

Aplicação da *Window Analysis* na determinação da eficiência de aeroportos internacionais brasileiros no período de 2010 a 2017

Maiquiel Schmidt de Oliveira, Franklin Angelo Krukoski, Leonardo Maldaner, Maressa Fontana Mezoni, Camila Nicola Boeri Di Domênico

Resumo: Os aeroportos internacionais brasileiros vêm sofrendo profundas mudanças ao longo dos últimos anos. Com o início das concessões para a iniciativa privada a partir de 2011 e com a realização da Copa do Mundo de 2014 no Brasil, diversas mudanças eram esperadas na infraestrutura física e nos entornos desses aeroportos. Nesse sentido, é importante realizar uma análise da eficiência para identificar possíveis avanços na prestação de seus serviços. Para essa análise, considerou-se 23 aeroportos, no sentido da maior Movimentação de Passageiros para o ano de 2017, produto considerado nessa análise. Aplicou-se o método denominado Análise Envoltória de Dados (DEA), com índice composto por 3 insumos e 1 produto, para o período compreendido entre 2010 e 2017. Ainda, foi aplicado o modelo *Window Analysis* que permite essa análise ao longo de um período de tempo. Com isso, nenhum dos aeroportos foi eficiente durante todos os períodos e janelas. Guarulhos (SP) e Florianópolis (SC) obtiveram as melhores eficiências médias no período considerado e Porto Velho (RR) e Manaus (AM) tiveram os piores desempenho.

Palavras chave: Aeroportos internacionais brasileiros, *Window Analysis*, Análise Envoltória de Dados, Eficiência.

Application of *Window Analysis* to determine the efficiency of Brazilian international airports from 2010 to 2017

Abstract: Brazilian international airports have been changing over the last years. With the start of concessions for the private sector from 2011 and the 2014 World Cup in Brazil, several changes were expected in the physical infrastructure and in the surroundings of these airports. In this sense, it is important to perform an efficiency analysis to identify possible advances in the provision of its services. For this analysis, 23 airports were considered, and the largest passenger movement for 2017, were the product considered in the analysis. The method called Data Envelopment Analysis (DEA) was applied, with an index composed by 3 inputs and 1 product, between 2010 and 2017. Also, the *Window Analysis* model was applied, which allows this analysis over this period. The results shows that, none of the airports was efficient during all periods and windows. Guarulhos (SP) and Florianópolis (SC) had the best average efficiencies in the period considered and Porto Velho (RR) and Manaus (AM) had the worst performance.

Key-words: Brazilian International Airports, *Window Analysis*, Data Envelopment Analysis, Efficiency.

1. Introdução

Os aeroportos internacionais brasileiros vêm sofrendo grandes transformações, principalmente na sua infraestrutura, a partir das primeiras concessões para a iniciativa privada. Tais concessões tiveram seu início em 2011, com a do aeroporto de São Gonçalo do Amarante, no Rio Grande do Norte. O início efetivo da privatização desse aeroporto se deu em janeiro de 2012, segundo a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) (2019).

No Brasil, a ANAC é uma agência que regulamenta e supervisiona as atividades de aviação civil

no país. A INFRAERO (Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária) é responsável pela administração dos aeroportos públicos brasileiros. O objetivo é realizar a concessão de todos os aeroportos brasileiros até o ano de 2022, segundo a INFRAERO (2019).

Mudanças profundas na infraestrutura dos aeroportos também eram esperadas devido à Copa do Mundo de 2014, porém muitas das obras ficaram inacabadas e essas melhorias não foram implementadas.

Realizar uma análise da eficiência dos aeroportos internacionais brasileiros é importante para avaliar sua competitividade em um âmbito nacional e internacional. Alguns estudos já realizados avaliaram a eficiência de aeroportos internacionais brasileiros, como os de Mello e Gomes (2004); Almeida, Mariano e Rebelatto (2007); Bergiante, Mello e Santo Jr. (2011); Périco, Santana e Rebelatto (2017).

