

Avaliação da eficiência do sistema aeroportuário nacional brasileiro: Uma aplicação da análise envoltória de dados em rede com representação bidimensional

Rafael de Azevedo Palhares (UFRN) rafaelpalhareseng@hotmail.com
Mariana Simião Brasil de Oliveira (UFRN) marianabr4sil@gmail.com
Alessandro Jackson Teixeira de Lima (UFRN) ralessandro.jk@hotmail.com
Paulo Ellery Alves de Oliveira (UFRN) pauloellery@hotmail.com
Nathaly Silva de Santana (UFRN) nathalysilvaa@gmail.com

Resumo:

A análise de eficiência dos sistemas aeroportuários pode servir como indicadores de melhorias, de modo que a partir das informações básicas obtidas, regiões ou aeroportos possam direcionarem ao aumento dos seus rendimentos, visando um ganho global do sistema. Este artigo tem como objetivo avaliar a eficiência do sistema aeroportuário nacional brasileiro, utilizou-se a Análise Envoltória de dados em rede (NDEA) de dois estágios para avaliar quantitativamente as eficiências relativas dos desempenhos dos 28 aeroportos brasileiros nacionais. Dentre as contribuições deste estudo podem ser destacadas: primeiro, ele fornece uma análise completa do sistema aeroportuário no Brasil, considerando os aeroportos nacionais. Segundo, modelos abrangentes do DEA são aplicados a duas variáveis de exógena de entrada, uma variável intermediária e duas variáveis exógenas de saída para mensurar, ranquear e comparar as eficiências relativas de todos os aeroportos nacionais a partir da modelagem NDEA. Terceiro, uma nova abordagem de Representação Bidimensional é aplicada e por fim, os resultados desta pesquisa acarretaram em uma investigação sobre as avaliações atuais de eficiência no Brasil para os praticantes de sistemas aeroportuários e também para os formuladores de políticas. Apontou-se uma DMU eficiente, a qual se situa na região Nordeste, o Aeroporto Internacional de Recife (SBRF). Pôde-se identificar também, que os maiores índices concentram-se no estágio 2, onde três DMU's foram eficientes. Enquanto isso, no estágio 1, apenas uma DMU's obteve máxima eficiência, que foi o próprio aeroporto de Recife.

Palavras chave: Aeroportos nacionais, Network DEA, Representação bidimensional.

Evaluation of the efficiency of the Brazilian national airport system: An application of network data envelopment analysis with two- dimensional representation

Abstract

The efficiency analysis of airport systems can serve as indicators of improvements, so that from the basic information obtained, regions or airports can direct the increase of their income, aiming at a global system gain. The purpose of this paper is to evaluate the efficiency

of the Brazilian national airport system, using two-stage network data analysis to quantitatively evaluate the relative performance efficiencies of the 28 Brazilian national airports. Among the contributions of this study can be highlighted: first, it provides a complete analysis of the airport system in Brazil, considering the national airports. Second, comprehensive AED models are applied to two input exogenous variables, an intermediate variable and two exogenous output variables to measure, rank and compare the relative efficiencies of all national airports from the NDEA modeling. Third, a new two-dimensional representation approach is applied, and finally, the results of this research led to an investigation of current efficiency assessments in Brazil for practitioners of airport systems as well as for policy makers. It was pointed out an efficient DMU, which is located in the Northeast region, Recife International Airport (SBRF). It was also possible to identify that the highest indexes are concentrated in stage 2, where three DMUs were efficient. Meanwhile, in stage 1, only one DMU's got maximum efficiency, which was Recife's own airport.

Key-words: National Airports, Network DEA, Two-Dimensional Representation.

1. Introdução

O setor de transporte aéreo é elementar para cenário nacional e mundial, a sua capacidade de interligar países emergentes e cidades em ascensão impactam diretamente no desenvolvimento econômico do país. Porém, diversas ineficiências podem ser observadas nestas operações logísticas e interferir negativamente neste desenvolvimento, por exemplo: Voos atrasados impactam diretamente as operações de empresas acarretando em gastos inesperados para que a prestação qualidade dos serviços seja assegurada. Neste contexto, os diversos aeroportos nacionais e internacionais possuem padrões organizacionais diferentes de modo vez um compromisso e nível de satisfação dos clientes e eficiência do sistema sejam maximizados. (TORRES; SOARES DE MELLO ALMEIDA, 2016).

A análise de eficiência dos sistemas aeroportuários pode servir como indicadores de melhorias, de modo que a partir das informações básicas obtidas, regiões ou aeroportos possam direcionassem ao aumento dos seus rendimentos, visando um ganho global do sistema. Para avaliação de eficiência relativa de sistemas, foi desenvolvido o DEA em 1978, esta, é classificado como uma metodologia não paramétrica estabelecida pela programação matemática. Sua utilização é cada vez mais crescente desde o seu desenvolvimento. (KASSAI, 2002). É uma metodologia potencialmente aplicada na avaliação de eficiências das mais diversas Unidades Tomadoras de Decisão (DMU) homogêneas, ou seja, que lidam com mesmos tipos de variáveis de *inputs* e *outputs* para processar um produto ou serviço (SOUZA; WILHELM, 2009).

