

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Álvaro Gonçalves Campos

**ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)
DA ACESSIBILIDADE EM AEROPORTOS
BRASILEIROS**

Trabalho de Graduação
2019

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Álvaro Gonçalves Campos

**ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)
DA ACESSIBILIDADE EM AEROPORTOS
BRASILEIROS**

Orientador

Prof. Dr. Marcelo Xavier Guterres (ITA)

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Campos, Álvaro Gonçalves
Análise por Envoltória de Dados (DEA) da acessibilidade em aeroportos brasileiros / Álvaro Gonçalves Campos

São José dos Campos, 2019.
Número de folhas no formato 71f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2019. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Xavier Guterres.

1. Acessibilidade ao meio físico. 2. Planejamento de aeroportos. 3. Análise envoltória de dados. 4. Infraestrutura (transporte). 5. Transporte I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Acessibilidade em Aeroportos Brasileiros: Análise por Envoltória de Dados (DEA)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAMPOS, Álvaro Gonçalves. **Análise por Envoltória de Dados (DEA) da acessibilidade em aeroportos brasileiros**. 2019. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Álvaro Gonçalves Campos

TÍTULO DO TRABALHO: Análise por Envoltória de Dados (DEA) da acessibilidade em aeroportos brasileiros

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2019

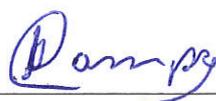
É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



Álvaro Gonçalves Campos
Rua H8 B 225.
12228-461, São José dos Campos - MG

ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) DA ACESSIBILIDADE EM AEROPORTOS BRASILEIROS

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



Álvaro Gonçalves Campos

Autor



Prof. Dr. Marcelo Xavier Guterres (ITA)

Orientador



Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 22 de novembro de 2019

Dedico este trabalho ao meu professor e amigo Guterres por toda paciência, carinho e cuidado que teve comigo nesses últimos anos.

Agradecimentos

Obrigado.

"Peace among worlds".

Rick Sanchez C-137

Resumo

O adequado funcionamento de um aeroporto pressupõe o correto funcionamento de diversas etapas que vão desde a chegada de passageiros e cargas até a decolagem ou pouso de uma aeronave. Este complexo fluxo de atividades interconectadas fazem do aeroporto uma robusta estrutura repleta de diferentes procedimentos e, eventualmente, gargalos operacionais. O presente estudo analisa a acessibilidade terrestre de seis dos maiores aeroportos brasileiros em movimentação de passageiros anual com foco na percepção dos usuários com vias de determinar quais aeroportos são mais eficientes e poderiam servir como referência para os demais. Neste estudo, a eficiência dos aeroportos é medida por meio de uma Análise por Envoltória de Dados (DEA), uma metodologia não-paramétrica, onde são consideradas as características de cada aeroporto referentes a acessibilidade terrestre, como os custos de cada modal de transporte, o tempo de traslado e a disponibilidade de meio-fio, e as avaliações que cada aeroporto recebeu dos passageiros em termos de acessibilidade terrestre por meio de pesquisas realizadas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pela Secretaria de Aviação Civil (SAC). Contata-se quais aeroportos são mais eficientes nesses aspectos, como a acessibilidade por transporte público, por carro próprio e por táxi, e determina-se metas para que cada um dos aeroportos analisados pudesse atingir os mesmos padrões dos demais, realizando-se um *benchmarking* entre os aeroportos analisados.

Abstract

The appropriate functioning of an airport presupposes the correct operation of several stages ranging from the arrival of passengers and cargo to the takeoff or landing of an aircraft. This complex flow of interconnected activities makes the airport a robust structure full of different procedures and eventually operational bottlenecks. The present study analyzes the land accessibility of six of the largest Brazilian airports in annual passenger movement, with focus on the perception of users to determine which airports are most efficient and could serve as a reference for the others. In this study, the efficiency of airports is measured by a Data Envelopment Analysis (DEA), a non-parametric methodology, where the characteristics of each airport regarding land accessibility are considered, such as the costs of each mode of transport, travel time and curb availability, and the assessments each airport has received from passengers for ground accessibility through surveys conducted by the Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) and the Secretaria de Aviação Civil (SAC). Checks which airports are most efficient in these aspects, such as accessibility by public transport, by car and by taxi, and goals are set so that each of the airports analyzed could reach the same standards as the others, performing a benchmarking between the airports analyzed.

Lista de Figuras

FIGURA 1. Fronteira de Eficiência.....	28
FIGURA 2. Fronteiras de Eficiência bidimensionais nos modelos CCR e BCC	29
FIGURA 3. Método I-O Stepwise Exhaustivo Completo	32
FIGURA 4. Fluxograma da metodologia empregada.....	34
FIGURA 5. Avaliação do indicador “Transporte público” (SAC, 2013).....	35
FIGURA 6. Avaliação do indicador “Instalações do estacionamento” (SAC, 2013)	36
FIGURA 7. Análise de sensibilidade do aeroporto de Guarulhos em relação a caronas	41
FIGURA 8. Fronteira de eficiência obtida na análise das instalações de estacionamento	48

Lista de Tabelas

TABELA 1. Notas obtidas pelos aeroportos selecionados na pesquisa SAC (2013)	36
TABELA 2. Notas obtidas pelos aeroportos selecionados na pesquisa ANAC (2009)	37
TABELA 3. Inputs e outputs utilizados em cada modelagem DEA	38
TABELA 4. Eficiência média para cada <i>input</i> em acessibilidade terrestre por carona	39
TABELA 5. Eficiência média para cada <i>input</i> adicional em acessibilidade terrestre por carona	40
TABELA 6. Eficiência média obtida em acessibilidade terrestre por carona com os 3 <i>inputs</i>	40
TABELA 7. Benchmarking do aeroporto de Guarulhos na acessibilidade terrestre por caronas	42
TABELA 8. Variáveis selecionadas por I-O Stepwise Exaustivo Completo	44
TABELA 9. Eficiências obtidas para cada aeroporto em modelo DEA	45
TABELA 10. Notas utilizadas como <i>input</i> em acessibilidade terrestre via ônibus	46
TABELA 11. Eficiência em acessibilidade terrestre via ônibus com o input tempo	47
TABELA 12. <i>Benchmarking</i> realizado entre os aeroportos	50
TABELA 13. Comparação entre os resultados obtidos pelas metodologias AHP e DEA	51

Lista de Abreviaturas e Siglas

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
BCC	Banker, Charnes e Cooper. Método DEA de retorno de escala variável
CCR	Charnes, Cooper e Rhode. Método DEA de retorno de escala constante
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DMU	<i>Decision Making Unit</i> , unidade tomadora de decisão
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
SAC	Secretaria Nacional de Aviação Civil.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Apresentação	15
1.2	Definição do problema	17
1.3	Justificativa	17
1.4	Hipóteses.....	18
1.5	Objetivo	18
1.6	Limitações	18
1.7	Divisão do Trabalho de Graduação	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Apresentação	21
2.2	Aplicação do DEA em transporte aéreo	21
2.3	Acessibilidade terrestre em aeroportos	25
3	ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS – DEA	26
3.1	Apresentação	26
3.2	Histórico	26
3.3	Conceitos básicos	27
3.4	Modelos matemáticos	29
3.4.1	Modelo CCR.....	30
3.4.2	Modelo BCC.....	31
3.5	Método I-O Stepwise Exaustivo Completo de seleção de variáveis	32
4	METODOLOGIA	34
4.1	<i>Outputs</i>	34
4.2	<i>Inputs</i>	37
4.3	Seleção de variáveis	39
4.4	Benchmarking entre os aeroportos	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6	CONCLUSÕES	53
7	BIBLIOGRAFIA	54
	ANEXO A – NOTAS NORMALIZADAS UTILIZADAS COMO INPUT	58

APÊNDICE A – SELEÇÃO DE VARIÁVEIS	59
A.1 Acessibilidade via ônibus	59
A.2 Instalações do estacionamento.....	60
A.3 Acessibilidade via carona	61
A.4 Acessibilidade via carro próprio	62
A.5 Acessibilidade via táxi	63
APÊNDICE B – RESULTADOS DOS MODELOS DEA	64
APÊNDICE C – BENCHMARKING ENTRE OS AEROPORTOS.....	66
C.1 Acessibilidade via ônibus	66
C.2 Instalações do estacionamento.....	67
C.3 Acessibilidade via carona	68
C.4 Acessibilidade via carro próprio	69
C.5 Acessibilidade via táxi	70

1 Introdução

1.1 Apresentação

Acessibilidade é um conceito amplo que pode ser entendido de formas diferentes em cada contexto. No contexto digital, por exemplo, pode ser entendida como o acesso dos usuários ao computador, ao navegador e às páginas WEB (CONFORTO, 2002), uma questão de relevância social no cenário atual de fortes interações virtuais (relações comerciais, comunicação, disseminação de conhecimento, etc.). A legislação brasileira, por exemplo, tendo como ótica o direito de acesso da pessoa portadora de deficiência, define a acessibilidade como sendo a “condição para utilização [...] dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos serviços de transporte e dos dispositivos, sistemas e meios de comunicação e informação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida” (Decreto Nº 5.296, 2004). Este trabalho tratará da acessibilidade terrestre dentro da cidade, urbana, sem menção às outras questões ou possibilidades interpretativas.

A acessibilidade terrestre é a disponibilidade, a oferta de meios físicos ou instalações que permitem um indivíduo ou um grupo social terem acesso a um serviço ou atividade na cidade (GRINOVER, 2006). Trata-se, portanto, da existência de uma estrutura urbana de transporte (existência de ruas, rodovias, etc. bem como a disponibilidade de horários e rotas) e de sua correlação com o efetivo acesso da população aos meios de transporte (acesso a veículo próprio ou mesmo disponibilidade financeira para utilização dos transportes públicos) (CARDOSO, 2008). Neste contexto, a acessibilidade terrestre é um fator de relevância para o bom funcionamento de qualquer estabelecimento, sejam eles comerciais ou de serviços (que precisa de acesso ao público e aos funcionários) ou mesmo fábricas e galpões (que necessitam de rotas eficazes para recebimento ou envio de produtos).

A acessibilidade terrestre aos aeroportos é um fator de extrema importância para o seu correto funcionamento, sendo questão de preocupação para a administração pública e privada desde sua construção, durante a elaboração do projeto (áreas de estacionamento, áreas para táxis, proximidade e/ou acesso ao aeroporto por meio de transporte público, etc.) e durante sua administração como quando se analisa a possibilidade da expansão do complexo aeroportuário para atender um eventual aumento da demanda. O correto dimensionamento da capacidade de uma estrutura aeroportuária, que passa naturalmente pela viabilidade de acesso

do usuário ao aeroporto, é fator decisivo para impulsionar e possibilitar o adequado desenvolvimento do transporte aéreo nacional, tão representativo para no desenvolvimento do país.

O transporte aéreo desempenha um importante papel econômico e social para o Brasil. Além de representar um dos principais modais utilizados no comércio exterior (ALMEIDA, MARIANO, & REBELATTO, 2007), é responsável pela movimentação do mercado turístico gerando empregos ou mesmo opções de lazer e enriquecimento cultural. Em âmbito nacional, no entanto, segundo dados do Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (atual Ministério da Infraestrutura), em 2016, os aeroportos foram responsáveis pelo transporte de 325,02 mil toneladas de cargas dentro do mercado doméstico (LESSA, 2017), o que representa menos de 1% de todo o montante transportado. Segundo o mesmo documento, no entanto, em relação ao número de passageiros transportados em nível interestadual, o modal aeroviário foi responsável pelo transporte de mais de 83 milhões de passageiros em 2016, valor quase duas vezes maior do que o transportado pelo modal rodoviário no mesmo período (43 milhões). O transporte aéreo, assim, além de já desempenhar um papel crucial dentro da economia do país, possui um enorme potencial de expansão, ainda mais considerando-se a extensão continental do Brasil.

Uma estrutura aeroportuária mostra-se, assim, como uma complexa unidade de fluxo de pessoas e cargas com diversas etapas entre a chegada do passageiro e a decolagem da aeronave. Cada uma dessas etapas pode desempenhar um papel mais ou menos limitante da capacidade de atendimento do aeroporto e entender como cada uma delas influi todo o processo é essencial para definir as mudanças que de fato são capazes de melhorar seu funcionamento. A Análise de Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis, DEA) é uma ferramenta capaz de auxiliar na tomada de decisão ao mensurar a eficiência em um cenário complexo seja pelo número grande de variáveis, seja pela correlação não linear entre elas. Este trabalho visa analisar a eficiência da estrutura aeroportuária brasileira com base na facilidade de acesso aos aeroportos e na própria percepção do usuário sobre essa acessibilidade terrestre.

1.2 Definição do problema

No sistema aeroportuário, é possível identificar duas áreas distintas caracterizadas pelo seu uso: o lado ar, área de operação das aeronaves (pistas, pátios, etc.) e o lado terra, área relacionada ao transporte via superfície e entrada/saída de passageiros do aeroporto (terminal de passageiros, vias de acesso, área de check-in, etc.). As análises quantitativas da bibliografia referentes a eficiência do funcionamento dos aeroportos brasileiros, especialmente no que tange sua eficiência logística, focam-se na consideração das áreas do lado ar do aeroporto, por vezes considerando apenas a área do terminal de passageiros no lado terra.

A escolha do usuário por um meio de acesso ao aeroporto é um fator complexo por ser relacionada não só a fatores quantitativos (disponibilidade das diversas modalidades de transporte público, custo de utilização e capacidade dos estacionamentos dos aeroportos, renda dos usuários, etc.) mas também a fatores qualitativos (preferência do usuário por um meio de transporte específico, sensibilidade do usuário à utilização do transporte público, percepção do usuário da relação entre custo, distância ao aeroporto e tempo de traslado, etc.). O estudo da acessibilidade terrestre de um aeroporto, portanto, passa pela análise de variáveis estruturais do sistema aeroportuário e da cidade e variáveis relacionadas à percepção subjetiva do usuário. O presente estudo busca verificar quais são os aeroportos brasileiros mais eficientes em termos de acessibilidade terrestre, entender em quais aspectos há a possibilidade de aperfeiçoamento em cada aeroporto e quais unidades podem servir como referência para as demais neste processo.

1.3 Justificativa

Os estudos mostraram-se carentes de uma abordagem quantitativa a respeito da acessibilidade terrestre dos aeroportos, considerando a oferta de modalidades de transporte adequados ao perfil e necessidades do usuário. Tal análise permite, num primeiro momento, a verificação de possíveis melhorias a serem realizados em determinada unidade aeroportuária a partir da comparação com as unidades mais eficientes. Também permite medir a evolução da eficiência em acessibilidade terrestre de uma unidade ao longo do tempo, uma análise importante para mensurar o impacto de eventuais obras de infraestrutura urbana ou aeroportuária, como a construção de metrô ou a ampliação das linhas de ônibus.

1.4 Hipóteses

A própria ausência de biografia sobre o tema bem como as características das obras de expansão dos aeroportos nacionais realizadas nos últimos anos (com maior foco no lado ar do sítio aeroviário) dão indícios de que, no complexo cenário aeroportuário, a acessibilidade terrestre não é um fator limitante da capacidade global dos aeroportos. Estes, no entanto, possuem características específicas que limitam sua atuação, sendo provável que haja espaço para melhorias nesse aspecto.