Os modelos envolvendo Análise Envoltória de Dados (DEA) permitem que seja realizada uma análise de eficiência a partir de diferentes considerações e de diferentes insumos e produtos. Nos estudos citados, destacam-se a utilização dos modelos CCR e BCC, porém nenhum desses realizou uma análise de eficiência ao longo de um período de tempo, o que permite verificar se os aeroportos mantêm sua eficiência por determinados períodos.

Nesse sentido, esse estudo objetiva realizar uma análise de eficiência de aeroportos internacionais brasileiros através da Análise Envoltória de Dados (DEA), através do modelo *Window Analysis* (Análise de Janelas). Isso permite que seja avaliada a eficiência dos mesmos ao longo de um período de tempo.

2. Análise Envoltória de Dados

Existe um grande número de publicações envolvendo a Análise Envoltória de Dados (DEA) na avaliação da eficiência de diferentes unidades produtivas.

Segundo Oliveira, Azambuja e Lima (2012), as origens da técnica Análise Envoltória de Dados (DEA) (ou Data Envelopment Analysis), remontam aos estudos de FARREL (1957), publicados em um artigo clássico sobre mensuração da eficiência de unidades produtivas que utilizam os mesmos recursos (inputs) e produtos (outputs) para realizarem tarefas semelhantes. Cabe destacar que houve um desenvolvimento da técnica DEA por CHARNES, COOPER & RHODES (1978) no sentido de aproximá-la de problemas práticos por meio de premissas mais realistas.

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma técnica de programação linear não-paramétrica que permite avaliar a eficiência de unidades produtivas, denominadas DMU (*Decision Making Units*).

Os dois modelos mais tradicionais de DEA são o CCR (retornos constantes à escala) e BCC (retornos variáveis à escala). Segundo Banker et al. (1984) *apud* Périco, Santana e Rebelatto (2017), o modelo BCC orientado para produto, por exemplo, é descrito pela equação 1:

$$\text{maximizar } \sum_{i=1}^n v_i x_{ki} + v_k \quad (1)$$

sujeito a:

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{jr} - \sum_{i=1}^n v_i x_{jr} - v_k \geq 0$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

onde:

y = produtos; x = insumos/ u, v = pesos/ $r=1, \dots, m$; $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, n$.

Nesses modelos a eficiência ao longo do tempo é ignorada, sendo que as DMUs são comparadas umas com as outras durante um momento desse período. O papel da *Window Analysis* nesse contexto é fornecer a possibilidade de que DMUs sejam analisadas quanto à sua eficiência durante um período de tempo.

Segundo Ferreira e Gomes (2009), Charnes et al. (1985) foram os pioneiros na técnica *Window Analysis*, visando analisar as variações na eficiência técnica relativa, que considera cada DMU ao longo do tempo, como se fosse uma unidade distinta. Essa técnica permite analisar eficiência de estabilidade e sensibilidade dos escores de eficiência técnica e a tendência da eficiência da DMU.

Cullinane et al. (2004) afirma que comparar DMUs em um período único pode trazer resultados tendenciosos, que podem ser refletidos em uma análise mais real da eficiência aplicando uma análise ao longo de um período de tempo.

Lovell (1996) ressalta que a abordagem da Análise de Janelas (*Window Analysis*) não fornece nenhuma evidência sobre a natureza do progresso tecnológico (deslocamento da fronteira) e mostra pouca informação sobre as mudanças na produtividade. Porém, essa análise auxilia na avaliação temporal de cada unidade, podendo-se supor ou verificar, caso existam, possíveis causas de variações nos escores de eficiência.

