentual de violação do limite de velocidade em estradas urbanas; (6) Percentual de violação do limite de velocidade em estradas rurais; (7) Percentual de violação do limite de velocidade em auto-estradas; (8) Percentual de não uso de cinto de segurança nos assentos dianteiros; (9) Percentual de não uso de cinto de segurança nos assentos traseiros; (10) Percentual de não uso de cadeirinha de criança; (11) Percentual de não uso de capacete por ciclistas; (12) Percentual de não uso de capacete por motorista de mobiletes; (13) Percentual de não uso de capacete por motociclistas.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Rosić et al. (2017)	Transporte rodoviário	27 departamentos de polícia rodoviária da Sérvia	(1) Número de pessoas da população; (2) Número de carros.	(1) Número de fatalidades; (2) Número de pessoas gravemente feridas.
Brijs et al. (2017b)	Transporte rodoviário	67 seções de rodovias da Bélgica	(1) Volume médio de capacidade em cada segmento; (2) Número de milhas percorridas diariamente por veículos em cada segmento; (3) Número de horas viajadas diariamente por veículos.	(1) Número de colisões; (2) Número de pessoas lesionadas.
Yeh (2017)	Indústria	17 setores da indústria de Taiwan	(1) Consumo de capital fixo; (2) Rotatividade de empregados; (3) Número de horas extras de trabalho.	(1) Valor bruto de produção; (2) Percentual de doentes ou feridos; (3) Percentual de invalidez; (4) Percentual de morte.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Brijs et al. (2017a)	Transporte rodoviário	Rodovias de 30 Regiões do Irã	(1) Número médio de delegacia de polícia rodoviária por 100 quilômetros; (2) Número de local com acidente frequente por 100 quilômetros; (3) Percentual de autoestrada por região; (4) Número médio de radares de velocidade por 100 quilômetros; (5) Número médio de estação de serviço médico de emergência por 100 quilômetros; (6) Número médio de extensão de rodovia com iluminação noturna por 100 quilômetros.	(1) Número de fatalidades no trânsito por milhão de veículo-quilômetro; (2) Número de fatalidades por 100 quilômetros.
Davoodi, Amelian e Shojaei (2017)	Transporte rodoviário	Rodovias de 31 Regiões do Irã	(1) Comprimento de rodovias com iluminação noturna; (2) Grau de estradas inteligentes; (3) Número de delegacias de polícia rodoviária; (4) Número de bases de emergência.	(1) Número de passageiros; (2) Carga processada; (3) Número de fatalidades devido a acidentes.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Nikolaou e Dimitriou (2018)	Transporte rodoviário	Rodovias de 23 Países da Europa	(1) Produto interno bruto; (2) Valor agregado da indústria; (3) Área do terreno do país; (4) Número de assinaturas de celular por centena de pessoas; (5) Percentual de desempregados da força de trabalho; (6) Número de usuário de internet por centena de pessoas; (7) Consumo energético de transporte relativo ao PIB.	(1) Número de fatalidades no trânsito por milhão de habitantes; (2) Número de fatalidades no trânsito por bilhão de passageiro-quilômetro.
Djordjević, Krmac e Mlinarić (2018)	Transporte ferroviário	Ferrovias de 28 países da Europa	(1) Número de cruzamentos ferroviários; (2) Número de locomotivas e vagões.	(1) Número de passageiros; (2) Carga processada; (3) Número de acidentes.
Shah et al. (2018)	Transporte rodoviário	Rodovias de 41 Países da Ásia	(1) Número de pessoas da população; (2) Número de carros.	(1) Número de fatalidades.

(continuação)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Roets, Verschelde e Christiaens (2018)	Transporte ferroviário	11 Centros de controle de tráfego da Bélgica	(1) Número de operadores; (2) Número de equipes de vigilância.	(1) Número de trens e movimentos locais; (2) Número de intervenções não relacionadas a segurança; (3) Número de intervenções relacionadas a segurança.
Barak e Dahoei (2018)	Transporte aéreo	7 Empresas aéreas do Irã	(1) Número de empregados; (2) Capital investido em segurança; (3) Custos.	(1) Razão do lucro líquido pela receita; (2) Razão do número de voos seguros pelo total de voos comerciais anual.
Ganji e Rassafi (2019); Ganji, Rassafi e Xu (2019)	Transporte rodoviário	Rodovias de 31 Regiões do Irã; Rodovias de 31 Regiões do Irã	(1) Número médio de delegacia de polícia rodoviária por 100 quilômetros; (2) Número de depósitos de manutenção por 100 quilômetros; (3) Número médio de equipamento e veículos por 100 quilômetros; (4) Número médio de radares de velocidade e câmeras de monitoramento por 100 quilômetros; (5) Número médio de estação de serviço médico de emergência por 100 quilômetros; (6) Número médio de extensão de rodovia com iluminação noturna por 100 quilômetros.	(1) Número de fatalidades por taxa média de tráfego horário.

(conclusão)

Artigos	Setor	Amostra	Inputs	Outputs
Dadashi e Mirbaha (2019)	Transporte rodoviário	40 Projetos de retrofit de segurança da rodovia	(1) Custo do projeto.	(1) Número de fatalidades; (2) Número de lesões; (3) Número de colisões com apenas danos materiais.

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE C PLANILHA COM OS DADOS DOS AEROPORTOS

(continua)

DMU	ALTITUDE	COMPRIMENTO	PD	PAX	CARGA	ACIDENTE	INCIDENTE
Aeroporto 1	594	2.010	1.866	136.712	22.700	1	0
Aeroporto 2	7	2.200	12.115	1.192.081	3.102.376	0	0
Aeroporto 3	289	2.500	718	62.257	68.827	0	0
Aeroporto 4	415	2.120	1.747	90.937	118.132	1	0
Aeroporto 5	999	1.900	261	2.079	37.114	0	0
Aeroporto 6	17	2.800	38.856	3.520.803	25.702.527	0	3
Aeroporto 7	789	2.364	38.667	205.615	921.432	0	6
Aeroporto 8	1.066	3.300	153.796	17.855.163	93.444.839	0	2
Aeroporto 9	84	2.700	5.229	311.244	1.368.062	0	0
Aeroporto 10	350	1.598	428	16.138	20.951	0	0
Aeroporto 11	754	1.615	2.563	143.431	222.590	0	0
Aeroporto 12	7	2.550	628	41.958	372.307	0	1
Aeroporto 13	827	3.000	101.224	10.673.262	43.686.063	0	0
Aeroporto 14	559	2.600	19.357	1.578.585	6.340.131	1	4
Aeroporto 15	654	2.063	4.446	480.071	692.523	0	0
Aeroporto 16	629	2.000	1.851	112.413	617.887	0	0
Aeroporto 17	685	2.100	1.233	138.234	7.438	0	0
Aeroporto 18	17	1.544	524	16.086	4.323	0	1
Aeroporto 19	141	1.500	463	28.683	53.767	0	0
Aeroporto 20	911	2.218	64.683	6.347.928	29.213.551	0	2

(continuação)

DMU	ALTITUDE	COMPRIMENTO	PD	PAX	CARGA	ACIDENTE	INCIDENTE
Aeroporto 21	754	1.670	1.879	183.900	523.752	0	0
Aeroporto 22	188	2.300	48.406	3.032.149	9.709.009	0	0
Aeroporto 23	194	2.400	799	70.996	261.772	0	1
Aeroporto 24	334	2.000	368	15.642	50.717	0	0
Aeroporto 25	452	2.100	11.403	279.626	274.881	0	0
Aeroporto 26	458	1.950	1.200	62.529	139.787	0	0
Aeroporto 27	80	2.700	39.199	2.827.615	127.728.386	0	4
Aeroporto 28	240	2.195	21.636	2.342.489	948.106	1	0
Aeroporto 29	5	2.400	43.615	3.839.348	11.099.712	0	1
Aeroporto 30	58	1.845	3.384	269.339	1.061.318	0	0
Aeroporto 31	25	2.545	87.465	6.648.967	47.243.045	0	1
Aeroporto 32	9	4.000	113.726	15.077.688	131.102.175	0	4
Aeroporto 33	747	2.500	66.855	3.224.837	13.883.246	0	3
Aeroporto 34	750	3.700	278.570	42.230.432	507.906.000	0	6
Aeroporto 35	171	1.701	892	45.222	100.646	0	0
Aeroporto 36	112	2.003	2.158	97.682	235.256	0	0
Aeroporto 37	33	1.605	622	18.658	113	0	0
Aeroporto 38	4	1.577	7.661	582.822	2.336.318	0	0
Aeroporto 39	239	2.005	2.568	131.625	257.520	0	0
Aeroporto 40	131	1.798	4.862	285.370	733.759	0	0
Aeroporto 41	35	2.499	1.228	133.095	102.259	0	0
Aeroporto 42	27	2.200	824	92.767	28.972	0	0
Aeroporto 43	182	1.800	689	63.745	181.387	0	0

(continuação)