A análise dos fatores qualitativos referentes à acessibilidade terrestre, intrinsecamente relacionados à preferência do usuário por cada meio de transporte, será realizada a partir de dados de duas pesquisas: a pesquisa de avaliação dos serviços aeroportuários realizada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) em 2010 (citado por COELHO, 2012) e o Relatório Geral de indicadores de desempenho operacional em aeroportos do 1º trimestre de 2013 (Secretaria de Aviação Civil, 2013). Busca-se quantificar a percepção subjetiva dos passageiros a partir das respostas dadas a essas pesquisas de satisfação do usuário.

1.5 Objetivo

O objetivo do trabalho é analisar a acessibilidade terrestre de aeroportos brasileiros, com o intuito de determinar quais são mais eficientes e quais são referência para o aperfeiçoamento dos demais em termos de acessibilidade terrestre. Será realizada essa análise para seis dos maiores aeroportos brasileiros, a saber: Aeroporto Internacional de Brasília (Brasília, DF), Aeroporto Internacional de Viracopos (Campinas, SP), Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos (Guarulhos, SP), Aeroporto de Congonhas (São Paulo, SP), Aeroporto Santos Dumont (Rio de Janeiro, RJ) e Aeroporto do Galeão (Rio de Janeiro, RJ).

1.6 Limitações

É conhecido na literatura algumas características do aeroporto muito influentes na capacidade do mesmo, como, por exemplo, a capacidade do terminal de passageiros e a área

do pátio (ALMEIDA, MARIANO, & REBELATTO, 2007). Uma vez que esses fatores são significativamente mais representativos na análise da eficiência aeroportuária que a acessibilidade terrestre aos aeroportos, torna-se inviável uma mensuração que a correlacione diretamente à capacidade do aeroporto, pois a acessibilidade terrestre seria pouco representativa. Faz-se necessária a adoção de meios alternativos de mensuração da acessibilidade terrestre, uma vez que, avaliando-se a capacidade aeroportuária como um todo, seria um erro a desconsideração de fatores já sabidos como mais representativos.

As limitadas fontes de dados de importantes variáveis na análise da acessibilidade terrestre aos aeroportos (tempos de traslado por modal, custo de traslado por modal, tempo de uso médio dos estacionamentos nos aeroportos, etc.) tornam inviável uma análise mais completa e atual do cenário aeroportuário brasileiro. Dessa maneira, partiu-se dos dados levantados no estudo realizado por Coelho (2012) que avaliou a acessibilidade terrestre de aeroportos brasileiros incorporando usuários com diferentes restrições de mobilidade e utilizando o método AHP (*Analytical Hierarchy Process*). O presente trabalho não tratará da diferenciação que poderia haver entre usuários com diferentes restrições de mobilidade, como já mencionado, embora utilize os dados deste estudo.

Optou-se pelo estudo dos seis aeroportos nacionais mencionados no trabalho de Coelho (2012) por não terem sido encontrados os dados aqui utilizados para outros aeroportos. O limitado número de aeroportos traz restrições quanto ao número de variáveis utilizadas nas modelagens DEA, havendo a necessidade de realização de um processo de seleção de variáveis mais acurado.

Optou-se, ainda, pela utilização de pesquisas mais antigas realizadas com os usuários (uma da ANAC em 2009 e uma da SAC em 2013) em detrimento de algumas mais recentes disponíveis, por serem mais compatíveis com a época de aferição dos dados realizada por Coelho (2012). Cabe, portanto, ressaltar que os resultados obtidos neste trabalho se encontram datados. Desde a época de coleta dos dados, foram realizadas obras de expansão nos aeroportos e vias de acesso e houve mudanças no cenário macroeconômico nacional, como a entrada de empresas de transporte via aplicativo, fatores que alteraram tanto as variáveis associadas ao traslado do passageiro ao aeroporto (custo, tempo, opção por um tipo de modal, etc.), como a própria percepção do usuário sobre a acessibilidade terrestre. Embora tal limitação impeça que o presente trabalho reflita de forma acurada o cenário atual do sistema aeroportuário brasileiro, cria-se um modelo de uma análise quantitativa replicável nos dias de hoje, com uma rica comparação entre as épocas.

1.7 Divisão do Trabalho de Graduação

Este Trabalho de Graduação constitui-se de 6 capítulos sendo organizado da seguinte forma:

No Capítulo 1 foi realizada a introdução ao assunto, com a definição do problema e a justificativa da escolha do tema. Foram levantadas hipóteses a respeito do assunto do trabalho, elencado seus objetivos e as limitações encontradas.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão literária a respeito da utilização do DEA no contexto da infraestrutura aeroviária, com enfoque nas bibliografias que abordaram aeroportos brasileiros.

O Capítulo 3 apresenta a ferramenta de Análise de Envoltória de Dados (DEA) e suas modelações matemáticas.

O Capítulo 4 apresenta a metodologia no trabalho, discriminando os dados utilizados, os aeroportos selecionados e as variáveis analisadas com o DEA.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos e a interpretação dos mesmos.

O Capítulo 6 apresenta uma breve conclusão com sugestões de aperfeiçoamento para o modelo.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Apresentação

Apesar da ampla possibilidade de utilização da Análise por Envoltória de Dados em vários campos do conhecimento, justamente por sua grande aplicabilidade às pesquisas em logística, com trabalhos publicados ainda na década de 1990, a maior ênfase dessas pesquisas se mostrou no transporte aeroviário, tanto em nível internacional, quanto em nível nacional, este com especial foco na eficiência da infraestrutura aeroportuária e das companhias aéreas (DIAS, 2010).

Com base na pesquisa bibliográfica, não se identificou publicações ou artigos com expressão acadêmica a respeito da utilização do DEA como ferramenta de análise da acessibilidade terrestre a aeroportos. O presente trabalho foca na revisão da literatura que se utilizou da metodologia DEA dentro do modal aéreo com vias de mensurar a eficiência operacional dos aeroportos.

2.2 Aplicação do DEA em transporte aéreo

Gillen e Lall (1997) vivenciavam um contexto de extensa pesquisa em relação a produtividade econômica das companhias aéreas, mas uma incipiente investigação a respeito da produtividade e do desempenho dos aeroportos. Seu artigo utilizou a Análise de Envoltória de Dados com vias a determinar o desempenho de 21 aeroportos nos Estados Unidos durante o período de cinco anos de 1989 e 1993. Com sua pesquisa, puderam verificar que, no lado ar do aeroporto, reduzir o número de movimentos das aeronaves, ter pistas de pouso e decolagem centrais e ampliar a capacidade dos portões poderia aumentar a eficiência em geral nos aeroportos analisados; no lado terra, analisado pela perspectiva do terminal de passageiros, verificou-se que a eficiência é melhorada com a expansão do número de portões e seu melhor gerenciamento (GILLEN & LALL, 1997). A pesquisa mostrou-se como um começo para demais análises no setor.

Motivado pela mesma ausência de estudos a respeito que Gillen e Lall (1997), Sarkis (2000) realizou uma pesquisa de avaliação da eficiência operacional utilizando DEA dos 44 principais aeroportos dos EUA. Ele utilizou como inputs os custos operacionais do aeroporto,

o número de funcionários, portões e pistas, e como outputs a receita operacional, o fluxo de passageiros, o número de movimentos da aviação comercial e geral e a carga total transportada. A pesquisa utilizou tanto o modelo CCR como o modelo BCC e percebeu que ocorrem retornos variáveis de escala na análise da eficiência operacional dos aeroportos (SARKIS, 2000).

Martín e Román (2001) produziram um estudo a respeito do impacto da privatização na eficiência de aeroportos espanhóis, com base em dados governamentais de 1997. Foram analisados 37 aeroportos e, dentre outras conclusões, o estudo apontou que havia 20 aeroportos que operavam em áreas de retorno crescente de escala e outros 9 que operavam em áreas de retorno decrescente, o que sugeria a existência de espaço para uma política de realocação do tráfego aéreo. Além disso, em termos da privatização, concluiu-se que os aeroportos privados tiveram ganhos de eficiência, mas que tal ganho poderia ser igualmente atingido pelos não privatizados (MARTÍN & ROMÁN, 2001).

Adler e Golany (2001) motivaram-se pela experiência da desregulamentação no setor aéreo vivida nos EUA e que apontou para a tendência de formação de hubs, aeroportos que funcionam como centros de distribuição dos voos das companhias aéreas (além de permitirem o aumento da rede aérea, os hubs possibilitavam uma maior frequência de voos para um determinado destino). Assim, o estudo de Adler e Golay visava selecionar as configurações de redes mais eficientes selecionando as melhores localidades para hubs dentre as possibilidades dentro do mercado desregulamentado da União Europeia. Além desse aspecto, a pesquisa ainda foi capaz de discriminar alguns fatores nos quais um dado aeroporto poderia ser aperfeiçoado de modo a se tornar mais atrativo para as companhias aéreas, como o tempo de atraso dos voos (ADLER & GOLANY, 2001).

Para finalizar a sistematização da bibliografia internacional, Yoshida e Fujimoto (2004) avaliaram a eficiência de 67 aeroportos no ano 2000 no Japão a fim de verificar a eficiência do investimento público do país no setor de infraestrutura aeroportuária, pois o governo estava sofrendo críticas a este respeito. A pesquisa concluiu que os aeroportos construídos a partir dos anos 90 mostraram-se mais ineficientes. Conforme os autores afirmaram, embora os dados pudessem indicar que a verba dos últimos anos tinha sido investida na infraestrutura de aeroportos menos eficientes (os que haviam sido construídos mais recentemente), há a necessidade de se considerar que os investimentos em infraestrutura de transporte requerem tempo para atrair demanda o suficiente para operar com eficiência (YOSHIDA & FUJIMOTO, 2004). Tal estudo traz uma importante reflexão de como diversos

fatores podem influir na interpretação dos dados obtidos a partir do DEA, sendo necessária sempre uma análise crítica e integrada com o contexto da amostra.

A mais antiga bibliografia de análise pela metodologia DEA referente ao cenário aeroportuário brasileiro com expressividade acadêmica identificada na pesquisa bibliográfica do presente trabalho foi o artigo escrito por Fernandes e Pacheco (2002) que analisa a eficiência de 35 aeroportos nacionais em relação ao número de passageiros atendidos (aeroportos domésticos brasileiros com dados amostrais de 1998). Tal artigo foi capaz de prever, a partir das previsões de crescimento das demandas de passageiros, os períodos em que seriam necessários projetos de expansão da capacidade de atendimento nestes aeroportos, mostrando, de forma inovadora neste campo de pesquisa, a utilização da análise DEA não apenas como ferramenta de *benchmark*, mas como uma possibilidade de estabelecimento de padrões de referência capazes de nortear decisões a curto prazo em casos concretos (FERNANDES & PACHECO, 2002).

Posteriormente, Mello e Gomes (2004) realizaram uma nova abordagem a respeito da análise da eficiência aeroportuária com o DEA, seguindo o estudo na análise da eficiência operacional (como mais comumente abordado nos estudos anteriores), da eficiência comercial (considerando as receitas não aeroportuárias, a partir da perspectiva de que aeroportos são, além da interligação entre os modais terrestre e aéreo, um centro promotor de atividades econômicas na cidade em que se localizam) e da eficiência global, a análise conjunta das duas primeiras. Mello e Gomes (2004) também se propuseram a uma análise em separado com 15 dos maiores aeroportos brasileiros e uma análise destes mesmos aeroportos com outros 8 aeroportos internacionais. A integração de uma análise de eficiência operacional com as receitas não aeroportuárias permitiu a validação dos resultados obtidos anteriormente por Palhares (2001), trabalho com maior enfoque no impacto turístico dos aeroportos, e ampliou a possibilidade utilização dos resultados obtidos pela metodologia para a administração aeroportuária nacional (MELLO & GOMES, 2004).

Guedes (2006) utilizou a metodologia DEA e o conceito de fronteira invertida no estudo da eficiência de 30 aeroportos brasileiros. A técnica da fronteira invertida consiste em considerar os outputs como inputs e os inputs como outputs e então realizar uma análise DEA normalmente. Tal procedimento seria capaz de obter uma estimativa mais representativa da eficiência das DMUs ao combinar tanto a fronteira obtida originalmente, como a fronteira invertida obtida a posteriori. Segundo o autor, somente a fronteira invertida é capaz de identificar, por meio de indicadores, a presença de anomalias nos resultados obtidos pelo DEA (GUEDES, 2006, citado por ALMEIDA, 2007).

Ainda no campo da eficiência operacional aeroportuária, Almeida, Mariano e Rebelatto (2007) realizaram um estudo com 26 aeroportos internacionais brasileiros, com dados disponibilizados pela então INFRAERO referentes ao ano de 2005. A eficiência considerou inicialmente como *inputs* para o DEA a área do pátio, a capacidade dos terminais aeroportuários e o número de posições de estacionamento para os aviões e como *outputs* a movimentação de carga e a quantidade de passageiros embarcados e desembarcados. Diferentemente dos estudos nacionais anteriores, Almeida, Mariano e Rebelatto (2007) realizaram, inicialmente, uma matriz de correlação entre os *inputs* e *outputs* levantados a fim de eliminar da análise DEA, a fim de eliminar qualquer tipo de tendenciosidade, *inputs* altamente correlacionados entre si (como a área de pátio, altamente correlacionada à área do terminal), *inputs* que apresentassem baixa correlação com todos os *outputs* (como foi o caso do comprimento de pista) e *outputs* altamente correlacionados entre si (como a movimentação de aeronaves e a movimentação de passageiros). Os autores consideraram em sua análise, assim como Guedes (2006), o conceito de fronteira invertida e reforçaram que o *benchmark* das DMUs ineficientes deve ser calculado a partir da fronteira clássica, sendo a fronteira invertida uma ferramenta útil apenas para discriminar, dentre as DMUs eficientes, aquelas que foram eficientes de maneira mais uniforme. O estudo foi capaz de discriminar em quais aspectos os aeroportos possuíam potencial de aperfeiçoamento, como por exemplo, com investimento em infraestrutura ou aumento ou diminuição na escala de produção (ALMEIDA, MARIANO, & REBELATTO, 2007).

Os autores Sampaio e Melo (2008) realizaram uma análise da eficiência de 23 companhias brasileiras de transporte aéreo que operavam com transporte de passageiros, devido à pequena expressividade do setor de carga deste modal no cenário nacional. O estudo foi realizado a partir dos anuários estatísticos do então Departamento de Aviação Civil entre os anos de 1998 e 2004 e foi capaz de verificar uma leve tendência de crescimento, em média, da eficiência ao longo do tempo nas companhias. O estudo também destacou que, dentre as seis maiores companhias aéreas operando em 2004, somente a TAM, a VARIG e a GOL estavam na fronteira de eficiência, tendo esta última destacado-se como a companhia que mais vezes foi referência para as demais. Seu estudo apontou para a tendência esperada de que companhias aéreas tendem a aumentar sua participação no mercado, enquanto que algumas ineficientes podem chegar até a encerrar suas atividades. Esta análise, pelo seu alto potencial como *benchmark* comercial para as companhias, foi capaz de destacar aspectos que contribuíram para o mais adequado e melhor desenvolvimento do setor (SAMPAIO & MELO, 2008).

2.3 Acessibilidade terrestre em aeroportos

Diversos autores apontam a acessibilidade terrestre como um fator decisório básico para a seleção de um aeroporto pelo usuário, especialmente há mais de um aeroporto competindo numa região. Como destacado por Skinner (1976) e Harvey (1986), o aumento da acessibilidade de um terminal é uma estratégia de incremento do número de usuários em um cenário de disputa entre terminais. Harvey (1986) ainda destacou que o tempo de acesso a um aeroporto tende a ser um fator decisivo na escolha do usuário por aquele terminal.

