



Impacto da pandemia da COVID-19 na eficiência dos aeroportos brasileiros: aplicação de análise envoltória de dados e regressão tobit



Viviane Adriano Falcão

viviane.afalcao@ufpe.br

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0850-4281>

Hélio da Silva Queiroz Júnior

helio.junior@ufpe.br

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1057-7271>

Lucas Tavares de Barros Mendes

lucas.tbmendes@hotmail.com

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3624-5221>

Francisco Gildemir Ferreira da Silva

gildemir@ufc.br

Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5890-3769>

RESUMO

O setor de transporte aéreo é caracterizado por grandes volumes de passageiros transportados por todo o mundo. Estes transportes, interligando localidades geograficamente diversas, fazem deste modal um potencial disseminador de doenças infectocontagiosas em geral. Com a pandemia do Covid-19, governos e aeroportos de todo o mundo implantaram medidas restritivas às operações aeroportuárias, com o objetivo de mitigar esse potencial de disseminação, resultando em impactos negativos nos resultados operacionais destes aeroportos. Este trabalho visa analisar o impacto da pandemia do Covid-19 nos valores de eficiência de 17 aeroportos brasileiros, bem como analisar a influência de fatores diversos sob estas eficiências. A metodologia se deu em duas etapas, com a aplicação de Análise Envoltória de Dados (DEA) e obtenção de *scores* de eficiência, seguido de regressão tobit para identificação e análise da influência exercida por fatores diversos sob estas eficiências. Foram utilizados dados de 2010 a 2020. Os resultados mostraram que não houve redução significativa nos valores de eficiência

destes aeroportos, devido à pandemia do Covid-19. Os modelos obtidos com a regressão tobit demonstraram uma influência positiva do PIB *per capita* nos *scores* de eficiência dos aeroportos, e expressaram a insignificância estatística da influência da privatização sob esses valores.

Palavras-chave: Transporte aéreo. Covid-19. Eficiência.

COVID-19 pandemic impact on the efficiency of Brazilian airports: application of data envelopment analysis and tobit regression

ABSTRACT

The air transport sector is characterized by big volumes of passengers transported globally. These transports, interconnecting geographically diverse localities, turn this modal into a potential disseminator of infectious diseases in general. With the Covid-19 pandemic, governments and airports all over the world have implemented restrictive measures on airport operations, in an attempt to mitigate this dissemination potential, resulting in negative impacts on the operating results of these airports. This work aims to analyze the impact of the Covid-19 pandemic on the efficiency values of 17 Brazilian airports, and also the influence of different factors on these efficiencies. The methodology took place in two stages, with the application of Data Envelopment Analysis (DEA), to obtain the efficiency scores, followed by tobit regression to identify and analyze the influence exerted by different factors on these efficiencies. Data from 2010 to 2020 were used. The results showed that there was no significant reduction in efficiency scores of these airports, due to the Covid-19 pandemic. The models obtained with the tobit regression showed a positive influence of GDP *per capita* on airport efficiency values, and expressed the statistical insignificance of the influence of privatization on these values.

Key-words: Air transport. Covid-19. Efficiency.

Palabras clave: Transporte aéreo. COVID-19. Eficiencia.

INTRODUÇÃO

Infraestruturas fundamentais para o setor de transporte aéreo, aeroportos funcionam como canais e conexões entre cidades distintas, para passageiros e cargas em geral, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento econômico de áreas urbanas (Lakew, 2015). Gabrielli *et al* (2019), em estudo feito através da análise de dados mensais de transporte aéreo de passageiros de 239 países e territórios ao longo do mundo, de janeiro de 2010 a março de 2018, concluiu que viagens internacionais apresentaram um ritmo contínuo e ininterrupto de crescimento no período, principalmente através de transportes aéreos. No Brasil, apenas em 2019, cerca de 95,3 milhões de pessoas foram transportadas nacionalmente, em cerca de 804 mil voos domésticos, além de outros 24,1 milhões de passageiros internacionais, em cerca de 145 mil voos (ANAC, 2019). Segundo Relatório Anual de 2019 da IATA, o setor de transporte aéreo brasileiro esteve dentre os 10 mercados domésticos com maior crescimento no ano, se posicionando como o 5º maior mercado origem-destino do mundo.

Este grande e crescente volume de pessoas que utilizam o transporte aéreo, no Brasil e no mundo, levanta pontos e preocupações importantes a respeito do impacto da adoção cada vez maior desta modalidade de transporte. Além de questões ambientais, como emissão de poluentes e sua influência no meio ambiente, outra questão fundamental

é a relação do transporte aéreo com a difusão de doenças em geral. A expansão do transporte aéreo e comércio marítimo supera barreiras geográficas para a propagação de doenças, possibilitando que estas sejam transmitidas através de maiores distâncias e em períodos inferiores (Tatem *et al*, 2006)

O surto do COVID-19, que chegou a ser classificado como pandemia global em 11 de março de 2021 (OMS, 2021), trouxe consigo, então, um conjunto de medidas e regimentos a serem cumpridos pelas empresas e operadores relacionados ao transporte aéreo. A Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC lançou, em abril de 2020, uma cartilha contendo um conjunto de recomendações e medidas a serem adotadas e seguidas pelos envolvidos com operação aeroportuária e aviação civil em geral, com o intuito de guiá-los acerca das ações necessárias para a manutenção da segurança das operações, a volta da confiança dos passageiros, e a reabertura e reaquecimento dos mercados (ANAC, 2020).

Tendo em vista a importância do transporte aéreo, sua influência na propagação da COVID-19 e as medidas de distanciamento social adotadas para operações de aviação civil, o impacto da pandemia no desempenho econômico dos aeroportos do Brasil e do mundo é imenso: enquanto as perdas em receita de companhias aéreas e no setor de transporte aéreo em geral poderão chegar a US\$ 113 bilhões e US\$ 63 bilhões, respectivamente, em 2020 (IATA, 2020), a Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC e a Associação Brasileira das Empresas Aéreas - ABEAR atestaram uma queda de 91% na demanda por voos domésticos e redução de 95% no mercado internacional em 2020, em relação ao mesmo período no ano anterior, devido à pandemia do novo coronavírus.

Dentre as medidas tomadas e os resultados operacionais e financeiros verificados, durante a pandemia, se faz extremamente importante o estudo destes indicadores, a fim de permitir um melhor e mais profundo entendimento da situação atual dos aeroportos e do setor como um todo. Em situações adversas, em que medidas restritivas de diversas naturezas sejam adotadas, se faz necessário analisar o comportamento dos aeroportos em consequência a estas medidas, e utilizar este conhecimento para tomadas de decisão assertivas no futuro.

A pandemia global do Covid-19 e as medidas de restrição adotadas por aeroportos e companhias aéreas em geral, no período, exerceram influência fundamental no modo como o transporte aéreo, e principalmente os seus aeroportos, foram operados no período. Dados globais do Annual Review de 2020 da ICAO (*International Civil Aviation Organization*, ou Organização da Aviação Civil Internacional) atestam o enorme impacto ocorrido no setor: não apenas diminuição de voos e passageiros transportados em si, de cerca de 60% e 47%, respectivamente, em relação a 2019, mas também pode ser identificada uma redução drástica na oferta de voos pelas companhias aéreas, sendo expressa pela redução de cerca de 57% no ASK (*available seat-kilometers*, ou assentos-quilometro ofertados) total no mundo, em comparação ao ano anterior. O conjunto de eventos e fatores ocorridos no período, como as restrições impostas pela OMS e governos na operação aeroportuária e nas dinâmicas sociais em geral (como lockdowns), bem como o comportamento das companhias aéreas e até mesmo dos passageiros diante dessa pandemia global, impactaram diretamente o balanço e funcionamento destes aeroportos, levando à tona a importância de se avaliar esse impacto também a nível de eficiência dos terminais, em suas distintas condições operacionais e formatos de gestão administrativa.

A avaliação de desempenho das empresas em geral pode ser realizada por meio dos indicadores econômico-financeiros ou operacionais, que além de serem primordiais para a gestão e tomada de decisões, a aplicação de indicadores fornece uma posição da empresa em relação a sua situação operacional e/ou financeira. Para esse fim, o estudo

foi desenvolvido contemplando variáveis e metodologias pertinentes, que impactem positivamente o suporte das gestões dos aeroportos na tomada de decisões em situações adversas.

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a eficiência dos aeroportos brasileiros, tanto do ponto de vista da carga, quanto de passageiros, entre 2010 e 2020, bem como os fatores que influenciaram essa eficiência, considerando aspectos como a pandemia COVID-19. Nestas situações, serão verificadas principalmente quais foram as consequências para a operação, em termos de eficiência e desempenho em geral destes aeroportos.

O setor do transporte aéreo e as concessões aeroportuárias no Brasil

A consolidação e estruturação do sistema de transporte aéreo brasileiro ocorreu a partir do início do século 20. Infraestruturas aeroportuárias e tecnologias aeronáuticas foram desenvolvidas no Brasil através da consolidação de centros de excelência de pesquisa e inovação em níveis nacionais e internacionais, como o Instituto de Tecnologia Aeronáutica - ITA, EMBRAER e o Instituto Militar de Engenharia - IME (FALCÃO *et al*, 2021). O setor de aviação se desenvolveu de forma acelerada durante esses anos; hoje, domina o transporte intercontinental de passageiros e tem uma grande e estratégica importância nos fluxos intercontinentais de transporte (Da Rocha, 2008).

Com o desenvolvimento do setor aeroportuário brasileiro ao longo do século 20 e nos primeiros anos do século 21, o mercado aéreo do Brasil passou a apresentar crescimento cada vez mais acelerado: de 1996 a 2006, por exemplo, o número de passageiros transportados por ano aumentou cerca de 150%, alcançando a marca de 40 milhões em RPK (*revenue passenger-kilometers*, ou Passageiros-Quilômetros Pagos transportados) (ANAC, 2006). Além do crescimento econômico, a estabilidade monetária alcançada em meados da década de 1990 e políticas regulatórias liberais implementadas desde 2001 podem ser pontuadas como razões importantes por trás do crescimento do setor no período (Marazzo *et al*, 2010).

O crescimento do mercado aéreo brasileiro se perpetuou durante as primeiras décadas do século 21, fazendo com que o país se tornasse um importante ator no cenário de transporte aéreo global. IATA (*International Air Transport Association*, ou Associação Internacional de Transporte Aéreo), em seu Relatório Anual de 2018, apresenta o mercado doméstico brasileiro de passageiros, considerando valores de origem-destino anuais, como o 6º maior do mundo no ano, com o transporte anual de cerca de 70 milhões de passageiros.

Tal ambiente corroborou para a criação da Agência Nacional de Aviação Civil em 2005, agência reguladora com o objetivo de regular e fiscalizar as atividades de aviação civil e de infraestrutura aeronáutica e aeroportuária (Brasil, 2005). E em 2011, para auxiliar nas concessões aeroportuárias foi criada a Secretaria de Aviação Civil da Presidência da República (SAC/PR), as competências da SAC foram de formular, coordenar e supervisionar as políticas e planejamento estratégico do setor de aviação civil e de infraestruturas (Brasil, 2011). Como parte das políticas liberais implementadas pelo governo brasileiro desde 2001, pontuado por Marazzo *et al* (2010) como um dos fenômenos de influência do desenvolvimento do setor aeroportuário no Brasil, há a implementação de privatizações e concessões de diversos setores e empresas nacionais. Privatizar é a ação de transferência de algo estatal para o domínio da iniciativa privada, e no setor de aviação brasileira, foi posta em prática através de concessões de aeroportos públicos a empresas privadas de todo o mundo, como alternativa à responsabilidade exclusiva de gestão pública destes aeródromos à INFRAERO.