DMU	ALTITUDE	COMPRIMENTO	PD	PAX	CARGA	ACIDENTE	INCIDENTE
Aeroporto 44	66	2.515	14.363	1.418.262	5.293.501	0	0
Aeroporto 45	3	900	63.750	197.345	0	0	0
Aeroporto 46	409	1.940	8.524	564.267	1.276.269	0	0
Aeroporto 47	4	1.640	7.220	488.147	1.467.202	0	0
Aeroporto 48	502	1.600	1.728	163.277	430.012	0	0
Aeroporto 49	661	3.240	107.627	9.223.074	279.768.130	0	2
Aeroporto 50	506	2.082	208	10.494	3.095	0	0
Aeroporto 51	934	1.532	444	23.076	31.010	0	0
Aeroporto 52	569	2.100	22.979	977.279	1.936.577	0	0
Aeroporto 53	109	2.000	6.835	279.975	1.081.368	0	0
Aeroporto 54	2	1.200	23.596	149.622	3.669	0	1
Aeroporto 55	545	2.100	7.268	643.022	1.271.545	1	2
Aeroporto 56	668	2.100	8.079	227.580	386.262	0	2
Aeroporto 57	650	1.700	1.230	62.322	18.142	0	1
Aeroporto 58	118	2.602	18.548	2.192.562	3.552.444	0	1
Aeroporto 59	17	1.800	8.411	558.503	3.465.554	0	0
Aeroporto 60	23	2.000	266	16.180	4.769	0	0
Aeroporto 61	5	1.701	22.897	1.908.976	4.050.437	0	1
Aeroporto 62	322	1.625	406	23.159	37.980	0	0
Aeroporto 63	4	2.280	80.990	8.312.519	36.973.497	0	1
Aeroporto 64	5	2.500	102	7.818	42.096	0	1
Aeroporto 65	1.261	1.515	206	691	48.525	0	0
Aeroporto 66	724	1.700	1.433	123.456	213.931	0	1

(continuação)

DMU	ALTITUDE	COMPRIMENTO	PD	PAX	CARGA	ACIDENTE	INCIDENTE
Aeroporto 67	236	2.500	12.914	675.971	2.915.768	0	0
Aeroporto 68	18	1.980	594	31.317	9.728	0	0
Aeroporto 69	384	3.250	5.945	483.596	3.276.403	0	0
Aeroporto 70	51	2.000	13.118	1.749.491	766.522	0	0
Aeroporto 71	88	2.400	13.973	828.139	3.826.974	0	2
Aeroporto 72	915	1.775	4.738	206.275	203.925	0	0
Aeroporto 73	193	2.158	6.923	365.425	1.871.229	0	1
Aeroporto 74	447	1.850	1.101	44.503	82.111	0	0
Aeroporto 75	10	3.007	78.766	8.470.129	57.601.184	0	3
Aeroporto 76	3	1.323	100.144	9.237.662	8.681.220	0	0
Aeroporto 77	550	2.100	29.406	893.353	1.089.343	0	1
Aeroporto 78	83	3.000	18.812	2.429.389	15.420.370	0	0
Aeroporto 79	647	2.676	224	8.875	1.953	0	2
Aeroporto 80	54	2.385	18.733	1.598.004	7.008.382	0	3
Aeroporto 81	88	2.700	619	32.300	22.629	0	0
Aeroporto 82	60	2.400	10.564	473.818	3.817.497	0	2
Aeroporto 83	386	1.700	526	42.901	80.830	0	0
Aeroporto 84	802	1.940	222.298	22.171.939	59.234.420	0	6
Aeroporto 85	544	1.640	23.615	787.662	638.102	0	3
Aeroporto 86	20	3.003	81.470	8.017.778	47.858.726	0	3
Aeroporto 87	87	1.600	622	10.492	59	0	0
Aeroporto 88	67	2.200	13.823	1.073.570	4.517.672	0	0
Aeroporto 89	57	2.200	764	30.999	22.059	0	0

(continuação)

DMU	ALTITUDE	COMPRIMENTO	PD	PAX	CARGA	ACIDENTE	INCIDENTE
Aeroporto 90	323	2.000	917	37.148	41.500	0	0
Aeroporto 91	85	2.150	714	58.380	77.525	0	0
Aeroporto 92	76	2.600	212	10.275	166	0	0
Aeroporto 93	269	1.800	218	11.668	8.322	0	0
Aeroporto 94	78	1.500	414	21.539	51.577	0	0
Aeroporto 95	943	2.100	24.493	1.134.150	2.052.538	0	2
Aeroporto 96	809	1.759	1.240	63.096	97.043	0	0
Aeroporto 97	922	1.500	408	8.694	107.590	0	0
Aeroporto 98	615	2.600	688	39.284	86.954	0	0
Aeroporto 99	3	2.058	42.324	3.096.077	24.182.583	0	3
Aeroporto 100	412	2.525	2.379	148.365	96.694	0	0
Aeroporto 101	195	1.400	143	729	52.620	0	0
Aeroporto 102	748	1.600	2.048	75.199	60.336	0	0
Aeroporto 103	599	1.080	390	2.068	175.742	0	0
Aeroporto 104	1.356	1.610	255	822	84.147	0	0
Aeroporto 105	849	1.500	60	130	8.885	0	0
Aeroporto 106	829	1.170	360	1.839	154.711	0	0
Aeroporto 107	822	1.500	156	316	29.027	0	0
Aeroporto 108	851	1.700	429	1.513	136.793	0	0
Aeroporto 109	985	1.200	90	267	25.953	0	0
Aeroporto 110	105	1.460	560	31.695	9.760	0	0
Aeroporto 111	479	1.190	526	3.635	295.864	0	1
Aeroporto 112	745	1.115	57	117	13.997	0	0

(conclusão)

DMU	ALTITUDE	COMPRIMENTO	PD	PAX	CARGA	ACIDENTE	INCIDENTE
Aeroporto 113	360	1.200	205	832	77.090	0	0
Aeroporto 114	5	1.800	110	9.702	2.837	0	0
Aeroporto 115	659	900	268	1.342	128.847	0	0
Aeroporto 116	885	1.220	229	682	65.316	0	0
Aeroporto 117	249	2.100	604	59.215	110.005	0	1
Aeroporto 118	34	1.200	134	3.261	0	0	0
Aeroporto 119	108	1.665	530	19.713	33	0	0
Aeroporto 120	122	2.300	212	9.508	3	0	0
Aeroporto 121	235	1.804	708	33.259	0	0	0
Aeroporto 122	40	1.600	160	4.220	11	0	0
Aeroporto 123	58	1.000	106	2.683	38	0	0
Aeroporto 124	751	1.500	598	31.998	9.728	0	0
Aeroporto 125	26	1.800	1.024	32.097	83	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE D PLANILHA COM OS DADOS TRATADOS

(continua)

DMU	INVERSO COMPRIMENTO EFETIVO	PD	PAX	CARGA	INVERSO ACIDENTE	INVERSO INCIDENTE
Aeroporto 1	2.268,59	1.866	136.712	22.701	1	7
Aeroporto 2	1.803,59	12.115	1.192.081	3.102.377	2	7
Aeroporto 3	1.668,58	718	62.257	68.828	2	7
Aeroporto 4	2.085,29	1.747	90.937	118.133	1	7
Aeroporto 5	2.542,89	261	2.079	37.115	2	7
Aeroporto 6	1.211,11	38.856	3.520.803	25.702.528	2	4
Aeroporto 7	2.071,21	38.667	205.615	921.433	2	1
Aeroporto 8	1.520,82	153.796	17.855.163	93.444.840	2	5
Aeroporto 9	1.352,92	5.229	311.244	1.368.063	2	7
Aeroporto 10	2.532,50	428	16.138	20.952	2	7
Aeroporto 11	2.669,13	2.563	143.431	222.591	2	7
Aeroporto 12	1.453,90	628	41.958	372.308	2	6
Aeroporto 13	1.578,90	101.224	10.673.262	43.686.064	2	7
Aeroporto 14	1.739,13	19.357	1.578.585	6.340.132	1	3
Aeroporto 15	2.251,81	4.446	480.071	692.524	2	7
Aeroporto 16	2.293,53	1.851	112.413	617.888	2	7
Aeroporto 17	2.235,65	1.233	138.234	7.439	2	7
Aeroporto 18	2.462,12	524	16.086	4.324	2	6
Aeroporto 19	2.549,35	463	28.683	53.768	2	7

(continuação)

DMU	INVERSO COMPRIMENTO EFETIVO	PD	PAX	CARGA	INVERSO ACIDENTE	INVERSO INCIDENTE
Aeroporto 20	2.253,47	64.683	6.347.928	29.213.552	2	5
Aeroporto 21	2.623,81	1.879	183.900	523.753	2	7
Aeroporto 22	1.800,89	48.406	3.032.149	9.709.010	2	7
Aeroporto 23	1.708,64	799	70.996	261.773	2	6
Aeroporto 24	2.155,87	368	15.642	50.718	2	7
Aeroporto 25	2.121,48	11.403	279.626	274.882	2	7
Aeroporto 26	2.258,39	1.200	62.529	139.788	2	7
Aeroporto 27	1.350,40	39.199	2.827.615	127.728.387	2	3
Aeroporto 28	1.927,92	21.636	2.342.489	948.107	1	7
Aeroporto 29	1.602,80	43.615	3.839.348	11.099.713	2	6
Aeroporto 30	2.179,97	3.384	269.339	1.061.319	2	7
Aeroporto 31	1.469,85	87.465	6.648.967	47.243.046	2	6
Aeroporto 32	8,40	113.726	15.077.688	131.102.176	2	3
Aeroporto 33	1.935,75	66.855	3.224.837	13.883.247	2	4
Aeroporto 34	947,50	278.570	42.230.432	507.906.001	2	1
Aeroporto 35	2.366,87	892	45.222	100.647	2	7
Aeroporto 36	2.049,35	2.158	97.682	235.257	2	7
Aeroporto 37	2.407,36	622	18.658	114	2	7
Aeroporto 38	2.424,47	7.661	582.822	2.336.319	2	7
Aeroporto 39	2.106,81	2.568	131.625	257.521	2	7
Aeroporto 40	2.256,96	4.862	285.370	733.760	2	7
Aeroporto 41	1.521,41	1.228	133.095	102.260	2	7

(continuação)