Monteiro e Hansen (1996), num estudo realizado em três importantes aeroportos na cidade de São Francisco, nos Estados Unidos, a partir de modelos logit hierárquico e multinominal, concluíram que a atratividade de um aeroporto está fortemente atrelada às facilidades de acessibilidade terrestre disponibilizadas aos passageiros. Analisando os mesmos aeroportos, Pels *et al.* (2003), verificou que, sejam viajantes a negócio, sejam viajantes a lazer, os passageiros escolhem primeiro o aeroporto e depois a companhia aérea.

Kouwenhoven (2008) realizou um estudo sobre diversos fatores que influenciam na escolha de um passageiro por um aeroporto quando não há uma diferença significativa entre as instalações internas de cada um dos terminais, sendo seu estudo realizado nos Países Baixos. Ele avaliou fatores como a disponibilidade de voos, o preço das passagens, a frequência de voos, a facilidade de realização do *check-in*, as instalações para bagagens e imigração e a acessibilidade terrestre, e mostrou que a mudança da acessibilidade terrestre pode ter grande influência na escolha dos usuários. Ele apontou, ainda, que a escolha dos passageiros por diferentes modais de acesso é multifatorial, sendo relevante a disponibilidade dos modais de acesso, o tempo e o custo de traslado, a frequência, o conforto e a confiabilidade. Também se considerou, na elaboração dos custos utilizados na análise, custos de estacionamento e taxas específicas de cada aeroporto que poderiam influenciar na escolha do usuário.

Alves (2005) demonstrou que a variabilidade do tempo de viagem é um importante fator de decisão na escolha do modal de acesso em seu estudo realizado no Aeroporto Internacional de Guarulhos.

3 Análise por Envoltória de Dados – DEA

3.1 Apresentação

A Análise por Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis*, DEA) é uma técnica baseada em programação linear capaz de medir o desempenho de unidades de tomada de decisão (*Decision Making Unit*, DMU), com especial utilização quando há a presença de múltiplos fatores de entrada, os recursos que dispõem (também chamados de *inputs*, insumos) e diversas saídas, os resultados alcançados (*outputs*, produtos) que fazem complexa uma comparação do grau de eficiência produtiva entre as DMUs. Segundo (CARVALHO, 2002, citado por DIAS, 2010), a metodologia DEA visa identificar quais as unidades de tomada de decisão (DMUs) dentre as diversas consideradas atingem os limites máximos de sua eficiência. A título de exemplo, uma empresa de transporte de encomendas poderia utilizar a metodologia DEA a fim de verificar quais as melhores rotas rodoviárias a serem utilizadas a fim de maximizar seus lucros com o processo. As DMUs seriam as diferentes rotas viáveis, sendo possíveis *inputs* a distância percorrida, o número de veículos disponíveis e a qualidade da estrada de cada rodovia; possíveis *outputs* seriam o gasto de gasolina, o valor pago com pedágio e o tempo de traslado. A análise DEA seria capaz de determinar, com base nas limitações de cada recurso e da eficiência requerida pela empresa no processo, as melhores rotas a serem adotadas de modo a maximizar sua produção.

3.2 Histórico

O trabalho de M. J. Farrell, em 1957, que apresentou a mensuração da eficiência pela razão entre um único *output* e um único *input*, inspirou a origem da metodologia DEA posteriormente, em 1978, quando Charnes, Cooper e Rhodes propuseram uma generalização para a medida de eficiência apresentada por Farrell com a consideração de diversos *inputs* e *outputs* por meio de otimização por programação matemática (DIAS, 2010). Na época, os estudiosos buscavam comparar a eficiência das escolas públicas americanas sem a necessidade de determinar pesos para cada uma das variáveis analisadas. Tal modelo ficou conhecido como CCR (devido às iniciais de cada autor) ou CRS (*Constant Returns of Scale*), já que considera retornos de escala constantes (MELLO & GOMES, 2004), ou seja, cada

variação nos *inputs* produz uma variação proporcional nos *outputs*. Este modelo calcula a eficiência total de uma DMU (ALMEIDA, MARIANO, & REBELATTO, 2007).

Outro modelo clássico da literatura foi desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper em 1984, eliminando a necessidade de rendimentos constantes de escala, sendo denominado modelo BCC (em homenagem aos autores) ou VRS (*Variable Returns to Scale*). Tal modelo desconsidera o axioma da proporcionalidade admitido no CRS, permitindo a variabilidade dos fatores de escala a depender dos valores de *input* (DIAS, 2010), permitindo a identificação de ganhos de escala constantes, crescentes ou decrescentes.

3.3 Conceitos básicos

A eficiência produtiva pode ser analisada a partir de dois tipos de técnicas distintas: as paramétricas, que relacionam os insumos às quantidades médias de produtos gerados a partir de uma função produção, e as não-paramétricas, que se baseiam no conceito da fronteira de eficiência, sem a necessidade da determinação de uma função produção (MARIANO, 2010). O DEA, sendo uma técnica não-paramétrica, permite otimizar individualmente cada observação (DMU) em relação às demais, sendo os pontos de otimização (par ótimo *input/output*) definidos sobre a fronteira de eficiência. Tal fronteira baseia-se no conceito de Pareto-Koopmans, definindo o nível máximo de produção possível para cada quantidade de insumo. O conceito descreve que, para o caso do DEA, uma DMU será considerada eficiente se, e somente se, dois critérios forem satisfeitos simultaneamente: (a) nenhum *output* pode ser aumentado sem o aumento de um *input* ou a diminuição de outro *output*; (b) nenhum *input* pode ser reduzido sem que ocorra a redução de algum *output* ou que outro *input* precise ser aumentado.

A FIGURA 1 representa uma fronteira de eficiência de duas dimensões (um insumo e um produto) com a representação da eficiência produtiva de 4 DMUs. Conforme o conceito de Pareto, as DMUs 1 e 2 são eficientes. A DMU 3 produz a mesma quantidade de produtos que a DMU 2, porém gastando mais insumos, logo não é eficiente. A DMU 4 produz a mesma quantidade de produtos que a DMU 1, mas gasta uma maior quantidade de insumos. Ela também consome a mesma quantidade de insumos que a DMU 2, mas produz menos. É, portanto, menos eficiente que a DMU 1 e que a DMU 2. Pode-se entender, assim, que a

fronteira de eficiência é o nível máximo de produção possível para uma determinada quantidade de insumo, não significando, no entanto, que uma DMU que opere na fronteira seja a DMU mais eficiente (vide DMU 3 na FIGURA 1).

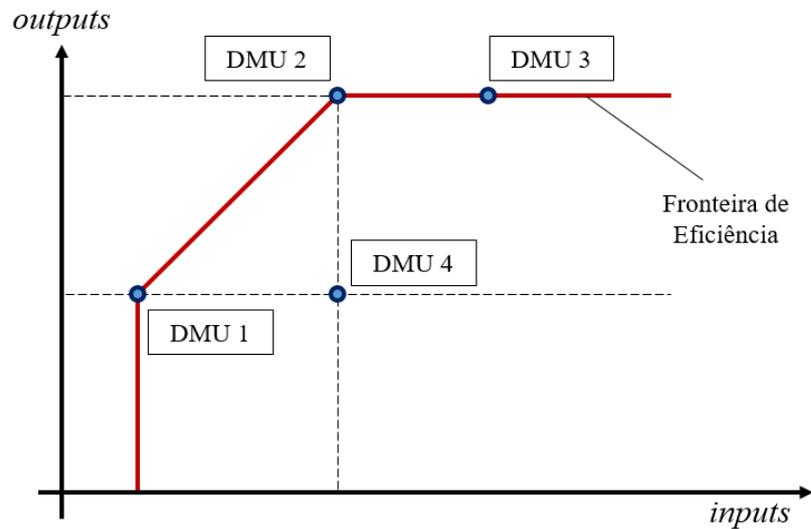


FIGURA 1. Fronteira de Eficiência

Vale ressaltar que a eficiência de uma DMU é uma medida de eficiência relativa a todas as outras DMUs analisadas no problema, de tal maneira que a inserção ou a retirada de alguma DMU da análise com o DEA pode ocasionar inclusive mudanças na fronteira de eficiência.

Convém observar, aqui, a diferença gráfica entre a fronteira de eficiência definida por um modelo CCR e um modelo BCC. Tal diferenciação está explicitada na FIGURA 2.

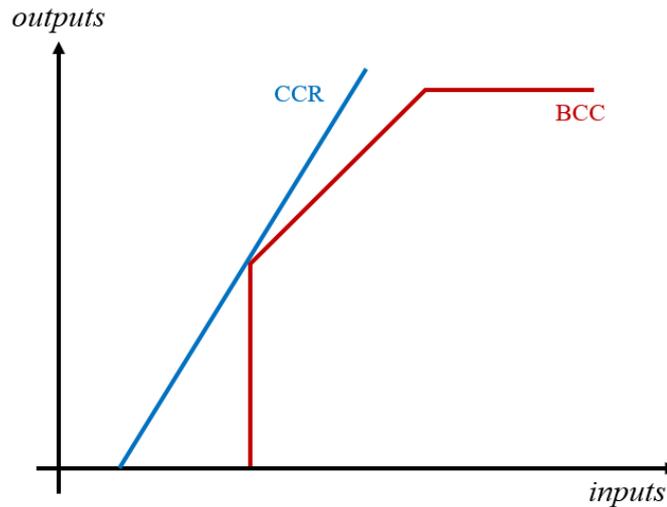


FIGURA 2. Fronteiras de Eficiência bidimensionais nos modelos CCR e BCC

Como o modelo BCC considera um comportamento variável da relação entre os insumos e produtos a depender da escala de produção, tem-se uma fronteira com a possibilidade de picos, enquanto o modelo CCR, por considerar uma relação linear entre os insumos e produtos, é representado por uma reta.

3.4 Modelos matemáticos

Cada DMU pode ter sua eficiência relativa definida pela razão da soma ponderada dos produtos pela soma ponderada dos insumos necessários para atingi-la, representada pela equação 1, em que Eff_0 é a eficiência da DMU_0 , r e s são os números de *inputs* e *outputs*, respectivamente, u_j , v_i são os pesos dos *outputs* e dos *inputs* e x_{ik} , y_{jk} são os *inputs* e os *outputs* da DMU_k .

$$Eff_0 = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}} = \frac{u_1 y_{10} + u_2 y_{20} + \dots + u_s y_{s0}}{v_1 x_{10} + v_2 x_{20} + \dots + v_s x_{s0}} \quad (1)$$

Esta medida de eficiência pressupõe a adoção de um conjunto comum de fatores de ponderação para os insumos e produtos para cada uma das DMUs analisadas, o que mostra-se uma tarefa difícil, já que cada DMU pode estabelecer valores para os *inputs* e *outputs* de forma diferente e, por conseguinte, assumirem pesos diferentes (DIAS, 2010).

3.4.1 Modelo CCR

Ao invés de um conjunto de multiplicadores (pesos) iguais para cada DMU, já na metodologia CCR, foi elaborado um sistema de tal maneira que a cada DMU fosse atribuído um conjunto de pesos de modo a maximizar a eficiência. Para tanto, admite-se que a eficiência de cada DMU não pode ser superior a 1. A formulação matemática desse modelo é apresentada na equação 2 e na restrição da equação 3, num formato que visa minimizar os *inputs* (um modelo equivalente poderia ser formulado de modo a maximizar os *outputs* necessitando de apenas algumas alterações equivalente, por exemplo, minimizando $1/Eff_0$), sendo n o número de DMUs analisadas.

$$Max\ Eff_0 = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}} \quad (\text{função objetivo}) \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall j, i$$

Este modelo assim descrito é um problema de programação fracionária que pode ser modificado para um problema de programação linear tomando-se o denominador da função objetivo igual a um escalar (sendo 1 o valor comumente adotado) tal como indicado nas equações 4 e 5 e na restrição em 6.

$$Max\ Eff_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \quad (\text{função objetivo}) \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$u_j, v_i \geq 0 \forall j, i$$

3.4.2 Modelo BCC

O modelo BCC (ou VRS), por pressupor que as DMUs apresentem retornos variáveis com a escala, isto é, que a relação entre as quantidades de insumos utilizados e produtos produzidos não se mantem constante ao longo de todas as escalas de produção, considera que um acréscimo no *input* pode provocar um acréscimo no *output* de forma não proporcional, podendo inclusive representar um decréscimo. Assim, em termos de formulação matemática, o fator de escala é considerado por meio da variável u_* a ser admitida como descrito a seguir (novamente num modelo orientado à minimização dos *inputs*). Essa formulação é apresentada nas equações 7 e 8 e nas restrições 9 e 10.

$$\text{Max } Eff_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} - u_* \quad (\text{função objetivo}) \quad (7)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{jk} = 1 \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{jk} - u_* \leq 0, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$u_j, v_i \geq 0 \forall j, i \quad (10)$$

$$u_* \in \Re$$

A variável u_* (fator de escala), será positiva quando representar um fator decrescente de escala (quanto mais se produz, mais custosa se torna a produção), será negativa quando significar um fator crescente de escala (quanto mais se produz, menos insumos precisa-se para produzir; produção mais barata) e será nula quando representar fatores constantes de escala, assim como no modelo CCR.

3.5 Método I-O Stepwise Exaustivo Completo de seleção de variáveis

A seleção de variáveis de entrada e saída é uma importante etapa da modelagem DEA, porque serão justamente os *inputs* e *outputs* selecionados os determinadores da eficiência de cada DMU, bem como do benchmarking a ser realizado entre elas. O método I-O Stepwise parte da premissa de que os insumos devem ter a maior relação causal com os produtos. É um método que se preocupa em aumentar a eficiência média das DMUs mantendo um número de variáveis limitado (SENRA, NANCI, & MELLO, 2007).

Este processo de seleção de variáveis segue o algoritmo da FIGURA 3.

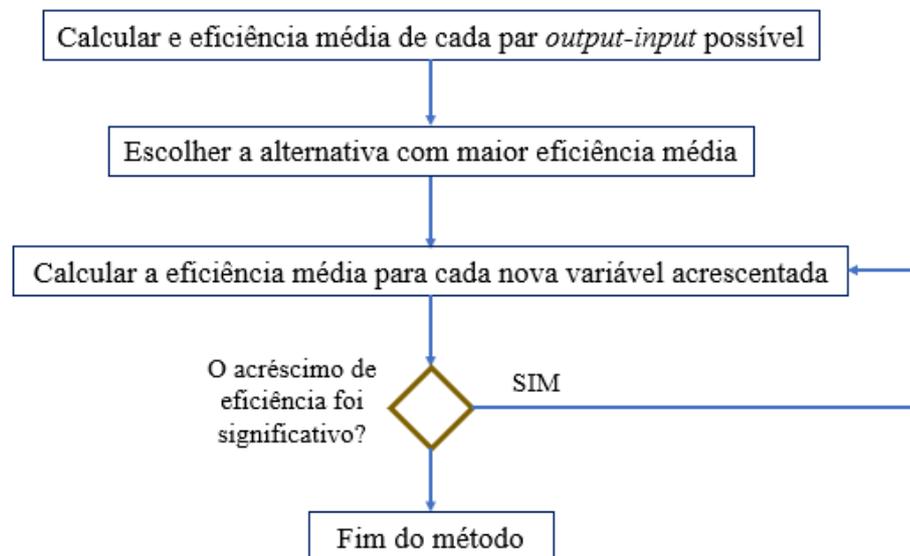


FIGURA 3. Método I-O Stepwise Exaustivo Completo

O algoritmo pode ser resumido pelos passos a seguir.