Segundo Resende (2017), o programa de concessões dos aeroportos brasileiros teve início em 2011, com o leilão do Aeroporto Internacional de São Gonçalo do Amarante, no Rio Grande do Norte; o leilão fora feito em forma de teste, e se destacou por tratar-se de concessão em projeto *greenfield* – um novo aeroporto deveria ser inteiramente construído pela empresa vencedora do leilão. Em, 2012 e 2013, os aeroportos de Viracopos (SBKP), Juscelino Kubitschek (SBBR), Guarulhos (SBGR), Galeão (SBGL) e Confins (SBCF) foram concedidos, importante ressaltar que todos são internacionais e que tinham uma expressiva movimentação de passageiro e de cargas. A justificativa oferecida foi a de melhorar a infraestrutura aeroportuária no Brasil, contribuindo com a sua qualidade e expansão. Além disso, por conta do fato do Brasil ser sede da Copa do Mundo de Futebol em 2014 e dos Jogos Olímpicos de 2016, havia uma preocupação genuína se a infraestrutura aeroportuária conseguiria atender a demanda atraída por esses eventos, além do crescente boom da demanda aérea brasileira frente a um crescimento econômico e baixas tarifas aéreas. Importante destacar que na segunda e na terceira rodada das concessões os ganhadores do leilão deveriam operar o aeroporto com a participação de pelos 49% da INFRAERO.

Desde então, ocorreram seis rodadas de concessão de aeroportos brasileiros, resultando em um total de 44 aeroportos cedidos à gestão privada e uma 7ª rodada, composta por 16 aeroportos, já está na etapa chamamento público de estudos (ANAC, 2022). É importante observar que os contratos de concessões foram sendo aprimorados ao longo do tempo, enquanto os primeiros exigiam a participação da empresa pública INFRAERO, essa exigência foi retirada a partir da 4ª rodada. Além disso, as rodadas seguintes a partir das 5ª foram feitas em bloco, o que facilitaria a concessão de aeroportos com menores retornos financeiros. A Tabela 1 considera as rodadas de concessão, bem como aeroportos concedidos e seus respectivos blocos, utilizando como referência as informações obtidas em site da ANAC (2022). Importante ressaltar que dessa tabela, há três aeroportos que foram devolvidos ao governo brasileiro: São Gonçalo do Amarante (RN), Viracopos (Campinas-SP) e Galeão (Rio de Janeiro-RJ). Todos já estão programados a serem relicitados em 2023.

Tabela 1. Tabela-resumo de aeroportos concedidos e rodadas de concessão. Fonte: ANAC (2022).

Rodada	Aeroporto(s)	Empresa(s)	Valor	Duração
1ª	São Gonçalo Amarante (RN) - SBSG	Engevix; Argentina Corporación America.	R\$ 166 mi	28 anos
	Viracopos (Campinas) - SBKP	Triunfo Part. E Invest. (45%); UTC Participações (45%); Egis Airport Operation (10%).	R\$ 3.82 bi	30 anos
2ª	Juscelino Kubitschek (DF) - SBBR	Infravix Part. (50%); Argentina Corporation América (50%).	R\$ 4.5 bi	25 anos
	Guarulhos (São Paulo) - SBGR	Invepar Empreendimentos (50%); Airport South Africa (10%).	R\$ 16.21 bi	25 anos
	Galeão (RJ) - SBGL	Odebrecht e Transport (60%); CHANGI (40%).	R\$ 19 bi	25 anos
3ª	Confins (MG) - SBCF	Cia de part. em concessões CCR (75%); Flughafen Zurich (24%); Munich Airport (1%).	R\$ 1.8 bi	30 anos
	Porto Alegre (RS) – SBPA	Fraport (Alemanha)	R\$ 290.5 mi	25 anos
	Fortaleza (CE) – SBFZ		R\$ 425 mi	30 anos
4ª	Salvador (BA) – SBSA	Vinci Airport (França)	R\$ 660.9 mi	30 anos
	Florianópolis (SC) - SBFL	Zurich International Airport	R\$ 83,3 mi	30 anos

5 ^a	Bloco NE	Aracaju(SE) – SBAR Campina Grande (PB) - SBKG João Pessoa (PB) – SBJP Juazeiro do Norte (CE) - SBJU Maceió(AL) - SBMO Recife(PE) - SBRF	AENA Desarrollo Internacional SME S/A.	R\$ 1,9 bi	30 anos
	Bloco SE	Macaé(RJ) - SBME Vitória (ES) - SBVT	ZURICH Airport Latin America LTDA.	R\$ 437 mi	30 anos
	Bloco CO	Cuiabá (MT) - SBCY Sinop (MT) - SWSI Rondonópolis (MT) - SBRD Alta Floresta (MT) - SBAT	SOCICAM Terminais Rodoviários e Representações LTDA; SINART Sociedade Nacional de Apoio Rodoviário e Turístico LTDA.	R\$ 40 mi	30 anos
6 ^a	Bloco Norte	Manaus (AM) - SBEG Tabatinga (AM) - SBTT Tefé (AM) - SBTF Porto Velho (RO) - SBPV Rio Branco (AC) - SBRB Cruzeiro do Sul (AC) - SBCZ Boa Vista (RR) - SBBV	Vinci Airports	R\$ 420 mi	30 anos
	Bloco Centro	Goiânia (GO) - SBGO Palmas (TO) – SBPJ São Luís (MA) - SBSL Imperatriz (MA) - SBIZ Teresina (PI) - SBTE Petrolina (PE) - SBPL	Companhia de Participações em Concessões (CCR Airports)	R\$ 8.14 mi	30 anos
	Bloco Sul	Curitiba (PR) – SBCT Foz do Iguaçu (PR) - SBFI Londrina (PR) - SBLO Bacacheri em Curitiba (PR) - SBBI Navegantes (SC) - SBNF Joinville (SC) - SBJV Pelotas (RS) - SBPK Uruguaiana (RS) - SBUG Bagé (RS) - SBBG	Companhia de Participações em Concessões (CCR Airports)	R\$ 130.2 mi	30 anos

Bloco Aviação Geral	Campo de Marte/SP - SBMT Jacarepaguá/RJ - SBJR	* Em fase de chamamento público	R\$ 138 mi (outorga inicial)	-
Bloco Norte II	Belém/PA - SBBE Macapá/AP - SBMQ	* Em fase de chamamento público	R\$ 57 mi (outorga inicial)	-
Bloco RJ/SP	Santos Dumont/RJ - SBRJ	* Em fase de chamamento público	R\$ 731 mi (outorga inicial)	-
7ª *	Congonhas/SP - SBSP Campo Grande/MS - SBCG Corumbá/MS - SBCR Ponta Porã/MS - SBPP Santarém/PA - SBSN			
Bloco SP/MS/PA/MG	Marabá/PA - SBMA Carajás/PA - SBCJ Altamira/PA - SBHT Uberlândia/MG - SBUL Uberaba/ MG - SBUR Montes Claros/MG - SBMK	* Em fase de chamamento público	R\$ 255 mi (outorga inicial)	-

É importante pontuar que imaginava-se que o tais concessões estimulariam e acelerariam os investimentos necessários para a modernização desses terminais aeroportuários (Da Silva et al., 2019); de acordo com Fernandes & Pacheco (2018), quando um governo decide privatizar, permitir concessão ou comercializar atividades de utilidade pública que estão sob sua administração até então, como no caso de aeroportos, a promessa é que sejam alcançada maior produtividade, serviços sejam melhor ofertados etc., quando na verdade, a literatura a respeito é controversa, mostrando casos em que isto ocorre, e casos em que isto não se sucede.

Muitos estudos apontam ganhos de eficiência, fatores regionais, aspectos ambientais e características financeiras para o caso brasileiro (Da Silva, Rodrigues e Falcão (2019); Domingos, Falcão e Da Silva (2020); Toledo et al (2021)), ou seja, há um alinhamento das evidências internacionais com as observadas nacionalmente e que geram sucessos em concessões e parcerias público-privadas em aeroportos. Porém, há dois casos de reversão de concessões aeroportuárias, mesmo com as boas práticas: Viracopos e Galeão. Embora pareça incomum, a América Latina apresenta casos parecidos ocorridos no Peru e na Colômbia, relatados por Saussier e De Brux (2018) com base no estudo de Guasch (2004). Toledo *et al* (2021) realizou um estudo utilizando o método SBM-DEA e uma regressão tobit para verificação da influência ou não das concessões na eficiência de 28 aeroportos brasileiros, chegando à conclusão de que as primeiras concessões aeroportuárias brasileiras não são estatisticamente relevantes para a melhoria de sua eficiência.

De acordo com a Secretaria de Aviação Civil, do Ministério de Infraestrutura do Governo Federal brasileiro, no ano de 2019, houve uma movimentação anual de cerca de 218 milhões de passageiros, representando um aumento de mais de 193% em 15 anos. Em relação aos aeródromos brasileiros, segundo a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC (2022), o Brasil possui 2756 aeródromos em operação, sendo destes 2217 privados e 533 públicos, figurando como 2º país com maior quantidade de aeródromos no mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (CIA, 2022).

Covid-19 e os aeroportos brasileiros

Coronavírus (COVID-19) é uma doença contagiosa causada pelo vírus SARS-CoV-2 (OMS, 2022), que teve seus primeiros casos e origem epidemiológica em Wuhan, na China, no fim de 2019. Pelas características de fácil contaminação e tardia apresentação de sintomas da doença, os meses que sucederam a descoberta da doença, já no ano de 2020, resultaram numa alta disseminação da doença por todo o mundo. De forma complementar, a complexa e integrada estrutura de transporte global de passageiros, principalmente através de transporte aéreo, contribuiu bastante no sentido de potencializar a disseminação da doença pelo mundo. A forma como se dá o transporte aéreo para passageiros, considerando locais com grande quantidade de pessoas, locais confinados com baixa circulação de ar etc., resultaram em natural diminuição na demanda e atratividade pela utilização deste modal de transporte.

Em adição, estritas medidas de restrição de viagens posteriormente instauradas pelos governos ampliaram a substancial redução na demanda de transporte aéreo de passageiros e resultaram em muitos cancelamentos de voos (Sun *et al*, 2020). O transporte aéreo em geral foi seriamente afetado pela pandemia do Covid-19, e isso impactou diretamente a eficiência e performance operacional dos aeroportos (Forsyth *et al*, 2020). Nakamura & Managi (2020) desenvolveram um estudo com base em diversos artigos relacionados ao papel do transporte aéreo na disseminação do coronavírus, com o objetivo de calcular o risco relativo de importação e exportação do vírus através de aviação civil; como resultado, todos os países considerados no estudo estavam sujeitos a esse risco, potencialmente contribuindo com a disseminação da doença.

No Brasil, não foi diferente, o impacto da pandemia no mercado aéreo brasileiro em 2020 foi enorme: em comparação com 2019, houve uma redução de mais de 54%, terminando o ano com movimentação total de pouco mais de 99 milhões de passageiros (Hórus, 2021). Segundo a ANAC, de abril a dezembro de 2020, o número de voos domésticos foi 64% menor do que realizado no mesmo período do ano anterior, e o mercado internacional, mais impactado pelas restrições impostas entre governos de países do mundo todo, teve uma redução de 76% na média de decolagens realizadas no período, comparando 2020 a 2019.

Estudos sobre a eficiência aeroportuária e análise envoltória de dados

Desde a revolução industrial e o desenvolvimento cada vez mais acelerado de empresas e iniciativas privadas em geral no mundo, indicadores e medidores de performance operacional cada vez mais diversos e relevantes passaram a ser monitorados e gerenciados, visando obtenção dos melhores resultados, com o uso mais assertivo e eficiente dos recursos disponíveis. Gestão por performance ganha relevância na busca pela melhor utilização de recursos restritos para fomento de competitividade no setor privado, bem como por incrementar seu valor financeiro, gerando a aplicação de medidas e políticas mais orientadas a resultados (Lampe & Hilgers, 2015). No caso dos aeroportos, a eficiência é influenciada por fatores internos e externos. Ou seja, entender e mensurar os fatores que influenciam a eficiência aeroportuária não é simples, mas facilita a tomada de decisão por parte dos operadores no sentido de melhor relacionar a utilização assertiva e econômica dos recursos disponíveis, como infraestrutura, para obtenção dos melhores resultados operacionais, como faturamento, quantidade de passageiros transportados e até mesmo satisfação dos usuários (Negri & Borille, 2019).