A aplicabilidade do DEA tem sido estendida no decorrer dos anos, impulsionada pelo surgimento de novas modelagens matemáticas que melhor represente a complexidade e realismo dos sistemas. Neste contexto, o surgimento da modelagem em rede, conhecida como modelo NDEA (*Network Data Envelopment Analysis*) propõe-se a analisar o sistema internamente, ou seja, abrindo da “caixa preta” de modo que as eficiências do sistema global e também dos seus estágios internos possam ser identificadas. Para que a análise gráfica entre a relação de todos os *inputs* e *outputs* possam ser realizadas, a representação bidimensional vem sendo utilizada nas aplicações do DEA através da pesquisa de Charnes; Cooper; Rhodes (1978), o intuito é plotar em plano cartesiano (R²) a representação das DMUs em relação à fronteira de eficiência.

Neste estudo, o modelo NDEA é implementado para avaliar quantitativamente as eficiências

relativas dos desempenhos dos 28 aeroportos brasileiros nacionais. Dentre as contribuições deste estudo podem ser destacadas: primeiro, ele fornece uma análise completa do sistema aeroportuário no Brasil, considerando os aeroportos nacionais. Segundo, modelos abrangentes do DEA são aplicados a duas variáveis de exógena de entrada, uma variável intermediária e duas variáveis exógenas de saída para mensurar, ranquear e comparar as eficiências relativas de todos os aeroportos nacionais a partir da modelagem NDEA. Terceiro, uma nova abordagem de Representação Bi-dimensional é aplicada, estendendo o trabalho de (TORRES; SOARES DE MELLO ALMEIDA, 2016). Por fim, os resultados desta pesquisa acarretaram em uma investigação sobre as avaliações atuais de eficiência no Brasil para os praticantes de sistemas aeroportuários e também para os formuladores de políticas.

Este trabalho está organizado em seções, descritas da seguinte forma: A primeira seção abordou a contextualização da pesquisa de forma introdutória. A seção 2 levanta o embasamento teórico para melhor entendimento da pesquisa, nesta, a Análise Envoltória de Dados (DEA), representação da fronteira em DEA, o modelo de análise envoltória de dados em rede (NDEA) e também a representação bidimensional. Na seção 3 o percurso metodológico é apresentado. Os resultados obtidos com a aplicação do modelo matemático serão discutidos e por fim, as considerações finais são realizadas na seção 5.

2. Infra- estruturas

Para Yoshino e Nakahigashi (2000), a infra-estrutura pode ser caracterizado como um capital físico que oferta bens ou serviços para o bem estar social. São estruturas essenciais para impulsionar o funcionamento e crescimento econômico, de porte local, regional e nacional. (EBERTS, 1990). De acordo com Rodriguez (1998), o mercado lida com estas estruturas para maximização da sua lucratividade.

As infra-estruturas são diretrizes para reduzir as discrepâncias econômicas, visando desenvolvimento social e econômico da região em que são pertencidas. Ainda assim, as infra-estruturas podem ser conceituadas como parte de um estoque de capital defasado e, por considerar o capital público como complementar, são atrativas para captar recursos estrangeiros (GRAMLICH, 1994; BENITEZ, 1999).

A análise da função e evolução do capital privado tem sido amplamente discutida em várias pesquisas no decorrer da história econômica, enquanto que o capital público por possivelmente ser inerente a maiores dificuldades no tocante a sua análise figure-se como secundário. (RODRÍGUEZ, 1998). Neste sentido, é reafirmado na literatura o amplo potencial e importância da infra-estrutura, sendo esta, parte essencial de uma nação como a parceria em investimentos do setor privado e público.

3. Análise Envoltória de Dados (DEA)

A DEA é uma metodologia que mensura a eficiência relativa não paramétrica e multifatorial de sistemas manufatureiros ou de serviços, conhecidos como Unidades Tomadoras de Decisão (DMU). Desenvolvida por Charnes et al. (1978), sua estrutura baseia-se no cálculo de eficiência de cada DMU observada por meio da soma ponderada dos *inputs* e *outputs* do sistema.

Dois tradicionais modelos da DEA são considerados na literatura, são eles: Modelo CCR, na qual sua nomenclatura faz alusão as iniciais dos nomes dos autores Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e o Modelo BCC posteriormente desenvolvida por Banker, Charnes e Cooper (1984). O primeiro modelo calcula o escore de eficiência global das unidades de tomada de decisão, considerando retornos constantes de escala (CHARNES et al., 1978) enquanto o modelo BCC

de Banker et al (1984) assumem retornos de escalas variáveis.

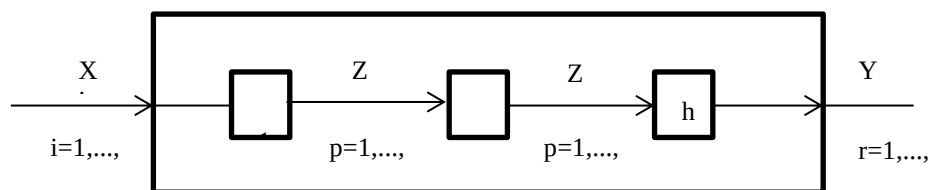
São cinco os passos que podem ser considerados na utilização da metodologia DEA:

- Definição do sistema analisado e identificação das DMU's que representem o sistema;
- Definição apropriada das variáveis de entrada e saída para obtenção da eficiência relativa das DMU's observadas;
- Aplicar a modelagem matemática DEA. Para isto, deve-se definir a orientação do modelo, ou seja, orientado a entrada ou a saída;
- Calcular as eficiências de cada DMU bem como definir as metas para as DMU com ineficiências; e,
- Estabelecer benchmark's das DMUs ineficientes.

3.1 Modelo Network DEA

Segundo Farë e Grosskopf (2000), o sistema é observado como uma espécie de “caixa preta”, na qual a mensuração da eficiência relativa é obtida apenas considerando as entradas e saídas exógenas do sistema, ou seja, apenas o que entra e é processado em saída. Kao e Hwang (2008) argumentam que esta análise pode trazer resultados não representativos à veracidade de eficiência do sistema. Então, autores Farë e Grosskopf (2000) propuseram a abertura da “caixa preta” criando então o modelo *Network DEA* (NDEA). Este modelo considera que dentro do sistema, existem processos internos, *inputs* e *outputs* relacionados dentro da “caixa preta” que devem ser incluídos na análise.

Neste sentido, Kao (2009) abordam que as entradas podem ser usadas por todos os processos e que as saídas de cada processo podem ser produtos finais do sistema ou produtos dos estágios intermediários a serem usados como entradas por outros processos. Logo, no método NDEA uma variável *output* em um estágio pode ser um *input* de outro estágio e entrada, estas sendo consideradas como variáveis intermediárias. A Figura 1 ilustra a modelo relacional em série de Kao (2009).



Fonte: Kao (2009)

Figura 1 – Estrutura de rede em série

Os *inputs* exógenos X_j são fornecidas para o primeiro processo (estágio 1) de modo que as suas saídas são entratads para o próximo processo (estágio 2), ou seja, produtos intermediários Z_p . Consecutivamente, as variáveis intermediárias serão entradas para o próximo estágio a fim de produzir as variáveis finais de saída Y_r . Logo um sistema em série tem suas eficiências calculadas a partir do modelo de Kao (2009) exibida a seguir no Quadro 1 a partir das Equações e restrições 1, 2, 3 e 4:

O cálculo de eficiência global do sistema de uma DMU é obtido a partir do produto dos níveis de eficiência obtidos em cada estágio. Para um sistema de dois estágios. As eficiências de cada estágio (1 e 2) são obtidos pelas Equações (5) e (6) mostradas a seguir (KAO, 2014).

$$E_{Estágio(1)} = \frac{\sum_{r=1}^R W_r * Z_{rj}}{\sum_{i=1}^m u_i * x_{ij}} \quad (5)$$

$$E_{Estágio(2)} = \frac{\sum_{k=1}^S V_k * Y_{kj}}{\sum_{r=1}^R W_r * Z_{rj}} \quad (6)$$

$$E_j = \max \sum_{k=1}^s v_k * y_{kj} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m u_i * x_{ij} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^s v_k * y_{kj} - \sum_{r=1}^R w_r * z_{rj} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n. \quad (3)$$

$$\sum_{r=1}^R w_r * z_{rj} - \sum_{i=1}^m u_i * x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n. \quad (4)$$

$$u_i, v_k, w_r \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m \quad p = 1, \dots, q$$

Onde:

E = Eficiência

j = DMU observada

i = *input*

r = *output*

X_{ij} = Quantidade do *input* i na DMU j em análise

Y_{kj} = Quantidade do *output* r na DMU j em análise

p = produto intermediário

m = n° de *inputs*

q = n° de produtos intermediários

s = n° de *outputs*

Z_{ij} = Quantidade do *output* intermediário na DMU j em análise

u, v, w = pesos

Quadro 1 – Modelo relacional NDEA

Vale salientar que o modelo em rede (NDEA) além da estrutura em série, esta sendo a estrutura mais abordada na literatura, também apresentam outras duas estruturas, são elas: Sistema em paralelo, quando se tem processos distintos dentro da mesma organização e o Sistema Misto, que corresponde a um processo híbrido, ou seja, é caracterizada por ser uma estrutura em série e paralelo.

3.2 Representação Bidimensional

A representação bidimensional no modelo NDEA era encontrada na literatura apenas para os estágios internos, ou seja, não existia uma modelagem que fornecesse a representação da eficiência global. Para Kao e Hwang (2014) esta representação pode ser obtida da mesma forma já disseminada na literatura referente aos modelos clássicos do DEA, apenas DMUs com uma variável em cada estágio, porém com uma rotação de 90 graus eixos. Sua aplicação pode ser definida em 6 etapas, conforme exibido a seguir.

- a) Definição da orientação do modelo, ou seja, se orientado ao *input* ou *output*;
- b) Para orientação ao *input* no modelo NDEA CCR, calcula-se o Problema de programação linear, orientado a *inputs* com retornos constantes de escala;
- c) Calcula-se a soma dos multiplicadores de todos os *inputs* para cada DMUj (S_j);
- d) Calcula-se então os multiplicadores modificados dos *inputs* (v') e *outputs* (u') através da divisão dos valores obtidos originalmente por S_j ;
- e) Classifica-se os *Inputs* virtuais (I') e *Outputs* virtuais (O'); e,
- f) Plota-se os valores em um gráfico e uma reta de 45 graus, que representa a bissetriz dos quadrantes ímpares. Essa reta representa a fronteira de eficiência do problema analisado.

4. Método da pesquisa

O presente trabalho tem como objetivo analisar quantitativamente o desempenho da eficiência dos aeroportos nacionais situados no Brasil. Neste contexto, a amostra deste estudo engloba 28 aeroportos nacionais. O modelo NDEA de Kao (2009) é decomposto em estágios visando à representação dos aspectos que influenciam no desempenho do sistema aeroportuário. Esta pesquisa segmenta o sistema em dois estágios. Assim, o estágio 1 visa a mensuração da eficiência estrutural de cada DMU, para isto, é considerado o desempenho da movimentação de carga bem como a movimentação dos passageiros. Enquanto o estágio 2 calcula a eficiência operacional de cada aeroporto analisado, considerando a capacidade instalada disponível.

Para isso, considerou-se como técnica de avaliação a Análise Envoltória de Dados em Rede (*Network Data Envelopment Analysis*). Com a aplicação do NDEA, foi possível identificar a eficiência para cada um dos dois estágios, bem como a eficiência global do sistema.

O estágio 1 detém duas variáveis de entrada (X_1, X_2) e produz duas variáveis de saídas (Z_1, Z_2). Enquanto que o estágio 2 utiliza as saídas (Z_1, Z_2) no estágio 1 como entradas e produz (Y_1, Y_2) como saídas exógenas do sistema conforme é possível identificar na Figura 3 a seguir.

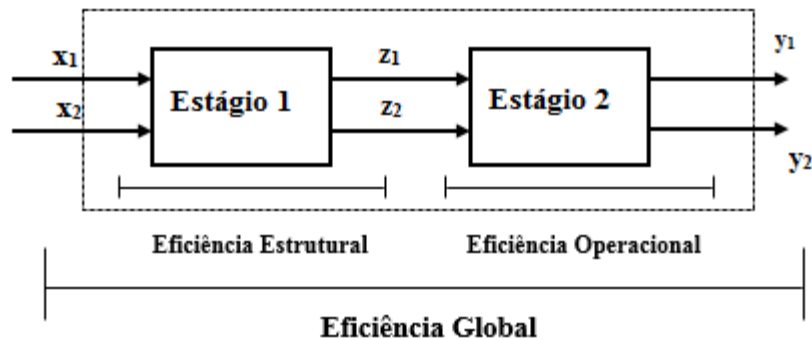


Figura 3 - Representação bidimensional dos estágios

A modelagem matemática do sistema aeroportuário é representada pela função objetivo e suas restrições conforme é possível identificar nas equações a seguir:

$$Ek \max = (u_1 Y_{1k} + u_2 Y_{2k}) \quad (1.0)$$

St.

$$v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} = 1 \quad (1.1)$$

$$(u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j}) - (v_1 X_{1j} + v_1 X_{2j}) \leq 0, \quad j=1, \dots, 28 \quad (1.2)$$

$$(u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j}) - (w_1 Z_{1j} + w_2 Z_{2j}) \leq 0, \quad j=1, \dots, 28 \quad (1.3)$$

$$(w_1 Z_{1j} + w_2 Z_{2j}) - (v_1 X_{1j} + v_1 X_{2j}) \leq 0, \quad j=1, \dots, 28 \quad (1.4)$$

$$u_1, u_2, v_1, v_2, w_1, w_2 \geq 0$$

As variáveis que compõe a representação do sistema foram definidas do seguinte modo:

a) Variável (x1): Terminal de passageiros (m²), ou seja, corresponde a instalação do aeroporto para atendimento, embarque, desembarque e liberação de passageiros.

b) Variável (x2): Pátio de aeronaves (m²) consiste na área utilizada em um aeródromo para acondicionar aeronaves para o embarque ou desembarque de passageiros, descarregamento e carregamento de cargas, correio, reabastecimento de combustível, estacionamento ou manutenção.

c) Variável (z1): Movimentação de aeronaves.

d) Variável (z2): Trânsito de carga aérea e correios, isto é, no somatório do fluxo de mala postal e carga aérea interna.

e) Variável (y1): Movimentação de passageiros, ou seja, a soma do número de passageiros embarcados e desembarcados.

f) Variável (y2): Movimentação de carga e correio, isto é, quantidade de carga aérea, carga dos porões das aeronaves com acréscimo da mala postal.

Na Tabela 1 são exibidos os dados coletados dos aeroportos nacionais do Brasil administrados pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO). Com esta tabela,

observa-se que existem aeroportos que não realizam transporte de cargas aéreas para o período analisado. Esses dados correspondem aos valores referentes às variáveis de cada um dos aeroportos nacionais brasileiros. Esta tabela revela ainda a estatística descritiva dos dados primários coletados.

	Aeroportos (DMU'S)	Variáveis de entrada		Variáveis intermediárias		Variáveis de saída	
		(x1)	(x2)	(z1)	(z2)	(y1)	(y2)
		Sítio aeroportuário (m²)	Pátio de aeronaves (m²)	Movimentação de aeronaves	Transito de carga aérea + correio	Movimentação de passageiro	Movim. de carga+ correio
1	SBAR	3874742,30	22356,00	13279,00	172677,00	1225591,00	1986,00
2	SBBH	2085904,85	92810,00	41640,00	0,00	300061,00	14,00
3	SBBI	1393145,10	16060,00	22299,00	0,00	85761,00	0,00
4	SBCJ	2872956,65	16900,00	3918,00	0,00	162175,00	238,00
5	SBCM	386287,27	4073,13	2876,00	0,00	59865,00	34,00
6	SBGO	3967365,04	37445,00	59142,00	3043025,00	3016798,00	11298,00
7	SBHT	7672311,72	18073,00	6963,00	769,00	174296,00	362,00
8	SBIL	735310,39	9915,00	9005,00	181823,00	576965,00	1365,00
9	SBIZ	3000000,00	18725,32	6292,00	255418,00	284231,00	825,00
10	SBJC	930023,00	20915,00	8861,00	0,00	14151,00	67,00
11	SBJR	1192642,28	46900,00	55784,00	0,00	189303,00	0,00
12	SBJU	1284465,30	14200,00	8482,00	177209,00	534712,00	1172,00
13	SBJV	1331218,95	15010,00	8713,00	230679,00	515832,00	1219,00
14	SBKG	821782,31	11200,00	3405,00	118571,00	128149,00	422,00
15	SBLO	727.193,25	40293,07	24371,00	120357,00	920782,00	1716,00
16	SBMA	3350767,05	25249,25	8291,00	187260,00	317636,00	1045,00
17	SBME	480000,00	78900,00	42640,00	0,00	318877,00	339,00
18	SBMK	1989073,12	20035,40	8491,00	0,00	282008,00	274,00
19	SBPJ	23750333,23	41360,00	12219,00	1338,00	617703,00	1899,00
20	SBPR	547586,99	15430,00	17968,00	0,00	20369,00	0,00
21	SBRB	7325000,00	38400,00	6283,00	276529,00	354249,00	1140,00
22	SBRJ	833703,00	95800,00	105671,00	507560,00	9065905,00	2504,00
23	SBSP	1647000,00	77321,00	213043,00	13179738,00	20816957,00	49231,00
24	SBTE	1288105,38	17780,00	15856,00	3210475,00	1085974,00	6773,00
25	SBTF	14225556,02	17933,40	4389,00	0,00	49673,00	319,00
26	SBUF	1466769,18	12047,04	959,00	0,00	11985,00	4,00
27	SBUL	2173000,00	34611,85	23624,00	382561,00	1050330,00	1627,00
28	SBUR	1182451,39	13450,00	6037,00	0,00	103509,00	7,00
Mínimo		386.287,27	4.073,13	959,00	0,00	11.985,00	0,00
Máximo		23.750.333,23	95.800,00	213.043,00	13.179.738,00	20.816.957,00	49.231,00
Média		3.400.277,80	31.185,48	26.446,46	787.356,75	1.510.137,39	3.067,14
Mediana		1.466.769,18	19.380,36	8.933,00	59.954,50	308.848,50	623,50
Desvio Padrão		5027694,011	25414,11864	43182,90894	2558003,92	4160636,13	9352,508318

Tabela 1- Estatísticas descritivas das variáveis de entrada e saída dos aeroportos/2016

5. Análise dos resultados

Nesta seção, o modelo NDEA foi aplicado aos vinte e oito aeroportos nacionais do Brasil para determinar a eficiência relativa global de suas operações. A Tabela 2 mostra a estimativa das eficiências globais e de seus estágios de suas respectivas DMU's, como também o ranking destes aeroportos.

Ranking	Aeropertos (DMU's)	Eficiência global (E_k)	Eficiência do estágio 1 (E^1_k)	Eficiência do estágio 2 (E^2_k)
1º	Aeroporto Internacional de Recife (SBRF)	1,000	1,000	1,000
2º	Aeroporto Internacional de Porto Velho (SBPV)	0,663	0,706	0,939
3º	Aeroporto de São José dos Campos (SBSJ)	0,580	0,580	1,000
4º	Aeroporto Internacional de Macapá (SBMQ)	0,541	0,000	0,541
5º	Aeroporto Internacional São José dos Pinhais (SBCT)	0,462	0,541	0,855
6º	Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul (SBCZ)	0,216	0,254	0,850
7º	Aeroporto Internacional de Belém (SBBE)	0,204	0,216	0,945
8º	Aeroporto Internacional de Fortaleza (SBFZ)	0,140	0,207	0,677
9º	Aeroporto Internacional de João Pessoa (SBJP)	0,128	0,202	0,631
10º	Aeroporto Internacional de Salvador (SBSV)	0,113	0,248	0,455
11º	Aeroporto Internacional de Pelotas (SBPK)	0,071	0,071	1,000
12º	Aeroporto Internacional de Manaus (SBEG)	0,068	0,108	0,634
13º	Aeroporto Internacional de Navegantes (SBNF)	0,064	0,094	0,681
14º	Aeroporto Internacional de Maceió (SBMO)	0,058	0,094	0,617
15º	Aeroporto Internacional de Corumbá (SBCR)	0,055	0,256	0,213
16º	Aeroporto Internacional de Parnaíba (SBPB)	0,052	0,154	0,340
17º	Aeroporto Internacional de Ponta Porã (SBPP)	0,046	0,054	0,854
18º	Aeroporto Internacional de Várzea Grande (SBCY)	0,036	0,130	0,275
19º	Aeroporto de Campos dos Goytacazes (SBCP)	0,036	0,084	0,424
20º	Aeroporto Internacional de Porto Alegre (SBPA)	0,035	0,422	0,082
21º	Aeroporto Internacional de Uruguaiana (SBUG)	0,029	0,163	0,175
22º	Aeroporto Internacional de São Luís (SBSL)	0,027	0,058	0,468
23º	Aeroporto Internacional de Campo Grande (SBCG)	0,020	0,504	0,039
24º	Aeroporto Internacional de Florianópolis (SBFL)	0,015	0,432	0,035
25º	Aeroporto Internacional de Boa Vista (SBBV)	0,012	0,163	0,074
26º	Aeroporto Internacional de Petrolina (SBPL)	0,005	0,423	0,012
27º	Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu (SBFI)	0,005	0,100	0,049
28º	Aeroporto Internacional de Santarém (SBSN)	0,004	0,027	0,138

Tabela 2 - Índices gerais de eficiência dos aeroportos nacionais do Brasil

De acordo com as Tabelas (1) e (2), percebe-se a existência de uma tendência óbvia para os aeroportos que foram ineficientes na análise. Há um demasiado decréscimo relativo às taxas de eficiência do estágio 1 (E^1_k) para o estágio 2 (E^2_k). Isto pode ser explicado devido à concentração de atividades na movimentação de aeronaves e o trânsito de carga e de correio, isto é, atividades chaves para a função produção. Todavia a disparidade da movimentação de passageiros é perceptível na quantidade de movimentação de carga. Portanto, pode comprovar empiricamente que as premissas gerenciais afetam a eficiência das atividades aeroportuárias (CHEN et al., 2017; LIU, 2017; YU et al., 2017).

Nota-se que o Aeroporto Internacional de Recife (SBRF) encontra-se em primeiro lugar no *ranking*, pois obteve um escore satisfatório para designar-se como a DMU mais eficiente em comparação com os demais, e isso justifica-se pelo comportamento dos dados obtidos no ano

de referência. Vale ressaltar que eficiência é diferente de produtividade, porém a produtividade poderá afetar a eficiência. Significa que os aeroportos evidenciados como ineficientes podem ter alcançado sua produtividade projetada, porém o cenário estratégico pode estar em conflito.

Nesta análise, consideraram-se dois estágios de processamento. No primeiro estágio, apenas o aeroporto de Recife (SBRF) obteve eficiência máxima (100%). Já no estágio dois, o aeroporto de Recife (SBRF), o de São José dos Campos (SBSJ) e o de Pelotas (SBPK) atingiram a eficiência máxima.

As Figuras 4 e 5 apresentam a fronteira de eficiência para o primeiro e segundo estágio. É possível observar que as DMU's eficientes estão localizadas na fronteira. No primeiro estágio, há uma dispersão uniforme tanto para o *input* virtual quanto para o *output* virtual. Ainda, as DMU's distribuídas acima da fronteira, teoricamente pode-se designar as DMU's supereficientes, entretanto estas posições no plano cartesiano são oriundas da disparidade dos dados não- modificados. Já no estágio 2, é possível perceber o comportamento das DMU's a ponto de que estão mais distribuídas no eixo do *input* virtual.

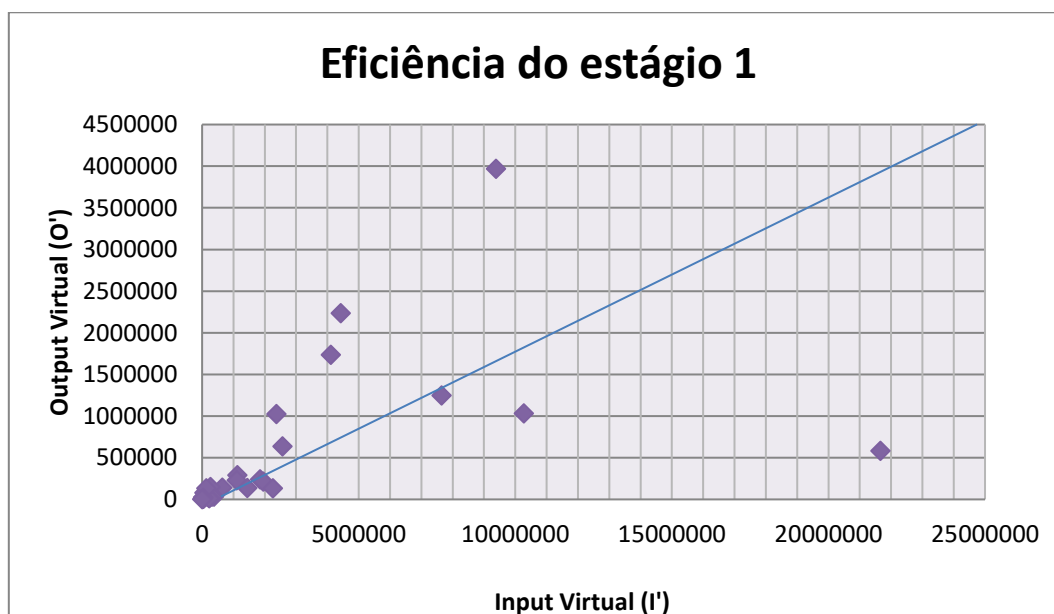


Figura 4 - Representação bidimensional dos estágios 1

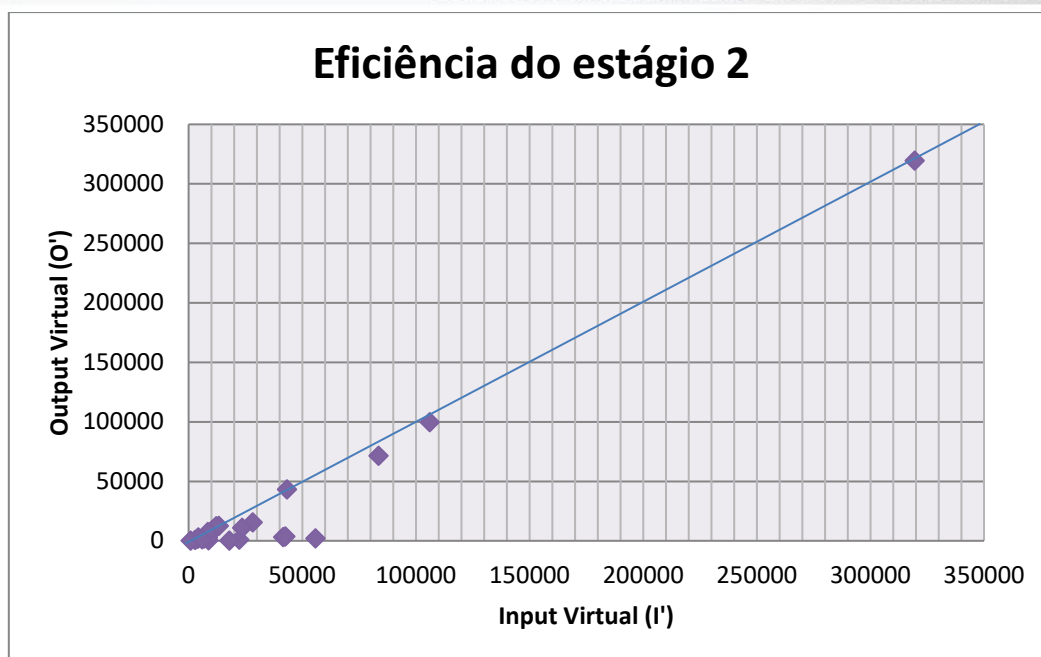


Figura 5 - Representação bidimensional dos estágios 2

Na análise de eficiência global, representada pela Figura 5, é possível observar que a DMU eficiente, o Aeroporto Internacional de Recife (SBRF), está ente ao ponto nulo devido a escala de seus dados comparando com as demais DMU's. Verifica-se, também, que a segunda DMU mais eficiente foi o Aeroporto Internacional de Porto Velho (SBPV), que obteve 66,3% de eficiência. As DMU's correspondentes a terceira e quarta posições no *ranking* demonstrado na Tabela 2, que são o Aeroporto de São José dos Campos (SBSJ) e o Aeroporto Internacional de Macapá (SBMQ), destacam-se por terem atingido eficiências superiores a 50% (58% e 54,1%, respectivamente) As demais unidades dispem ao eixo x identificando-se dessa forma os possíveis *outliers*.

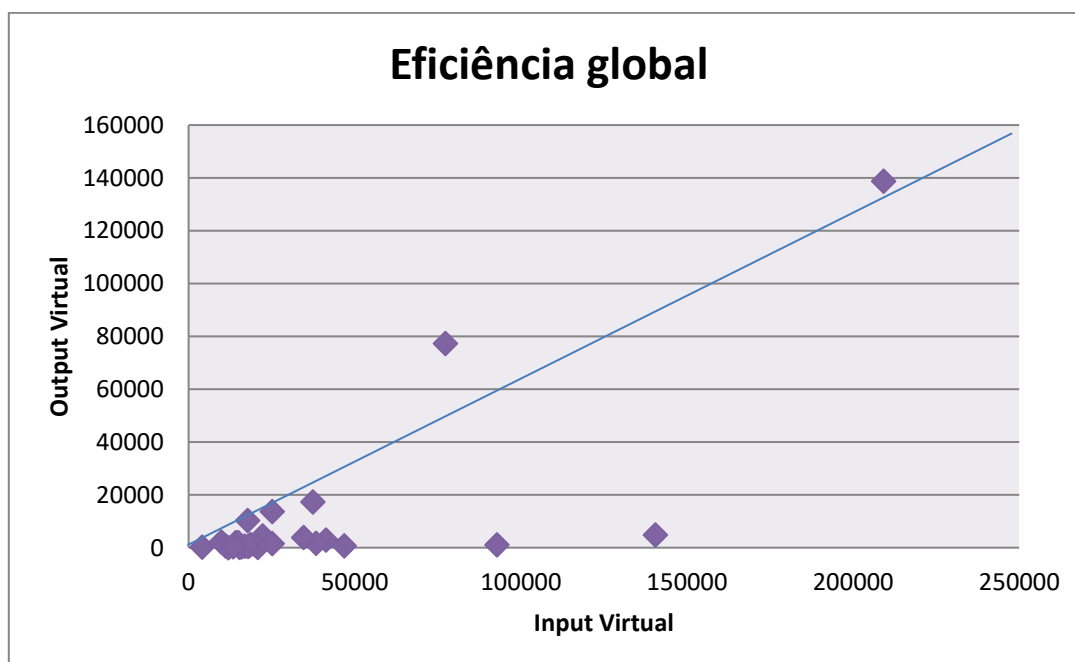


Figura 5 - Representação da eficiência global

7. Conclusão

O objetivo deste estudo foi realizar uma análise da eficiência relativa dos aeroportos nacionais do Brasil. Utilizou-se a ferramenta Análise Envoltória de Dados em rede (NDEA) em dois estágios a fim de atribuir pesos relativos a cada DMU e da representação bidimensional para os estágios internos.

Este estudo fornece dados relacionados às operações de movimentações de aeronaves, trânsito de carga e correio e sua movimentação, bem como a movimentação de passageiros dos aeroportos que operam com voos dentro do território brasileiro. A sua contribuição é a análise comparativa das DMU's em que a mais eficiente seja *benchmark* para as demais, podendo assim rever suas disposições físicas, princípios operacionais, e premissas estratégicas.

Foi possível identificar o índice de eficiência operacional dos aeroportos nacionais. Apontou-se uma DMU eficiente, a qual se situa na região Nordeste, o Aeroporto Internacional de Recife (SBRF). Pôde-se identificar também, que os maiores índices concentram-se no estágio 2, onde três DMU's foram eficientes. Enquanto isso, no estágio 1, apenas uma DMU's obteve máxima eficiência, que foi o próprio aeroporto de Recife.

Referências

ALMEIDA, M. R.; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. N. *Análise De Eficiência Dos Aeroportos Internacionais Brasileiros*. Gestão da produção on line, edição especial, 2006.

EBERTS, Randall, (1990), *Infra-estrutura pública e desenvolvimento econômico regional*, Economic Review, edição QI, p. 15-27.

EDWARD M. Gramlich Journal of Economic Literature Vol. 32, No. 3 (Sep., 1994), pp. 1176-1196

FARE, Rolf and Grosskopf, Shawna, (2000), *Network DEA*, Socio-Economic Planning Sciences, 34, issue 1, p. 35-49.

INFRAERO (2017). *Anuário Estatístico Operacional*. Brasília. Disponível em: <http://www4.infraero.gov.br/media/642485/anuario_2016.pdf>.

KAO, C. Efficiency measurement for parallel production systems. European Journal of Operational Research, v. 196, n. 3, p. 1107–1112, 2009.

KAO, Chiang & Hwang, Shiuh-Nan. (2014). *Scale Efficiency Measurement in Two-Stage Production Systems*. 208. 119-135. 10.1007

KASSAI S. *Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na Análise de Demonstrações Contábeis*. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, 2002.

RODRÍGUEZ POSE, Andrés, (1998), *Social conditions and economic performance: the bond between social structure and regional growth in Western Europe* International Journal of Urban and Regional Research, 22 (3). 443-459. ISSN 0309-1317

SOUZA P. C. T., WILHELM V. E. *Uma introdução aos modelos DEA de eficiência técnica*. Tuiuti: ciência e cultura. Curitiba, n. 42, p. 121-139, 2009.

YOSHINO, Naoyuki and MASAKI Nakahigashi (2004) “The Role of Infrastructure in Economic Development”, ICFAI Journal of Managerial Economics, 2, pp.7–24.