1. Cálculo da eficiência média de cada par input-output. Roda-se $r \cdot s$ modelos DEA, um para cada par insumo-produto;
2. Escolher o par insumo-produto que gerou a maior eficiência média como base;
3. Rodar o modelo com mais uma variável. Rodar uma vez para cada variável que ainda não foi acrescentada;
4. Calcular a eficiência média para cada variável acrescentada e escolher a variável que produziu a maior eficiência média para entrar no modelo;

5. Verificar se o aumento da eficiência foi significativo com o acréscimo dessa nova variável. Se sim, ir para o passo 3. Se não, retirar a última variável acrescentada e finalizar o processo.

Este método de seleção de variáveis possui como principal vantagem manter relações causais entre as variáveis selecionadas, mas traz como desvantagem não garantir que poucas DMUs fiquem na fronteira de eficiência fornecendo, assim, uma baixa discriminação.

4 Metodologia

Os insumos da modelagem em DEA foram obtidos de dados presentes no trabalho de Coelho (2012), sendo necessário um tratamento de alguns dados para que os mesmos se adequassem matematicamente ao modelo DEA. Os produtos foram os resultados das pesquisas de opinião realizadas pela ANAC e pela SAC.

Adotou-se um modelo BCC de análise DEA a fim de se considerar eventuais distinções de escala que poderiam surgir entre os aeroportos devido a suas diferentes dimensões. A saber, a diferença entre passageiros movimentados entre os aeroportos analisados chegava a quase 400% (sendo o aeroporto de Guarulhos, o mais movimentado, e o aeroporto de Viracopos, o menos movimentado) e a renda média dos passageiros poderia destoar de pouco mais de 30% (os passageiros com maior renda são os do aeroporto Santos Dumont e os de menor renda os de Viracopos) (FIPE, 2009).

Os modelos DEA foram rodados em Microsoft Excel® utilizando o suplemento *Solver* e as etapas realizadas são indicadas no fluxograma da FIGURA 4.

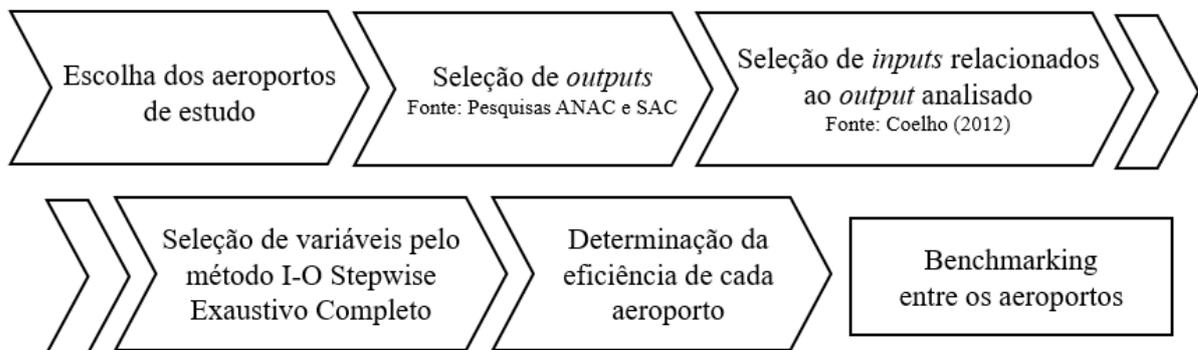


FIGURA 4. Fluxograma da metodologia empregada

Um melhor detalhamento sobre cada uma das etapas é apresentado a seguir.

4.1 Outputs

A pesquisa realizada pela equipe técnica da SAC em 2013 ocorreu em virtude da necessidade de se obter indicadores aeroportuários que indicassem a opinião dos passageiros em virtude da realização de eventos de grande porte no Brasil, tal como a Copa das Confederações e a Copa do Mundo FIFA 2014. Foram realizadas 21.216 entrevistas em 15 aeroportos brasileiros, sendo analisados diversos quesitos dos serviços aeroportuários brasileiros como o acesso, o check-in e a inspeção de segurança. Para cada um dos indicadores que compuseram cada quesito, os entrevistados deveriam avaliar o aeroporto com uma nota que ia de 1 a 5, sendo 1 a pior avaliação possível e 5 a melhor.

No quesito acesso, foram retirados da pesquisa dois indicadores avaliados relevantes para a confecção do modelo DEA: “Transporte público” e “Instalações do estacionamento”, sendo as notas obtidas por cada aeroporto indicadas nas FIGURA 5 e FIGURA 6.

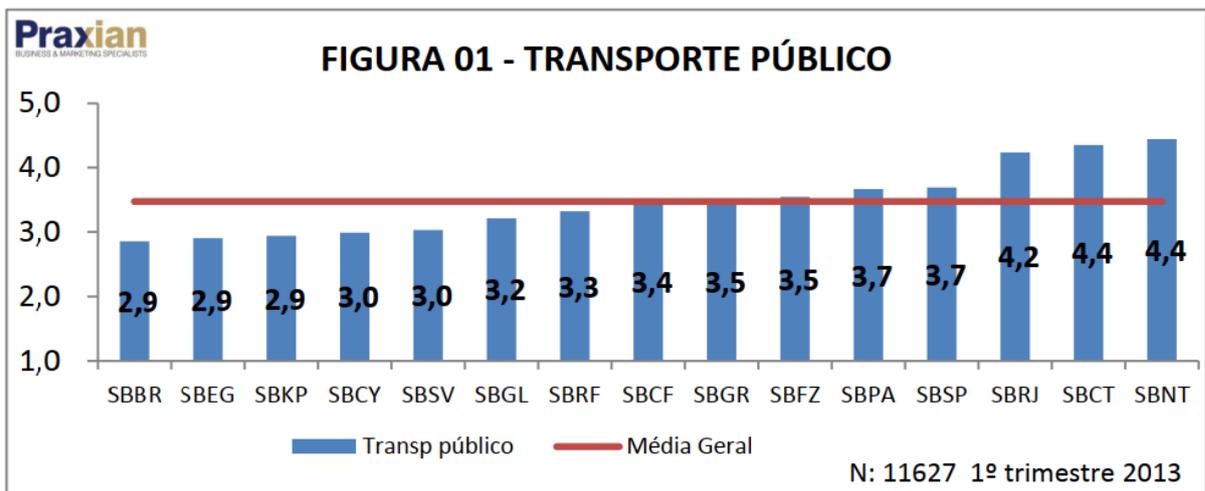


FIGURA 5. Avaliação do indicador “Transporte público” (SAC, 2013)

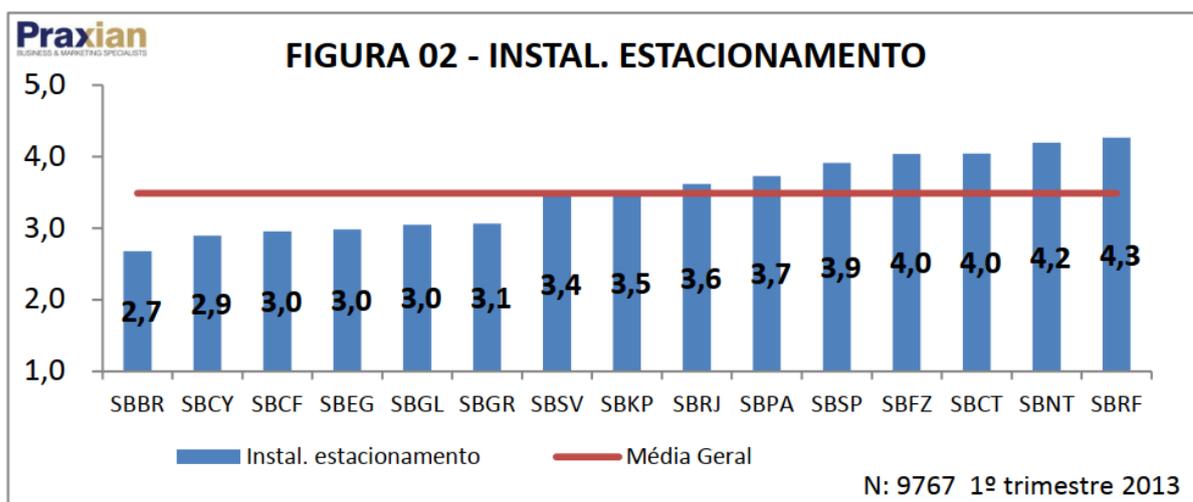


FIGURA 6. Avaliação do indicador “Instalações do estacionamento” (SAC, 2013)

As avaliações dos aeroportos selecionados em cada um desses quesitos são resumidas na TABELA 1.

TABELA 1. Notas obtidas pelos aeroportos selecionados na pesquisa SAC (2013)

Aeroporto	Indicador	
	Transporte público	Instalações de estacionamento
Brasília	2.9	2.7
Viracopos	2.9	3.5
Guarulhos	3.5	3.1
Congonhas	3.7	3.9
Santos Dumont	4.2	3.6
Galeão	3.2	3.0

A pesquisa SAC (2013) não realizou nenhuma distinção da avaliação dos usuários para cada tipo de modal em termos de acesso. Segundo a pesquisa da FIPE de 2009, apenas aproximadamente 7% dos usuários desses seis aeroportos analisados faziam uso de transporte público (ônibus) para chegar até o aeroporto. Como indicado na pesquisa, outros modais de transporte público, como trens e metrô, mostravam-se sem representatividade frente ao uso de ônibus (FIPE, 2009). Assim, a pesquisa SAC, embora possa avaliar especificamente o acesso via transporte público ao aeroporto, não avaliou o acesso via outros modais.

A pesquisa realizada pela ANAC no ano de 2009 avaliou 130 aeroportos em 16 quesitos. Os usuários poderiam avaliar pela internet os serviços prestados nos aeroportos

numa escala de 1 a 10 em cada quesito. Em termos de acessibilidade terrestre, os quesitos avaliados foram disponibilidade, facilidade, sinalização, estado do asfalto e segurança das ruas ou estradas de acesso ao aeroporto. A pesquisa não se encontra mais disponível no site da ANAC, mas as notas obtidas pelos aeroportos utilizadas neste trabalho foram retiradas do trabalho de Coelho (2012) e são indicadas na TABELA 2.

TABELA 2. Notas obtidas pelos aeroportos selecionados na pesquisa ANAC (2009)

Aeroporto	Nota de acessibilidade terrestre
Brasília	7.90
Viracopos	6.32
Guarulhos	4.30
Congonhas	5.74
Santos Dumont	7.15
Galeão	5.42

As notas obtidas na pesquisa da ANAC (2009) serão utilizadas como *outputs* das modelagens DEA que avaliam a eficiência dos seguintes modais de acesso ao aeroporto: táxi, carro próprio e carona. Embora as notas da pesquisa sejam gerais em termos de acessibilidade terrestre, incluindo também passageiros que utilizam o transporte público, devido à elevada representatividade desses modais em números de passageiros (aproximadamente 87% dos passageiros utilizam um desses modais (FIPE, 2009, citado por COELHO, 2012)), utilizou-os como um representativo da percepção de acessibilidade terrestre média dos usuários. Entende-se que, na elaboração de uma pesquisa ou estudo que vise correlacionar a acessibilidade terrestre dos aeroportos com a percepção dos usuários de forma mais precisa, faz necessário uma separação da avaliação dos entrevistados por modal utilizado.

4.2 Inputs

Os *inputs* selecionados para a modelagem DEA foram retirados do trabalho de Coelho (2012) referente a acessibilidade terrestre de usuários com diferentes restrições de mobilidade. Para este Trabalho de Graduação, foram selecionados apenas os dados referentes a “passageiros com bagagem” do trabalho de Coelho (2012). O resumo dos *inputs* selecionados para cada output está indicado na TABELA 3.

TABELA 3. Inputs e outputs utilizados em cada modelagem DEA

Aspecto analisado	Output	Inputs
Acessibilidade terrestre via ônibus	Pesquisa SAC	Tempo e custo do ônibus regular, número de linhas
Instalações do estacionamento	Pesquisa SAC	Qualidade da calçada, número de vagas, distância até o terminal, preço do estacionamento
Acessibilidade terrestre por carona	Pesquisa ANAC	Tempo e custo da carona no traslado, comprimento do meio-fio
Acessibilidade terrestre por carro próprio	Pesquisa ANAC	Tempo e custo do carro próprio no traslado, preço do estacionamento
Acessibilidade terrestre por táxi	Pesquisa ANAC	Tempo e custo do táxi, comprimento do meio-fio

Em seu estudo, Coelho (2012) avaliou o custo e o tempo de acesso aos aeroportos, dentre outros parâmetros relevantes à acessibilidade, em diferentes modais de transporte e utilizou a método AHP (*Analytical Hierarchy Process*) para avaliar a eficiência de cada aeroporto. Os parâmetros de tempo e custo avaliados sofreram uma adequação. Eles estavam disponíveis já normalizados e numa escala de 0 a 1, sendo a nota 1 atribuída ao melhor aeroporto em termos de tempo ou custo de acesso. Assim, o aeroporto que fosse mais acessível (menor tempo e menos dinheiro necessário) teria a maior avaliação nos quesitos “tempo” e “custo”. Optou-se por inverter esses valores que ia de 0 a 1 na modelagem DEA, de modo que a proporção entre os aeroportos fosse mantida e que as variáveis “tempo” e “custo” representassem de fato uma relação entre o tempo e o dinheiro gastos. Essa mudança foi com a intenção de adaptar a variável ao que ela representa no modelo DEA. Se no método AHP um maior valor do índice custo representa que, neste quesito, aquele aeroporto é mais eficiente que outro, na metodologia DEA, um maior custo representa um maior gasto pelo usuário, uma maior utilização de um insumo.

Convém mencionar a avaliação realizada por Coelho (2012) em alguns dos quesitos acima relacionados. A distância percorrida pelo passageiro desde seu local de desembarque no aeroporto até o terminal de passageiros é um importante fator a ser considerado em termos de percepção do usuário, uma vez que o incômodo do passageiro aumenta à medida que aumenta a distância que ele teve caminhar. No caso de haver mais de um ponto de ônibus num aeroporto, foi tomada a média dessas distâncias para compor o índice (COELHO, 2012).

O índice referente ao número de linhas que atendem o aeroporto considerou que quanto maior este número, mais acessível o aeroporto estaria, pois mais facilmente seria realizados deslocamentos de diferentes pontos da cidade para o aeroporto. De outra forma,

este indicador avalia se o aeroporto é bem atendido pelo transporte público urbano (COELHO, 2012).

O indicador “Qualidade da calçada” avalia a qualidade da calçada entre o estacionamento de veículos e o terminal de passageiros e foi produzido mediante observação *in locu* do estado de conservação da calçada (existência de buracos, barreiras, desníveis, pavimentação conservada, etc.) (COELHO, 2012).

Todos indicadores retirados do trabalho de Coelho (2012) utilizados neste trabalho estão indicados no Anexo A.

