

# **ANÁLISE DA ACESSIBILIDADE AÉREA: UMA APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS**

**Priscilla N. A. K. Presta**  
**Pietro Sossai Gomes**  
**Juliana Quintanilha da Silveira**  
**João Carlos C. B. Soares de Mello**

Universidade Federal Fluminense  
Escola de Engenharia

## **RESUMO**

Este artigo apresenta um modelo de avaliação da acessibilidade aérea dos aeroportos que tem o aeroporto Santos Dumont (SDU) como origem. A abordagem utilizada é a Análise Envoltória de Dados, com outputs sendo a quantidade de assentos, de vôos e de companhias que oferecem transporte a partir do aeroporto estudado e o input é uma constante unitária para todos os aeroportos. Após a aplicação do modelo, o mesmo foi resolvido com auxílio do software Sistema Integrado de Apoio à Decisão.

## **ABSTRACT**

This paper presents a model of evaluation of the airports' air accessibility that has the Santos Dumont airport (SDU) as the departure airport. The approach used in this paper is Data Envelopment Analysis, with as outputs the number of seats, number of flights and number of companies that offer flights from the airport studied and has as input a unitary constant for all airports. After applying the model presented above, it was solved with the help of the software Sistema Integrado de Apoio à Decisão.

## **1. INTRODUÇÃO**

Grande parte dos estudos em DEA relacionados ao setor de transporte aéreo refere-se à avaliação de aeroportos. Adler e Berechman (2001) avaliam a influência da qualidade e eficiência dos aeroportos na escolha por parte das companhias aéreas, de seus aeroportos hubs. Pestana e Dieke (2007) utilizam DEA para analisar o desempenho operacional e financeiro dos aeroportos italianos. Martin e Roman (2001) avaliam a eficiência dos aeroportos espanhóis para suportar o processo de privatização.

Fernandes e Pacheco (2003) aplicam DEA para avaliar 35 aeroportos brasileiros quanto ao número de passageiros que os utilizaram. Os autores discutem ainda sobre a eficiência dos aeroportos brasileiros para identificar meios para melhorar seus desempenhos. O estudo avalia aspectos como a qualidade da gestão, que mostra a capacidade dos aeroportos em gerar retornos financeiros, e a dimensão física dos aeroportos, que reflete o grau de utilização da infra-estrutura disponível.

Pacheco et al. (2006) aplicam a metodologia DEA para investigar os impactos causados pela mudança de gerenciamento dos aeroportos no período de 1998 e 2001, momento em que havia intenção de privatizar os aeroportos brasileiros. As mudanças na forma de se gerenciar, os aeroportos brasileiros apresentaram melhoria em termos de desempenho financeiro, embora o desempenho operacional tenha sido afetado negativamente.

Este estudo pretende avaliar os aeroportos do ponto de vista da acessibilidade aérea. Segundo Ingram (1971), a acessibilidade é definida como a característica (ou vantagem) inerente a um local no que diz respeito a vencer alguma forma de resistência ao movimento. Já para Hoggart (1973), acessibilidade refere-se à interpretação, implícita ou explícita, da

facilidade de contato com oportunidades distribuídas no espaço. Assim, a acessibilidade não depende somente da localização geográfica, mas também da facilidade com que se ultrapassam as separações espaciais entre origens e destinos.

A acessibilidade é um fator de extrema importância em decisões relativas à logística, sendo determinante em um processo de localização. Ela é responsável por parte dos custos de transporte, pois está relacionada à facilidade do acesso a instalações e a elementos necessários a um processo produtivo.

Sob a ótica da acessibilidade aérea, esta pode ser descrita como o grau de facilidade com que uma determinada origem fixa, tem em aceder um determinado destino, através da utilização do transporte aéreo e, vice-versa.

Neste artigo pretende-se medir a acessibilidade dos possíveis destinos de vôos que tem como origem o aeroporto Santos Dumont (SDU), no Rio de Janeiro. Os aeroportos-destino avaliados foram: Congonhas, Macaé, Ribeirão Preto, Minas Gerais e São José dos Campos. Para isso, a análise foi baseada na quantidade de companhias aéreas operantes e na disponibilidade de horários e de assentos, refletindo assim os resultados obtidos a partir dos esforços de cada um dos aeroportos que, neste caso, foram considerados homogêneos.