DMU	INVERSO COMPRIMENTO EFETIVO	PD	PAX	CARGA	INVERSO ACIDENTE	INVERSO INCIDENTE
Aeroporto 42	1.813,86	824	92.767	28.973	2	7
Aeroporto 43	2.276,44	689	63.745	181.388	2	7
Aeroporto 44	1.523,73	14.363	1.418.262	5.293.502	2	7
Aeroporto 45	3.100,63	63.750	197.345	1	2	7
Aeroporto 46	2.245,14	8.524	564.267	1.276.270	2	7
Aeroporto 47	2.361,53	7.220	488.147	1.467.203	2	7
Aeroporto 48	2.587,41	1.728	163.277	430.013	2	7
Aeroporto 49	1.259,72	107.627	9.223.074	279.768.131	2	5
Aeroporto 50	2.163,81	208	10.494	3.096	2	7
Aeroporto 51	2.801,87	444	23.076	31.011	2	7
Aeroporto 52	2.178,81	22.979	977.279	1.936.578	2	7
Aeroporto 53	2.050,87	6.835	279.975	1.081.369	2	7
Aeroporto 54	2.800,56	23.596	149.622	3.670	2	6
Aeroporto 55	2.167,05	7.268	643.022	1.271.546	1	5
Aeroporto 56	2.227,32	8.079	227.580	386.263	2	5
Aeroporto 57	2.557,83	1.230	62.322	18.143	2	6
Aeroporto 58	1.469,64	18.548	2.192.562	3.552.445	2	6
Aeroporto 59	2.207,14	8.411	558.503	3.465.555	2	7
Aeroporto 60	2.010,73	266	16.180	4.770	2	7
Aeroporto 61	2.300,98	22.897	1.908.976	4.050.438	2	6
Aeroporto 62	2.497,09	406	23.159	37.981	2	7
Aeroporto 63	1.722,13	80.990	8.312.519	36.973.498	2	6

(continuação)

DMU	INVERSO COMPRIMENTO EFETIVO	PD	PAX	CARGA	INVERSO ACIDENTE	INVERSO INCIDENTE
Aeroporto 64	1.502,92	102	7.818	42.097	2	6
Aeroporto 65	2.930,76	206	691	48.526	2	7
Aeroporto 66	2.587,19	1.433	123.456	213.932	2	6
Aeroporto 67	1.637,67	12.914	675.971	2.915.769	2	7
Aeroporto 68	2.028,32	594	31.317	9.729	2	7
Aeroporto 69	1.041,20	5.945	483.596	3.276.404	2	7
Aeroporto 70	2.023,80	13.118	1.749.491	766.523	2	7
Aeroporto 71	1.649,28	13.973	828.139	3.826.975	2	5
Aeroporto 72	2.603,96	4.738	206.275	203.926	2	7
Aeroporto 73	1.939,18	6.923	365.425	1.871.230	2	6
Aeroporto 74	2.342,96	1.101	44.503	82.112	2	7
Aeroporto 75	1.000,02	78.766	8.470.129	57.601.185	2	4
Aeroporto 76	2.677,93	100.144	9.237.662	8.681.221	2	7
Aeroporto 77	2.169,50	29.406	893.353	1.089.344	2	6
Aeroporto 78	1.058,10	18.812	2.429.389	15.420.371	2	7
Aeroporto 79	1.727,99	224	8.875	1.954	2	5
Aeroporto 80	1.645,05	18.733	1.598.004	7.008.383	2	4
Aeroporto 81	1.355,44	619	32.300	22.630	2	7
Aeroporto 82	1.633,60	10.564	473.818	3.817.498	2	5
Aeroporto 83	2.453,11	526	42.901	80.831	2	7
Aeroporto 84	2.423,04	222.298	22.171.939	59.234.421	2	1
Aeroporto 85	2.568,17	23.615	787.662	638.103	2	4

(continuação)

DMU	INVERSO COMPRIMENTO EFETIVO	PD	PAX	CARGA	INVERSO ACIDENTE	INVERSO INCIDENTE
Aeroporto 86	1.011,01	81.470	8.017.778	47.858.727	2	4
Aeroporto 87	2.432,48	622	10.492	60	2	7
Aeroporto 88	1.834,39	13.823	1.073.570	4.517.673	2	7
Aeroporto 89	1.829,26	764	30.999	22.060	2	7
Aeroporto 90	2.150,73	917	37.148	41.501	2	7
Aeroporto 91	1.892,64	714	58.380	77.526	2	7
Aeroporto 92	1.446,11	212	10.275	167	2	7
Aeroporto 93	2.312,98	218	11.668	8.323	2	7
Aeroporto 94	2.527,30	414	21.539	51.578	2	7
Aeroporto 95	2.362,07	24.493	1.134.150	2.052.539	2	5
Aeroporto 96	2.573,04	1.240	63.096	97.044	2	7
Aeroporto 97	2.822,70	408	8.694	107.591	2	7
Aeroporto 98	1.773,10	688	39.284	86.955	2	7
Aeroporto 99	1.943,44	42.324	3.096.077	24.182.584	2	4
Aeroporto 100	1.717,74	2.379	148.365	96.695	2	7
Aeroporto 101	2.663,70	143	729	52.621	2	7
Aeroporto 102	2.679,25	2.048	75.199	60.337	2	7
Aeroporto 103	3.070,95	390	2.068	175.743	2	7
Aeroporto 104	2.899,40	255	822	84.148	2	7
Aeroporto 105	2.797,15	60	130	8.886	2	7
Aeroporto 106	3.056,32	360	1.839	154.712	2	7
Aeroporto 107	2.787,70	156	316	29.028	2	7

(conclusão)

DMU	INVERSO COMPRIMENTO EFETIVO	PD	PAX	CARGA	INVERSO ACIDENTE	INVERSO INCIDENTE
Aeroporto 108	2.637,56	429	1.513	136.794	2	7
Aeroporto 109	3.075,80	90	267	25.954	2	7
Aeroporto 110	2.575,77	560	31.695	9.761	2	7
Aeroporto 111	2.943,00	526	3.635	295.865	2	6
Aeroporto 112	3.078,82	57	117	13.998	2	7
Aeroporto 113	2.900,80	205	832	77.091	2	7
Aeroporto 114	2.202,10	110	9.702	2.838	2	7
Aeroporto 115	3.238,39	268	1.342	128.848	2	7
Aeroporto 116	3.031,93	229	682	65.317	2	7
Aeroporto 117	2.022,01	604	59.215	110.006	2	6
Aeroporto 118	2.809,52	134	3.261	1	2	7
Aeroporto 119	2.376,96	530	19.713	34	2	7
Aeroporto 120	1.765,47	212	9.508	4	2	7
Aeroporto 121	2.294,92	708	33.259	1	2	7
Aeroporto 122	2.414,93	160	4.220	12	2	7
Aeroporto 123	3.013,53	106	2.683	39	2	7
Aeroporto 124	2.762,85	598	31.998	9.729	2	7
Aeroporto 125	2.210,92	1.024	32.097	84	2	7

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE E PLANILHA DOS ESCORES OBTIDOS PELA DEA

(continua)

DMU	Eficiencia Padrao	Eficiencia Invertida	Eficiencia Composta	Eficiencia Composta Normalizada	Eficiencia de Escala
1	1,000000	1,000000	0,500000	0,666667	0,612987
2	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,645501
3	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,816685
4	1,000000	1,000000	0,500000	0,666667	0,647507
5	1,000000	0,727293	0,636354	0,848471	0,985500
6	1,000000	0,625000	0,687500	0,916667	0,752530
7	1,000000	1,000000	0,500000	0,666667	0,628472
8	1,000000	0,765629	0,617185	0,822914	0,469135
9	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,914199
10	1,000000	0,723220	0,638390	0,851186	0,600466
11	1,000000	0,776793	0,611604	0,815471	0,504575
12	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,936967
13	1,000000	0,655485	0,672257	0,896343	0,609521
14	0,500000	1,000000	0,250000	0,333333	0,596347
15	1,000000	0,613161	0,693419	0,924559	0,585513
16	1,000000	0,629520	0,685240	0,913654	0,580962
17	1,000000	0,606823	0,696588	0,928784	0,638565
18	1,000000	0,734776	0,632612	0,843483	0,608251
19	1,000000	0,729826	0,635087	0,846783	0,562993

(continuação)

DMU	Eficiencia Padrao	Eficiencia Invertida	Eficiencia Composta	Eficiencia Composta Normalizada	Eficiencia de Escala
20	1,000000	0,695230	0,652385	0,869847	0,428868
21	1,000000	0,759021	0,620489	0,827319	0,509005
22	1,000000	0,562423	0,718789	0,958385	0,573855
23	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,792787
24	1,000000	0,583237	0,708381	0,944509	0,670375
25	1,000000	0,573997	0,713002	0,950669	0,632034
26	1,000000	0,615740	0,692130	0,922840	0,598598
27	1,000000	0,714286	0,642857	0,857143	0,693595
28	1,000000	1,000000	0,500000	0,666667	0,672263
29	1,000000	0,546283	0,726859	0,969145	0,630832
30	1,000000	0,589714	0,705143	0,940191	0,594806
31	1,000000	0,629946	0,685027	0,913369	0,576635
32	1,000000	0,714286	0,642857	0,857143	1,000000
33	1,000000	0,633328	0,683336	0,911115	0,521344
34	1,000000	1,000000	0,500000	0,666667	0,303624
35	1,000000	0,658275	0,670862	0,894483	0,582996
36	1,000000	0,554613	0,722693	0,963591	0,655204
37	1,000000	0,674151	0,662925	0,883900	0,674078
38	1,000000	0,680861	0,659570	0,879426	0,512291
39	1,000000	0,570055	0,714972	0,953296	0,636880
40	1,000000	0,615179	0,692411	0,923214	0,583217
41	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,886593

(continuação)

DMU	Eficiencia Padrao	Eficiencia Invertida	Eficiencia Composta	Eficiencia Composta Normalizada	Eficiencia de Escala
42	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,749316
43	1,000000	0,622817	0,688591	0,918122	0,614559
44	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,682577
45	1,000000	1,000000	0,500000	0,666667	1,000000
46	1,000000	0,610545	0,694728	0,926303	0,573225
47	1,000000	0,656182	0,671909	0,895879	0,542350
48	1,000000	0,744751	0,627625	0,836833	0,517580
49	1,000000	0,772574	0,613713	0,818284	0,562337
50	1,000000	0,585373	0,707313	0,943085	0,822195
51	1,000000	0,828841	0,585579	0,780773	0,514804
52	1,000000	0,589402	0,705299	0,940398	0,573845
53	1,000000	0,555022	0,722489	0,963319	0,629900
54	1,000000	0,874946	0,562527	0,750036	0,513886
55	0,714286	1,000000	0,357143	0,476190	0,592888
56	1,000000	0,680713	0,659644	0,879525	0,599493
57	1,000000	0,774416	0,612792	0,817056	0,549884
58	1,000000	0,507378	0,746311	0,995081	0,748941
59	1,000000	0,597015	0,701492	0,935323	0,534113
60	1,000000	0,544238	0,727881	0,970508	0,751319
61	1,000000	0,668037	0,665982	0,887976	0,504288
62	1,000000	0,709335	0,645332	0,860443	0,577126
63	1,000000	0,626592	0,686704	0,915606	0,528325

(continuação)

DMU	Eficiencia Padrao	Eficiencia Invertida	Eficiencia Composta	Eficiencia Composta Normalizada	Eficiencia de Escala
64	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	1,000000
65	1,000000	0,879379	0,560311	0,747081	0,916624
66	1,000000	0,786573	0,606713	0,808951	0,520995
67	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,707368
68	1,000000	0,548962	0,725519	0,967358	0,699744
69	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	1,000000
70	1,000000	0,547749	0,726126	0,968167	0,647158
71	1,000000	0,555556	0,722222	0,962963	0,672465
72	1,000000	0,751240	0,624380	0,832507	0,517455
73	1,000000	0,557037	0,721481	0,961975	0,640420
74	1,000000	0,648898	0,675551	0,900735	0,589198
75	1,000000	0,625000	0,687500	0,916667	0,728578
76	1,000000	0,893639	0,553180	0,737574	0,388685
77	1,000000	0,622703	0,688649	0,918198	0,596836
78	1,000000	0,509566	0,745217	0,993623	0,947850
79	1,000000	0,555556	0,722222	0,962963	0,966587
80	1,000000	0,625000	0,687500	0,916667	0,627424
81	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	1,000000
82	1,000000	0,555556	0,722222	0,962963	0,701765
83	1,000000	0,692091	0,653954	0,871939	0,580998
84	1,000000	1,000000	0,500000	0,666667	0,367955
85	1,000000	0,877469	0,561265	0,748354	0,516247

(continuação)

DMU	Eficiencia Padrao	Eficiencia Invertida	Eficiencia Composta	Eficiencia Composta Normalizada	Eficiencia de Escala
86	1,000000	0,625000	0,687500	0,916667	0,763878
87	1,000000	0,684001	0,658000	0,877333	0,773418
88	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,597889
89	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,760605
90	1,000000	0,581858	0,709071	0,945428	0,646106
91	1,000000	0,512504	0,743748	0,991664	0,727852
92	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	1,000000
93	1,000000	0,637145	0,681428	0,908570	0,765006
94	1,000000	0,721180	0,639410	0,852547	0,570078
95	1,000000	0,734686	0,632657	0,843542	0,530261
96	1,000000	0,739115	0,630442	0,840590	0,526536
97	1,000000	0,837007	0,581496	0,775329	0,701157
98	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,775208
99	1,000000	0,639439	0,680280	0,907041	0,499185
100	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	0,786084
101	1,000000	0,774663	0,612669	0,816891	1,000000
102	1,000000	0,780761	0,609619	0,812826	0,505618
103	1,000000	0,934346	0,532827	0,710436	0,826661
104	1,000000	0,867083	0,566459	0,755278	0,917595
105	1,000000	0,826989	0,586506	0,782007	1,000000
106	1,000000	0,928609	0,535696	0,714261	0,837673
107	1,000000	0,823283	0,588358	0,784478	0,988808

(conclusão)

DMU	Eficiencia Padrao	Eficiencia Invertida	Eficiencia Composta	Eficiencia Composta Normalizada	Eficiencia de Escala
108	1,000000	0,764415	0,617793	0,823724	0,973905
109	1,000000	0,936248	0,531876	0,709168	0,901390
110	1,000000	0,740185	0,629907	0,839876	0,553227
111	1,000000	0,933942	0,533029	0,710706	0,786575
112	1,000000	0,937434	0,531283	0,708377	1,000000
113	1,000000	0,867630	0,566185	0,754913	0,916779
114	1,000000	0,595661	0,702170	0,936226	1,000000
115	1,000000	1,000000	0,500000	0,666667	0,808516
116	1,000000	0,919047	0,540477	0,720636	0,887634
117	1,000000	0,580652	0,709674	0,946232	0,692460
118	1,000000	0,831839	0,584080	0,778774	1,000000
119	1,000000	0,662231	0,668885	0,891846	0,725704
120	1,000000	0,500000	0,750000	1,000000	1,000000
121	1,000000	0,630063	0,684968	0,913291	1,000000
122	1,000000	0,677121	0,661440	0,881919	1,000000
123	1,000000	0,911833	0,544083	0,725445	1,000000
124	1,000000	0,813540	0,593230	0,790974	0,516317
125	1,000000	0,598031	0,700985	0,934646	0,746499

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE F PLANILHA COM OS DADOS PARA COMPARAÇÃO DA EFICÁCIA E EFICIÊNCIA

(continua)

DMU	Resultado da fiscalização	Resultado da fiscalização normalizado	Eficiência	Eficiência normalizada
Aeroporto 1	0,945122	0,980595	0,666667	0,766737
Aeroporto 2	0,912664	0,946919	1,000000	1,150106
Aeroporto 3	0,981707	1,018554	1,000000	1,150106
Aeroporto 4	0,975610	1,012227	0,666667	0,766737
Aeroporto 5	0,969512	1,005901	0,848471	0,975832
Aeroporto 6	0,781659	0,810997	0,916667	1,054264
Aeroporto 7	0,979695	1,016466	0,666667	0,766737
Aeroporto 8	1,000000	1,037533	0,822914	0,946438
Aeroporto 9	0,868020	0,900600	1,000000	1,150106
Aeroporto 10	0,945122	0,980595	0,851186	0,978955
Aeroporto 11	0,975610	1,012227	0,815471	0,937879
Aeroporto 12	1,000000	1,037533	1,000000	1,150106
Aeroporto 13	0,982609	1,019489	0,896343	1,030890
Aeroporto 14	0,886463	0,919735	0,333333	0,383369
Aeroporto 15	0,964467	1,000666	0,924559	1,063341
Aeroporto 16	0,993902	1,031207	0,913654	1,050799
Aeroporto 17	1,000000	1,037533	0,928784	1,068201
Aeroporto 18	0,987805	1,024880	0,843483	0,970094
Aeroporto 19	0,981707	1,018554	0,846783	0,973890
Aeroporto 20	0,769565	0,798449	0,869847	1,000416

(continuação)

DMU	Resultado da fiscalização	Resultado da fiscalização normalizado	Eficiência	Eficiência normalizada
Aeroporto 21	0,951220	0,986922	0,827319	0,951505
Aeroporto 22	0,995633	1,033002	0,958385	1,102244
Aeroporto 23	0,963415	0,999574	1,000000	1,150106
Aeroporto 24	0,993902	1,031207	0,944509	1,086285
Aeroporto 25	0,908629	0,942733	0,950669	1,093370
Aeroporto 26	1,000000	1,037533	0,922840	1,061364
Aeroporto 27	0,921397	0,955980	0,857143	0,985805
Aeroporto 28	0,938865	0,974103	0,666667	0,766737
Aeroporto 29	0,917031	0,951449	0,969145	1,114619
Aeroporto 30	0,969543	1,005933	0,940191	1,081319
Aeroporto 31	0,969565	1,005956	0,913369	1,050471
Aeroporto 32	0,995652	1,033022	0,857143	0,985805
Aeroporto 33	0,934498	0,969572	0,911115	1,047879
Aeroporto 34	1,000000	1,037533	0,666667	0,766737
Aeroporto 35	0,993902	1,031207	0,894483	1,028751
Aeroporto 36	1,000000	1,037533	0,963591	1,108232
Aeroporto 37	0,969512	1,005901	0,883900	1,016578
Aeroporto 38	0,989848	1,027000	0,879426	1,011433
Aeroporto 39	1,000000	1,037533	0,953296	1,096392
Aeroporto 40	0,959391	0,995400	0,923214	1,061794
Aeroporto 41	1,000000	1,037533	1,000000	1,150106
Aeroporto 42	0,957317	0,993248	1,000000	1,150106
Aeroporto 43	0,926829	0,961616	0,918122	1,055937

(continuação)

DMU	Resultado da fiscalização	Resultado da fiscalização normalizado	Eficiência	Eficiência normalizada
Aeroporto 44	0,908297	0,942388	1,000000	1,150106
Aeroporto 45	0,994924	1,032266	0,666667	0,766737
Aeroporto 46	0,908629	0,942733	0,926303	1,065347
Aeroporto 47	0,959391	0,995400	0,895879	1,030356
Aeroporto 48	1,000000	1,037533	0,836833	0,962447
Aeroporto 49	0,930435	0,965357	0,818284	0,941113
Aeroporto 50	0,810976	0,841414	0,943085	1,084647
Aeroporto 51	0,981707	1,018554	0,780773	0,897971
Aeroporto 52	1,000000	1,037533	0,940398	1,081558
Aeroporto 53	0,989848	1,027000	0,963319	1,107919
Aeroporto 54	0,979695	1,016466	0,750036	0,862621
Aeroporto 55	0,984772	1,021733	0,476190	0,547670
Aeroporto 56	1,000000	1,037533	0,879525	1,011547
Aeroporto 57	0,987805	1,024880	0,817056	0,939701
Aeroporto 58	0,925764	0,960511	0,995081	1,144449
Aeroporto 59	0,994924	1,032266	0,935323	1,075721
Aeroporto 60	0,987805	1,024880	0,970508	1,116187
Aeroporto 61	1,000000	1,037533	0,887976	1,021266
Aeroporto 62	0,969512	1,005901	0,860443	0,989601
Aeroporto 63	0,952174	0,987912	0,915606	1,053043
Aeroporto 64	0,969512	1,005901	1,000000	1,150106
Aeroporto 65	0,993902	1,031207	0,747081	0,859222
Aeroporto 66	0,951220	0,986922	0,808951	0,930380

(continuação)

DMU	Resultado da fiscalização	Resultado da fiscalização normalizado	Eficiência	Eficiência normalizada
Aeroporto 67	0,994924	1,032266	1,000000	1,150106
Aeroporto 68	0,957317	0,993248	0,967358	1,112565
Aeroporto 69	0,837563	0,869000	1,000000	1,150106
Aeroporto 70	0,986900	1,023941	0,968167	1,113495
Aeroporto 71	0,994924	1,032266	0,962963	1,107510
Aeroporto 72	1,000000	1,037533	0,832507	0,957471
Aeroporto 73	0,974619	1,011200	0,961975	1,106373
Aeroporto 74	0,884146	0,917331	0,900735	1,035940
Aeroporto 75	0,826087	0,857092	0,916667	1,054264
Aeroporto 76	1,000000	1,037533	0,737574	0,848288
Aeroporto 77	0,918782	0,953266	0,918198	1,056025
Aeroporto 78	1,000000	1,037533	0,993623	1,142771
Aeroporto 79	0,993902	1,031207	0,962963	1,107510
Aeroporto 80	0,908297	0,942388	0,916667	1,054264
Aeroporto 81	0,902439	0,936310	1,000000	1,150106
Aeroporto 82	0,974619	1,011200	0,962963	1,107510
Aeroporto 83	0,981707	1,018554	0,871939	1,002822
Aeroporto 84	0,991304	1,028511	0,666667	0,766737
Aeroporto 85	0,954315	0,990133	0,748354	0,860686
Aeroporto 86	0,878261	0,911225	0,916667	1,054264
Aeroporto 87	1,000000	1,037533	0,877333	1,009026
Aeroporto 88	0,982533	1,019410	1,000000	1,150106
Aeroporto 89	0,975610	1,012227	1,000000	1,150106

(continuação)

DMU	Resultado da fiscalização	Resultado da fiscalização normalizado	Eficiência	Eficiência normalizada
Aeroporto 90	0,926829	0,961616	0,945428	1,087343
Aeroporto 91	0,987805	1,024880	0,991664	1,140518
Aeroporto 92	0,969512	1,005901	1,000000	1,150106
Aeroporto 93	0,993902	1,031207	0,908570	1,044952
Aeroporto 94	0,981707	1,018554	0,852547	0,980519
Aeroporto 95	1,000000	1,037533	0,843542	0,970163
Aeroporto 96	1,000000	1,037533	0,840590	0,966768
Aeroporto 97	0,981707	1,018554	0,775329	0,891710
Aeroporto 98	0,987805	1,024880	1,000000	1,150106
Aeroporto 99	0,965066	1,001287	0,907041	1,043193
Aeroporto 100	0,981707	1,018554	1,000000	1,150106
Aeroporto 101	0,993902	1,031207	0,816891	0,939512
Aeroporto 102	0,951220	0,986922	0,812826	0,934836
Aeroporto 103	1,000000	1,037533	0,710436	0,817077
Aeroporto 104	0,993902	1,031207	0,755278	0,868650
Aeroporto 105	1,000000	1,037533	0,782007	0,899391
Aeroporto 106	0,963415	0,999574	0,714261	0,821476
Aeroporto 107	0,993902	1,031207	0,784478	0,902233
Aeroporto 108	0,975610	1,012227	0,823724	0,947370
Aeroporto 109	1,000000	1,037533	0,709168	0,815618
Aeroporto 110	0,920732	0,955290	0,839876	0,965947
Aeroporto 111	0,975610	1,012227	0,710706	0,817387
Aeroporto 112	1,000000	1,037533	0,708377	0,814709

(conclusão)

DMU	Resultado da fiscalização	Resultado da fiscalização normalizado	Eficiência	Eficiência normalizada
Aeroporto 113	0,993902	1,031207	0,754913	0,868230
Aeroporto 114	0,975610	1,012227	0,936226	1,076759
Aeroporto 115	0,993902	1,031207	0,666667	0,766737
Aeroporto 116	0,993902	1,031207	0,720636	0,828807
Aeroporto 117	0,969512	1,005901	0,946232	1,088267
Aeroporto 118	0,939024	0,974269	0,778774	0,895673
Aeroporto 119	0,957317	0,993248	0,891846	1,025718
Aeroporto 120	0,981707	1,018554	1,000000	1,150106
Aeroporto 121	1,000000	1,037533	0,913291	1,050382
Aeroporto 122	1,000000	1,037533	0,881919	1,014301
Aeroporto 123	0,951220	0,986922	0,725445	0,834338
Aeroporto 124	0,957317	0,993248	0,790974	0,909703
Aeroporto 125	0,963415	0,999574	0,934646	1,074942

Fonte: Elaborado pelo autor.

ANEXO A ARTIGO**A.1 Artigo para a Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**

PROPOSTA DE MODELO PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA OPERACIONAL DE AEROPORTOS

MODEL PROPOSAL FOR AIRPORT SAFETY ASSESSMENT

Resumo: Este estudo teve como objetivo comparar os métodos AHP e TOPSIS para o ranqueamento de aeroportos brasileiros quanto a segurança operacional. Os métodos multicritérios para a tomada de decisão foram aplicados separadamente para o mesmo modelo, universo de aeroportos e conjunto de dados. Independente do método utilizado, os aeródromos Aerod 37, Aerod 15 e Aerod 35 foram obtidos como os três mais seguros, dentre aqueles avaliados por este estudo. Em seguida, foi realizada a comparação dos métodos, através do cálculo do coeficiente de correlação entre os diferentes resultados obtidos. O ranqueamento final apresentado por ambos os métodos apresentou alto grau de correlação, com o coeficiente de correlação próximo a 1.

Palavras-chave: AHP. TOPSIS. Aeroportos.

Abstract: This study aimed to compare the AHP and TOPSIS methods for ranking Brazilian airports in terms of safety. The multicriteria decision analysis methods were applied separately for the same model, airports, and data set. Regardless of the used method, airports Aerod 37, Aerod 15, and Aerod 35 were obtained as the three safest ones among those evaluated at this study. Then, the methods were compared by calculating the correlation coefficient between the different results. The final ranking presented by both methods showed a high correlation, with a correlation coefficient close to 1.

Keywords: AHP. TOPSIS. Airports.

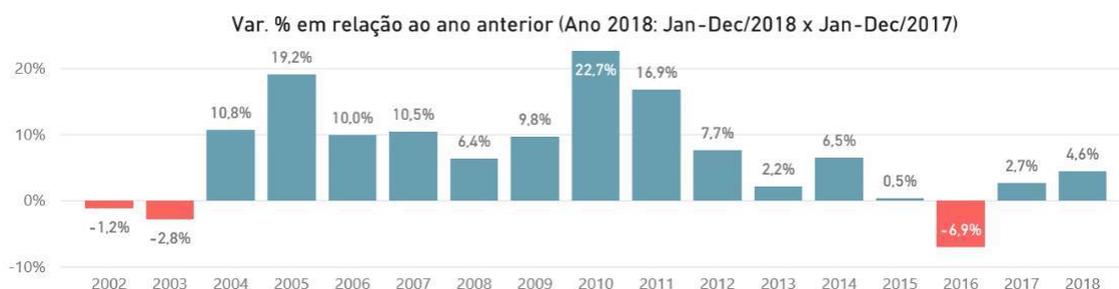
Introdução

Segundo (Jacquillat et al., 2017), o crescimento do setor aéreo é um fator cada vez mais importante e um fenômeno oneroso mundialmente. Já (Brooker, 2009) prevê que esse crescimento considerável continue a ocorrer nas próximas décadas. Seguindo esta tendência, nos últimos anos temos visto um grande crescimento do setor aéreo brasileiro, motivado por vários fatores, entre os quais o crescimento da economia, a inclusão dos passageiros das classes B e C, a sua relação custo/benefício, a estabilidade econômica, entre outros (Rodolfo et al., 2015).

De acordo com os dados da (ANAC - Consulta Interativa, 2018), o setor aéreo brasileiro quase que dobrou a quantidade de passageiros transportados na última década e, após o recuo ocorrido em 2016, o setor voltou a apresentar crescimento de 2,7% em 2017 e um crescimento

ainda maior no ano de 2018, com uma variação positiva de 4,6% quando comparado ao mesmo período do ano anterior.

Figura 1: Variação percentual da quantidade de passageiros pagos transportados



Fonte: (ANAC - Consulta Interativa, 2018).

Em 2018 o Brasil possuía cerca de 579 aeródromos públicos ativos, sendo que 126 são aeródromos com voo regular ou charter, ou seja, onde existe a prestação de serviços de transporte aéreo público de passageiros (ANAC - Aeródromos Públicos, 2018). Para que o crescimento do setor aéreo seja sustentável, é necessário que a infraestrutura e a gestão operacional desses aeroportos sejam capazes de absorver a demanda crescente sem que ocorra a degradação da segurança operacional, ou seja, sem a ocorrência do aumento da quantidade de eventos de segurança operacional no aeroporto.