4.3 Seleção de variáveis

A seleção de variáveis foi realizada a partir do método I-O Stepwise Exaustivo Completo. No passo de verificação do aumento significativo da eficiência com o acréscimo de uma variável, determinou-se que aumentos inferiores a 5% não seriam considerados significativos e a variável acrescentada por último seria, assim, desconsiderada. Também se optou por não mais acrescentar variáveis no momento em que mais da metade dos aeroportos (4 ou 5 aeroportos) atingissem os limites de eficiência de modo a manter a capacidade discriminatória do modelo.

A título de exemplo, seja a avaliação da acessibilidade terrestre aos aeroportos por meio de caronas. Nessa avaliação, o *output* é a avaliação da pesquisa da ANAC e os *inputs* são o tempo e o custo do modal e o comprimento do meio-fio. A TABELA 4 traz as eficiências obtidas para cada aeroporto ao se associar o *output* a cada um dos *inputs* individualmente.

TABELA 4. Eficiência média para cada *input* em acessibilidade terrestre por carona

Aeroporto	Eficiência DEA (%)		
	Tempo	Custo	Meio-fio
Brasília	100	99	27
Viracopos	42	77	100
Guarulhos	27	28	31
Congonhas	70	61	22
Santos Dumont	82	100	48
Galeão	56	43	26
Média	62.8	68.0	42.3

Pelo método I-O Stepwise Exaustivo Completo, selecionou-se o *input* custo por apresentar uma maior média de eficiência em relação aos demais pares *input-output*. Na sequência, rodou-se duas vezes o DEA considerando-se os *inputs* custo e tempo e custo e meio-fio, chegando-se aos resultados da TABELA 5.

TABELA 5. Eficiência média para cada *input* adicional em acessibilidade terrestre por carona

Aeroporto	Eficiência DEA (%)	
	Tempo	Meio-fio
Brasília	100	99
Viracopos	77	100
Guarulhos	28	36
Congonhas	70	61
Santos Dumont	100	100
Galeão	56	47
Média	71.8	73.8

Obteve-se um incremento de 8,6% em relação à eficiência média anterior (eficiência subiu de 68,0% para 73,8%). Assim, acrescentou-se o *input* meio-fio no modelo. Rodou-se o DEA mais uma vez, agora com os três *inputs*, custo, meio-fio (já selecionados) e tempo. O resultado das eficiências do modelo é indicado da TABELA 6.

TABELA 6. Eficiência média obtida em acessibilidade terrestre por carona com os 3 *inputs*

Aeroporto	Eficiência DEA (%)
	Tempo
Brasília	100
Viracopos	100
Guarulhos	100
Congonhas	74
Santos Dumont	100
Galeão	65
Média	89.8

Embora o incremento de eficiência média tenha sido de 21,7% em relação ao valor anterior (subiu de 73,8%, quando avaliado apenas custo e meio-fio, para 89,8%, quando avaliado custo, meio-fio e tempo), 4 dos 6 aeroportos analisados atingiram a fronteira de eficiência, i. e., eficiência de 100%. Assim, para manter o poder discriminativo do modelo a

fim de realizar *benchmarking* entre as unidades analisadas, optou-se por não acrescentar o *input* tempo na análise final do DEA.

4.4 Benchmarking entre os aeroportos

Uma vez definidas as variáveis componentes de cada modelo, obteve-se os resultados de eficiência em cada um dos aspectos analisados. A fim de realizar o *benchmarking* entre as unidades, isto é, verificar como cada aeroporto poderia atingir o nível de eficiência dos aeroportos de referência, realizou-se também uma análise de sensibilidade do modelo a partir do Relatório de Sensibilidade disponível no *Solver*. A título de exemplo, nesse mesmo aspecto de análise, acessibilidade terrestre por caronas, é possível observar, na TABELA 5, que o aeroporto de Guarulhos obteve eficiência de apenas 36% (convém lembrar que apenas os *inputs* custo e meio-fio foram considerados neste exemplo, sendo o *input* tempo deixado de fora). A análise de sensibilidade deste aeroporto retornou as informações contidas na FIGURA 7.

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Sensibilidade						
Planilha: [Acessibilidade Carona.xlsx]Acessibilidade Carona						
Relatório Criado: 13/11/2019 06:18:19 AM						
Células Variáveis						
Célula	Nome	Final Valor	Reduzido Custo	Objetivo Coeficiente	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$C\$10	Pesos Avaliação	0.082728853	0	4.3	1E+30	4.3
\$D\$10	Pesos Tempo (min)	0	0	0	0	1E+30
\$E\$10	Pesos Custo (R\$)	0.375544535	0	0	0.773663301	0.125216715
\$F\$10	Pesos Meio-fio	0.416335933	0	0	0.028408317	0.175523468
Restrições						
Célula	Nome	Final Valor	Sombra Preço	Restrição Lateral R.H.	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$I\$4	Brasília Diferença	-0.180049697	0	0	1E+30	0.180049697
\$I\$5	Viracopos Diferença	0	0.585600783	0	0.496148627	0.124789326
\$I\$6	Guarulhos Diferença	-0.644265931	0	0	1E+30	0.644265931
\$I\$7	Congonhas Diferença	-0.392416508	0	0	1E+30	0.392416508
\$I\$8	Santos Dumont Diferença	0	0.083776651	0	0.076307079	0.561307387
\$I\$9	Galeão Diferença	-0.510413519	0	0	1E+30	0.510413519
\$M\$5	Input	1	0.355734069	1	1E+30	1

FIGURA 7. Análise de sensibilidade do aeroporto de Guarulhos em relação a caronas

O quadro destacado, Sombra Preço, indica um coeficiente que, aplicado a cada aeroporto de referência, fornece as metas de melhoria para Guarulhos, ou ainda, as metas que deveriam ser atingidas por Guarulhos para que o mesmo tivesse uma eficiência como as dos aeroportos de referência. No caso em questão, os aeroportos de referência são Viracopos (com Preço Sombra de 0,585600783) e Santos Dumont (com Preço Sombra de 0,083776651). A partir desses coeficientes, é possível realizar o *benchmarking* entre o aeroporto de Guarulhos e seus aeroportos de referência, Viracopos e Santos Dumont. A TABELA 7 indica esse processo.

TABELA 7. Benchmarking do aeroporto de Guarulhos na acessibilidade terrestre por caronas

	Aeroportos de referência		Preço-Sombra		Meta	Guarulhos	Diferença	%
	Santos Dumont	Viracopos	0.08377	0,58560				
Pesquisa ANAC	7.15	6.32	0.59	3.70	4.30	4.30	0	0%
Custo	1.00	1.15	0.08	0.67	0.75	2.13	-1.37	-64%
Meio-fio	0.52	0.22	0.04	0.12	0.17	0.48	-0.31	-64%

Na TABELA 7, as segunda e terceira colunas indicam os *inputs* e *outputs* dos aeroportos Santos Dumont e Viracopos. As colunas do Preço Sombra trazem esses mesmos *inputs* e *outputs* corrigidos pelos coeficientes obtidos no Relatório de Sensibilidade para cada aeroporto referência. A soma desses *inputs* e *outputs* corrigidos são a meta a ser atingida pelo aeroporto de Guarulhos. Nesse processo, entende-se que cada aeroporto ineficiente pode atingir a eficiência e agir conforme aeroportos de referência, sendo seus parâmetros balizados por uma combinação linear dos aeroportos eficientes. A coluna Guarulhos indica os parâmetros atuais do aeroporto e as duas últimas colunas indicam o que precisaria ser realizado nesse aeroporto para que o mesmo atingisse o padrão dos demais. Nesse caso, Guarulhos precisaria ter uma redução de 64% no custo associado ao transporte por carona e uma redução de 64% no comprimento do meio-fio. Este número não significa que caso Guarulhos diminuísse seu comprimento de meio-fio sua acessibilidade terrestre iria aumentar (o que, inclusive, muito provavelmente não ocorreria). Ele indica que a avaliação do usuário em relação a acessibilidade terrestre deste aeroporto (avaliada com uma nota de 5,4) seria eficiente (tal como os aeroportos de referência) apenas em um aeroporto com custo 64% menor e comprimento de meio-fio 64% menor do que de fato Guarulhos apresenta. De outra forma, Guarulhos está “desperdiçando” custo (fazendo os passageiros pagarem mais caro no

translado) e comprimento de meio-fio sem atingir a eficiência que outros aeroportos conseguem.

Os resultados desses benchmarkings estão condensados no Apêndice C e serão melhor analisados na próxima sessão.

5 Resultados e discussão

Uma vez definidos os *inputs* e *outputs* de cada modelagem DEA, a seleção de variáveis pelo método I-O Stepwise Exaustivo Completo foi realizada, sendo os resultados apresentados no Apêndice A. A TABELA 8 resume as variáveis selecionadas para cada quesito analisado bem como a ordem de seleção.

TABELA 8. Variáveis selecionadas por I-O Stepwise Exaustivo Completo

Quesito	1ª variável selecionada	2ª variável selecionada	Variáveis desconsideradas
Acessibilidade terrestre via ônibus	Tempo	Nº de linhas	Custo
Instalações do estacionamento	Qualidade da calçada	-	Preço do estacionamento Distância até o terminal Nº de vagas
Acessibilidade terrestre via carona	Custo	Meio-fio	Tempo
Acessibilidade terrestre via carro próprio	Preço do estacionamento	Custo	Tempo
Acessibilidade terrestre via táxi	Custo	Meio-fio	Tempo

Este método de seleção de variáveis, como mencionado anteriormente, preza pela correlação entre as variáveis analisadas, isto é, pela manutenção da causalidade entre as variáveis analisadas. Sendo os *outputs* de todos os modelos rodados avaliações e pesquisas de opinião com passageiros, é de se esperar que as variáveis mais representativas da percepção do usuário sobre um quesito fossem selecionadas primeiro. Cabe aqui, é claro, a ressalva de que, como pode ser visualizado no Apêndice A, nem todas as variáveis escolhidas possuíam uma eficiência média significativamente maior que as demais (o que poderia indicar que elas estariam muito mais correlacionadas com a percepção do usuário sobre o quesito analisado que as outras). Algumas possuíam média de eficiência muito próximas, não havendo como garantir qual delas estaria mais correlacionada aos *outputs*. Ainda assim, há a tendência de que as variáveis selecionadas primeiro sejam as mais determinantes na percepção subjetiva dos passageiros sobre a qualidade de cada um dos quesitos analisados.

As eficiências obtidas para cada aeroporto nos quesitos analisados são indicadas na TABELA 9. Os dados gerados pela modelagem DEA referentes a avaliação dessas eficiências estão discriminados no Apêndice B.

TABELA 9. Eficiências obtidas para cada aeroporto em modelo DEA

Quesito	Eficiência do aeroporto					
	Brasília	Viracopos	Guarulhos	Congonhas	S. Dumont	Galeão
Acessibilidade terrestre via ônibus	100.0%	95.3%	56.7%	74.0%	100.0%	100.0%
Instalações do estacionamento	56.4%	100.0%	61.1%	85.7%	74.4%	96.6%
Acessibilidade terrestre via carona	99.4%	100.0%	35.6%	61.0%	100.0%	46.8%
Acessibilidade terrestre via carro próprio	100.0%	88.9%	36.3%	63.4%	96.3%	57.2%
Acessibilidade terrestre via táxi	91.7%	100.0%	42.1%	69.0%	100.0%	52.5%

Em termos de acessibilidade terrestre pelo modal ônibus, os aeroportos de Brasília, Santos Dumont e Galeão atingiram a fronteira de eficiência. Durante a seleção de variáveis, ao rodar o modelo DEA com apenas o primeiro *input* selecionado, o tempo, foi indicado que apenas o aeroporto Santos Dumont havia atingido a fronteira, sendo as eficiências obtida pelos aeroportos do Galeão e de Brasília de 57% e 46% respectivamente, valores entre os três piores obtidas nessa primeira análise. No entanto, ao ser realizada a análise com a inserção do *input* número de linhas que atendem os aeroportos, Brasília e Galeão atingiram a eficiência, enquanto o aeroporto de Congonhas, foi o único que não teve sua eficiência aumentada (manteve-se em 74%), indo da posição de 2º aeroporto mais eficiente (quando analisou-se somente o tempo) para o de 2º aeroporto mais ineficiente. Essas mudanças podem ser melhor entendidas analisando-se os dados de *input* de cada aeroporto nesse quesito, indicado nas TABELA 10.

TABELA 10. Notas utilizadas como *input* em acessibilidade terrestre via ônibus

Aeroporto	Acesso		
	Tempo	Custo	Número de linhas
Brasília	0.66	0.65	0.10
Viracopos	0.90	0.27	0.21
Guarulhos	0.50	0.31	0.55
Congonhas	0.84	0.99	1.00
Santos Dumont	1.00	1.00	0.55
Galeão	0.75	0.72	0.14

Em termos de tempo de traslado, o aeroporto Santos Dumont é o mais bem avaliado, enquanto os aeroportos do Galeão e Brasília estão em 4º e 5º lugares, respectivamente, resultado equivalente ao obtido por esses aeroportos quando da análise de eficiência DEA apenas com o *input* tempo. E, embora haja diferença entre os aeroportos no indicador tempo, proporcionalmente não há uma enorme discrepância: o aeroporto mais bem avaliado (Santos Dumont, nota 1,00) possui índice duas vezes maior que o pior avaliado (Guarulhos, nota 0,50). O mesmo não ocorre quando o *input* número de linhas de ônibus é incluído na modelagem. Brasília, o aeroporto atendido pela menor quantidade de linhas de ônibus (nota 0,10) possui dez vezes menos linhas que Congonhas (nota 1,00), o aeroporto mais bem atendido. Esses valores são esperados dado o próprio tamanho das cidades em que esses aeroportos se localizam (é de se esperar que aeroportos em São Paulo sejam mais atendidos por linhas de ônibus que o aeroporto de Brasília). Um maior número de linhas não equivale, assim, a um melhor serviço prestado ao usuário, podendo ser uma necessidade urbanística, adequada a extensão da cidade ligada ao aeroporto.

Isso faz com que Brasília, assim como o Galeão, também atendido por relativamente poucas linhas (nota 0,14), pareçam muito mais eficientes neste critério. É o equivalente a se dizer que possuem muito menos insumo disponível para ser convertido em produto, que, nesse caso, é a qualidade do serviço refletida na opinião dos usuários nas pesquisas. Da mesma forma, pode-se entender como a eficiência de Congonhas se tornou a 2ª menor, pois possui muitas linhas que não são tão significativamente convertidas em uma melhor percepção dos usuários sobre o serviço de transporte urbano. Tem-se, assim, que a consideração de uma nota para as linhas de ônibus que atendem um aeroporto concebida tal como foi, sem considerar a natureza das cidades nas quais os aeroporto se localizam, considerando apenas o número absoluto de linhas existentes, é um indicador falho para se avaliar a acessibilidade terrestre que produzem. Torna-se, assim, mais seguro em termos de

análise de eficiência DEA, considerar-se a avaliação antes da inserção do *input* número de linhas de ônibus, como indicado na

TABELA 11, tendo sido o aeroporto Santos Dumont o único que atingiria a fronteira de eficiência.