Para a obtenção da medida de acessibilidade dos aeroportos aplicou-se a Análise Envoltória de Dados (*DEA – Data Envelopment Analysis*), que avalia os resultados de uma unidade produtiva, neste caso um aeroporto, em relação aos esforços empregados pela mesma.

O artigo foi organizado da seguinte forma: na seção 2 há uma breve descrição do modelo DEA. A seção 3 apresenta a caracterização e a modelagem do problema. Na seção 4, foi feito um detalhamento do processo de coleta de dados. A seção 5 explicita os resultados da aplicação do modelo. Finalmente, na seção 6, são descritas as conclusões do trabalho.

## **2. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS**

O método de Análise Envoltória de Dados foi desenvolvido a fim de determinar a eficiência de unidades produtivas (DMU's – *Decision Making Units*), ponderando o que foi produzido (*outputs*) em relação aos recursos disponíveis (*inputs*), por meio de problemas de programação linear.

No lugar de uma ponderação igual para todas as DMU's, DEA permite a escolha de pesos para cada variável, da forma que lhe seja mais favorável, desde que esses pesos, quando aplicados às outras DMU's não gerem uma razão superior à unidade.

O modelo CCR ou CRS (Constant Returns to Scale), desenvolvido por Charnes et al.(1978), trabalha com retornos constantes de escala, ou seja, qualquer variação nas entradas (*inputs*) produz variação proporcional nas saídas (*outputs*). O modelo pode ser orientado à *inputs* e à *outputs*, indicando como uma DMU irá atingir a fronteira de eficiência.

A formulação do modelo CCR, transformada em um problema de programação linear (PPL) é apresentada pela equação (1) a seguir:

$$\begin{aligned}
Max\ Eff_o &= \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \\
\text{Sujeito a} & \\
\sum_{i=1}^k v_i x_{ik} &= 1 \\
\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} &\leq 0, \quad k=1, \dots, n \\
u_j, v_i &\geq 0, \quad \forall j, i
\end{aligned} \tag{1}$$

em que  $Eff_o$  : eficiência da DMU O em análise;

$v_i$  e  $u_j$  : são os pesos de inputs  $i$ ,  $i=1, \dots, r$ , e outputs  $j$ ,  $j=1, \dots, s$  respectivamente;

$x_{ik}$  e  $y_{jk}$  : são os inputs  $i$  e outputs  $j$  da DMU  $k$ ,  $k=1, \dots, n$ .

Os modelos DEA permitem fazer ordenações sem depender de opiniões de decisores. Por outro lado, como cada DMU escolhe seu próprio conjunto de pesos, de modo que a eficiência seja a melhor possível em relação às demais, a análise DEA é considerada extremamente benevolente.

### 3. APLICAÇÃO DO MODELO DEA

Neste estudo não se deseja apenas apontar quais são os aeroportos mais acessíveis, mas sim, fazer um índice que será a razão da combinação linear entre os aspectos que tornam um aeroporto acessível para um determinado destino e os pesos de cada variável pela combinação linear entre todos os “esforços” que auxiliam a tornar o aeroporto acessível com o peso de cada um.

Para isso, utilizamos a metodologia DEA, e, este índice será chamado de Eficiência de cada aeroporto, que será considerado uma DMU. Todos os aspectos que tornam um aeroporto acessível serão chamados de *outputs* e todos os esforços realizados pela DMU para que a mesma se torne acessível serão chamados de *inputs*.

No caso aéreo, pode-se considerar que o grau de facilidade com que se chega a determinado destino está diretamente relacionado ao preço da passagem, à quantidade de horários disponíveis para o voo, ao tempo de voo e à quantidade possível de passageiros a serem transportados.

Neste estudo, serão avaliadas as acessibilidades de cinco aeroportos: Congonhas, Macaé, Ribeirão Preto, Minas Gerais e São José dos Campos. Foi estabelecido como aeroporto origem o Santos Dumont.

Para o caso do aeroporto Santos Dumont como origem, todas as DMU's (aeroportos-destino) apresentam tempo de voo bastante semelhante. Desta forma, esta variável não foi incluída na análise. Com relação ao preço da passagem, este será estabelecido pela companhia aérea. Pode-se, então, inferir que quanto mais companhias aéreas operarem para determinado destino, haverá maior concorrência e, conseqüentemente, preços mais baixos.

Logo, considera-se o número de companhias que operam para determinado destino o primeiro *output*.

A quantidade de vôos disponíveis é o segundo *output*, pois muitos passageiros, principalmente os executivos, apresentam restrições quanto ao horário de vôo e, este se torna determinante na realização da viagem. Dessa forma mais vôos para um determinado destino irão propiciar uma maior opção de horários.

Nesta análise, o terceiro *output* está relacionado à capacidade do aeroporto de transportar passageiros. Este aspecto será traduzido pelo número de assentos disponíveis, resultado da multiplicação entre a capacidade da aeronave utilizada pela companhia aérea pelo número de vôos realizados ao longo de um dia.

Não é de interesse do estudo avaliar quais foram os investimentos dos aeroportos para que estes se tornem mais acessíveis e o modelo seria aplicado sem inputs. Porém, de acordo com Lovell & Pastor (1999) um modelo sem inputs gera inconsistências matemáticas. Uma forma de contornar esta situação é a adoção do input unitário. A variável input, neste caso, seria a própria “existência” do aeroporto e seria atribuído o valor 1 para todas as DMU’s. Assim, são homogeneizados os empenhos feitos pelas cinco DMU’s, dando ênfase apenas aos resultados.

Ainda conforme Lovell & Pastor (1999), para os modelos que apresentam input ou output unitário, o resultado do PPL usando retorno constante de escala coincidirá com o resultado usando retorno variável de escala. Com finalidade de facilitar o desenvolvimento dos cálculos, será usando o modelo CCR, com orientação a input.

Soares de Mello et al. (2009) apresentam uma diferente abordagem a respeito de problemas com inputs constantes. No caso particular do modelo CCR, a formulação não apresenta o input, pois o mesmo é constante:

$$\begin{aligned}
 &Max\ Eff_o = \sum_{r=1}^s u_j y_{jo} \\
 &Sujeito\ a \\
 &\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} \leq 1, \ k=1, \dots, n \\
 &u_j \geq 0, \ \forall\ j
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Embora o modelo seja orientado a input, é possível traçar outras interpretações devido à ausência da restrição de igualdade. Nesse caso, a orientação a input torna-se, de certa forma, sem sentido por causa da presença do input unitário. O dual para este modelo pode ser escrito como na equação (3):

$$\begin{aligned}
 &Min\ \sum_{k=1}^n \lambda_k \\
 &Sujeito\ a
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

$$\sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \leq y_{jo}, j=1, \dots, s$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k$$

Neste modelo não há redução de inputs. A interpretação da minimização da soma das partes traz mais significado ao modelo, mesmo na presença de um input constante. Este modelo já havia sido estudado por Caporaletti et al. (1999), porém utilizando uma visão multi-atributo.

#### 4. COLETA DE DADOS

A análise considerou os dados disponibilizados pela Infraero, através do site [www.infraero.gov.br](http://www.infraero.gov.br), na parte Vãos On Line. No site, foram extraídas a quantidade de vôos e a quantidade de companhias aéreas que voam a partir do aeroporto Santos Dumont. A coleta foi feita usando dados de uma terça-feira, com o aeroporto funcionando em sua frequência ordinária de decolagens e condições meteorológicas.

A quantidade de assentos de cada aeronave utilizada nos vôos pesquisados foi adquirida através dos sites de cada companhia aérea. Com isso, foi possível saber qual a capacidade de cada avião, dado de extrema utilidade para a obtenção do terceiro *output*.

Os dados obtidos e alguns cálculos realizados para cada aeroporto estão explicitados nas tabelas 1, 2, 3, 4 e 5:

**Tabela 1:** Outputs da DMU Congonhas

Companhia	Nº de vôos	Capacidade do avião	Total de assentos
VARIG	13	130	1690
TAM	25	138	3450
GOL	13	187	2431
OCEANAIR	5	98	490
Total	56		8061

**Tabela 2:** Outputs da DMU Belo Horizonte

Companhia	Nº de vôos	Capacidade do avião	Total de assentos
TRIP	1	46	46
Total			46

**Tabela 3:** Outputs da DMU São José dos Campos

Companhia	Nº de vôos	Capacidade do avião	Total de assentos
TEAM	1	19	19
TRIP	1	46	46
Total	2		65

**Tabela 4:** Outputs da DMU Macaé

Companhia	Nº de vôos	Capacidade do avião	Total de assentos
TEAM	2	19	38
Total	2		38

**Tabela 5:** Outputs da DMU Ribeirão Preto

Companhia	Nº de vôos	Capacidade do avião	Total de assentos
PASSAREDO	2	30	60
Total	2		60

Pode-se observar nas tabelas apresentadas o número total de companhias que operam em cada DMU, o número total de vôos e a quantidade máxima de pessoas a serem transportadas ao longo de um dia, respectivamente primeiro, segundo e terceiro outputs. O terceiro output foi obtido através da multiplicação da quantidade de vôos que partem para a DMU analisada em um dia pela capacidade de cada aeronave.

#### 4. RESOLUÇÃO DO MODELO

Para resolver tal modelo, recorreremos ao software Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD), desenvolvido por Angulo Meza et al.(2005). O número total de DMU's foi igual a cinco, sendo um input e três outputs para cada uma delas.

**Tabela 6:** Dados de Entrada do Modelo

DMU	Input 1	Output 1	Output 2	Output 3
Congonhas - SP	1	56	4	8061
Belo Horizonte – MG	1	1	1	46
Ribeirão Preto – SP	1	2	1	60
Macaé – RJ	1	2	1	38
São José dos Campos - SP	1	2	2	65

Os resultados obtidos para cada aeroporto neste modelo encontram-se na tabela 7:

**Tabela 7: Resultados do modelo**

DMU	Eficiência
Congonhas - SP	1,00
São José dos Campos - SP	0,50
Belo Horizonte - MG	0,25
Macaé - RJ	0,25
Ribeirão Preto - SP	0,25

A DMU que obteve o maior índice de eficiência foi Congonhas, seguida por São José dos Campos. As DMU's Belo Horizonte, Macaé e Ribeirão Preto tiveram a mesma avaliação para suas eficiências, o que quer dizer que, do ponto de vista da acessibilidade, estes aeroportos tem o mesmo desempenho.

O conjunto de pesos para cada DMU que gerou os resultados já citados encontram-se na tabela 8:

**Tabela 8: Pesos das variáveis**

DMU	No. De Vôos	No. De Companhias	No. De Assentos
Congonhas - SP	0,01786	0,00000	0,00000
São José dos Campos - SP	0,00000	0,25000	0,00000
Belo Horizonte - MG	0,00000	0,25000	0,00000
Macaé - RJ	0,00000	0,25000	0,00000
Ribeirão Preto - SP	0,00000	0,25000	0,00000

A flexibilidade na escolha dos pesos é uma das vantagens apontadas à modelagem por DEA. No entanto, os pesos calculados podem ser inconsistentes com os conhecimentos que se tem em relação aos valores relativos de *inputs* e *outputs*. Neste caso, o output número de assentos não foi incluído na avaliação das eficiências de nenhum dos aeroportos estudados. Existem diferentes métodos que, se aplicados, evitam a ocorrência de pesos zero para inputs e outputs. Soares de Mello et al. (2005) apresentam alguns destes métodos.

## 5. CONCLUSÃO

Pelo que foi obtido como resultado através da aplicação do software, o aeroporto de Congonhas foi o que apresentou um maior índice de eficiência (100%). Percebeu-se que pelo aeroporto de Congonhas ser o segundo maior aeroporto em movimento operacional de passageiros do Brasil e possuir um volume de passageiros na faixa de 15 milhões por ano, o resultado desta aplicação não seria diferente.

Dos cinco aeroportos estudados, o aeroporto de São José dos Campos destacou-se por apresentar um índice de eficiência de 50%, sendo o dobro do verificado nos demais aeroportos com colocação inferior ao dele no ranking de acessibilidade. Isto acontece pelo fato de existirem duas companhias diferentes, cada uma operando um voo para esta localidade - partindo do aeroporto pesquisado - oferecendo uma significativa diferença no número de assentos em relação às demais.

Este estudo contemplou a operação do Santos Dumont apenas na ponte aérea, como vinha ocorrendo desde 2005. Em abril de 2009, a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) autorizou a retomada de trechos regionais. Isso provocou uma reformulação da malha aérea, com expansão nas opções de vôos e queda nos preços. Desde a ampliação do aeroporto, o terminal já ganhou 95 novas alterações, 30 delas transferidas do aeroporto Internacional Tom Jobim (Galeão).

A partir das mudanças ocorridas no Santos Dumont, existe a necessidade da atualização deste estudo para a nova realidade do aeroporto. Além disso, seria interessante agregar métodos que evitassem os pesos zero, para que a avaliação possa ser mais abrangente.

## Referências

- Adler, N. e Berechman, J. Measuring airport quality from the airlines' viewpoint: An application of data envelopment analysis (2001). *Transport Policy*, v. 8, n. 3, p. 171-118.
- Angulo-Meza, L.; Biondi Neto, L.; Soares de Mello, J. C. C. B. e Gomes, E. G (2005). ISYDS - Integrated System for Decision Support (SIAD Sistema Integrado de Apoio a Decisão): A Software Package for Data Envelopment Analysis Model, *Pesquisa Operacional*, v. 25, n.3, p. 493-503.
- Caporaletti, L.E.; Dul'a, J.H. e Womer, N. K. (1999). Performance evaluation based on multiple attributes with nonparametric frontiers. *Omega*. v.27, p.637-645.
- Charnes, A.; Cooper, W. W. e Rhodes, E. Measuring the efficiency of decision-making units (1978). *European Journal of Operational Research*. v. 2, p. 429-444.
- Hoggart, K. Transportation accessibility: some references concerning applications, definitions, importance and index construction (1973). *Council of Planning Librarians: Exchange Bibliography*, Monticello, p. 482.
- Ingram, D. R. The concept of accessibility: a search for an operational form (1971). *Regional Studies*, v.5, n.2, p. 101-107
- Lovell, C. A. K. e Pastor, J. T. Radial DEA models without inputs or without outputs (1999), *European Journal of Operational Research*, v. 118, n. 1, p. 46-51.
- Martin, J.C. e Roman, C (2001). An application of DEA to measure the efficiency of Spanish airport prior to privatization. *Journal of Air Transport Management*. v.. 7, n.3, p. 149 - 157.
- Pacheco, R.R. e Fernandes, E (2003). Managerial efficiency of Brazilian airports. *Transportation Research part A: Policy and Practice*. v.37, n.8, p.667- 680.
- Pacheco, R.R.; Fernandes, E. e Siqueira Santos, M.P (2003). Management style and airport performance in Brazil. *Journal of Air Transport Management*. v.. 12, n. 6, p. 324 - 330.
- Pestana Barros, C. e Dieke, P.U.C (2007). Performance evaluation of Italian airports: A data envelopment analysis. *Journal of Air Transport Management*, v. 13, n. 4, p. 184 -191
- Soares de Mello, J.C.C. B.; Angulo Meza, L.; Gomes, E.G. e Biondi Neto, L (2005). Curso de Análise de Envoltória de Dados. *Anais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, SBPO, Gramado.
- Soares de Mello, J.C.C.B.; Angulo Meza, L.& Branco da Silva, B.P (2009). A ranking for the Olympic Games with unitary input DEA models. *IMA Journal of Management Mathematics*. v. 20, n. 2, p. 201-211.

---

Priscilla N. A. K. Presta (priscilla\_presta@hotmail.com)

Pietro Sossai Gomes (pietrosossai@gmail.com)

Juliana Quintanilha da Silveira (juliqs@hotmail.com)

João Carlos C. B. Soares de Mello (jcsmello@pq.cnpq.br)

Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense

Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ, Brasil.