Segundo (Menezes Gonçalves e Ribeiro Correia, 2016), a avaliação da segurança operacional do aeroporto requer um processo estruturado com avaliações multidimensionais, ou seja, uma análise de decisão multicritério (MCDA). Embora a questão da segurança operacional na aviação civil atraia grande preocupação do público, notavelmente poucos estudos avaliaram a segurança operacional da aviação civil (Cui e Li, 2015).

Frente a este cenário de crescimento do setor aéreo, do grande número de aeroportos existentes no Brasil e da escassez de estudos sobre a segurança operacional na aviação civil, este estudo propõe um modelo para a avaliação da segurança operacional de aeroportos, a ser resolvido utilizando os métodos Analytic Hierarchy Process (AHP) e Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).

Assim, o modelo deve permitir a classificação dos entes, proporcionando um ranking dos aeroportos, identificando aqueles de pior desempenho, ou seja, mais suscetíveis a ocorrência de um evento de segurança operacional. Este modelo pode vir a auxiliar o processo de tomada de decisão de gestores de aeroporto e gestores da autoridade de aviação civil, buscando melhorar a priorização de suas ações de fiscalização e regulação aeroportuária.

O artigo é organizado em cinco seções onde a primeira apresenta a introdução com a contextualização, objetivos e perspectivas da pesquisa, a segunda seção apresenta o referencial

teórico, a terceira seção apresenta os procedimentos metodológicos, a quarta seção apresenta e analisa os resultados da avaliação da segurança operacional dos aeroportos com a utilização dos métodos AHP e TOPSIS e a quinta seção apresenta as conclusões do presente estudo.

Sistema aéreo brasileiro

A segurança operacional no transporte aéreo depende de complexas operações, que envolvem principalmente as empresas aéreas, o controle de tráfego aéreo e os aeroportos. (Pacheco et al., 2014).

No contexto da aviação, a (OACI, 2018) define segurança operacional como o estado no qual o risco de lesões a pessoas ou danos a bens é reduzido ou mantido em um nível aceitável, ou abaixo deste, através de um processo contínuo de identificação de perigos e gestão de riscos, com uso de técnicas preditivas que complementam as técnicas reativas.

No Brasil, encontra-se em vigor desde 2009, o Programa Brasileiro para a Segurança Operacional da Aviação Civil (PSO-BR) que estabelece as diretrizes e requisitos que devem ser adotados pelo estado brasileiro, com o objetivo de buscar a melhoria contínua nos níveis da segurança operacional na aviação civil brasileira. Este programa direciona a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e o Comando da Aeronáutica (COMAER) a realizarem o monitoramento e mensuração dos resultados alcançados para a segurança operacional de seus entes regulados (ANAC e COMAER, 2017).

O Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) nº 153, intitulado Aeródromos - Operação, Manutenção e Resposta à Emergência, estabelece para os operadores de aeródromo que atuam em aeródromo civil público brasileiro, compartilhado ou não, requisitos e parâmetros mínimos de segurança operacional. Para tal, o operador de aeródromo deve desenvolver, implantar, manter e garantir a melhoria contínua de um Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO) adequado à complexidade das operações realizadas sob sua responsabilidade. (ANAC, 2019).

Diversos trabalhos na literatura abordaram o tema de avaliação da segurança operacional e/ou riscos aeroportuários. (Benedetto, 2002) propôs um modelo para avaliação da segurança operacional de aeroportos durante tempestades. Os resultados do sistema de suporte à decisão mostraram que as tempestades muito curtas (duração de cerca de 5 minutos) são as mais críticas. O modelo proposto permite o cálculo dinâmico da profundidade do filme de água através de um modelo hidráulico, que integra numericamente as equações diferenciais completas de energia e massa.

O estudo de (Chen et al., 2009) classificou as principais ameaças e os erros humanos que afetam a segurança operacional da aviação. O método AHP foi utilizado para calcular o peso de cada critério, sendo então classificados por ordem de importância.

Já (Pacheco et al., 2014) apresentam uma metodologia de lógica fuzzy para medir os riscos de acidentes aéreos nos aeroportos, com base na percepção de uma amostra de pilotos operando no aeroporto em questão. A metodologia foi aplicada a dois aeroportos da cidade do Rio de Janeiro e os resultados apresentam os riscos que devem ser priorizados pelos gestores dos aeroportos.

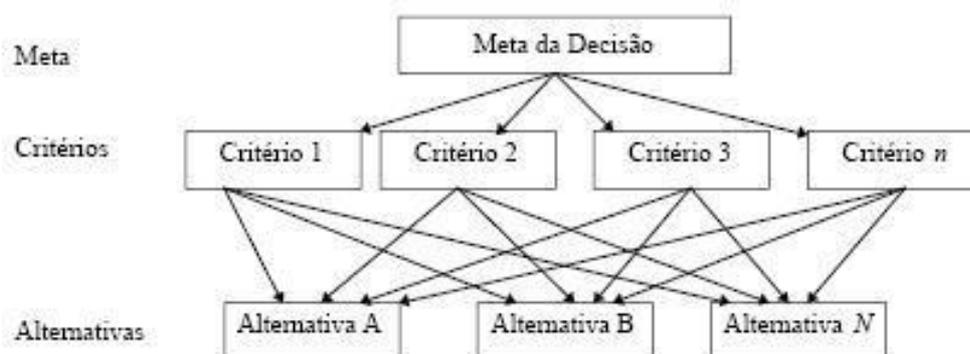
Um problema existente é que cada organização define seu próprio conjunto de indicadores de desempenho de segurança operacional, o que torna difícil a identificação de uma relação entre os indicadores definidos por um aeroporto com os demais. Tradicionalmente, taxas de acidentes eram utilizadas para avaliar o desempenho em segurança. Porém, como os acidentes tornaram-se raros, passou-se a inserir incidentes e demais eventos de menores proporções na análise, por proporcionar um maior histórico de dados (Roelen e Klompstra, 2012).

Processo de análise hierárquica

O método AHP foi desenvolvido pelo Prof. Thomas Saaty na década de 1970 e vem sendo utilizado amplamente em diversas situações para a tomada de decisões complexas (Saaty, 1980). Este método é compreendido por quatro etapas, sendo as duas últimas opcionais:

1. Estruturação do problema, conforme Figura 2;
2. Cálculo das prioridades com base nas comparações de pares;
3. Verificação de consistência; e
4. Análise de sensibilidade.

Figura 2: Estrutura hierárquica geral do método AHP



Fonte: Adaptado de (Taha, 2008)

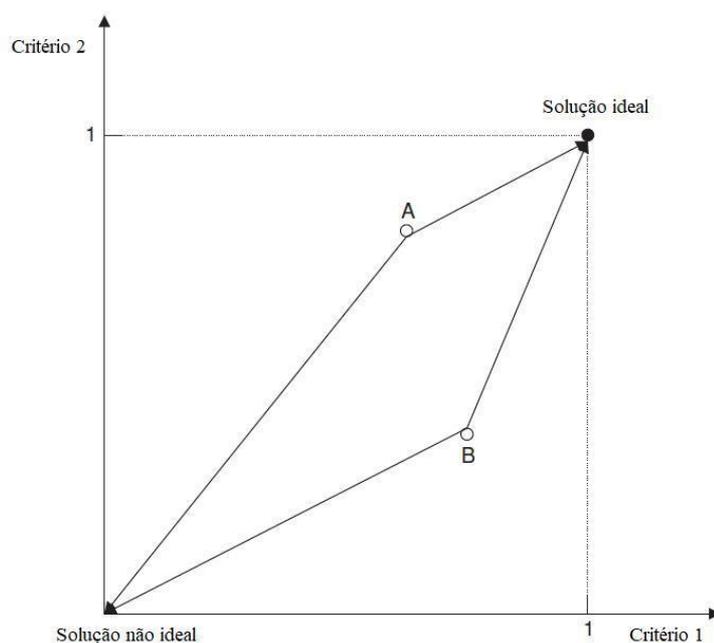
TOPSIS

O método TOPSIS foi desenvolvido inicialmente por Ching-Lai Hwang e Yoon na década de 1980 (Hwang e Yoon, 1981). Conforme pode ser visualizado na Figura 3, o método TOPSIS tem como ideia fundamental o entendimento de que a melhor solução é aquela mais próxima da solução ideal e mais distante da solução não ideal. Este método é adequado para modelagem de problemas quantitativos, pois requer menor subjetividade, o que torna o processo de coleta de dados mais simples (Ishizaka e Nemery, 2013).

O método TOPSIS é baseado em cinco etapas:

1. Obtenção das performances das alternativas para os diferentes critérios;
2. Normalização dessas performances;
3. Ponderação das pontuações normalizadas;
4. Cálculo das distâncias para um ponto ideal e não ideal; e
5. Obtenção da proximidade desses pontos, através do cálculo da razão dessas distâncias.

Figura 3: Método TOPSIS



Fonte: (Ishizaka e Nemery, 2013)

Metodologia

Este estudo busca obter conhecimentos de ordem prática e esclarecer como a segurança operacional de um aeroporto pode ser avaliada. Ele pode ser classificado como de natureza aplicada com objetivos exploratórios.

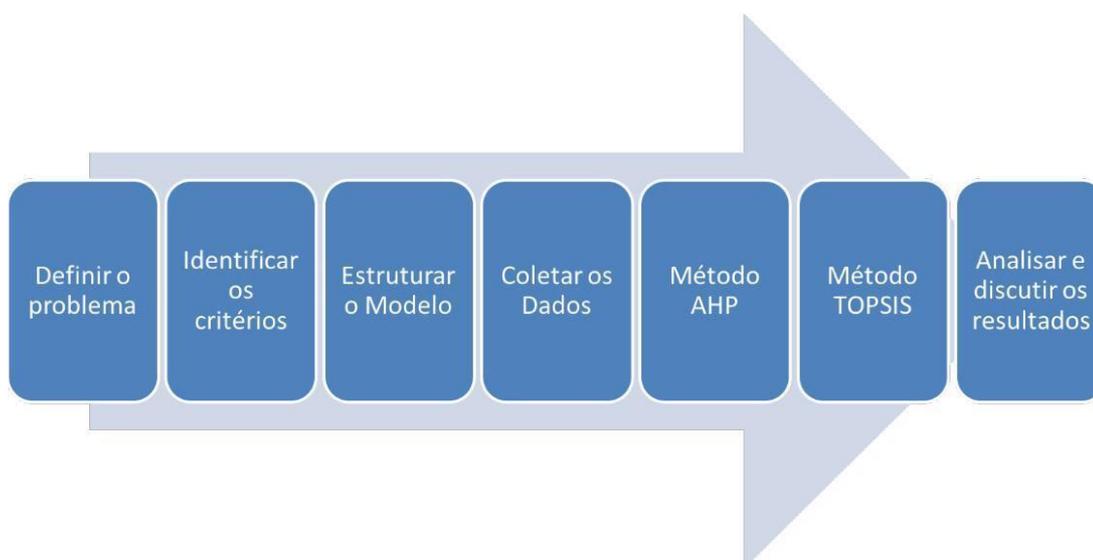
Realiza-se uma abordagem quantitativa com o objetivo de auxiliar no desenvolvimento de um modelo para a avaliação da segurança operacional de aeroportos, utilizando-se os seguintes métodos de análise multicritério: AHP e TOPSIS.

Para esta pesquisa é utilizada a modelagem axiomática descritiva, que está preocupada em analisar modelos quantitativos com o objetivo de entender o processo e explicar o comportamento do sistema modelado (Fleury e Miguel, 2012). As fases para a pesquisa em modelagem são:

1. conceituação: definição do problema, objetivos e limitações do sistema para concepção do modelo conceitual;
2. modelagem: utilização do modelo conceitual para desenvolvimento do modelo matemático;
3. solução do modelo: utiliza métodos de solução e algoritmos para resolver o modelo, analisando a consistência e a robustez das soluções obtidas;
4. validação do modelo: verifica se o modelo proposto representa o sistema real;
5. implementação: implantação do modelo na prática buscando os resultados do modelo para obter conclusões e decisões.

Para atingir os objetivos desta pesquisa, foi adotado o método de trabalho representado pela Figura 4.

Figura 4: Método de Trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

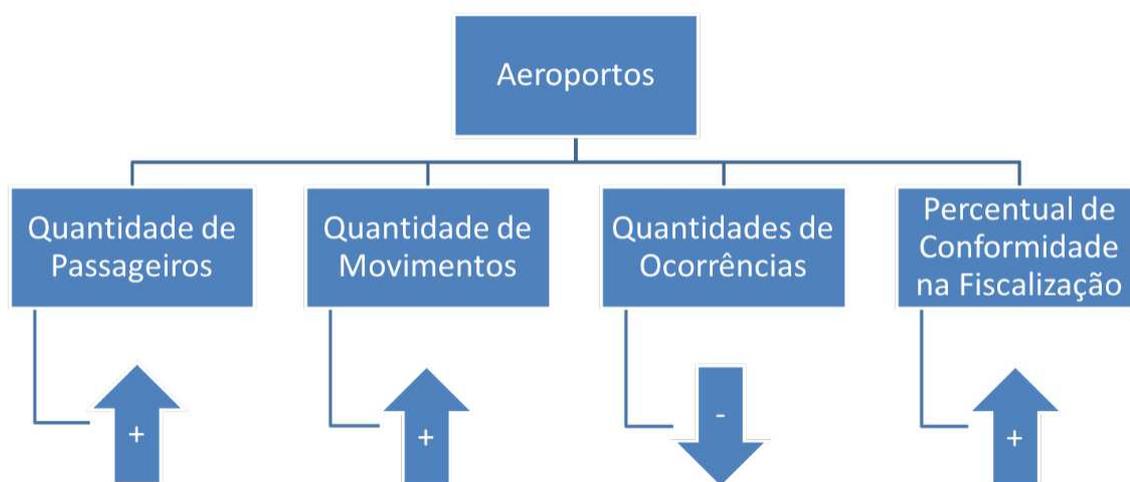
Na etapa 1 foi definido o problema e traçados os objetivos a serem alcançados neste estudo. Em seguida, foram identificados os critérios a serem utilizados na avaliação da

segurança operacional de um aeroporto e o sentido desejado para que cada critério represente um melhor desempenho na segurança operacional do aeroporto. Assim, foram estabelecidos os seguintes critérios:

1. Quantidade de passageiros movimentados (quanto maior melhor);
2. Quantidade de movimentos de pouso e decolagem de aeronaves (quanto maior melhor);
3. Quantidade de eventos de segurança operacional (quanto menor melhor);
4. Percentual de conformidade resultante da fiscalização efetuada pela ANAC (quanto maior melhor).

A estrutura do modelo é representada na Figura 5. A partir desse modelo foram coletados os dados para montagem da matriz de decisão a ser resolvida utilizando o método AHP e, posteriormente, o método TOPSIS.

Figura 5: Modelo para Avaliação da Segurança Operacional de Aeroporto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados de movimentação de passageiros e aeronaves foram obtidos no site da ANAC. O resultado das fiscalizações nos aeroportos é registrado num sistema interno da ANAC, utilizado para acompanhamento e registro dessas informações. Assim, esses dados tiveram que ser disponibilizados pela Agência para uso no presente estudo. Por fim, os dados de eventos de segurança operacional foram obtidos junto ao site do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA).

Definiu-se o período inicial da análise como janeiro de 2017 e o período final da análise como dezembro de 2017. A amostra de aeródromos considerada neste estudo foi delimitada de

acordo com a disponibilidade dos dados pela ANAC e pelo CENIPA. Após a coleta de dados para os critérios estabelecidos no modelo, verificou-se que a amostra constaria de um total de 55 aeródromos públicos brasileiros com a prestação de serviços de transporte aéreo público de passageiros. A estatística descritiva dos dados coletados é apresentada na Tabela 1. Por fim, o modelo foi resolvido utilizando-se os métodos AHP e TOPSIS, cujos resultados são apresentados e discutidos na próxima seção.

Tabela 1: Estatística descritiva dos dados coletados.

Crítérios	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Quantidade de Passageiros	635.376,89	2.907.045,83	2.377	21.599.185
Quantidade de Movimentos	5.902,38	23.613,84	99	175.509
Quantidade de Ocorrências	8,51	11,78	1	74
Conformidade na Fiscalização	89,94%	7,91%	67,35%	100%

n = 55 aeroportos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apresentação e análise dos resultados

Para se obter a solução do modelo proposto, foi utilizado o software Microsoft Excel, onde foram implementados os métodos AHP e TOPSIS. Em seguida, utilizando os dados coletados para a amostra de 55 aeródromos considerados nesta análise, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados do modelo utilizando AHP e TOPSIS

(continua)

Aeródromo	AHP	Rank	AHP	Aeródromo	TOPSIS	Rank	TOPSIS
Aerod 37	16,21	1	Aerod 37	0,9888	1		
Aerod 15	1,85	2	Aerod 15	0,0201	2		
Aerod 35	1,54	3	Aerod 35	0,0150	3		
Aerod 34	1,25	4	Aerod 8	0,0126	4		
Aerod 8	1,18	5	Aerod 32	0,0124	5		
Aerod 40	1,14	6	Aerod 22	0,0124	6		
Aerod 43	1,09	7	Aerod 20	0,0123	7		
Aerod 12	1,06	8	Aerod 40	0,0121	8		
Aerod 4	1,05	9	Aerod 43	0,0121	9		
Aerod 53	1,03	10	Aerod 19	0,0119	10		
Aerod 32	1,00	11	Aerod 18	0,0119	11		
Aerod 38	0,89	12	Aerod 26	0,0118	12		
Aerod 25	0,88	13	Aerod 10	0,0118	13		
Aerod 20	0,86	14	Aerod 12	0,0117	14		
Aerod 29	0,86	15	Aerod 14	0,0117	15		

(conclusão)