TABELA 11. Eficiência em acessibilidade terrestre via ônibus com o input tempo

	Input Tempo	Eficiência (%)
Aeroporto	Brasília	46
	Viracopos	62
	Guarulhos	42
	Congonhas	74
	Santos Dumont	100
	Galeão	57

Em relação às instalações do estacionamento, convém ressaltar que, embora não sejam um indicativo direto da acessibilidade terrestre de um aeroporto, poderia representar um limitante para a mesma, uma vez que um estacionamento subdimensionado, que não dispusesse do número de vagas requeridas pelos passageiros, ou que ainda não tivesse um nível de qualidade capaz de proporcionar conforto para os usuários, poderia influenciar na escolha dos modais de acesso. Neste quesito, a variável qualidade da calçada foi a primeira selecionada, reforçando a análise realizada por Coelho (2012) *in locu*, compatível com a própria percepção dos usuários sobre a qualidade dos estacionamentos dos aeroportos analisados. A próxima variável que, em conjunto com a qualidade da calçada, produziu a maior média de eficiência foi o número de vagas, um resultado também esperado: é de se supor que, em termos de qualidade das instalações, os usuários sejam mais sensíveis à disponibilidade de vagas do que a distância até o terminal, já que aquela pode requerer que o motorista dependa um tempo maior ou menor para estacionar seu veículo (sem nem mencionar questões como a preferência por vagas cobertas ou na sombra). As distâncias entre os estacionamentos e os terminais de passageiros nos aeroportos analisados é, em média, de 186 metros (COELHO, 2012), uma distância relativamente pequena e, portanto, pouco relevante para a percepção do usuário.

Embora o *input* número de vagas do estacionamento tenha sido selecionado como o que produzia a maior eficiência média em conjunto com o *input* qualidade da calçada, o modelo final DEA não o considerou tendo em vista que quatro aeroportos atingiriam a

fronteira de eficiência diminuindo a capacidade discriminativa do modelo (a saber, os aeroportos de Brasília, Viracopos, Congonhas e Santos Dumont). Assim, apenas o aeroporto de Viracopos foi considerado eficiente e referência para os demais. A FIGURA 8 indica a fronteira de eficiência obtida neste quesito.

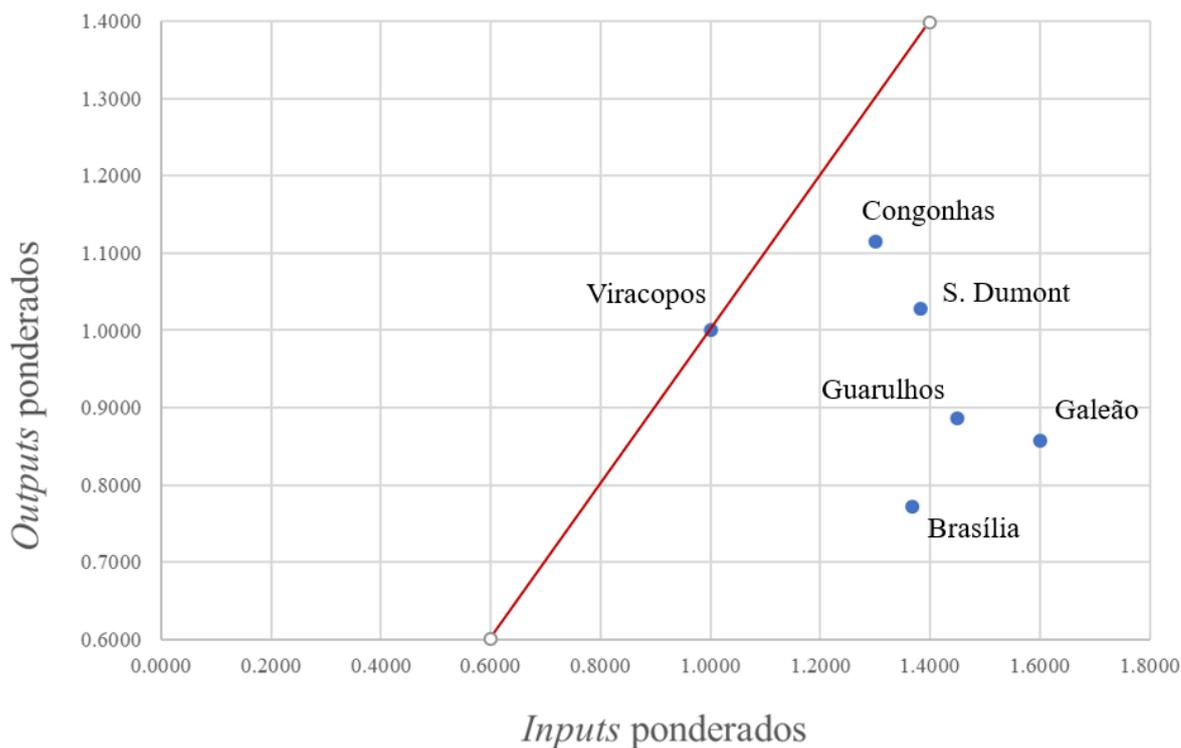


FIGURA 8. Fronteira de eficiência obtida na análise das instalações de estacionamento

Por fim, a própria pesquisa realizada pela SAC fazia distinção entre “Instalações dos estacionamentos” e “Preço dos estacionamentos”. Ainda assim, optou-se por inserir a variável preço do estacionamento nos possíveis *inputs* na análise das instalações por se considerar que o preço pago pudesse influenciar na exigência que o usuário faria das instalações, fato não observado na seleção de variáveis.

Ao se pensar na acessibilidade terrestre por modais que utilizam carros em geral (carona, carro próprio, táxi ou aluguel de automóvel), opções de acesso aos aeroportos de quase 90% dos passageiros (COELHO, 2012), três aeroportos se destacaram dos demais. Os aeroportos de Brasília, Viracopos e Santos Dumont, sejam na análise da acessibilidade terrestre por carona, carro próprio ou táxi, sempre obtiveram os melhores índices de eficiência, enquanto o aeroporto de Guarulhos foi o mais ineficiente nos três quesitos. Este

resultado é um reflexo direto da própria avaliação de cada um dos aeroportos na pesquisa de opinião realizada pela ANAC indicada na TABELA 2.

Embora o aeroporto de Brasília possua uma nota de avaliação 25% maior que o aeroporto de Viracopos na pesquisa ANAC (Brasília tem nota 7,90 e Viracopos nota 6,32), Viracopos foi mais eficiente que Brasília tanto no quesito acessibilidade terrestre via carona, quanto via táxi. Isso se deve ao fato de Brasília possuir o maior comprimento de meio-fio dentre todos os aeroportos, enquanto Viracopos possui o menor. Aqui vale a observar que o comprimento do meio-fio, muito mais do que influenciar em quantos carros por vez podem parar nos meios-fios de acesso de um aeroporto para embarque e desembarque de passageiros, influenciam diretamente em todo o fluxo de veículos nas proximidades dos aeroportos, podendo ser fatores decisivos na formação de congestionamentos.

Em termos de seleção de variáveis, todos os modelos nos três quesitos selecionaram prioritariamente variáveis atreladas ao custo em detrimento do tempo de locomoção até os aeroportos. Embora a diferença nas médias de acessibilidade terrestre entre esses *inputs*, tempo e custo, quando analisados individualmente não seja significativa nos quesitos acessibilidade terrestre via carona e via carro próprio, torna-se bem maior quando analisada a acessibilidade terrestre via táxi. Neste quesito, a eficiência média apenas com o *input* custo chega a ser quase 20% maior do que apenas com o *input* tempo. Essa particularidade observada na modalidade táxi é compatível com o que se espera em termos de percepção do usuário, uma vez que o custo atrelado a esta modalidade tende a ser muito mais perceptível que o custo atrelado ao uso de um carro próprio ou carona.

O benchmarking realizado entre os aeroportos está condensado no Apêndice C e um resumo das sugestões de melhorias para cada aeroporto está representado na TABELA 12.

Em termos de acessibilidade terrestre via ônibus, observou-se que a redução do tempo de traslado nos aeroportos de Guarulhos e Congonhas deveria diminuir significativamente para que esses aeroportos atingissem o mesmo nível de eficiência que os aeroportos de referência. Como já mencionado, o meio-fio é um parâmetro importante para evitar congestionamentos nas redondezas dos aeroportos. Nos quesitos relacionados ao meio-fio, esses dois aeroportos também são os piores ranqueados no benchmarking (aeroportos que tem desempenho equivalente a maior redução de meio-fio entre os não eficientes). Esses dados indicam que melhorias relacionadas à acessibilidade terrestre para carros, como a expansão e/ou criação de novas pistas de acesso, poderiam surtir efeito direto na percepção do usuário em relação à qualidade de acessibilidade terrestre do aeroporto. No caso de ônibus, em

especial, é preciso uma análise mais detalhada do trajeto das linhas ao longo da cidade de São Paulo para verificar a possibilidade de redução do tempo de traslado.

TABELA 12. *Benchmarking* realizado entre os aeroportos

Quesito		Acessibilidade terrestre via ônibus	
		Tempo	Número de linhas
Aeroporto	Viracopos	-4.7%	-4.7%
	Guarulhos	-43.3%	-43.3%
	Congonhas	-26.0%	-51.5%
Quesito		Instalações de estacionamento	
Qualidade da calçada			
Aeroporos	Brasília	-43.6%	
	Guarulhos	-38.9%	
	Congonhas	-14.3%	
	S. Dumont	-25.6%	
	Galeão	-46.4%	
Quesito		Acessibilidade terrestre via caronas	
		Custo	Meio-fio
Aeroporos	Brasília	-0.6%	-42.7%
	Guarulhos	-64.4%	-64.4%
	Congonhas	-39.0%	-53.5%
	Galeão	-93.4%	-38.4%
Quesito		Acessibilidade terrestre via carro próprio	
		Custo	Preço do estacionamento
Aeroporos	Viracopos	-60.9%	-11.1%
	Guarulhos	-73.4%	-63.7%
	Congonhas	-36.6%	-69.3%
	S. Dumont	-3.7%	-35.6%
	Galeão	-48.9%	-42.8%
Quesito		Acessibilidade terrestre via táxi	
		Custo	Meio-fio
Aeroporos	Brasília	-8.3%	-42.7%
	Guarulhos	-57.9%	-57.9%
	Congonhas	-31.0%	-53.5%
	Galeão	-47.5%	-47.5%

Guarulhos e Congonhas não atingiram a eficiência em nenhum dos quesitos de acessibilidade terrestre analisados. Além das questões relacionadas ao próprio fluxo de veículos e o tempo de traslado, reduções nos custos de viagem e estacionamento também poderiam ser aplicados a fim de melhorar a percepção dos usuários.

Para atingir os padrões de eficiência dos demais aeroportos nos quesitos acessibilidade terrestre via carona e táxi, o custo associado ao traslado no aeroporto de Brasília precisaria ser levemente diminuído. Em relação ao meio-fio, no entanto, este aeroporto deveria fazer um uso muito mais eficiente. Cabe uma melhor análise das vias de acesso ao aeroporto para verificação da possibilidade e efetividade de uma expansão de pistas ou ainda do prolongamento do meio-fio. Convém destacar, novamente, que a redução do meio-fio sugerida no benchmarking define o tamanho de meio-fio que o aeroporto deveria ter para, com sua mesma avaliação feita pelos usuários, ser considerado eficiente.

A fim de comparação entre os métodos AHP, utilizado por Coelho (2012), e a metodologia DEA empregada neste trabalho, foi confeccionada a TABELA 13 comparativa entre os índices de acessibilidades obtidos em cada método. Convém mencionar que a metodologia AHP não se utilizou das pesquisas de opinião do usuário na elaboração de seus índices. As quarta e quinta colunas da tabela indicam uma nota em escala de zero a dez da acessibilidade terrestre obtida em cada método, sendo a nota 10 atribuída ao aeroporto considerado mais acessível. Para a obtenção dessa nota na metodologia DEA, partiu-se da média obtida por cada aeroporto considerando os 5 quesitos de acessibilidade terrestre.

TABELA 13. Comparação entre os resultados obtidos pela metodologias AHP e DEA

Aeroporto	Índice de acessibilidade terrestre AHP	Média entre os quesitos DEA	Nota		Classificação	
			AHP	DEA	AHP	DEA
Brasília	0.52	89.50	7.4	9.2	5°	3°
Viracopos	0.70	96.84	10.0	10.0	1°	1°
Guarulhos	0.44	46.36	6.3	4.8	6°	6°
Congonhas	0.58	70.62	8.3	7.3	3°	4°
S. Dumont	0.69	94.14	9.9	9.7	2°	2°
Galeão	0.56	70.62	8.0	7.3	4°	5°

A metodologia AHP não se utiliza da opinião dos usuários, mas quantifica num índice diversos aspectos relevantes na avaliação da acessibilidade terrestre de um aeroporto. Embora os *inputs* utilizados em DEA sejam os indicadores analisados com a metodologia AHP por Coelho (2012), as análises de cada método são muito distintas entre si e um resultado semelhante não poderia ser previsto com antecedência. Apesar disso, é notável a semelhança dos resultados. Observa-se que, pelo DEA, obteve-se uma classificação dos aeroportos praticamente idêntica: os aeroportos de Viracopos e Santos Dumont são o 1° e 2° mais

acessíveis, respectivamente, bem como o aeroporto de Guarulhos mostrou-se o menos acessível. A comparação das metodologias só aponta um resultado mais discrepante na avaliação do aeroporto de Brasília, ranqueado em 3º lugar pelo DEA e em 5º lugar pelo AHP.

6 Conclusões

A metodologia DEA é uma poderosa ferramenta de análise de eficiência de uma unidade, especialmente quando não são claras a correlação que existe entre os insumos e os produtos. Produz-se uma eficiência relativa entre os agentes e, a partir dos dados gerados, pode-se estabelecer parâmetros de melhoria de cada unidade de modo que, espelhadas nas unidades eficientes, seja possível estabelecer metas e parâmetros de qualidade.

O presente trabalho construiu uma aplicação da metodologia DEA com base na percepção de usuários para mensurar o nível de acessibilidade terrestre de seis dos maiores aeroportos brasileiros, entendendo melhor os fatores que influenciam esse importante aspecto da complexa estrutura aeroportuária. Embora muito utilizado na literatura para análise de outros aspectos operacionais dos aeroportos, não foi encontrado nenhuma referência com expressividade acadêmica que utilizasse a metodologia em análise de acessibilidade terrestre em aeroportos.

Dentre outros resultados, observou-se que os grandes aeroportos da cidade de São Paulo, Guarulhos e Congonhas, tende a ser mais ineficientes em termos de acessibilidade terrestre, enquanto os aeroportos de Viracopos e Santos Dumont destacam-se positivamente dos demais. Também se vislumbrou em quais aspectos cada um dos aeroportos poderiam se aperfeiçoar e quais aeroportos serviriam de referência para os demais neste processo.

Um estudo realizado com DEA, apesar de seu imenso potencial, requer a coleta de dados em maior quantidade e melhor discriminados para que se tenha uma visão quantitativamente mais representativa da realidade. Em pesquisas futuras, a coleta de dados de opinião de usuários segregados por modal e a modelagem com um número mais expressivo de aeroportos mostra-se como um importante passo no aperfeiçoamento do modelo.