Segundo Ferreira e Gomes (2009) existem algumas fórmulas que permitem calcular valores de referência importantes para a Análise de Janelas. O cálculo do número de janelas é realizado pela Equação 2:

$$n = p - w + 1 \quad (2)$$

Onde:

n = número de janelas

p = número de períodos

w = tamanho da janela

O número de DMUs em cada janela é dado pela Equação 3:

$$\text{Número de DMUs em cada janela} = \frac{k \cdot w}{2} \quad (3)$$

O número de DMUs virtuais é descrito pela Equação 4:

$$\text{Número de DMUs virtuais} = k \cdot w \cdot n \quad (4)$$

O tamanho das janelas utilizadas em uma análise é calculado pela Equação 5:

$$w = \frac{p+1}{2} \quad (5)$$

Para esse estudo considerou-se o tamanho de janelas igual a 3, o que é sugerido no trabalho pioneiro dessa técnica, Charnes et al. (1985).

2.1 Aplicação da *Window Analysis* em diferentes áreas

Azambuja, Oliveira e Lima (2015) realizaram uma aplicação da *Window Analysis* em terminais de contêineres brasileiros. Nessa análise foram considerados 13 terminais no período de 2004 a 2011. O modelo foi orientado a produto, sendo as variáveis consideradas “Movimentação de contêineres” (produto) e “Número de acessos” e “Número de berços” (insumos). O TECON Santos (SP) se mostrou eficiente durante todo o período analisado.

Al-Eraqui et al. (2008) analisaram a eficiência de 22 portos marítimos do Oriente Médio e da África Oriental no período compreendido entre 2000 e 2006 utilizando a técnica DEA, através dos modelos CCR, BCC e *Window Analysis*. Verificou-se que alguns portos se mantiveram eficientes ao longo do tempo e nos diferentes modelos aplicados.

Cullinane et al. (2004) propuseram uma análise da eficiência de 25 terminais de contêineres com a *Window Analysis* durante o período de 1992 a 1999. Nessa análise nenhum terminal foi eficiente durante todo o período analisado, destacando-se o Colombo, cuja eficiência média nas janelas foi de aproximadamente 0,99.

3. Resultados

Para esse estudo foram considerados os 23 maiores aeroportos internacionais brasileiros, no que se refere a movimentação de passageiros do ano de 2017, que são: Porto Alegre (RS), Florianópolis (SC), Curitiba (PR), Fortaleza (CE), Recife (PE), Salvador (BA), Manaus (AM), Rio de Janeiro (RJ), Belém (PA), Foz do Iguaçu (PR), Goiânia (GO), Cuiabá (MT), Campo Grande (MS), Navegantes (SC), Maceió (AL), São Luís (MA), Porto Velho (RO), Macapá (AP), João Pessoa (PB), Guarulhos (SP), Brasília (DF), Belo Horizonte (MG) e Aracaju (SE).

O índice de eficiência utilizado baseou-se em uma análise preliminar realizada com o modelo BCC orientado a produto, com dados do ano de 2017. Os produtos e insumos considerados foram, respectivamente:

- I) Movimentação de passageiros 2017 e Total de aeronaves 2017 (pousos e decolagens);
- II) Pátio das aeronaves (metros quadrados), Pista principal (metros quadrados), Área do terminal de passageiros (metros quadrados), Estacionamento (número de vagas para automóveis) e Capacidade anual de passageiros.

Através da verificação de quais conjuntos de variáveis gera o maior escore de eficiência média, o índice escolhido é descrito pela Equação 6:

$$\text{Índice de eficiência} = \frac{\text{Movimentação de passageiros 2017}}{\text{Pátio das aeronaves} + \text{Pista principal} + \text{Área do terminal de passageiros}} \quad (6)$$

Após a determinação desse índice, foi realizada a aplicação do modelo *Window Analysis*, com modelo de retornos variáveis orientado para produto, sendo os resultados apresentados na Tabela 01:

Aeroporto	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Média	Média janela	
Porto Alegre (RS)	0,82	0,96	0,99						0,92		
		0,88	0,91	0,90					0,90		
			0,83	0,82	0,87					0,84	
				0,81	0,86	0,85				0,84	
					0,86	0,85	0,80			0,84	
						1,00	0,93	0,98		0,97	0,88
										0,90	
										0,89	
										0,94	
										0,96	
Florianópolis (SC)	0,79	0,92	1,00						0,90		
		0,81	0,88	1,00					0,89		
			0,88	1,00	0,94					0,94	
				1,00	0,94	0,95				0,96	
					0,98	1,00	0,96			0,98	
						0,96	0,92	1,00		0,96	0,94
										0,94	
										0,95	
										0,90	
										0,91	
Curitiba (PR)	0,83	1,00	0,98						0,94		
		0,96	0,94	0,93					0,95		
			0,88	0,87	0,95					0,90	
				0,86	0,94	0,92				0,91	
					0,95	0,93	0,60			0,83	
						1,00	0,61	0,64		0,75	0,88
										0,76	
										0,70	
										0,68	
										0,72	
Fortaleza (CE)	0,75	0,74	0,78						0,71		
		0,68	0,72	0,71					0,68		
			0,66	0,66	0,72					0,72	
				0,66	0,72	0,80				0,71	
					0,72	0,80	0,63			0,71	
						0,96	0,75	0,79		0,83	0,73
										0,59	
										0,57	
										0,54	
										0,55	
Recife (PE)	0,56	0,60	0,61						0,59		
		0,55	0,56	0,59					0,57		
			0,51	0,54	0,57					0,54	
				0,54	0,57	0,54				0,55	
					0,57	0,54	0,55			0,55	
						0,66	0,67	0,76		0,70	0,58
										0,60	
										0,57	
										0,54	
										0,54	
Salvador (BA)	0,56	0,61	0,64						0,54		
		0,56	0,59	0,57					0,54		
			0,54	0,52	0,56					0,52	
				0,52	0,56	0,55				0,54	
					0,56	0,55	0,46			0,52	
						0,69	0,58	0,59		0,62	0,57
										0,35	
										0,34	
										0,32	
										0,30	
Manaus (AM)	0,32	0,35	0,37						0,35		
		0,33	0,34	0,34					0,34		
			0,31	0,31	0,34					0,32	
				0,31	0,34	0,27				0,30	
					0,34	0,27	0,22			0,28	
						0,27	0,22	0,22		0,24	0,30
										0,46	
										0,46	
										0,38	
										0,38	
Rio de Janeiro (RJ)	0,38	0,46	0,53						0,46		
		0,41	0,49	0,47					0,46		
			0,44	0,43	0,27					0,38	
				0,43	0,27	0,43				0,38	
					0,27	0,43	0,41			0,37	
						0,53	0,50	0,50		0,51	0,43

Belém (PA)	0,36	0,42	0,47							0,42		
		0,38	0,42	0,44						0,41		
			0,40	0,41	0,46						0,42	
				0,41	0,46	0,44					0,44	
					0,47	0,45	0,40				0,44	
Foz do Iguaçu (PR)	0,30	0,44	0,45							0,48	0,44	
		0,40	0,41	0,40						0,40		
			0,39	0,38	0,42							0,40
				0,37	0,42	0,38						0,39
					0,42	0,38	0,35					0,38
Goiânia (GO)	0,76	0,91	1,00							0,41	0,40	
		0,91	1,00	0,98						0,89		
			0,91	0,89	1,00							0,96
				0,89	1,00	0,98						0,94
					1,00	0,98	0,59					0,96
Cuiabá (MT)	0,75	0,89	0,97							0,72	0,89	
		0,85	0,92	1,00						0,87		
			0,84	0,91	1,00							0,92
				0,91	1,00	1,00						0,91
					0,91	1,00	1,00					0,97
Campo Grande (MS)	0,43	0,49	0,68							0,86	0,91	
			0,49	0,68	0,57					0,72		
				0,62	0,52	0,54						0,58
					0,52	0,53	0,50					0,56
						0,53	0,50	0,47				0,52
Navegantes (SC)	0,67	0,91	1,00							0,50	0,53	
		0,91	1,00	0,94						0,48		
			0,95	0,89	1,00							0,50
				0,81	0,91	1,00						0,50
					0,91	1,00	0,99					0,50
Maceió (AL)	0,26	0,28	0,31							1,00	0,93	
		0,27	0,29	0,33						0,93		
			0,27	0,30	0,30							0,93
				0,30	0,30	0,31						0,93
					0,30	0,31	0,31					0,93
São Luís (MA)	0,68	0,91	0,98							0,37	0,31	
		0,91	0,98	0,89						0,36		
			0,91	0,83	0,83							0,36
				0,80	0,81	0,75						0,36
					0,81	0,75	0,67					0,36
Porto Velho (RO)	0,25	0,34	0,36							0,42	0,79	
		0,33	0,35	0,30						0,66		
			0,33	0,28	0,28							0,66
				0,28	0,28	0,29						0,66
					0,28	0,30	0,27					0,66
Macapá (AP)	0,36	0,40	0,41							0,25	0,30	
										0,26		
										0,26		