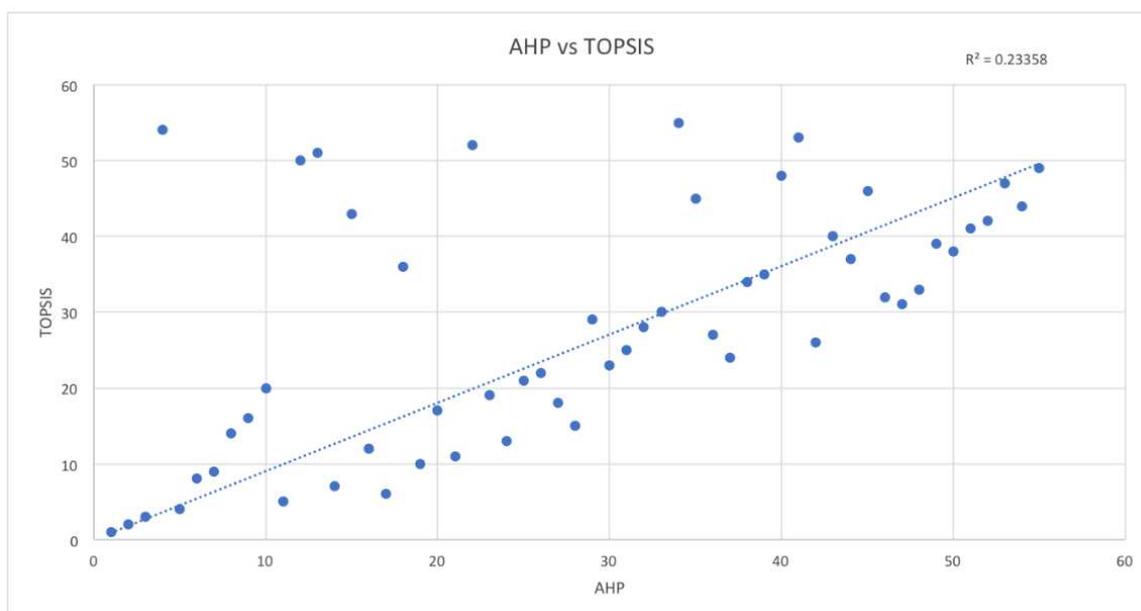
Aeródromo	AHP	Rank	AHP	Aeródromo	TOPSIS	Rank	TOPSIS
Aerod 26	0,82	16	Aerod 4	0,0117	16		
Aerod 22	0,82	17	Aerod 31	0,0117	17		
Aerod 17	0,81	18	Aerod 42	0,0116	18		
Aerod 19	0,77	19	Aerod 1	0,0116	19		
Aerod 31	0,77	20	Aerod 53	0,0115	20		
Aerod 18	0,75	21	Aerod 55	0,0114	21		
Aerod 21	0,71	22	Aerod 47	0,0113	22		
Aerod 1	0,69	23	Aerod 44	0,0113	23		
Aerod 10	0,69	24	Aerod 48	0,0112	24		
Aerod 55	0,68	25	Aerod 27	0,0112	25		
Aerod 47	0,67	26	Aerod 45	0,0112	26		
Aerod 42	0,67	27	Aerod 7	0,0112	27		
Aerod 14	0,67	28	Aerod 50	0,0111	28		
Aerod 33	0,65	29	Aerod 33	0,0110	29		
Aerod 44	0,65	30	Aerod 52	0,0110	30		
Aerod 27	0,64	31	Aerod 23	0,0109	31		
Aerod 50	0,63	32	Aerod 46	0,0109	32		
Aerod 52	0,62	33	Aerod 41	0,0108	33		
Aerod 24	0,55	34	Aerod 16	0,0107	34		
Aerod 13	0,55	35	Aerod 2	0,0107	35		
Aerod 7	0,54	36	Aerod 17	0,0106	36		
Aerod 48	0,53	37	Aerod 49	0,0106	37		
Aerod 16	0,52	38	Aerod 54	0,0105	38		
Aerod 2	0,52	39	Aerod 11	0,0104	39		
Aerod 5	0,51	40	Aerod 3	0,0104	40		
Aerod 6	0,51	41	Aerod 36	0,0103	41		
Aerod 45	0,50	42	Aerod 30	0,0101	42		
Aerod 3	0,48	43	Aerod 29	0,0099	43		
Aerod 49	0,47	44	Aerod 51	0,0098	44		
Aerod 28	0,47	45	Aerod 13	0,0098	45		
Aerod 46	0,46	46	Aerod 28	0,0096	46		
Aerod 23	0,46	47	Aerod 39	0,0096	47		
Aerod 41	0,46	48	Aerod 5	0,0095	48		
Aerod 11	0,45	49	Aerod 9	0,0094	49		
Aerod 54	0,44	50	Aerod 38	0,0093	50		
Aerod 36	0,42	51	Aerod 25	0,0087	51		
Aerod 30	0,40	52	Aerod 21	0,0086	52		
Aerod 39	0,39	53	Aerod 6	0,0085	53		
Aerod 51	0,38	54	Aerod 34	0,0080	54		
Aerod 9	0,38	55	Aerod 24	0,0075	55		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Independente do método utilizado para solucionar o modelo, é possível identificar que os aeródromos Aerod 37, Aerod 15 e Aerod 35 apresentaram a melhor pontuação, sendo considerados pelo modelo como os três aeródromos com melhor segurança operacional dentre os 55 da amostra analisada. Em seguida, foi realizado o cálculo do coeficiente de correlação entre os diferentes resultados obtidos, com o objetivo de comparar e medir a relação existente entre os resultados apresentados pelos diferentes métodos.

Realizando o cálculo do coeficiente de correlação entre os resultados obtidos por estes métodos, obtemos uma correlação de 0,9912. Esta alta correlação indica que a solução obtida pelo método AHP está alinhada com o resultado obtido pelo método TOPSIS, existindo apenas alguns pontos de divergência, conforme pode ser observado na Figura 6, que compara o resultado do ranking obtido pelos dois métodos.

Figura 6: Relação entre os Métodos AHP e TOPSIS



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao comparar as diferenças apresentadas pelos resultados dos dois métodos, verificou-se que o método TOPSIS tende a compensar menos o critério de conformidade do resultado de fiscalização, sendo mais conservador quanto a avaliação da segurança operacional.

Ao analisar os pontos de maior divergência entre os métodos, verifica-se que o critério de conformidade do resultado da fiscalização teve maior peso no resultado obtido pelo método TOPSIS, ou seja, o método AHP acabou compensando mais esse critério, o que fez com que aeroportos com baixos índices de conformidade na fiscalização ficassem bem classificados no ranking final da segurança operacional.

Conclusão

Este trabalho propõe um modelo para a avaliação da segurança operacional de aeroporto para auxiliar a tomada de decisão de gestores envolvidos na fiscalização e regulação dos aeroportos brasileiros.

Inicialmente, foram apresentados o referencial teórico e a metodologia utilizada para a execução da pesquisa. A modelagem axiomática descritiva foi utilizada como método de pesquisa e o método de trabalho do estudo foi apresentado de forma esquemática. Os critérios foram estabelecidos para o modelo e os dados coletados.

Posteriormente, foram apresentados os resultados obtidos pela solução do modelo proposto utilizando os métodos AHP e TOPSIS. Ao comparar os diferentes resultados, foi possível identificar que os aeródromos Aerod 37, Aerod 15 e Aerod 35 foram considerados os mais seguros independente do método utilizado.

Além disso, foi possível verificar que os resultados obtidos possuem alta correlação, tendendo o método TOPSIS a compensar menos o critério de conformidade do resultado de fiscalização. Por ser mais impactado pelo critério de conformidade do resultado da fiscalização, o método TOPSIS tende a ser mais conservador e por isso é sugerido que este seja utilizado para auxiliar a tomada de decisão.

Referências

ANAC - Aeródromos Públicos. **Lista de Aeródromos Civis Públicos Cadastrados**. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/cadastro-de-aerodromos-civis/aerodromos-publicos-xls>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

ANAC - Consulta Interativa. **Consulta Interativa – Indicadores do Mercado de Transporte Aéreo**. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-de-transporte-aereo/consulta-interativa>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

ANAC, A. N. d. A. C. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil. RBAC nº 153, Emenda 3. Aeródromos – Operação, Manutenção e Resposta à Emergência**. Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-153-emd-03/@@display-file/arquivo norma/RBAC153EMD03.pdf](http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-153-emd-03/@@display-file/arquivo%20norma/RBAC153EMD03.pdf)>. Acesso em: 06 fev. 2019.

ANAC, A. N. d. A. C. e COMAER, C. d. A. **Programa Brasileiro para a Segurança Operacional da Aviação Civil - PSO-BR**. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/gerenciamento-da-seguranca-operacional/arquivos/pso-br.pdf>>. Acesso em: 06 fev. 2019.

BENEDETTO, A. A decision support system for the safety of airport runways: the case of heavy rainstorms. **Transportation research part A: policy and practice**, v. 36, n. 8, p. 665–682, 2002.

BROOKER, P. Simple models for airport delays during transition to a trajectory-based air traffic system. **Journal of Navigation**, v. 62, n. 4, p. 555–570, 2009.

CHEN, C.-C., CHEN, J., E LIN, P.-C. Identification of significant threats and errors affecting aviation safety in Taiwan using the analytical hierarchy process. **Journal of Air Transport Management**, v. 15, n. 5, p. 261–263, 2009.

CUI, Q. E LI, Y. The change trend and influencing factors of civil aviation safety efficiency: The case of Chinese airline companies. *Safety Science*, v. 75, p. 56–63, 2015.

FLEURY, A. C. C. E MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

GONÇALVES, T. J. M., CORREIA, A. R. A multicriteria model to evaluate airport ramp safety: A study at são paulo international airport. **Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**, v. 24, n. 3, p. 454–464, 2016.

HWANG, C.-L. E YOON, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. **Multiple attribute decision making**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1981. p. 58-191.

ISHIZAKA, A. E NEMERY, P. **Multi-criteria decision analysis: methods and software**. John Wiley & Sons, 2013.

JACQUILLAT, A., ODONI, A. R., E WEBSTER, M. D. Dynamic Control of Runway Configurations and of Arrival and Departure Service Rates at JFK Airport Under Stochastic Queue Conditions. **Transportation Science**, v. 51, n. 1, p. 155-176, 2017.

OACI, O. d. A. C. I. **Doc 9859, Safety Management Manual (SMM)**. 4th Edition. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2018.

PACHECO, R. R., FERNANDES, E., E DOMINGOS, E. M. Airport airside safety index. **Journal of Air Transport Management**, v. 34, p. 86–92, 2014.

RODOLFO, A., MARCOS, A., E FERREIRA, L. Um Modelo de Simulação para Gestão da Capacidade dos Aeroportos Brasileiros. **Revista Eletrônica de Administração**, p. 1–26, 2015.

ROELEN, A. E KLOMPSTRA, M. (2012). The challenges in defining aviation safety performance indicators. **Helsinki, Finland. PSAM**, v. 11, 2012.

SAATY, T. L. The analytic hierarchy process. **New York: Mcgraw-hill**, 1980.

TAHA, H. A. Pesquisa Operacional. 8a Edição. **São Paulo: Pearson Prentice Hall**, 2008.