7 Bibliografia

- ADLER, N., & GOLANY, B. (2001). Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe. *Elsevier*, 260 - 273.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. (17 de setembro de 2018). Fonte: ANAC: <http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/dados-estatisticos/dados-estatisticos>
- ALMEIDA, M. R., MARIANO, E. B., & REBELATTO, D. A. (dezembro de 2007). Análise de eficiência dos aeroportos internacionais brasileiros. *Revista Produção*.
- ALVES, B. B. (2005). A importância da variabilidade do tempo de viagem no acesso terrestre a aeroportos: estudo de caso do aeroporto Internacional André Franco Muro. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005
- ALVES, C. J. (21 de junho de 2018). MÓDULO 6 - CAPACIDADE DO LADO AÉREO. São José dos Campos, São Paulo, Brasil.
- ARAÚJO, L. C. (2004). *Teoria geral da administração: aplicação e resultados nas empresas brasileiras*. São Paulo: Atlas.
- CARDOSO, C. E. (2008). *Análise do transporte coletivo urbano sob a ótica dos riscos e carências sociais*. São Paulo, SP: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
- CARVALHO, A. A. (2002). *Eficiência dos aeroportos brasileiros sob a perspectiva da metodologia DEA (Data envelopment Analysis)*. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
- CHIAVENATO, I. (2007). *Administração - Teoria, Processo e Prática*. Elsevier Editora Ltda.
- COELHO, L. G. (2012). Um índice de acessibilidade de aeroportos que incorpora usuários com diferentes restrições de mobilidade. São Carlos, São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo.
- CONFORTO, D. (novembro de 2002). Acessibilidade à Web: Internet Para Todos. *Informática na Educação: Teoria & Prática*, p. 87.
- Decreto Nº 5.296 (Art 8º, inciso I 2 de dezembro de 2004).

- DIAS, C. G. (2010). Análise da eficiência da logística aeroportuária no Brasil. *Revista de Economia e Administração*, v.9, n.3, 271-293.
- ESCORSIM, S. (2005). Evolução Conceitual da Administração da Produção. *Capital Científico*.
- ESPÍRITO SANTO Jr., R. A. (2000). Concentração no transporte aéreo e os possíveis impactos sobre os consumidores, a sociedade e a economia. 155 - 170. Congresso da Associação Brasileira de Pesquisa e Ensino em Transportes: Anpet.
- FARIAS, V. (22 de março de 2019). Fonte: Build In: <https://www.buildin.com.br/plataforma-bim/>
- FERNANDES, E., & PACHECO, R. R. (2002). Efficient use of airport capacity. *Elsevier*, 225 - 238.
- FIPE, F. I. (2009). *Caracterização e dimensionamento da matriz origem-destino do transporte aéreo no Brasil*. São Paulo.
- GILLEN, D., & LALL, A. (1997). Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis. *Elsevier*, 261 - 273.
- GRINOVER, L. (2006). A hospitalidade urbana: acessibilidade, legibilidade e indentidade. *Revista Hospitalidade*, 37.
- GUARULHOS WEB. (23 de novembro de 2018). *Governo revê cronograma e metrô até Guarulhos fica para 2020*. Fonte: Guarulhos Web: <http://www.guarulhosweb.com.br/noticia.php?nr=308799&t=Novo+cronograma+de+obras+do+Metro+para+Guarulhos+deve+ser+definido+em+marco>
- GUEDES, E. C. (2006). Airport Efficiency: a Comparative Approach with Data Envelopment Analysis and Inverted Frontier. *10th Annual World Conference - Air Transport Research Society (ATRS)*.
- HARVEY, G. (1986). Study of airport access mode choice. *Journal of Transportation Engineering*. V. 112, p. 525-545
- JONES, G. R. (2008). *Administração Contemporânea*. AMGH Editora Ltda.
- KOUWENHOVEN, M. (2008) The role of accessibility in passengers' choice of airports, OECD Discussion Paper, Paris, n. 14
- LESSA, M. (2017). Anuário Estatístico de Transportes 2010 - 2016. Brasília, DF, Brasil.
- MARIANO, E. B. (12 a 15 de maio de 2010). *Sistematização do processo de escolha dos modelos e perspectivas da Análise Envoltória de Dados por meio de um sistema especialista*. São Carlos, São Paulo, Brasil: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção.

- MARINHO, R., & JÚNIOR, J. M. (2012). Fonte: AECweb: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/rio-grande-do-norte-deve-construir-91-parques-eolicos-ate-2016_6744_15_0
- MARTÍN, J., & ROMÁN, C. (2001). An application of DEA to measure the efficiency of Spanish airports prior to privatization. *Elsevier*, 149 - 157.
- MELLO, J. C., & GOMES, E. G. (2004). Eficiência aeroportuárias: uma abordagem comparativa com Análise de Envoltória de Dados. *Revista de Economia e Administração*, v. 3, n.1, p. 15-23.
- Ministério dos Transportes, P. e. (2018). *Relatório de Desempenho Operacional dos Aeroportos*. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil.
- MONTEIRO, A. B.; HANSEN, M. (1996). Improvements to airport ground access and behavior of multiple airport system: BART extension to San Francisco International Airport. *Transportation Research Record*, Washington, n. 1562, p. 38-47
- OLIVEIRA, G. L., & ALVES, C. J. (2008). *ESTUDO DA CAPACIDADE AEROPORTUÁRIA DA GRANDE SÃO PAULO*. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
- PAIVA, I. (2012). Competição intermodal com trem de alta velocidade. *Journal of Transport Literature*, 218-233.
- PELS, E.; NIJKAMP, P.; RIETVELD, P. (2003). Access to and competition between airports: a case study for the San Francisco Bay aerea. *Transportation Research Part*, Amsterdã, n. 37, p. 71-83
- POMPERMAYER, F. M., & Paula, J. M. (2014). *CONSIDERAÇÕES SOBRE A ALOCAÇÃO DE RISCOS NA CONCESSÃO DO TREM DE ALTA VELOCIDADE ENTRE RIO DE JANEIRO, SÃO PAULO E CAMPINAS*. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).
- RAMANAUSKAS, L. F., & Silveira, E. J. (2018). ESTUDO PRELIMINAR DE UM PROJETO DE PARQUE EÓLICO NA REGIÃO DA FRONTEIRA OESTE DO RIO GRANDE DO SUL. *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*. Gramado - RS.
- SAMPAIO, B., & MELO, A. d. (2008). Análise da eficiência de Companhias Aéreas Brasileiras. *Revista Análise Econômica*, 223 - 244.
- SARKIS, J. (2000). An analysis of the operational efficiency of major airports in the United States. *Elsevier*, 335 - 351.
- SAYÃO, A. D. (2019). ALTERNATIVAS PARA APERFEIÇOAMENTO DE PROJETOS DE PISTAS DE TÁXI DE SAÍDA RÁPIDA VISANDO REDUÇÕES NOS TEMPOS

- DE OCUPAÇÃO DE PISTA. São José dos Campos, São Paulo, Brasil: Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
- SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL. (1º trimestre de 2013). *Relatório Geral - Indicadores de desempenho operacional em aeroportos*.
- SENRA, L. F., NANCI, L. C., & MELLO, J. C. (maio-agosto de 2007). Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. *Pesquisa Operacional vol. 27, nº 2*.
- SERPA, A. (2012). *INFLUÊNCIA DA IMPLANTAÇÃO DE TRENS DE ALTA VELOCIDADE ENTRE CIDADES COM SISTEMA AÉREO EM OPERAÇÃO*.
- SKINNER, R. E. (1976). Airport choice: an empirical study. *Transportation Engineering Journal*, n. 102, p. 871-882
- SWARTZ, K. L. (1996-2018). *Great Circle Mapper*. Fonte: Great Circle Mapper: <http://www.gcmap.com/mapui?P=SFO-NRT-SIN,SFO-HKG-SIN>
- WONG, J. K., & ZHOU, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through. *Elsevier*, 156-165.
- YOSHIDA, Y., & FUJIMOTO, H. (2004). Japanese-airport benchmarking with the DEA and endogenous-weight TFP methods: testing the criticism of overinvestment in Japanese regional airports. *Elsevier*, 533 - 546.

Anexo A – Notas normalizadas utilizadas como input

Fonte: Coelho (2012)

Aeroporto	Táxi			Carona		
	Acesso		Meio-fio	Acesso		
	Tempo	Custo		Tempo	Custo	Meio-fio
Brasília	0.65	0.83	1.00	1.00	0.90	1.00
Viracopos	0.42	0.60	0.22	0.53	0.87	0.22
Guarulhos	0.31	0.44	0.48	0.49	0.47	0.48
Congonhas	0.74	0.86	0.90	0.97	0.76	0.90
Santos Dumont	1.00	1.00	0.52	0.91	1.00	0.52
Galeão	0.55	0.65	0.72	0.81	0.57	0.72

Aeroporto	Automóvel próprio					
	Acesso			Estacionamento		
	Tempo	Custo	Preço	Número de vagas	Distância até o terminal	Qualidade da calçada
Brasília	0.97	0.94	0.90	0.19	0.82	0.82
Viracopos	0.40	0.46	1.00	1.00	1.00	0.60
Guarulhos	0.47	0.46	0.60	0.41	0.60	0.87
Congonhas	1.00	0.82	0.38	0.38	0.75	0.78
Santos Dumont	0.83	1.00	0.64	0.30	0.78	0.83
Galeão	0.80	0.70	0.75	0.90	0.24	0.96

Aeroporto	Ônibus regular			
	Acesso		Distância ponto-terminal	Número de linhas
	Tempo	Custo		
Brasília	0.66	0.65	0.14	0.10
Viracopos	0.90	0.27	0.42	0.21
Guarulhos	0.50	0.31	0.14	0.55
Congonhas	0.84	0.99	0.46	1.00
Santos Dumont	1.00	1.00	1.00	0.55
Galeão	0.75	0.72	0.51	0.14

Apêndice A – Seleção de variáveis

A.1 Acessibilidade via ônibus

Eficiência obtida pelo DEA (%)				
	Input	Tempo	Custo	Nº de linhas
Aeroporto	Brasília	46	45	100
	Viracopos	62	19	48
	Guarulhos	42	26	22
	Congonhas	74	87	13
	Santos Dumont	100	100	26
	Galeão	57	55	79
	Média	63.5	55.3	48.0
	1ª variável selecionada	Tempo		

Eficiência obtida pelo DEA (%)			
	Input (Tempo+)	Custo	Nº de linhas
Aeroporto	Brasília	46	100
	Viracopos	62	95
	Guarulhos	42	57
	Congonhas	87	74
	Santos Dumont	100	100
	Galeão	57	100
	Média	65.7	87.7
	1ª variável selecionada	Tempo	
	2ª variável selecionada	Nº de linhas	

Eficiência obtida pelo DEA (%)		
	Input (Tempo+Linhas+)	Custo
Aeroporto	Brasília	100
	Viracopos	95
	Guarulhos	57
	Congonhas	87
	Santos Dumont	100
	Galeão	100
	Média	89.8
	1ª variável selecionada	Tempo
	2ª variável selecionada	Nº de linhas
	Variável "Custo" não acrescentada	
	Acréscimo de	2.5%

A.2 Instalações do estacionamento

Eficiência obtida pelo DEA (%)					
	Input	Qualidade da calçada	Número de vagas	Distância até o terminal	Preço
Aeroporto	Brasília	56	100	63	69
	Viracopos	100	25	100	100
	Guarulhos	61	53	53	53
	Congonhas	86	72	84	42
	Santos Dumont	74	84	80	66
	Galeão	54	23	21	64
	Média	71.8	59.5	66.8	65.7
	1ª variável selecionada	Qualidade da calçada			

Eficiência obtida pelo DEA (%)				
	Input (Calçada+)	Número de vagas	Distância até o terminal	Preço
Aeroporto	Brasília	100	63	69.00
	Viracopos	100	100	100.00
	Guarulhos	72	61	61.00
	Congonhas	100	86	86.00
	Santos Dumont	100	80	74.00
	Galeão	59	54	64.00
	Média	88.5	74.0	75.7
	1ª variável selecionada	Qualidade da calçada		
	Variável "Número de vagas" não acrescentada			
	Pouco discriminativa			

A.3 Acessibilidade via carona

Eficiência obtida pelo DEA (%)				
	Input	Tempo	Custo	Meio-fio
Aeroporto	Brasília	100	99	27
	Viracopos	42	77	100
	Guarulhos	27	28	31
	Congonhas	70	61	22
	Santos Dumont	82	100	48
	Galeão	56	43	26
	Média	62.8	68.0	42.3
	1ª variável selecionada	Custo		

Eficiência obtida pelo DEA (%)			
	Input (Custo+)	Tempo	Meio-fio
Aeroporto	Brasília	100	99
	Viracopos	77	100
	Guarulhos	28	36
	Congonhas	70	61
	Santos Dumont	100	100
	Galeão	56	47
	Média	71.8	73.8
	1ª variável selecionada	Custo	
	2ª variável selecionada	Meio-fio	

Eficiência obtida pelo DEA (%)		
	Input (Custo+Meio-fio+)	Tempo
Aeroporto	Brasília	100
	Viracopos	100
	Guarulhos	100
	Congonhas	74
	Santos Dumont	100
	Galeão	65
	Média	89.8
	1ª variável selecionada	Custo
	2ª variável selecionada	Meio-fio
	Variável "Tempo" não acrescentada	
	Pouco discriminativo	

A.4 Acessibilidade via carro próprio

Eficiência obtida pelo DEA (%)				
	Input	Tempo	Custo	Preço
Aeroporto	Brasília	100	100	100
	Viracopos	33	39	89
	Guarulhos	26	27	36
	Congonhas	75	63	31
	Santos Dumont	77	96	64
	Galeão	57	51	57
	Média	61.3	62.7	62.8
	1ª variável selecionada	Preço do estacionamento		

Eficiência obtida pelo DEA (%)			
	Input (Preço+)	Tempo	Custo
Aeroporto	Brasília	100	100
	Viracopos	89	89
	Guarulhos	36	36
	Congonhas	75	63
	Santos Dumont	77	96
	Galeão	57	57
	Média	72.3	73.5
	1ª variável selecionada	Preço do estacionamento	
2ª variável selecionada	Custo		

Eficiência obtida pelo DEA (%)			
	Input (Preço+Custo+)	Tempo	
Aeroporto	Brasília	100	
	Viracopos	89	
	Guarulhos	36	
	Congonhas	75	
	Santos Dumont	96	
	Galeão	57	
	Média	75.5	
	1ª variável selecionada	Preço do estacionamento	
2ª variável selecionada	Custo		
Variável "Tempo" não acrescentada			
Acréscimo de			2.7%

A.5 Acessibilidade via táxi

Eficiência obtida pelo DEA (%)				
	Input	Tempo	Custo	Meio-fio
Aeroporto	Brasília	72	92	27
	Viracopos	37	53	100
	Guarulhos	19	26	31
	Congonhas	59	69	22
	Santos Dumont	100	100	48
	Galeão	42	49	26
	Média	54.8	64.8	42.3
	1ª variável selecionada	Custo		

Eficiência obtida pelo DEA (%)			
	Input (Custo+)	Tempo	Meio-fio
Aeroporto	Brasília	92	92
	Viracopos	53	100
	Guarulhos	26	42
	Congonhas	69	69
	Santos Dumont	100	100
	Galeão	49	52
	Média	64.8	75.8
	1ª variável selecionada	Custo	
	2ª variável selecionada	Meio-fio	

Eficiência obtida pelo DEA (%)		
	Input (Custo+Meio-fio+)	Tempo
Aeroporto	Brasília	92
	Viracopos	100
	Guarulhos	42
	Congonhas	69
	Santos Dumont	100
	Galeão	52
	Média	75.8
	1ª variável selecionada	Custo
	2ª variável selecionada	Meio-fio
	Variável "Tempo" não acrescentada	
	Acréscimo de	0.0%