Exemplificando, como pontuado por Pels *et al* (2001), um determinado aeroporto pode optar, por exemplo, em investir na construção de uma nova pista de decolagem/pouso (medida interna à gestão aeroportuária), considerando a ampliação para operação de modelos mais robustos de aeronaves. Entretanto, o impacto dessa ampliação na infraestrutura do aeroporto fica à mercê das políticas de regulamentação e requisitos

de operação do aeroporto, determinados por órgãos regulamentários e governos em geral, como horário de operação, níveis de ruído permitido nos entornos dos aeroportos etc. (fatores externos à gestão aeroportuária). Outros aspectos externos que podem influenciar a operação eficiente dos aeroportos são fenômenos externos de mercado, como períodos de recessão econômica, ou mesmo o surgimento de uma pandemia a nível global, como a Covid-19.

Para mensuração de níveis de eficiência de aeroportos em geral, uma metodologia vastamente difundida na literatura global é a aplicação de Análise Envoltória de Dados, ou DEA (*Data Envelopment Analysis*). Uma análise bibliométrica no uso de DEA no setor de transportes nos últimos 25 anos, realizada por Cavaignac & Petiot (2017), mostra que se trata de uma metodologia quantitativa de mensuração de eficiência consolidada na literatura sobre o tema.

DEA é uma metodologia não-paramétrica utilizada para análise da eficiência de uma Unidade Tomadora de Decisões, ou DMU (*Decision-Making Unit*) na conversão de determinados inputs em outputs (Schaar & Sherry, 2008). O conceito por trás da metodologia, segundo Iyer & Jain (2019), é a formação de uma fronteira de eficiência com os aeroportos com melhores performances, que terão medida de eficiência igual a 1, e a mensuração da distância dos outros aeroportos (ineficientes) à essa fronteira, resultando em uma medida relativa de eficiência. Todo o tratamento matemático envolvendo DEA foi levantado e apresentado por Cooper *et al* (2007).

A fronteira de eficiência do modelo pode ser desenvolvida de duas formas distintas, a considerar seu comportamento em relação aos inputs e outputs considerados. CCR, desenvolvido por Charnes *et al* (1978), considera retornos de escala constantes (*constant returns to scale* – CRS) para os inputs e outputs, resultando uma fronteira de eficiência com comportamento gráfico linear. Em contrapartida, Banker *et al* (1984) desenvolveu o modelo BCC, para que pudessem ser considerados retornos de escala variáveis (*variable returns to scale* – VRS) para os inputs e outputs, resultando em um modelo cuja fronteira de eficiência apresenta comportamento gráfico composto por segmentos de retas, interligando *DMUs* distintas sob a fronteira.

Mariano *et al.* (2017) aplicaram o DEA em janelas, método comumente usados para dados em painel, consistindo numa comparação das eficiências obtidas para as *DMUs* selecionadas dentro de um intervalo de tempo, o qual é subdividido em grupos de mesma dimensão (janelas). Outro aspecto a ser considerado na modelagem de DEAs, diz respeito como os dados deverão ser tratados no modelo. Segundo Cooper *et al* (2007), uma das versões de DEA tem como objetivo indicar a minimização dos inputs enquanto satisfeitos, ao menos, os níveis dados de outputs; esse é denominado “modelo orientado a inputs” (*input-oriented model*). Em adição, há o “modelo orientado a outputs” (*output-oriented model*), que tem como objetivo a maximização dos outputs sem que haja a necessidade de adição de nenhum dos inputs além daqueles utilizados no modelo.

Seguindo a tendência global de desenvolvimento de estudos científicos a respeito de eficiência de aeroportos com a utilização de DEA, houve diversos estudos seguindo esta metodologia para análise de aeroportos brasileiros, elaborados principalmente nas duas últimas décadas. Fernandes & Pacheco (2002) analisaram a capacidade de 35 aeroportos domésticos brasileiros, com o objetivo de avaliar a eficiência destes aeroportos em relação à quantidade de passageiros transportados. O estudo resultou na obtenção de valores para a eficiência relativa entre os aeroportos, considerando os dados de infraestrutura destes (*input*) e a quantidade anual de passageiros transportados como único output do modelo, sendo considerado como referência os dados de 1998. Além disso, os autores realizaram uma projeção de como estas eficiências relativas se

comportariam com o passar dos anos, considerando a mesma infraestrutura do estudo inicial (dados de *inputs* de 1998) e utilizando como *outputs* as projeções de demandas de passageiros ao longo dos anos seguintes (2002, 2007, 2017), permitindo uma análise de cenários do comportamento projetado das eficiências relativas dos aeroportos a curto, médio e longo prazo.

Moura Neto (2013) realizou uma avaliação da eficiência técnica de 23 aeroportos brasileiros, utilizando na modelagem variáveis relativas à capacidade dinâmica de processadores de passageiros, bagagens e aeronaves, em dados horários, em conjunto com dados referentes ao fluxo de passageiros e aeronaves. O autor traça paralelos entre a metodologia DEA e a função de produção operacional (PEÑA, 2008), analisando os dados a nível de eficiência e produtividade, de forma combinada. Foram analisados 23 aeroportos administrados pela INFRAERO, com movimentação anual superior a 1 milhão de passageiros, e a seleção dos dados a serem considerados como *inputs* e *outputs* do modelo foi feita com auxílio de Análise Fatorial (AF).

Silva, Andrade e Nascimento (2020) aplicaram DEA-BCC orientado a *outputs* para obtenção da eficiência relativa de 44 aeroportos administrados pela INFRAERO, com o objetivo de estudar eventuais melhorias necessárias para que os aeroportos ineficientes pudessem incrementar seu nível operacional. Foram utilizados dados de 2019, considerando comprimento de pista, capacidade de terminal e número de posições no estacionamento de aeronaves como *inputs*, e movimentação de aeronaves e movimentação de passageiros como *outputs*. Como resultado, a modelagem sinalizou que apenas 4 aeroportos se mostraram eficientes; a maior parte dos aeroportos apresentou valores de eficiência entre 15% e 55%.

Negri e Borille (2019) avaliaram a eficiência de 15 relevantes aeroportos brasileiros por meio do método da Análise Envoltória de Dados, utilizando a satisfação dos passageiros como *output*. Usaram o modelo DEA-BCC, e encontraram que 46,66% dos aeroportos avaliados apresentaram eficiência máxima relativa no ano de 2016. Toledo *et al* (2021) realizou um estudo para os aeroportos brasileiros, utilizando o método SBM-DEA e a regressão Tobit, que será apresentada na próxima seção.

Tobit e a regressão em duas etapas

Apesar de se tratar de metodologia com utilização no setor aeroportuário vastamente consolidada na literatura científica mundial, os resultados obtidos com a aplicação de DEA possuem limitações conceituais, no tocante à produção de informações que permitam a compreensão dos fatores que levaram aos valores de eficiência obtidos, mais do que apenas os valores numéricos representativos destas eficiências em si. O uso do DEA fornece uma medida para a eficiência/ineficiência (a “abordagem Farrell”), ao invés de fornecer uma “explicação” para essa eficiência/ineficiência (“abordagem Leibenstein”) (Button & Weyman-Jones, 1994).

Uma forma comum na literatura para compor a aplicação de DEA, de forma a complementar as informações obtidas como resultado do modelo, é a aplicação de uma segunda etapa ao estudo. Muitos estudos vêm utilizando uma abordagem em duas etapas, onde a eficiência é estimada na primeira etapa, e em seguida essa eficiência é aplicada em regressão com covariáveis tipicamente distintas das utilizadas na primeira etapa, representando fatores de influência externa (Simar & Wilson, 2007), ou seja, aquelas variáveis que não podem ser controladas pelos operadores do sistema.

Os modelos de regressão linear mais comuns e fundamentais, como a regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), considera implicitamente que a variável dependente utilizada é quantitativa, enquanto as variáveis independentes são

quantitativas, qualitativas (*dummies*), ou uma combinação delas (Gujarati & Porter, 2011). Desta forma, para abranger a utilização de variáveis dependentes de caráter qualitativo, e demais arranjos de disposição de banco de dados e análises a serem realizadas, foram desenvolvidos modelos ajustados a partir dos modelos de regressão linear primordiais. Dentre estes, na utilização conjunta ao DEA, um deles se vem sendo utilizado de forma recorrente na literatura aeroportuária: o tobit.

Em caráter estatístico, diversas inferências necessárias para análise de regressões lineares também se aplicam aos modelos tobit. A análise dos p-valores dos modelos, por exemplo, são fundamentais para verificação de rejeição da hipótese nula (H0): analisando conjuntamente aos níveis de significância das variáveis em cada modelo, p-valores baixos indicam que a hipótese nula pode ser rejeitada e, portanto, que se trata de um modelo estatisticamente significativo; por outro lado, p-valores altos sugerem um modelo estatisticamente insignificante (hipótese nula não pode ser rejeitada). Um outro teste a ser feito nos modelos é o teste de Fatores de Inflacionamento da Variância (ou *Variance Inflation Factors* – VIF), cujos valores variam a partir de 1,0, e valores acima de 10,0 permitem a inferência de potenciais problemas de colinearidade entre os dados regressores (variáveis livres) dos modelos. Segundo Biaggi *et al* (2017), VIF é uma estatística para detecção da presença de multicolinearidade, que mede o quanto da variância de cada coeficiente de regressão do modelo estatístico se encontra inflado em relação à situação em que as variáveis independentes não estão correlacionadas.

A regressão tobit, originalmente desenvolvida por James Tobin (1958), Prêmio Nobel de economia, é caracterizada por se tratar de uma extensão do modelo probit (ou normit), e considera, portanto, uma FDA Normal em sua estruturação. A diferenciação do tobit para o restante dos métodos de regressão consiste na utilização do método da Máxima Verossimilhança (MV) (Breen, 1996) para assumir valores de Y dentro de um intervalo de “censura”, restrição, se adequando bem às características dos modelos utilizados em caráter complementar ao DEA, visto que os scores de eficiência gerados pelo DEA variam, fundamentalmente, de 0,0 a 1,0. Tobit aplicado em duas etapas tem performance significativamente superior a métodos paramétricos de etapa única, vez que permite analisar o impacto de variáveis socioeconômicas e contextuais na produtividade (Banker & Natarajan, 2008).

O uso conjunto de DEA e regressões é bastante útil para realização de estudos com resultados amplos e gerencialmente valiosos a respeito de operações aeroportuárias. Tsui *et al* (2014) aplicou a abordagem em duas etapas para analisar a eficiência operacional de 21 aeroportos asiáticos entre 2002 e 2011. A primeira etapa apresentou 6 dos 21 aeroportos como eficientes, e a regressão aplicada na segunda etapa forneceu informações relevantes sobre os fatores que influenciaram essas eficiências, positiva e negativamente: (i) mais passageiros internacionais atendidos pelo aeroporto mostraram influenciar negativamente a eficiência destes; (ii) o tamanho da população existente nos entornos do aeroporto exerce influência negativa nos valores obtidos para eficiência; (iii) se a companhia aérea dominante de um aeroporto entra em alguma aliança estratégica global com outras companhias, há uma tendência de melhoria na eficiência do aeroporto “origem”; (iv) um incremento no PIB do país ou cidade origem do aeroporto deve influenciar positivamente sua eficiência.

Outro exemplo da aplicação desta abordagem em duas etapas, Huynh *et al* (2020) desenvolveu um estudo com o objetivo de analisar a capacidade e habilidade competitiva de aeroportos internacionais do sudeste asiático, através da aplicação de SBM-DEA, seguido de tobit, para análise de 9 aeroportos em um período de 7 anos (2012 a 2018). Na modelagem da segunda etapa, além de variáveis adicionais para análise socioeconômica, foram reutilizadas variáveis utilizadas anteriormente no SBM-DEA, mostrando a versatilidade do tobit, bem como o seu bom desempenho de forma complementar ao

DEA em si. Como resultados do estudo, além de apresentar e discorrer a respeito dos resultados do SBM-DEA isoladamente, foi possível apresentar e argumentar acerca dos resultados do tobit, tanto em aspectos “internos” dos aeroportos, através da análise dos coeficientes das variáveis utilizadas anteriormente no SBM-DEA, bem como em aspectos “externos”, com a análise das variáveis adicionais inseridas na regressão, representando fatores de influência do mercado na eficiência dos aeroportos.

Já em relação ao mercado brasileiro, Toledo *et al* (2021) também aplicou a metodologia de regressão em duas etapas, com a utilização de SBM-DEA, seguido da aplicação de tobit para análise de aspectos de influência contextual, com o objetivo de verificar se houve influência das concessões na eficiência de 28 aeroportos brasileiros. O estudo, além de apresentar como resultado que apenas 40% dos 28 aeroportos analisados se mostraram eficientes, apontou quais variáveis econométricas influenciaram positiva ou negativamente as eficiências atestadas na primeira etapa. A conclusão principal do estudo, proveniente da análise conjunta de ambas as etapas, foi que as concessões dos aeroportos brasileiros não melhoraram sua eficiência, vez que, dentre outras características do modelo, a variável *dummy* considerada para representar situação privatizada de determinado aeroporto se mostrou estatisticamente insignificante na regressão Tobit. Até o momento não foram encontrados estudos que considerassem a pandemia da COVID-19.

METODOLOGIA

O estudo em questão foi desenvolvido em cinco etapas executadas em série e em paralelo de forma sequencial. A primeira etapa consiste na definição do tema e objeto de análise, seguido da revisão de literatura, delimitação da área, coleta de dados e definição dos métodos a serem aplicados.

Neste capítulo serão apresentados os aeroportos selecionados para análise, a caracterização do banco de dados e variáveis escolhidas para cada aeroporto, e os procedimentos referentes aos métodos de análise definidos para o estudo: Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA, sigla em inglês) e regressão tobit.

Delimitação da área de estudo e composição do banco de dados

A escolha dos aeroportos a serem analisados foi feita a partir da caracterização do mercado aeroportuário brasileiro e seus principais aeroportos. As variáveis foram então definidas, de acordo com os princípios dos métodos adotados (DEA e tobit), de modo a descrever e justificar a estrutura e movimentação dos aeroportos.

Para isso, utilizou-se dos dados temporais anuais de movimentação aérea dos aeroportos, entre janeiro de 2010 a dezembro de 2020, permitindo a comparação desta situação pré-pandêmica, de 2010 a 2019, e em uma situação de pandemia presente, a partir de março de 2020, levando em consideração a pandemia de SARS-COVID-19 que impactou diretamente o mercado aeroportuário global.

Assim, foram selecionados 17 aeroportos brasileiros, dispostos ao longo de 15 estados das 5 regiões do Brasil, de forma que os resultados possam representar o país em sua totalidade. Os aeroportos escolhidos estão dentre os 25 aeroportos brasileiros com maior movimentação de passageiros no ano de 2020 e foram definidos de acordo com a disponibilidade e acesso aos dados de movimentação de aeronaves registradas, Figura 1.

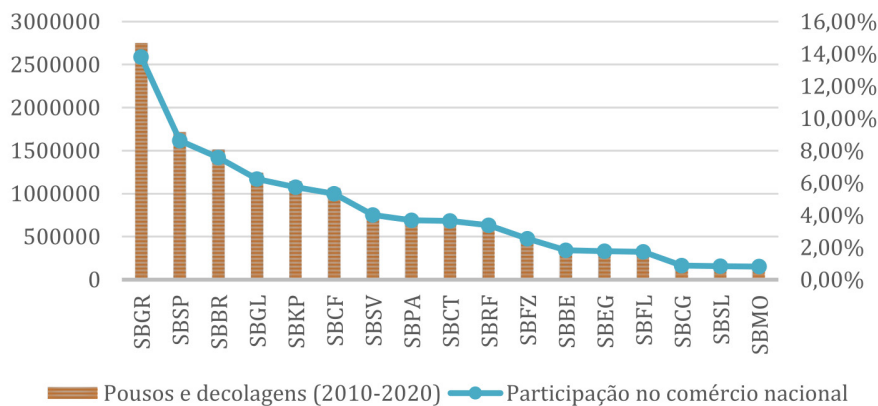


Figura 1. Movimentações de aeronaves nos aeroportos brasileiros e a porcentagem de participação no mercado nacional. Fonte: ANAC (2022).

Os aeroportos então escolhidos foram o Aeroporto de Guarulhos (SBGR), Aeroporto de Congonhas (SBSP), Aeroporto de Brasília (SBBR), Aeroporto do Rio de Janeiro / Galeão (SBGL), Aeroporto de Confins (SBCF), Aeroporto de Campinas (SBKP), Aeroporto de Recife (SBRF), Aeroporto de Porto Alegre (SBPA), Aeroporto de Salvador (SBSV), Aeroporto de Fortaleza (SBFZ), Aeroporto de Curitiba (SBCT), Aeroporto de Florianópolis (SBFL), Aeroporto de Belém (SBBE), Aeroporto de Manaus (SBEG), Aeroporto de Maceió (SBMO), Aeroporto de São Luís (SBSL) e Aeroporto de Campo Grande (SBCG), a Figura 2 traz a localização dos aeroportos e Tabela 2 traz os detalhes de movimentação de aeronaves, de passageiros, carga por aeroporto além da População e Pib Per capita de cada município onde situa o aeroporto.

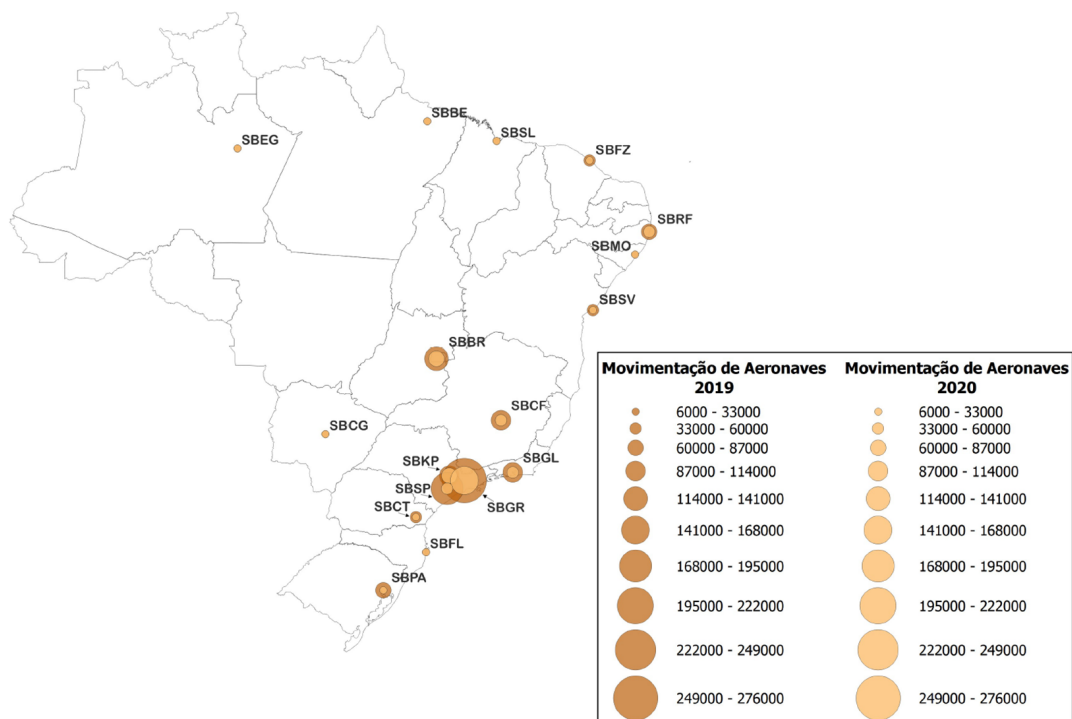


Figura 2. Localização e Movimentações de aeronaves dos aeroportos brasileiros em 2019 e 2020. Fonte: ANAC (2022).

Tabela 2. Dados dos Aeroportos selecionados. Fonte: ANAC (2022).

ICAO	Município	2019			2020			POPULAÇÃO	PIB PER CAPITA
		PAX	AERO	CARGA	PAX	AERO	CARGA		
SBBE	Belém	3.595.433	28.057	22.621.357	2.041.495	17.413	18.244.462	1.393.399	\$13.506,19
SBBR	Brasília	16.866.317	121.410	68.174.795	7.898.152	62.050	34.580.575	2.570.160	\$56.252,90
SBCF	Confins	11.015.683	99.028	35.990.454	4.788.924	44.585	20.146.274	5.936	\$97.786,45
SBCG	Campo Grande	1.501.704	12.772	4.249.655	711.361	6.464	2.555.794	786.797	\$19.167,99
SBCT	Curitiba	6.532.995	59.964	26.848.902	2.546.791	24.262	16.274.505	1.751.907	\$33.272,04
SBEG	Manaus	3.003.600	28.532	116.996.428	1.722.063	19.051	120.986.629	1.802.014	\$27.832,52
SBFL	Florianópolis	3.820.864	30.647	6.563.785	1.823.269	14.734	3.652.900	421.240	\$26.772,55
SBFZ	Fortaleza	7.165.100	47.230	46.014.838	3.126.901	21.951	32.777.006	2.452.185	\$15.118,78
SBGL	Rio de Janeiro	13.919.514	93.616	93.669.609	4.593.015	33.776	47.886.203	6.320.446	\$32.919,88
SBGR	Guarulhos	42.935.329	274.521	521.882.215	20.244.151	147.748	383.035.452	1.221.979	\$29.182,56
SBKP	Campinas	10.607.047	109.724	253.351.167	6.719.291	70.549	314.130.357	1.080.113	\$35.333,08
SBMO	Maceió	2.129.042	15.169	3.303.824	1.146.426	8.759	1.701.299	932.748	\$13.263,67
SBPA	Porto Alegre	8.303.510	66.011	26.894.987	3.479.265	29.345	15.788.278	1.409.351	\$30.302,72
SBRF	Recife	8.770.845	70.715	53.663.399	4.806.953	39.861	42.639.329	1.537.704	\$21.711,85
SBSL	São Luís	1.615.035	12.429	5.568.215	807.849	6.452	3.387.360	1.014.837	\$17.996,55
SBSP	São Paulo	22.830.440	172.051	59.189.876	7.005.557	59.468	17.022.968	11.253.503	\$40.063,79
SBSV	Salvador	7.426.614	57.613	33.203.943	3.715.510	30.688	16.075.821	2.675.656	\$15.229,24

Desta forma, o levantamento das variáveis a compor o banco de dados do trabalho buscaram descrever os aeroportos selecionados tanto na gestão de passageiros quanto na carga aérea (incluindo mala postal). Para isso, foram selecionadas como variáveis explicativas, em recortes anuais de 2010 a 2020, Tabela 3.

Tabela 3. Formato do banco de dados e variáveis utilizadas em cada método de análise definido. Fonte: Elaborado pelos autores.

Método aplicado	Formato dos Dados	Variáveis
Análise Envoltória de Dados (DEA)	Dados em Recortes Anuais	Área do terminal de passageiros (ANAC / INFRAERO / administração dos aeroportos) Comprimento total de pistas (SAC) Movimentação de passageiros (SAC) Número de aeronaves (SAC) Movimentação de carga aérea e de mala postal (SAC)
Regressão Tobit	Painel de Dados	Eficiência Casos de COVID-19 (MS) Área do terminal de passageiros (SAC / INFRAERO / administração dos aeroportos) Comprimento total de pistas (SAC) Movimentação de passageiros (SAC) Número de aeronaves (SAC) Dummy "pandemia" (MS) Dummy "concessões" (ANAC)

Análise Envoltória de Dados – DEA

Para verificar o impacto da pandemia por COVID, além de caracterizar o tipo de movimentação predominante e medir a capacidade de manutenção das operações durante a pandemia em cada aeroporto brasileiro selecionado, foi utilizado o método de medida de eficiência DEA.

Foram definidas as eficiências dos aeroportos em três cenários distintos, Tabela 4, através do modelo clássico de fronteira de retorno de escala variável proposta por Banker, Charnes e Cooper em 1984, o modelo BCC orientado a output. Cada cenário estabelece a capacidade de movimentação de passageiros, cenário 1, de carga, cenário 2, e de passageiros e carga em simultâneo, cenário 3, para os aeroportos de acordo com a sua

infraestrutura existente ao longo dos anos. As modelagens foram realizadas com a utilização do software *MaxDEA 8 Basic*.

Tabela 4. Cenário analisados por DEA para cada aeroporto, com os respectivos inputs e outputs utilizados.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Cenário 1: DEA - Passageiros	
Inputs - PAX	Outputs - PAX
Área do terminal de passageiros (ANAC / INFRAERO / administração dos aeroportos)	Movimentação de passageiros (ANAC)
Comprimento total de pistas (SAC)/ASK (CNT)	Número de aeronaves (SAC)
Cenário 2: DEA - Carga	
Inputs - Carga	Outputs - Carga
Comprimento total de pistas (SAC)/ATK(CNT)	Movimentação de carga aérea (SAC) - kg
	Movimentação de mala postal (SAC) - kg
Cenário 3: DEA – Passageiros e Carga (Total)	
Inputs – Total	Outputs - Total
Comprimento total de pistas (SAC)/ASK/ ATK(CNT)	Movimentação de passageiros (ANAC)
	Número de aeronaves (SAC)
	Movimentação de carga aérea (SAC) - kg
	Movimentação de mala postal (SAC) - kg

A relação entre as quantidades de *DMUs* e soma de inputs e outputs do modelo seguem os requisitos recomendados por Cooper *et al.* (2000), em que, a quantidade de aeroportos analisados no modelo é superior a três vezes a quantidade de inputs e outputs, Equação 1.

$$DMU \geq \max \{inputs * outputs, 3(inputs + outputs)\} \quad (1)$$

Para permitir a comparação das eficiências calculadas pelo DEA com a evolução das infraestruturas de cada aeroporto, optou-se pelo uso da análise das eficiências calculadas pelo DEA em janelas de tempo.

O método da análise dinâmica da eficiência em janelas proposta por Cooper *et al.* (2000), estabelece uma relação temporal entre as *DMUs* definidas. O tamanho das colunas temporais (p), ou janelas, são definidos como subintervalos dos anos verificados (k), Equação 2, e o número de janelas (n) sendo função do tamanho estabelecido, Equação 3.

$$p = (k + 1)/2 \quad (2)$$

$$n = k - p + 1 \quad (3)$$

Regressão por tobit

O modelo de regressão com variável dependente, tobit, permite estabelecer as correlações entre variáveis independentes que indiretamente influenciam na eficiência dos aeroportos observadas nos modelos do cenário 3 do DEA, os *outputs*.

Para isso, foram utilizados os valores de eficiência obtidos no cenário 3 do DEA como variável dependente dos modelos de regressão tobit, visto que, os resultados do modelo são obtidos considerando retornos de escala variáveis, e com isso um comportamento mais próximo da realidade do mercado aeroportuário em geral.

Os resultados indicam que o Aeroporto Internacional de Porto Alegre com eficiência média de 99.88% é o que operou com melhor performance entre 2010 e 2020, com uma baixa variação da eficiência ao longo das janelas. Dentre os aeroportos da amostra, a região sul e sudeste do Brasil se enquadram nas cinco primeiras colocações do ranking estabelecido para o cenário 1.

Considerando as variáveis analisadas nesta pesquisa, os aeroportos da região norte e nordeste do país se encontram nas últimas posições, sendo o Aeroporto Internacional de Manaus o menos eficiente, segundo a amostra analisada, com uma média de 41% no intervalo estudado.

Na Tabela 6 estão listadas análises da eficiência considerando a carga e a mala postal como *output*, o cenário 2. A média das eficiências das *DMUs* em todas as janelas analisadas pela DEA definem a classificação final do ranking.

Tabela 6. Ranking da Eficiência dos Principais Aeroportos Brasileiros – Cenário 2 (Carga). Fonte: Elaborado pelos autores.

Aeroporto	ICAO	Eficiência média - CARGO	Janela 1 (2010 - 2015)	Janela 2 (2011 - 2016)	Janela 3 (2012 - 2017)	Janela 4 (2013 - 2018)	Janela 5 (2014 - 2019)	Janela 6 (2015 - 2020)
Porto Alegre	SBPA	97,80%	98,15%	98,15%	97,30%	97,68%	97,63%	97,88%
Guarulhos	SBGR	97,26%	97,26%	97,26%	96,76%	96,99%	96,25%	99,00%
Manaus	SBEG	91,59%	92,24%	91,86%	90,88%	86,81%	94,19%	93,52%
Campo Grande	SBCG	88,49%	81,49%	89,37%	92,65%	92,51%	91,77%	83,14%
Campinas	SBKP	88,33%	95,20%	90,95%	88,78%	88,36%	87,61%	79,11%
Florianópolis	SBFL	83,80%	75,65%	78,84%	86,54%	85,38%	84,32%	92,08%
Salvador	SBSV	82,07%	92,27%	88,97%	82,57%	75,97%	71,02%	81,65%
Brasília	SBBR	75,01%	80,53%	77,33%	79,29%	74,26%	67,66%	71,00%
Recife	SBRF	72,70%	75,64%	75,76%	76,31%	73,46%	66,70%	68,30%
Fortaleza	SBFZ	57,69%	58,90%	59,49%	59,84%	56,50%	54,99%	56,39%
Belém	SBBE	54,31%	57,99%	58,47%	61,74%	55,04%	48,41%	44,20%
Curitiba	SBCT	51,41%	56,60%	55,07%	53,54%	47,09%	45,42%	50,73%
São Luís	SBSL	51,25%	47,45%	53,50%	60,57%	57,57%	50,01%	38,40%
Confins-MG	SBCF	47,28%	46,79%	49,39%	48,63%	43,06%	43,97%	51,82%
Galeão	SBGL	46,57%	48,91%	46,90%	48,50%	48,10%	45,89%	41,11%
São Paulo	SBSP	26,39%	25,02%	27,37%	26,59%	27,29%	28,12%	23,97%
Maceió	SBMO	12,21%	16,74%	14,92%	11,92%	10,93%	11,26%	7,46%

Os resultados indicam que, assim como no cenário 1, o Aeroporto Internacional de Porto Alegre obteve a melhor resposta para carga, com eficiência média de 97.89%. Em contrapartida, os aeroportos de Manaus e Campo Grande, localizados na região norte e centro-oeste do Brasil se classificam entre os cinco melhores do ranking de carga, sendo o aeroporto de Manaus o último colocado no cenário anterior.

Entre os últimos colocados, o Aeroporto de São Paulo - Congonhas aparece na penúltima posição, com eficiência média relativa de 26.39%, invertendo o quadro observado anteriormente.

Após a aplicação do modelo DEA-BCC para passageiros e cargas separadamente, cenários 1 e 2, foi realizada uma análise em janela para avaliação da eficiência média dos

aeroportos, considerando a maximização conjunta da movimentação de passageiros e carga, cenário 3, Tabela 7.

Tabela 7. Ranking da Eficiência dos Principais Aeroportos Brasileiros – Cenário 3 (Total). Fonte: Elaborado pelos autores.

Aeroporto	ICAO	Eficiência média - TOTAL	Janela 1 (2010 - 2015)	Janela 2 (2011 - 2016)	Janela 3 (2012 - 2017)	Janela 4 (2013 - 2018)	Janela 5 (2014 - 2019)	Janela 6 (2015 - 2020)
Curitiba	SBCT	99.67%	99.97%	99.91%	99.91%	99.91%	99.06%	99.27%
São Paulo	S BSP	99.66%	100.00%	100.00%	100.00%	99.88%	99.88%	98.19%
Florianópolis	SBFL	98.54%	97.94%	98.33%	98.09%	98.47%	98.67%	99.72%
Guarulhos	SBGR	98.43%	96.36%	98.57%	98.43%	98.75%	98.76%	99.73%
Porto Alegre	SBPA	98.17%	89.63%	99.87%	99.85%	99.83%	99.83%	100.00%
Campinas	SBKP	96.54%	98.84%	96.28%	94.88%	94.77%	94.83%	99.65%
Campo Grande	SBCG	94.52%	82.93%	98.30%	97.06%	96.13%	96.35%	96.33%
Manaus	SBEG	94.21%	92.27%	95.17%	93.81%	92.79%	94.82%	96.38%
Confins-MG	SBCF	93.92%	88.55%	93.32%	93.69%	94.90%	95.48%	97.59%
Brasília	SBBR	93.56%	87.93%	98.40%	97.11%	95.58%	92.17%	90.14%
Salvador	SBSV	88.90%	95.52%	93.60%	89.34%	85.67%	81.99%	87.28%
Recife	SBRF	81.17%	78.24%	83.11%	83.91%	82.90%	79.15%	79.72%
Fortaleza	SBFZ	68.85%	67.21%	71.45%	70.48%	68.70%	68.13%	67.12%
Belém	SBBE	64.49%	67.10%	67.35%	66.80%	64.93%	61.64%	59.14%
Galeão	SBGL	62.55%	53.56%	68.23%	67.22%	65.26%	62.49%	58.54%
São Luís	SBSL	59.91%	60.19%	63.20%	65.16%	62.70%	58.34%	49.88%
Maceió	SBMO	55.45%	50.40%	59.03%	57.15%	55.92%	55.95%	54.27%

Os resultados indicam que o Aeroporto Internacional de Curitiba tem uma eficiência média total de 99,67%, ou seja, foi o que conseguiu operar melhor equilibrando carga e passageiros entre 2010 e 2020, dentre os demais aeroportos da amostra. Além disso, assim como no cenário 2, o Aeroporto de Maceió foi considerado o menos eficiente da amostra com 55,45%, seguido pelos aeroportos de São Luís e o Galeão.

Quando verificadas as variações ao longo do tempo, o Aeroporto Internacional de São Luís obteve o maior desvio padrão entre as *DMUs*, Tabela 8. Observa-se a análise considerando os anos de 2010 a 2015, janela 1, a eficiência média do aeroporto foi de 60,19%. Nos anos seguintes, foi verificado um aumento da eficiência média, atingindo um pico de de 90,41% (Janela 5, ano de 2014). Contudo, após esse período, houve um decréscimo na eficiência total em SBSL antes mesmo dos efeitos da pandemia, chegando a 40,36% (Janela 6, ano de 2018), caracterizando uma já existente redução nas movimentações aéreas do aeroporto, sendo agravado pela COVID após um pequeno crescimento observado em 2019.

Tabela 8. Análise em Janela – Aeroporto Internacional de São Luís, cenário 3 (Total). Fonte: Elaborado pelos autores.

Janelas	1	2	3	4	5	6
Eficiências						
SBSL em 2010	58,86%					
SBSL em 2011	57,39%	63,48%				
SBSL em 2012	57,14%	60,77%	60,74%			
SBSL em 2013	59,94%	64,60%	73,64%	73,64%		
SBSL em 2014	68,75%	78,41%	89,44%	89,44%	90,41%	
SBSL em 2015	59,03%	63,10%	72,42%	72,42%	73,06%	78,82%
SBSL em 2016		48,87%	47,86%	47,98%	48,35%	50,93%
SBSL em 2017			46,84%	46,82%	46,45%	46,12%
SBSL em 2018				45,89%	43,95%	40,36%
SBSL em 2019					47,82%	43,67%
SBSL em 2020						39,39%
Média Janelas	60,19%	63,20%	65,16%	62,70%	58,34%	49,88%
Média Total	59,91%	Desvio Padrão total			14,520%	

Essa redução significativa da eficiência pode ser atribuída ao aumento da área do terminal de passageiros. A ampliação da infraestrutura física de um aeroporto contrapondo-se a redução na demanda pelos serviços aéreos fazem com que alguns setores sejam subutilizados, ocasionando assim, uma redução da eficiência.

Uma situação oposta ocorre no Aeroporto Internacional de Curitiba, Tabela 9. Sendo classificado como o mais eficiente após a aplicação do método DEA-BCC e a análise em janela para o cenário 3, tendo atingido eficiência acima de 99% em todas as janelas inclusive na última que contém o ano de influência da pandemia da COVID, e diferente do esperado o ano de 2020, chegou ao máximo de eficiência ao atingir 100% neste ano. O SBCG, como é denominado segundo a ICAO, foi considerado o mais eficiente dentre a amostra, pois, mesmo com redução na movimentação de passageiros e carga em 2020, o significativo aumento nas variáveis de outputs ao longo dos anos analisados, tendo tido um crescimento de quase 11% de passageiros e em média 25% da carga ao longo dos 11 anos estudados, culminaram na resposta positiva deste para o ranking final.

Tabela 9. Análise em Janela – Aeroporto Internacional de Curitiba. Fonte: Elaborado pelos autores.

Janelas	1	2	3	4	5	6
Eficiências						
SBCG em 2010	99,84%					
SBCG em 2011	100,00%	100,00%				
SBCG em 2012	100,00%	100,00%	100,00%			
SBCG em 2013	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%		
SBCG em 2014	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
SBCG em 2015	100,00%	99,45%	99,45%	99,45%	99,35%	99,71%
SBCG em 2016		100,00%	100,00%	100,00%	99,67%	99,76%
SBCG em 2017			100,00%	100,00%	99,22%	99,34%
SBCG em 2018				100,00%	96,12%	96,81%
SBCG em 2019					100,00%	100,00%
SBCG em 2020						
Média Janelas	99,97%	99,91%	99,91%	99,91%	99,06%	99,27%
Média Total	99,67%	Desvio Padrão total			0,828%	

No entanto, o Aeroporto de Porto Alegre que, classificado como o mais eficiente para os cenários 1 e 2, ao serem analisadas as variações ao longo dos anos analisados, Tabela 10, verificasse uma queda na eficiência em 2015, sendo provável devido ao aumento da área do TPS nesse ano.

Tabela 10. Análise em Janela – Aeroporto Internacional de Porto Alegre - Cenário 3 (Total). Fonte: Elaborado pelos autores.

Janelas	1	2	3	4	5	6
SBPA_2010	92.12%					
SBPA_2011	94.34%	100.00%				
SBPA_2012	89.76%	100.00%	100.00%			
SBPA_2013	88.47%	100.00%	100.00%	100.00%		
SBPA_2014	88.16%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	
SBPA_2015	84.93%	99.22%	99.13%	98.99%	99.00%	100.00%
SBPA_2016		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
SBPA_2017			100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
SBPA_2018				100.00%	100.00%	100.00%
SBPA_2019					100.00%	100.00%
SBPA_2020						
Média Janelas	89.63%	99.87%	99.85%	99.83%	99.83%	100.00%
Média Total		98.17%	Desvio Padrão total		4.078%	

Além disso, ao ser verificada a sua variação apenas para o cenário 2, Tabela 11, com a movimentação de carga, o SBPA obteve melhores respostas frente a grandes aeroportos cargueiros nacionais, como os de Guarulhos e Viracopos. Esta situação se deve ao fato de que Porto Alegre é uma das principais rotas para a entrada e saída de insumos produzidos no Mercosul, devido a sua próxima geográfica com os principais países do bloco. Além disso, pode-se observar que mesmo com a pandemia a diminuição na eficiência foi menor se comparado a eficiência dos passageiros.

Tabela 11. Análise em Janela: Aeroporto Internacional de Porto Alegre - Cenário 2 (Carga). Fonte: Elaborado pelos autores.

Janelas	1	2	3	4	5	6
SBPA em 2010	100,00%					
SBPA em 2011	100,00%	100,00%				
SBPA em 2012	100,00%	100,00%	100,00%			
SBPA em 2013	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%		
SBPA em 2014	96,04%	96,04%	96,86%	100,00%	100,00%	
SBPA em 2015	92,83%	92,83%	92,83%	92,78%	96,33%	100,00%
SBPA em 2016		100,00%	94,11%	93,27%	94,26%	94,06%
SBPA em 2017			100,00%	100,00%	100,00%	99,22%
SBPA em 2018				100,00%	100,00%	100,00%
SBPA em 2019					95,21%	93,98%
SBPA em 2020						100,00%
Média Janelas	98,15%	98,15%	97,30%	97,68%	97,63%	97,88%
Média Total		97,80%	Desvio Padrão total		2,898%	

Vale ressaltar que um dos motivos que levou o Aeroporto de Porto Alegre a ser considerado o mais eficiente, mesmo com redução na movimentação de passageiros e carga entre 2016 e 2017, foi o significativo aumento nas variáveis de outputs ao longo dos anos analisados, tendo tido um crescimento de quase 30% de passageiros e 15% da carga ao longo dos 11 anos estudados.

Ao comparar os resultados dos três cenários de DEA, com passageiros, carga e total, conforme Figura 3, pode-se inferir que os passageiros tem uma maior relação como as respostas do ranking no cenário 3 do que as cargas.

Um exemplo dessa hipótese pode ser verificado ao analisar os três primeiros colocados no ranking do cenário 3, do DEA total, os quais também estão nas três primeiras colocações do cenário 1, do DEA de passageiros.

Ao avaliar o quarto, quinto e sexto lugar da eficiência total, respectivamente, Guarulhos, Porto Alegre e Campinas, percebe-se que há um equilíbrio entre cargas e passageiros. Os outros aeroportos, com exceção de Campo Grande e São Luís, em 6º e penúltimo lugar respectivamente, ou tem eficiência alta em carga ou em passageiro.

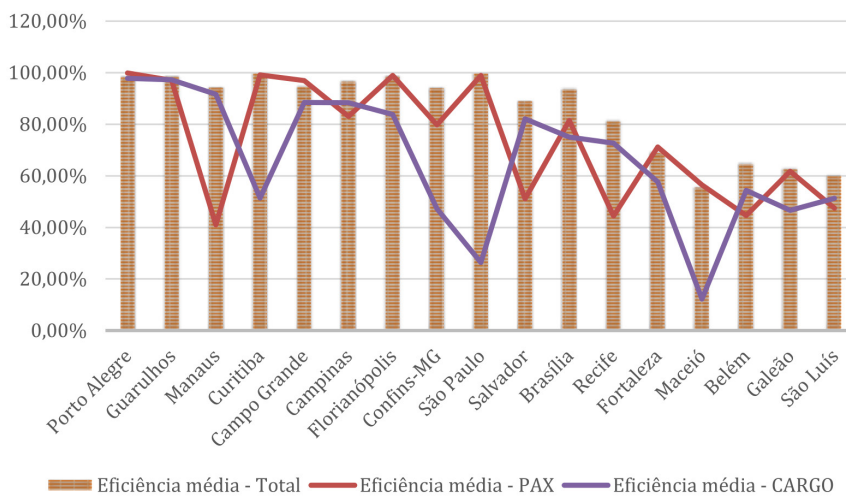


Figura 3. Comparação dos resultados das eficiências médias das janelas para os cenários 1, 2 e 3. Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 4 verifica se a influência da pandemia por COVID-19 na eficiência dos aeroportos brasileiros. As barras representam o número de casos confirmados de COVID-19 na região de influência de cada aeroporto, enquanto a linha preta (com marcadores) representa a eficiência média total e a linha amarela (sem marcadores) a eficiência média total do ano de 2020.

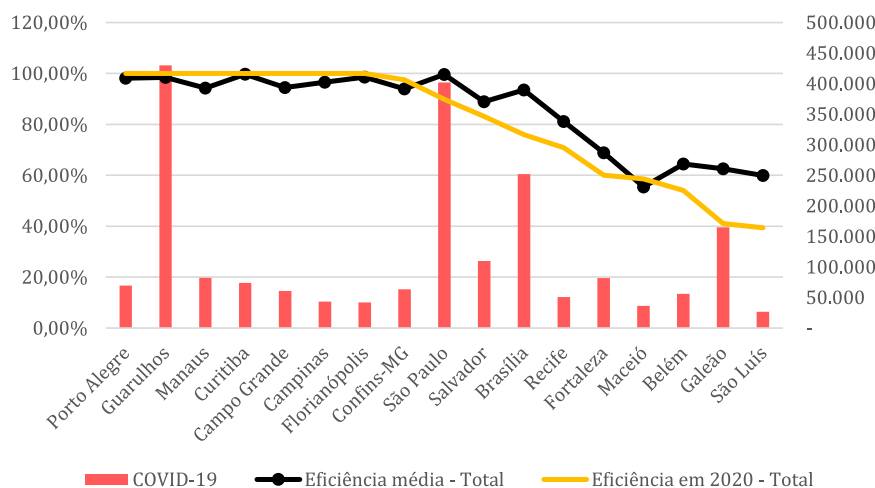


Figura 4. Influência do número de casos de COVID-19 na eficiência média total e em 2020 nos aeroportos analisados. Fonte: Elaborado pelos autores.

Os aeroportos que têm a eficiência em 2020 acima da eficiência média total, são também os aeroportos que têm a maior eficiência de carga para o mesmo ano, com exceção de Curitiba. Os demais aeroportos, com exceção de Maceió que teve valores muito próximos, estão todos com a eficiência de 2020 abaixo da eficiência média total, o que pode indicar que a COVID-19 pode ter afetado a eficiência operacional desses aeroportos, destaque para os aeroportos de Brasília e Galeão que tiveram uma queda mais acentuada que os demais e foram considerados epicentros da doença no Brasil.

A Figura 5 mostra a variação da eficiência entre os anos de 2019 e 2020 de forma identificar mais claramente se houve a influência da pandemia por COVID-19 na eficiência dos aeroportos brasileiros. As barras em vermelho representam a variação no tocante a movimentação de passageiro e as barras em azul a movimentação de carga de cada aeroporto, enquanto a linha verde representa a variação da eficiência total entre esses dois anos.

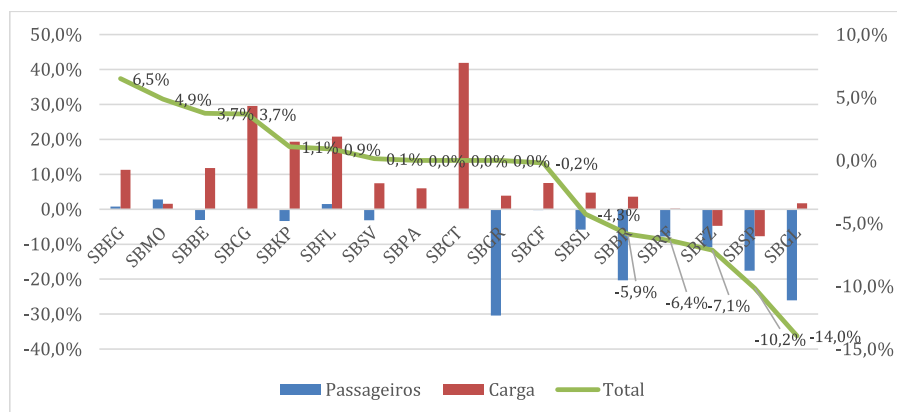


Figura 5. Influência do número de casos de COVID-19 na eficiência média total e em 2020 nos aeroportos analisados. Fonte: Elaborado pelos autores.

Os aeroportos que tiveram um aumento da eficiência em 2020, no tocante a eficiência total, foram: Aeroporto de Manaus, Aeroporto de Maceió, de Belém, Campo Grande, Viracopos, Florianópolis e Salvador, com variação em média de 3%, ou seja, um aumento quase irrisório. Aqueles que mantiveram a eficiência total de 2019 e 2020 iguais foram Porto Alegre, Curitiba e Guarulhos, sendo o que os que perderam em eficiência

foram Confins, São Luís, Brasília, Recife, Fortaleza, São Paulo/Congonhas e Galeão no Rio de Janeiro. No tocante a eficiência de movimentação de passageiros, os únicos que tiveram um aumento foram Maceió, Florianópolis e Manaus, todos os outros diminuíram ou mantiveram-se constantes. Por outro lado, a carga só teve dois aeroportos com uma eficiência menor por conta da pandemia, que foram Fortaleza e São Paulo/Congonhas. Tal resultado pode representar que a carga, pode ter “salvado” alguns aeroportos brasileiros de um choque financeiro ainda maior. Ao avaliar as médias das variações das eficiências de carga, de passageiro e total dos aeroportos brasileiros tem-se como resultados a perda de eficiência no tocante a movimentação de passageiros de -7%, mas o ganho no tocante a carga de cerca de 9%, entretanto, a média da eficiência total entre 2020 e 2019, se manteve com uma pequena variação negativa de cerca de -2%.

A segunda etapa com aplicação da regressão fornecerá mais elementos para inferir se houve ou não influência da COVID-19 na eficiência aeroportuária.

Regressão por tobit

Para a segunda etapa da metodologia proposta, a modelagem tobit em painel (i) foi feita considerando as eficiências médias obtidas no cenário 3, Tabela 6, como variável dependente (Y), e levando em consideração como variáveis independentes (X_i) apresentadas no modelo descrito na Equação 4. Além disso, foram incluídas ainda como variáveis independentes *dummies* anuais e referente a cada aeroporto. Dentre os modelos construídos, o modelo com o resultado mais satisfatório estatisticamente é o modelo apresentado na Tabela 12.

Tabela 12. Modelo tobit selecionado para a previsão da eficiência de passageiros e carga, cenário 3, dos aeroportos. Fonte: Elaborado pelos autores.

Variável	Nomenclatura adotada	Coefficiente	Erro Padrão	p-valor
Constante	const	0,869254	0,0277690	4,25e-215 ***
Dummy Concessões	concessao	0,0248733	0,0151016	0,0995 *
Casos confirmados COVID	COVID_casos	-3,93143e-07	1,48566e-07	0,0081 ***
Dummy ano: 2010	dt_1	-0,00811665	0,0260609	0,7555
Dummy ano: 2011	dt_2	0,0316492	0,0260609	0,2246
Dummy ano: 2012	dt_3	0,0411475	0,0260609	0,1144
Dummy ano: 2013	dt_4	0,0515015	0,0250402	0,0397 **
Dummy ano: 2014	dt_5	0,0732591	0,0250402	0,0034 ***
Dummy ano: 2015	dt_6	0,0270061	0,0244976	0,2703
Dummy ano: 2016	dt_7	-0,00693987	0,0244976	0,7770
Dummy ano: 2017	dt_8	-0,0112162	0,0244976	0,6471
Dummy ano: 2018	dt_9	-0,0222362	-0,9352	0,3497
Dummy ano: 2019	dt_10	-0,0196161	-0,8250	0,4094
Dummy aeroporto: SBBE	du_1	-0,242238	0,024181	1,28E-23 ***
Dummy aeroporto: SBBR	du_2	0,018245	0,0249	0,4637
Dummy aeroporto: SBCE	du_3	0,033142	0,024179	0,1705
Dummy aeroporto: SBCE	du_4	0,058546	0,024178	0,0155 **
Dummy aeroporto: SBCT	du_5	0,116045	0,024171	1,58E-06 ***
Dummy aeroporto: SBEG	du_6	0,078037	0,024167	0,0012 ***
Dummy aeroporto: SBFL	du_7	0,098906	0,023822	3,30E-05 ***
Dummy aeroporto: SBFZ	du_8	-0,214357	0,023807	2,18E-19 ***
Dummy aeroporto: SBGL	du_9	-0,295172	0,024182	2,88E-34 ***
Dummy aeroporto: SBGR	du_10	0,079892	0,024769	0,0013 ***
Dummy aeroporto: SBKP	du_11	0,076665	0,024766	0,002 ***
Dummy aeroporto: SBMO	du_12	-0,324376	0,023994	1,21E-41 ***
Dummy aeroporto: SBPA	du_13	0,091782	0,023811	0,0001 ***
Dummy aeroporto: SBRF	du_14	-0,108179	0,023985	6,47E-06 ***
Dummy aeroporto: SBSL	du_15	-0,315445	0,024203	7,91E-39 ***
Dummy aeroporto: SBSP	du_16	0,121173	0,024413	6,92E-07 ***

Inicialmente, é importante analisar que os coeficientes e resultados das variáveis também utilizadas no DEA-BCC da primeira etapa, foram em sua maioria significativas, entretanto essas também eram influenciadas pelos casos de COVID19 e a *dummy* concessão, e por causar um problema de multicolinearidade, foram retiradas do modelo, assim como as variáveis socioeconômicas. De qualquer forma, é importante ressaltar que a área do terminal de passageiros, o comprimento de pista e a movimentação anual de passageiros apresentaram, assim como verificado por Huynh *et al.* (2020) em seu estudo, que os inputs apresentaram coeficiente negativo, enquanto as variáveis utilizadas como outputs apresentaram coeficientes positivos.

Essas variáveis foram retiradas do modelo para encontrar a influência de dois fenômenos externos não controlados pelos operadores.

A *dummy* “concessão” e os casos de COVID apresentaram p-valores abaixo de 10% portanto significantes, assim como algumas variáveis *dummies* representando os anos e os aeroportos. Especificamente falando da variável concessão, diferente de Toledo *et al* (2021) ela foi significativa e apresentando um sinal positivo, ou seja, aeroportos concedidos tendem a ser mais eficientes que os não concedidos, muito provavelmente relacionado ao fato que os operadores privados tem uma maior celeridade em alguns processos. Em contrapartida, a variável casos de confirmados de COVID representando a “pandemia” teve um sinal negativo, demonstrando que a pandemia impactou negativamente na eficiência dos aeroportos, como esperado. Ao avaliar as *dummies* anuais, as únicas se mostraram significativas foram os anos 2013 e 2014, ambas com sinal positivo, podendo inferir que nesses dois anos as eficiências dos aeroportos foram maiores que os outros anos, talvez o evento Copa do Mundo de Futebol no Brasil possa ter influenciado.

Por fim, ao avaliar as *dummies* relativas aos aeroportos, somente duas não foram significativas, referentes aos Aeroportos de Brasília e Confins-MG. Ao avaliar os aeroportos que tiveram p-valores significativos, tem-se que os aeroportos de Campo Grande, Curitiba, Manaus, Florianópolis, Guarulhos, Viracopos, Porto Alegre e Congonhas são tendem a ser mais eficientes que os outros, sendo o de Congonhas o mais eficiente, seguido por Curitiba, Florianópolis, o que está condizente com o encontrado pelo ranking do cenário 3. Por outro lado, os aeroportos que têm o sinal negativo, são: Belém, Fortaleza, Galeão, Maceió, Recife e São Luís, sendo o de Maceió o menos eficiente e antes dele São Luís.

CONCLUSÃO

A análise das eficiências em janelas permite caracterizar a capacidade dos aeroportos e estabelecer a influência da infraestrutura na movimentação observada. Diante disso, as respostas obtidas indicam que, apesar de unificada, as eficiências considerando o número de passageiros transportados em um aeroporto possuem maior peso na categorização da eficiência total destes. Além disso, para o Brasil, a região sul e sudeste possui os aeroportos de maior influência, ao obterem os maiores ranques em todos os cenários avaliados.

Considerando todos os cenários DEA aplicados, quando a ampliação do terminal de passageiros não tem como resposta um crescimento na demanda, pode ser um indicativo de que a performance desse aeroporto poderá diminuir. Na ocorrência da pandemia, o comportamento da maioria dos aeroportos brasileiros foi de perda de eficiência, visto estarem trabalhado com a demanda abaixo da esperada. Aeroportos concessionados ou que tiveram reformas devido a eventos ocorridos dentro do intervalo analisado, 2010 a 2020, foram os mais atingidos com uma resposta negativa na eficiência total.

Um indicativo válido das análises em janelas é de acompanhar o fluxo de um aeroporto antes mesmo dos efeitos da pandemia por COVID-19. O aeroporto de São Luís, por exemplo, já vinha de uma redução na demanda de passageiros. Este fator serve como um indicativo ao serem realizados estudos ou ao serem pensadas possíveis políticas de subsídios estatais ou privadas a retomada do crescimento aéreo nacional. Priorizar reformas e ampliações nos aeroportos do Brasil pode partir, em primeiro plano, em avaliar a possibilidade de desenvolver uma capacidade de movimentação distinta a

comum, como no caso de Manaus, em que a carga sobressai a movimentação de passageiros, deixando uma margem de infraestrutura que poderia ser utilizada.

Um dos fatores mais importantes do artigo foi de verificar se a pandemia da COVID-19 teve influência na eficiência dos aeroportos brasileiros, tanto do ponto de vista da carga, quanto de passageiros. Considerado os resultados do DEA, pode-se concluir que em média os aeroportos brasileiros perderam em eficiência no tocante a movimentação de passageiros, mas ganharam no tocante a carga, entretanto, a média da eficiência total entre 2020 e 2019, se manteve com uma variação negativa, demonstrando que a pandemia da COVID-19 teve um impacto negativo na eficiência dos aeroportos brasileiros.

A análise dos resultados dos DEA no aspecto das concessões, permitiu concluir uma tendência de melhoria e evolução nos contratos e acordos firmados nas rodadas de concessão, indicando uma tendência de que as próximas concessões influenciarão de forma mais positiva os aeroportos cedidos, em comparação aos aeroportos já concedidos até então. Valendo salientar que, o grupo de aeroportos concessionados foi avaliado levando em consideração os aeroportos de maior movimentação. Acompanhar os efeitos em um grupo concedido por inteiro pode indicar uma disparidade de investimentos por parte das concessões realizadas.

Os resultados da regressão Tobit, validaram os resultados do DEA, trazendo conclusões importantes como o fato dos aeroportos concedidos brasileiros serem mais eficientes do que os não concedidos. Além disso, a variável que representou a “pandemia” teve um sinal negativo, demonstrando que a pandemia impactou negativamente na eficiência dos aeroportos, como obtido pelo DEA.

O estabelecimento de cenários de estudo permitiu que avaliações dos aeroportos em grupos majoritários indicassem um comportamento específico das áreas de atuação predominante de cada um. Contudo, algumas lacunas não atendidas pelo estudo podem ser analisadas a fim de que uma resposta mais adequada a realidade de cada grupo ou região do país possa ser efetuado.

Alguns indicativos para complementar o estudo realizado seria o emprego de testes de validação dos modelos DEA aplicados, *bootstrap*, permitem uma avaliação estatística do método, além de indicar a correlação entre os *inputs* e *outputs* com maior precisão. Além disso, estimar a eficiência de escala e tecnológica dos aeroportos podem servir como indicativos da influência da infraestrutura aeroportuária em cada cenário de estudo, passageiros ou carga.

O modelo de regressão com variável dependente pode ainda ser aplicado com outras variáveis indiretas a fim de que sejam identificadas as influências nas eficiências. Tanto questões meteorológicas, como econômicas ou políticas podem ser aplicadas ao modelo obtido, estabelecendo uma resposta com maior significância.

BIBLIOGRAFIA

- » ANAC – Agência Nacional de Águas e Clima. *Dados e Estatísticas*. Brasil, 2006, ANAC. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas>>. Acesso em: 11 de fev. de 2022.
- » ANAC – Agência Nacional de Águas e Clima. *Dados abertos*. Brasil, 2022, ANAC. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/aceso-a-informacao/dados-abertos/ppli-de-atuacao/todos-os-dados-abertos>>. Acesso em: 14 de jan. 2022.
- » Banker, Rajiv D.; Natarajan, Ram. “Evaluating Contextual Variables Affecting Productivity Using Data Envelopment Analysis”. *Operations Research*, vol. 56, no 1, fevereiro de 2008, p. 48–58. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1287/opre.1070.0460>
- » Breen, Richard. *Regression models: censored, sample selected or truncated data*. Newbury Park, Califórnia: Sage Publications, 1996.
- » Button, Kenneth; Weyman-Jones, Thomas G. “X-Efficiency and Technical Efficiency”. *Public Choice*, vol. 80, n. 1-2, p. 83-104, Holanda, 1994.
- » Cavaignac, Laurent; Petiot; Romain. “A Quarter Century of Data Envelopment Analysis Applied to the Transport Sector: A Bibliometric Analysis”. *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 57, março de 2017, p. 84–96. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.seps.2016.11.003>
- » CIA – Central Intelligence Agency. *Relação de quantidades de aeródromos por país*. Governo Federal, Agência Central de Inteligência, Estados Unidos, 2022. Disponível em: <<https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/airports/country-comparison>>. Acessado em 15 de jan. de 2022.
- » Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software* (Vol. 2, p. 489). New York: Springer.
- » Cooper, William W.; Seiford, Lawrence M; Tone, Kaoru. “Data Envelopment Analysis - A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software” Kluwer Academics Publisher, 2007.
- » Da Rocha, Luis E. C. “Structural evolution of the Brazilian airport network”. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, vol. 2009, no 04, abril de 2009, p. P04020. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2009/04/P04020>
- » Da Silva, Francisco Gildemir Ferreira; Rodrigues, Júlia Andrade da Silva; Falcão, Viviane Adriano. “Análise dos ganhos de eficiência dos aeroportos concedidos no primeiro grupo de leilões brasileiros”. 33º Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes da ANPET, Balneário Camboriú/SC, 2019, Brasil.
- » De Biaggi, Maria Lucia Sabedotti; Medvid, Marcelo; de Assis, Cynthia Marília Carraro. “FATOR DE INFLAÇÃO DA VARIÂNCIA E REGRESSÕES AUXILIARES PARA DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA DE MULTICOLINEARIDADE NOS MODELOS DE REGRESSÃO”. XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, IBAPE/PR, Brasil, 2017.

- » Falcão, Viviane Adriano; da Silva, Francisco Gildemir Ferreira; de Oliveira, Francisco Heber Lacerda; Negri, Nathane Ana Rosa; de Andrade, Maurício Oliveira; Brasileiro, Anísio; Eller, Rogéria de Arantes Gomes; Macário, Rosário. “*Scientific Investigations in Air Transport about Brazil: A Bibliometric Review*”. *Case Studies on Transport Policy*, vol. 9, no 4, dezembro de 2021, p. 1912–21. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.10.012>
- » Fernandes, Elton; Rodrigues, Ricardo. “*Efficient use of airport capacity*”. *Transportation Research Part A*, vol. 36, 2002, p. 225-238.
- » Fernandes, Elton; Rodrigues, Ricardo. “*Managerial Performance of Airports in Brazil before and after Concessions*”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 118, dezembro de 2018, p. 245–57. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.09.003>
- » Forsyth, Peter; Guimard, Cathal; Niemeier, Hans-Martin. “*Covid –19, the Collapse in Passenger Demand and Airport Charges*”. *Journal of Air Transport Management*, vol. 89, outubro de 2020, p. 101932. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101932>
- » Gabrielli, L.; Deutschmann, E.; Natale, F. *et al. Dissecting global air traffic data to discern pplied e types and trends of transnational human mobility*. EPJ Data Sci., 8. Ed, 26p. 2019.
- » GRET. Software, 2021. Disponível em: <<http://gretl.sourceforge.net/>>. Acessado em: 10 de out. de 2021.
- » Gujarati, Damodar N.; Porter, Dawn C. “*Econometria Básica*”. McGraw Hill, 5ª ed, 2011.
- » HÓRUS – Sac Minfra. *Gerencial, Módulo de Informações Gerenciais*. Governo Federal, Ministério da Infraestrutura, Secretaria Nacional de Aviação Civil, Brasil, 2022. Disponível em: <<https://horus.labtrans.ufsc.br/gerencial/?auth=s#Principal>>. Acessado em 13 de fev.. de 2022.
- » Huynh, Triet Minh; Kim, Gyuseung; Há, Hun-Koo. “*Comparative Analysis of Efficiency for Major Southeast Asia Airports: A Two-Stage Approach*”. *Journal of Air Transport Management*, vol. 89, outubro de 2020, p. 101898. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101898>
- » IATA - International Air Transport Association. *Annual Reviews. 75th Annual General Meeting*, Seoul, Jun. de 2019, IATA. Disponível em: <<https://www.iata.org/en/publications/annual-review>>. Acessado em 13 de fev. de 2022.
- » IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estatísticas sociais e econômicas*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas>> Acessado em 14 de jan. de 2022.
- » ICAO - International Civil Aviation Organization. *Annual Reports of the Council*. Disponível em: <<https://www.icao.int/publications/pages/annual-reports.aspx>>. Acesso em: 14 de jan. 2022.
- » INFRAERO. *Dados sobre aeroportos públicos brasileiros*. Disponível em: <<https://www4.infraero.gov.br/>>. Acessado em 13 de fev. de 2022.
- » Iyer, K. Chandrashekhar; Jain, Soumya. “*Performance Measurement of Airports Using Data Envelopment Analysis: A Review of Methods and Findings*”. *Journal of Air Transport Management*, vol. 81, outubro de 2019, p. 101707. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2019.101707>
- » Lakew, P. A. *Airport Traffic and Metropolitan Economies*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2471(1), 58–72p. 2015.

- » Lampe, Hannes W.; Hilgers, Dennis. “*Trajectories of Efficiency Measurement: A Bibliometric Analysis of DEA and SFA*”. *European Journal of Operational Research*, vol. 240, no 1, janeiro de 2015, p. 1–21. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.04.041>
- » Marazzo, Marcial; Scherre, Rafael; Fernandes, Elton. “*Air Transport Demand and Economic Growth in Brazil: A Time Series Analysis*”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 46, no 2, março de 2010, p. 261–69. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.tre.2009.08.008>
- » Mariano, Enzo Barberio; Gobbo, José Alcides; Camioto, Flávia de Castro e Rebelatto, Daisy Aparecida do Nascimento. CO₂ emissions and logistics performance: a composite index proposal, *Journal of Cleaner Production*, Volume 163, 2017, Pages 166-178, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.084>
- » MaxDEA 8 Basic. Software, 2021. Disponível em: < <http://maxdea.com/MaxDEA.html> >. Acessado em: 10 de out. de 2021.
- » MS - Ministério da Saúde. *Dados e Informações sobre a pandemia da Covid-19*. Governo Federal, Ministério da Saúde, Brasil. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br>>. Acessado em 14 de jan. de 2022.
- » Moura Neto, Arthur. “*Eficiência técnica: uma avaliação de aeroportos brasileiros*”. *Journal of Transport Literature*, vol. 7, n. 4, p. 147-174, 2013.
- » Nakamura, Hiroki; Managi, Shunsuke. “*Airport Risk of Importation and Exportation of the COVID-19 Pandemic*”. *Transport Policy*, vol. 96, setembro de 2020, p. 40–47. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.06.018>
- » Negri, Nathane Ana Rosa; Borille, Giovanna Miceli Ronzani. “*Eficiência dos terminais aeroportuários brasileiros considerando a percepção de satisfação do passageiro*”. *TRANSPORTES*, vol. 27, no 1, abril de 2019, p. 96–110. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.14295/transportes.v27i1.1572>
- » OMS – Organização Mundial da Saúde. *Informações sobre a Covid-19*. OMS, 2022. Disponível em: <<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>>. Acesso em: 14 de jan. 2022.
- » Pels, Eric; Nijkamp, Peter; Rietveld, Piet. “*Relative efficiency of European airports*”. *Universidade Gratuita de Amsterdã, Departamento de Economia Regional, Holand*, vol. 8, p. 183-192, 2001.
- » Peña, Carlos Rosano. “*Um Modelo de Avaliação da Eficiência da Administração Pública através do Método Análise Envolvória de Dados (DEA)*”. *RAC, Curitiba*, v. 12, n. 1, p. 83-106,
- » Resende, Caio Cordeiro. *Avaliando o impacto da política de privatização de aeroportos brasileira: uma abordagem por controle sintético*. Prêmio SEPLAN de Monografias, 2º lugar, 2017.
- » Schaar, David; Sherry, Lance. “*Comparison of Data Envelopment Analysis methods used in airport benchmarking*” *Universidade George Mason, Departamento de Engenharia de Sistemas e Pesquisa Operacional, Virgínia, Estados Unidos*, 2008.
- » Silva, A. A.; Andrade, L. E.; Nascimento, M. V. “*ESTUDO APLICADO DE DEA PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS AEROPORTOS DA INFRAERO*”. *CIMATech*, vol. 1, no 7, dezembro de 2020, p. 40–49. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.37619/issn2447-5378.v7i1.328.40-49.2008>

- » Simar, Léopold; Wilson, Paul W. “*Estimation and Inference in Two-Stage, Semi-Parametric Models of Production Processes*”. *Journal of Econometrics*, vol. 136, no 1, janeiro de 2007, p. 31–64. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.07.009>
- » Sun, Xiaoqian; Wandelt, Sebastian; Zhang, Anming. “*How Did COVID-19 Impact Air Transportation? A First Peek through the Lens of Complex Networks*”. *Journal of Air Transport Management*, vol. 89, outubro de 2020, p. 101928. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101928>
- » Tatem, A. J.; Hay, S. I.; Rogers, D. J. *Global traffic and disease vector dispersal*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(16), 6242–6247p. 2006.
- » Tobin, James. “*Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables*”. *Econometrica*, vol. 26, no 1, janeiro de 1958, p. 24. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.2307/1907382>
- » Toledo, Fernanda Silva; Falcão, Viviane Adriano; Camioto, Flávia de Castro; da Silva, Paulo Afonso Lopes. “*Does privatization make Brazilian airports more efficient?*” *TRANSPORTES*, agosto de 2021. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.14295/transportes.v29i2.2304>
- » Tsui, Wai Hong Kan; Balli, Hatice Ozer; Gilbey, Andrew; Gow, Hamish. “*Operational Efficiency of Asia–Pacific Airports*”. *Journal of Air Transport Management*, vol. 40, agosto de 2014, p. 16–24. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.05.003>
- » Brasil. *Lei nº 11.182*, de 27 de setembro de 2005. Cria a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, e dá outras providências. Brasília, DF, 27 set. 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11182.htm. Acesso em: 20 jun. 2022.
- » Brasil. *Medida Provisória nº 527*, de 18 de março de 2011. Altera a Lei no 10.683, de 28 de maio de 2003, que dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, cria a Secretaria de Aviação Civil, altera a legislação da Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC e da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária -INFRAERO, cria cargos de Ministro de Estado e cargos em comissão, dispõe sobre a contratação de controladores de tráfego aéreo temporários, cria cargos de Controlador de Tráfego Aéreo. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, n. 53-A, p. 1-3, 18 mar. 2011. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/medidas-provisorias/medida-provisoria-ndeg-527-de-18-03-2011/@@display-file/arquivo_norma/MPV%20527.pdf. Acesso em: 20 jun. 2022.
- » Da Silva, F. G. F.; Rodrigues, J. A. S.; Falcao, V. A. (2019). Análise dos Ganhos de Eficiência dos Aeroportos Concedidos no Primeiro Grupo de Leilões Brasileiros. In: *Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET*, 2019, Balneário Camburiú. 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET.
- » Domingos, M. C. F.; Falcao, V. A., Da Silva, F. G. F. (2020) Análise dos Fatores que Influenciam a Escolha Aeroportuária no Nordeste do Brasil. In: *34º Congresso Anual da ANPET*, 2020, 100% digital. 4º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET 100% Digital.
- » Guasch, J. L. (2004). *Granting and Renegotiating Infrastructure Concessions: Doing it Right*. *WBI Development Studies*. Washington, DC: World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/15024>. License: CC BY 3.0 IGO.

- » Saussier, S. & Brux, J. (2018). *The Economics of Public-Private Partnerships: Theoretical and Empirical Developments*.

Viviane Falcão / viviane.afalcao@ufpe.br

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Ceará, mestre em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica e doutora em Engenharia de Transportes pelo PETRAN/UFC. É professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da mesma universidade. Realiza estudos em aeroportos, econometria, transporte aéreo e pesquisa operacional.

Hélio Queiroz Júnior / helio.junior@ufpe.br

Mestrando do Programa em Engenharia Civil PPGEC da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, campus sede. Realiza estudos nas áreas de: aeroportos, transporte aéreo, com ênfase em economia dos transportes aéreo, econometria, operação dos aeroportos, big data e machine learning.

Lucas Mendes / lucas.tbmendes@hotmail.com

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, campus sede. Atualmente é Trainee da INFRAWAY Engenharia trabalhando nas áreas de: projeto e execução de infraestrutura de transportes, com ênfase em aeroportos.

Francisco da Silva / gildemir@ufc.br

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará, mestre em Transportes pela Universidade de Brasília (2006) e doutor em Economia pelo CAEN/UFC. Atualmente é professor Adjunto do Curso de Finanças da FEAAAC/UFC. Realiza estudos em Indústrias de Rede com foco em infraestruturas.