		0,40	0,41	0,47						0,42	
			0,38	0,44	0,48					0,43	
				0,41	0,44	0,41				0,42	
					0,44	0,41	0,35			0,40	
						0,39	0,33	0,33		0,35	0,40
João Pessoa (PB)	0,29	0,36	0,39							0,34	
		0,34	0,38	0,37						0,36	
			0,35	0,34	0,37					0,36	
				0,34	0,37	0,41				0,38	
					0,38	0,41	0,40			0,40	
						0,42	0,41	0,40		0,41	0,37
Guarulhos (SP)	0,82	0,92	1,00							0,91	
		0,83	0,91	1,00						0,91	
			0,83	0,91	1,00					0,91	
				0,91	1,00	0,99				0,97	
					1,00	0,99	0,93			0,97	
						1,00	0,94	0,97		0,97	0,94
Brasília (DF)	0,76	0,81	0,84							0,80	
		0,74	0,77	0,79						0,77	
			0,70	0,72	0,80					0,74	
				0,72	0,80	0,78				0,77	
					0,80	0,78	0,70			0,76	
						1,00	0,91	0,85		0,92	0,79
Belo Horizonte (MG)	0,47	0,62	0,68							0,59	
		0,57	0,62	0,61						0,60	
			0,57	0,56	0,59					0,57	
				0,56	0,59	0,59				0,58	
					0,59	0,60	0,51			0,56	
						0,66	0,56	0,59		0,60	0,58
Aracaju (SE)	0,31	0,37	0,47							0,38	
		0,33	0,42	0,42						0,39	
			0,41	0,41	0,41					0,41	
				0,41	0,41	0,38				0,40	
					0,43	0,40	0,38			0,40	
						0,38	0,37	0,37		0,37	0,39
Média	0,54	0,62	0,65	0,62	0,64	0,65	0,57	0,60			

Fonte: Os autores (2019)

Tabela 01 – Análise de eficiência de janelas aplicada nos aeroportos internacionais brasileiros

A aplicação do método *Window Analysis* gerou a eficiência para os aeroportos internacionais brasileiros ao longo do período de 2010 a 2017, o que propiciou verificar o comportamento da eficiência durante esse período.

Verificou-se que nenhum dos aeroportos se manteve eficiente ao longo de todo o período, sendo os de maior destaque foram Guarulhos (SP) e Florianópolis (SC), que obtiveram eficiência média durante todo o período de 0,94. O aeroporto internacional de Florianópolis (SC) foi eficiente nos anos de 2013 e 2017, enquanto o de Guarulhos (SP) em 2014. Nos demais períodos houve oscilação na eficiência dentro da própria janela.

Outros aeroportos que também foram eficientes são os de Goiânia (GO), em 2014, e Cuiabá (MT), em 2015. Obteve destaque na eficiência média ao longo de toda janela o aeroporto de Navegantes (SC).

É importante salientar que os aeroportos de Cuiabá (MT) e Navegantes (SC) possuem como gestora a INFRAERO, enquanto os de Florianópolis (SC) e Guarulhos (SP) possuem concessão à iniciativa privada.

Os aeroportos internacionais brasileiros com os piores desempenhos operacionais nessa análise são: Porto Velho (RR) e Manaus (AM), com eficiência média nas janelas de 0,30, e o de João Pessoa (PB), com 0,31. Todos esses aeroportos são públicos.

No que se refere aos anos do período analisado, o que apresentou maior eficiência média foi o de 2015, com escore de 0,65. Por outro lado, o ano de 2010 apresentou a menor eficiência média, 0,50.

4. Considerações finais

A aplicação da *Window Analysis* foi possível observar as tendências da eficiência em 23 aeroportos internacionais brasileiros para o período de 2010 a 2017. O Modelo em questão foi aplicado em conjunto com o modelo BCC orientado a produto.

A maioria das mudanças esperadas para os aeroportos com as privatizações acabaram não sendo implementadas dentro do período analisado, sendo que muitas obras foram finalizadas como inacabadas.

Com base nos resultados, percebe-se que nenhum aeroporto foi eficiente ao longo de todo o período analisado. Tiveram destaque positivo os aeroportos de Guarulhos (SP) e Florianópolis (SC), com eficiência média de 0,94.

Referências

- AZAMBUJA, M. V. de; OLIVEIRA, M. S.; LIMA, M. P. de L. Análise de desempenho operacional em terminais de contêineres brasileiros. **The Journal of Transport Literature**, São José dos Campos/SP, Vol 9, N. 4, 2015, pg. 25-29.
- AL-ERAQI, A. S. et al. Efficiency of Middle Eastern and East African Seaports: Application of DEA Using Window Analysis. **European Journal of Scientific Research**, Vol. 23, N. 4, pg. 597-612.
- ALMEIDA, M. R.; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. N. Análise de eficiência dos aeroportos internacionais brasileiros. **Revista Produção Online**, 2007, edição especial, p. 1-17.
- ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. <<http://www.anac.gov.br/>>. Acessado em: 13 de Agosto de 2019.
- BERGIANTE, N. C. R.; MELLO, J. C. C. B. S. de; SANTO JR., R. A. do E.. Avaliação da eficiência dos investimentos em aeroportos brasileiros com o uso da Análise Envoltória de Dados (DEA). In: XLIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, Ubatuba/SP. **Anais....** Porto Alegre: Hotel Recanto das Toninhas, 2011, p. 1-12.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. North-Holland Publishing Company: **European Journal of Operational Research**, 1978, pg. 429 – 444.
- CHARNES, A. et al. Developmental study of data envelopment analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the US Air Forces. **Annals of Operations Research**, Vol. 2, 1985, pg. 95-112.

CULLINANE, K. et al. An Application of DEA Windows Analysis to Container Port Production Efficiency. **Review of NetWork Economics**, Vol. 3, N. 2, 2004.

FARRELL, James M. (1957) The Measurement of Technical Efficiency, **Journal of the Royal Statistics Society**, SERIES A (GENERAL), PART III, 253-290.

FERREIRA, C. M. de C.; GOMES, A. P. Introdução à análise envoltória de dados. Viçosa: Ed.UFV, 2009.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. <<http://www4.infraero.gov.br/>> Acessado em: Agosto de 2019.

LOVELL, K. Applying Efficiency Measurement Techniques to the Measurement of Productivity Change. **Journal of Productivity Analysis**, Vol. 7, N. 1, 1996, pg. 329-340.

MELLO, J. C. S. e GOMES, E. G. Eficiências aeroportuárias: uma abordagem comparativa com Análise de Envoltória de Dados. **Revista de Economia e Administração**, v. 3, n. 1, p. 15-23, 2004.

OLIVEIRA, M. S.; AZAMBUJA, A. M. V.; LIMA, M. L. P. Aplicação de uma metodologia para análise de eficiência em terminais de contêineres. V SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA, Rio Grande. **Anais....**Rio Grande: FURG, 2012, pg. 93-99.

PÉRICO, A. E.; SANTANA, N. B. e REBELATTO, D. A. N. Eficiência dos aeroportos internacionais brasileiros. **Gestão e Produção**, Junho de 2017, volume 24, número 2, p. 370-381.