Apêndice B – Resultados dos modelos DEA

Dados obtidos para o quesito "Acessibilidade via ônibus"							
Aeroporto objetivo →	Brasília	Viracopos	Guarulhos	Congonhas	S. Dumont	Galeão	
Aeroportos	Brasília	0.0000	-0.1634	-0.0805	-0.6927	-0.1184	-0.1554
	Viracopos	-0.3206	-0.0474	-0.0234	-0.3533	-0.0343	-0.0451
	Guarulhos	-1.9093	-0.8788	-0.4332	-0.9800	-0.6370	-0.8360
	Congonhas	-3.4693	-0.8858	-0.4367	-0.2600	-0.6420	-0.8426
	Santos Dumont	-1.2915	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Galeão	0.0000	0.0000	0.0000	-0.4800	0.0000	0.0000
	Eficiência	100.0%	95.3%	56.7%	74.0%	100.0%	100.0%
Pesos	Pesquisa SAC	0.3448	0.3285	0.1619	0.2000	0.2381	0.3125
	Tempo	0.3764	0.6489	0.3199	0.8400	0.4703	0.6173
	Nº de linhas	4.2971	1.3287	0.6550	0.0000	0.9631	1.2640

Dados obtidos para o quesito "Instalações do estacionamento"							
Aeroporto objetivo →	Brasília	Viracopos	Guarulhos	Congonhas	S. Dumont	Galeão	
Aeroportos	Brasília	-0.4355	-0.5952	-0.4105	-0.4579	-0.4303	-0.0276
	Viracopos	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Guarulhos	-0.4129	-0.5643	-0.3892	-0.4341	-0.4079	-0.0261
	Congonhas	-0.1359	-0.1857	-0.1281	-0.1429	-0.1343	-0.0086
	Santos Dumont	-0.2596	-0.3548	-0.2447	-0.2729	-0.2565	-0.0164
	Galeão	-0.5436	-0.7429	-0.5123	-0.5714	-0.5370	-0.0344
	Eficiência	56.4%	100.0%	61.1%	85.7%	74.4%	96.6%
Pesos	Pesquisa SAC	0.2091	0.2857	0.1970	0.2198	0.2065	0.1786
	Qualidade da calçada	1.2195	1.6667	1.1494	1.2821	1.2048	1.0417

Dados obtidos para o quesito "Acessibilidade via carona"							
Aeroporto objetivo →	Brasília	Viracopos	Guarulhos	Congonhas	S. Dumont	Galeão	
Aeroportos	Brasília	-0.0056	-0.3444	-0.1800	-0.0047	-0.3044	-0.1878
	Viracopos	-0.2390	0.0000	0.0000	-0.2018	0.0000	0.0000
	Guarulhos	-1.3736	-1.2322	-0.6443	-1.1600	-1.0892	-0.6719
	Congonhas	-0.4617	-0.7505	-0.3924	-0.3899	-0.6634	-0.4093
	Santos Dumont	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Galeão	-0.8967	-0.9762	-0.5104	-0.7572	-0.8629	-0.5323
	Eficiência	99.4%	100.0%	35.6%	61.0%	100.0%	46.8%
Pesos	Pesquisa ANAC	0.1259	0.1582	0.0827	0.1063	0.1399	0.0863
	Custo	0.9000	0.7183	0.3755	0.7600	0.6349	0.3917
	Meio-fio	0.0000	0.7963	0.4163	0.0000	0.7039	0.4342

Dados obtidos para o quesito "Acessibilidade via carro próprio"							
Aeroporto objetivo →	Brasília	Viracopos	Guarulhos	Congonhas	S. Dumont	Galeão	
Aeropertos	Brasília	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
	Viracopos	-0.1000	-0.1111	-0.0667	-1.0847	-1.3228	-0.0833
	Guarulhos	-0.9557	-1.0619	-0.6371	-1.3078	-1.5949	-0.7964
	Congonhas	-1.6418	-1.8243	-1.0946	-0.3662	-0.4466	-1.3682
	Santos Dumont	-0.5012	-0.5569	-0.3341	-0.0305	-0.0372	-0.4177
	Galeão	-0.5139	-0.5710	-0.3426	-0.5729	-0.6987	-0.4283
Eficiência	100.0%	88.9%	36.3%	63.4%	96.3%	57.2%	
Pesos	Pesquisa ANAC	0.1266	0.1406	0.0844	0.1104	0.1347	0.1055
	Custo	0.0000	0.0000	0.0000	0.8200	1.0000	0.0000
	Preço do estacionamento	0.9000	1.0000	0.6000	0.0000	0.0000	0.7500

Dados obtidos para o quesito "Acessibilidade via táxi"							
Aeroporto objetivo →	Brasília	Viracopos	Guarulhos	Congonhas	S. Dumont	Galeão	
Aeropertos	Brasília	-0.0829	-0.6275	-0.3883	-0.0859	-0.5547	-0.3840
	Viracopos	-0.6497	0.0000	0.0000	-0.6732	0.0000	0.0000
	Guarulhos	-1.3872	-0.9357	-0.5790	-1.4373	-0.8271	-0.5726
	Congonhas	-0.2988	-0.8093	-0.5008	-0.3096	-0.7154	-0.4953
	Santos Dumont	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Galeão	-0.6477	-0.7765	-0.4805	-0.6712	-0.6863	-0.4752
Eficiência	91.7%	100.0%	42.1%	69.0%	100.0%	52.5%	
Pesos	Pesquisa ANAC	0.1161	0.1582	0.0979	0.1203	0.1399	0.0968
	Custo	0.8300	0.4197	0.2597	0.8600	0.3710	0.2569
	Meio-fio	0.0000	1.3718	0.8488	0.0000	1.2126	0.8395

Apêndice C – Benchmarking entre os aeroportos

C.1 Acessibilidade via ônibus

Benchmarking para o aeroporto de Viracopos								
	Aeroportos de referência		Preço-Sombra		Meta	Atual	Diferença	%
	S. Dumont	Galeão	0.1998	0.6440				
Pesquisa SAC	4.20	3.20	0.84	2.06	2.90	2.90	0.00	0.0%
Tempo	1.00	1.33	0.20	0.86	1.06	1.11	-0.05	-4.7%
Nº de linhas	0.55	0.14	0.11	0.09	0.20	0.21	-0.01	-4.7%

Benchmarking para o aeroporto de Guarulhos								
	Aeroportos de referência		Preço-Sombra		Meta	Atual	Diferença	%
	S. Dumont	Galeão	0.4330	0.5254				
Pesquisa SAC	4.20	3.20	1.82	1.68	3.50	3.50	0.00	0.0%
Tempo	1.00	1.33	0.43	0.70	1.13	2.00	-0.87	-43.3%
Nº de linhas	0.55	0.14	0.24	0.07	0.31	0.55	-0.24	-43.3%

Benchmarking para o aeroporto de Congonhas							
	Referência	Preço-Sombra		Meta	Atual	Diferença	%
	S. Dumont	0.880952	0.88				
Pesquisa SAC	4.20	3.70	3.70	3.70	3.70	0.00	0.0%
Tempo	1.00	0.88	0.88	1.19	1.19	-0.31	-26.0%
Nº de linhas	0.55	0.48	0.48	1.00	1.00	-0.52	-51.5%

C.2 Instalações do estacionamento

Benchmarking para o aeroporto de Brasília						
	Referência	Preço-Sombra				
	Viracopos	0.771429	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa SAC	3.50	2.70	2.70	2.70	0.00	0.0%
Qualidade da calçada	0.60	0.46	0.46	0.82	-0.36	-43.6%

Benchmarking para o aeroporto de Guarulhos						
	Referência	Preço-Sombra				
	Viracopos	0.885714	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa SAC	3.50	3.10	3.10	3.10	0.00	0.0%
Qualidade da calçada	0.60	0.53	0.53	0.87	-0.34	-38.9%

Benchmarking para o aeroporto de Congonhas						
	Referência	Preço-Sombra				
	Viracopos	1.114286	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa SAC	3.50	3.90	3.90	3.90	0.00	0.0%
Qualidade da calçada	0.60	0.67	0.67	0.78	-0.11	-14.3%

Benchmarking para o aeroporto Santos Dumont						
	Referência	Preço-Sombra				
	Viracopos	1.028571	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa SAC	3.50	3.60	3.60	3.60	0.00	0.0%
Qualidade da calçada	0.60	0.62	0.62	0.83	-0.21	-25.6%

Benchmarking para o aeroporto do Galeão						
	Referência	Preço-Sombra				
	Viracopos	0.857143	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa SAC	3.50	3.00	3.00	3.00	0.00	0.0%
Qualidade da calçada	0.60	0.51	0.51	0.96	-0.45	-46.4%

C.3 Acessibilidade via carona

Benchmarking para o aeroporto de Brasília							
	Referência	Preço-Sombra					
	S. Dumont	1.104895	Meta	Atual	Diferença	%	
Pesquisa ANAC	7.15	7.90	7.90	7.90	0.00	0.0%	
Custo	1.00	1.10	1.10	1.11	-0.01	-0.6%	
Meio-fio	0.52	0.57	0.57	1.00	-0.43	-42.7%	

Benchmarking para o aeroporto de Guarulhos								
	Aerportos de referência		Preço-Sombra					
	S. Dumont	Viracopos	0.083777	0.585601	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa ANAC	7.15	6.32	0.60	3.70	4.30	4.30	0.00	0.0%
Custo	1.00	1.15	0.08	0.67	0.76	2.13	-1.37	-64.4%
Meio-fio	0.52	0.22	0.04	0.13	0.17	0.48	-0.31	-64.4%

Benchmarking para o aeroporto de Congonhas							
Referência	Referência	Preço-Sombra					
Preço-Sombra	S. Dumont	0.8027972	Meta	Atual	Diferença	%	
Pesquisa ANAC	7.15	5.74	5.74	5.74	0.00	0.0%	
Custo	1.00	0.80	0.80	1.32	-0.51	-39.0%	
Meio-fio	0.52	0.42	0.42	0.90	-0.48	-53.5%	

Benchmarking para o aeroporto do Galeão								
	Aerportos de referência		Preço-Sombra					
Preço-Sombra	S. Dumont	Viracopos	0.55028	0.235047	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa ANAC	7.15	6.32	3.93	1.49	5.42	5.42	0.00	0.0%
Custo	1.00	1.15	0.55	0.27	0.82	1.75	-0.93	-93.4%
Meio-fio	0.52	0.22	0.29	0.05	0.34	0.72	-0.38	-38.4%

C.4 Acessibilidade via carro próprio

Benchmarking para o aeroporto de Viracopos						
	Referência	Preço-Sombra				
	Brasília	0.8	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa ANAC	7.90	6.32	6.32	6.32	0.00	0.0%
Custo	1.06	0.85	0.85	2.17	-1.32	-60.9%
Preço do estacionamento	1.11	0.89	0.89	1.00	-0.11	-11.1%

Benchmarking para o aeroporto de Guarulhos						
	Referência	Preço-Sombra				
	Brasília	0.544304	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa ANAC	7.90	4.30	4.30	4.30	0.00	0.0%
Custo	1.06	0.58	0.58	2.17	-1.59	-73.4%
Preço do estacionamento	1.11	0.60	0.60	1.67	-1.06	-63.7%

Benchmarking para o aeroporto de Congonhas						
	Referência	Preço-Sombra				
	Brasília	0.726582	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa ANAC	7.90	5.74	5.74	5.74	0.00	0.0%
Custo	1.06	0.77	0.77	1.22	-0.45	-36.6%
Preço do estacionamento	1.11	0.81	0.81	2.63	-1.82	-69.3%

Benchmarking para o aeroporto Santos Dumont						
	Referência	Preço-Sombra				
	Brasília	0.905063	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa ANAC	7.90	7.15	7.15	7.15	0.00	0.0%
Custo	1.06	0.96	0.96	1.00	-0.04	-3.7%
Preço do estacionamento	1.11	1.01	1.01	1.56	-0.56	-35.6%

Benchmarking para o aeroporto do Galeão						
	Referência	Preço-Sombra				
	Brasília	0.686076	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa ANAC	7.90	5.42	5.42	5.42	0.00	0.0%
Custo	1.06	0.73	0.73	1.43	-0.70	-48.9%
Preço do estacionamento	1.11	0.76	0.76	1.33	-0.57	-42.8%

C.5 Acessibilidade via táxi

Benchmarking para o aeroporto de Brasília						
	Referência	Preço-Sombra				
	S. Dumont	1.104895	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa ANAC	7.15	7.90	7.90	7.90	0.00	0.0%
Custo	1.00	1.10	1.10	1.20	-0.10	-8.3%
Meio-fio	0.52	0.57	0.57	1.00	-0.43	-42.7%

Benchmarking para o aeroporto de Guarulhos								
	Aeroportos de referência		Preço-Sombra					
	S. Dumont	Viracopos	0.454059	0.200048	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa ANAC	6.32	7.15	2.87	1.43	4.30	4.30	0.00	0.0%
Custo	1.67	1.00	0.76	0.20	0.96	2.27	-1.32	-57.9%
Meio-fio	0.22	0.52	0.10	0.10	0.20	0.48	-0.28	-57.9%

Benchmarking para o aeroporto de Congonhas						
	Referência	Preço-Sombra				
	S. Dumont	0.802797	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa ANAC	7.15	5.74	5.74	5.74	0.00	0.0%
Custo	1.00	0.80	0.80	1.16	-0.36	-31.0%
Meio-fio	0.52	0.42	0.42	0.90	-0.48	-53.5%

Benchmarking para o aeroporto do Galeão								
	Aeroportos de referência		Preço-Sombra					
	S. Dumont	Viracopos	0.063079	0.702285	Meta	Atual	Diferença	%
Pesquisa ANAC	6.32	7.15	0.40	5.02	5.42	5.42	0.00	0.0%
Custo	1.67	1.00	0.11	0.70	0.81	1.54	-0.73	-47.5%
Meio-fio	0.22	0.52	0.01	0.36	0.38	0.72	-0.34	-47.5%

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 13 de novembro de 2019	3. REGISTRO N° DCTA/ITA/TC-064/2019	4. N° DE PÁGINAS 71
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Análise por Envoltória de Dados (DEA) da acessibilidade em aeroportos brasileiros			
6. AUTOR(ES): Álvaro Gonçalves Campos			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: 1. Acessibilidade. 2. Aeroportos. 3. DEA. 4. Análise por Envoltória de Dados			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Acessibilidade ao meio físico; Planejamento de aeroportos; Análise envoltória de dados; Infraestrutura (transporte); Transporte.			
10. APRESENTAÇÃO: X Nacional Internacional			
ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Xavier Guterres (ITA). Publicado em 2019.			
11. RESUMO: O adequado funcionamento de um aeroporto pressupõe harmonia entre diversas etapas que vão desde a chegada de passageiros e cargas até a decolagem ou pouso de uma aeronave. Este complexo fluxo de atividades interconectadas fazem do aeroporto uma robusta estrutura repleta de diferentes procedimentos e, eventualmente, gargalos operacionais. O presente estudo analisou a acessibilidade de seis dos maiores aeroportos brasileiros com foco na percepção dos usuários. Por meio da metodologia de Análise por Envoltória de Dados (DEA), constatou quais aeroportos são mais eficientes em diversos aspectos relacionados à acessibilidade e determinou metas para que cada um dos aeroportos analisados pudesse atingir os mesmos padrões dos demais.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO			