

MEDIDAS COMPARATIVAS DE EFICIÊNCIAS AEROPORTUÁRIAS

Eliane Gonçalves Gomes
Embrapa Monitoramento por Satélite

João Carlos C. B. Soares de Mello
Departamento de Engenharia de Produção,
Universidade Federal Fluminense

Luiz Biondi Neto
Departamento de Engenharia Eletrônica e Telecomunicações
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

RESUMO

São encontradas na literatura algumas formas de medida da eficiência aeroportuária. É aqui apresentada uma nova abordagem baseada em Análise de Envoltória de Dados, que utiliza programação linear para calcular uma medida de eficiência comparada. São utilizados os dados encontrados na literatura e o estudo é dividido em dois conjuntos de avaliação: aeroportos brasileiros e aeroportos brasileiros em conjunto com aeroportos estrangeiros. Em ambos os casos, calculam-se as eficiências operacional, comercial (que considera as receitas não aeroportuárias) e global.

ABSTRACT

Some measures of airport efficiency are found in the literature. We present a different approach using Data Envelopment Analysis. This approach computes a comparative efficiency measure using linear programming. The data used are found in the literature. Our study is divided in two evaluation sets: the Brazilian airports and the same airports together with the foreign ones. In both cases we compute operational, commercial and global efficiencies.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, os aeroportos não são somente considerados como local de transferência entre os modais de transporte aéreo e terrestre. São vistos como importantes centros impulsionadores do desenvolvimento urbano, seja pelo aumento do potencial turístico, seja como gerador de empregos e opções de lazer (Palhares e Espírito Santo Jr., 2001).

Para que estas funções sejam bem cumpridas, é necessário que haja eficiência por parte das administrações aeroportuárias. Tradicionalmente, é medida apenas a eficiência operacional do aeroporto, ou seja, capacidade de gerar fluxo de passageiros e carga com os recursos de que dispõe. Palhares (2001) introduz o conceito de eficiência das Receitas Não Aeroportuárias (RNAs), que são um indicador importante da capacidade do aeroporto em executar sua função de centro promotor de atividades econômicas nas cidades. O mesmo autor utiliza vários indicadores de eficiência operacional e de RNAs separadamente para avaliar eficiências parciais de aeroportos. Estas receitas são ainda um dos fatores que mais atenção devem ter em qualquer proposta de modernização da administração aeroportuária no Brasil (Espírito Santo Jr. *et al.*, 2001).

É possível, com o uso da metodologia de Análise de Envoltória de Dados (DEA – *Data Envelopment Analysis*) (Cooper *et al.*, 2000), agregar estes diversos indicadores em um único índice de eficiência. A elaboração deste índice necessitaria de amplo acesso a dados, nem sempre disponíveis devido à falta de uma política de transparência no setor aéreo (Espírito Santo Jr., 2000). A falta destes dados obriga a pequenas modificações na metodologia DEA,

com o cálculo de dois índices e sua posterior agregação por um modelo DEA de recursos constantes (Soares de Mello *et al.*, 2000).

Este estudo tem como objetivo propor um novo índice de eficiência aeroportuária global, com o uso de metodologia DEA. O índice proposto é aplicado a alguns aeroportos brasileiros e internacionais. Pela dificuldade já mencionada e pela possibilidade de comparação de resultados, os dados utilizados neste trabalho são referentes aos mesmos aeroportos e períodos que os considerados por Palhares (2001).

2. ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS

A Análise de Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) é uma metodologia que usa programação linear para avaliação de eficiências comparativas de Unidades de Tomada de Decisão (*Decision Making Unit* – DMU). A eficiência relativa de uma DMU é definida como a razão da soma ponderada de produtos (*outputs*) pela soma ponderada de insumos necessários para gerá-los (*inputs*). Os pesos usados nas ponderações são obtidos de um programa de programação fracionária que atribui a cada DMU os pesos que maximizam a sua eficiência. Seu uso é de particular interesse quando se deseja determinar a eficiência de unidades produtivas onde não seja relevante ou não se deseja considerar somente o aspecto financeiro (Gomes *et al.*, 2001). No presente caso, DEA permite avaliar a eficiência relativa de cada aeroporto (DMU), considerando-se os recursos de que dispõe (*inputs*) e os resultados alcançados (*outputs*).

Há dois modelos DEA clássicos: o modelo CRS ou CCR (Charnes *et al.*, 1978), que considera retornos de escala constantes, e o modelo VRS ou BCC (Banker *et al.*, 1984), que considera retornos variáveis de escala e não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. As formulações dos modelos CRS e VRS usam para cada DMU os problemas de programação linear (PPL) apresentados, respectivamente, em (1) e em (2).

$$\begin{aligned} \max h_o &= \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \\ \text{sujeito a} \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{io} &= 1 \\ \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} &\leq 0, \quad k = 1, \dots, n \\ u_j, v_i &\geq 0 \quad \forall x, y \end{aligned} \quad (1)$$

Nestes modelos, conhecidos como modelo dos multiplicadores, para a DMU o em análise, a eficiência é dada por h_o ; x_{ik} representa o *input* i da DMU k ; y_{jk} representa o *output* j da DMU k ; v_i e u_j representam os pesos dados aos *inputs* i e aos *outputs* j , respectivamente; u_* é um fator de escala. Se h_o é igual a 1, a DMU o em análise é considerada eficiente. As variáveis de decisão deste PPLs são v_i , u_j e u_* . De forma não matemática, no modelo VRS uma DMU é eficiente se, na escala em que opera, é a que melhor aproveita os *inputs* de que dispõe. No modelo CRS uma DMU eficiente é aquela que melhor aproveita os *inputs* que possui, sem consideração sobre a escala de operação.

$$\begin{aligned} \max h_o &= \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} - u_* \\ \text{sujeito a} \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{io} &= 1 \\ \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - u_* &\leq 0, \quad k = 1, \dots, n \\ u_j, v_i &\geq 0 \quad \forall x, y \\ u_* &\in \Re \end{aligned} \quad (2)$$

Os duais dos modelos (1) e (2), conhecidos como modelo do envelope, têm como interpretação geométrica uma fronteira linear por partes composta pelas DMUs eficientes. As DMUs ineficientes localizam-se abaixo da fronteira de eficiência. A Figura 1 mostra as fronteiras DEA VRS e CRS para um modelo DEA bidimensional (1 *input* e 1 *output*). As DMUs A, B e C são VRS eficientes; a DMU B é CRS eficiente. As DMUs D e E são ineficientes em ambos os modelos.

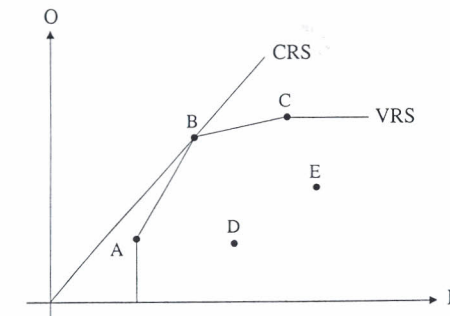


Figura 1: Fronteiras DEA VRS e CRS para o caso bidimensional.

Uma distorção do modelo VRS é considerar sempre eficientes as DMUs que tenham o menor valor para um dos *inputs* ou o maior valor para um dos *outputs*. Na Figura 1, este seria o caso das DMUs A e C, respectivamente. Na interpretação dos resultados esta característica deve ser considerada para que se evitem conclusões equivocadas.

Na literatura são encontrados alguns exemplos da aplicação da metodologia DEA no mercado de transporte aéreo, como por exemplo, Gomes *et al.* (2001), Adler e Golany (2001) e Fernandes e Pacheco (2002).

3. DESCRIÇÃO DOS MODELOS

Devido à não homogeneidade dos dados disponíveis sobre os aeroportos brasileiros e estrangeiros, fez-se necessário dividir o estudo em várias etapas. Como regra geral foi adotado o modelo VRS, que permite comparar unidades de escalas extremamente diferentes.

Evita-se, assim, a necessidade de divisão dos aeroportos em grupos, como recomendado pela ICAO (Palhares, 2001).

3.1. Modelos para os aeroportos brasileiros

Para os aeroportos brasileiros, inicialmente foi construído um índice de eficiência operacional (modelo operacional). Para tal foi usado um modelo DEA VRS, com *input* número total de funcionários e como *outputs* movimento de passageiros e de aviões. Não foi considerado o *output* movimentação de carga, pois o objetivo é a comparação com os resultados obtidos por Palhares (2001), nos quais os aeroportos são tratados como geradores de turismo.

Na literatura (Fernandes e Pacheco, 2002), encontra-se a área do aeroporto como *input*. Optou-se por não fazer esta consideração já que é uma variável não controlada pela autoridade aeroportuária. Além disso, um alto quociente movimento de passageiro/área pode representar não eficiência, mas congestionamento de passageiros (como ocorre atualmente no aeroporto de Vitória). Já uma alta relação movimento de aviões/área pode ser um indicador de alta probabilidade de ocorrência de perturbações na normal operação aeroportuária, com a conseqüente geração de atrasos (Pereira *et al.*, 2001a, 2001b). Esta última situação ocorre nos aeroportos de São de Paulo e no Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro, próximo a seu limite de saturação (Ralem e Feitosa, 2001).

Um segundo modelo (modelo RNA) considera os *outputs* do primeiro modelo como *inputs* e como *output* as receitas não aeroportuárias (RNAs). Esta abordagem é semelhante ao percentual de RNAs usado por Palhares (2001), uma vez que os *inputs* considerados influem grandemente na geração de receitas aeroportuárias.

O terceiro modelo (global) considera como *input* o número total de funcionários e como *outputs* movimento de passageiros, movimento de aviões e RNAs. Este modelo, ao agregar os dois anteriores, é uma medida de eficiência global dos aeroportos brasileiros considerados. O seu uso dispensaria os modelos anteriores. No entanto, como modelos parciais estes têm sua utilidade no auxílio à interpretação dos resultados do modelo global.

3.2. Modelos para os aeroportos brasileiros e estrangeiros

A não disponibilidade de dados totalmente desagregados para os aeroportos estrangeiros, obriga à construção de modelos com parâmetros diferentes dos anteriores, para que se possa considerar em uma mesma análise todos os aeroportos. Os resultados destes modelos podem não descrever tão bem a realidade como os modelos anteriores, mas são os possíveis com os dados disponíveis.

Movimento de passageiros e movimento de aviões são os *outputs* do primeiro modelo, que tem como *input* número de funcionários aeroportuários. Este modelo é semelhante ao modelo operacional considerado no item 3.1.. O segundo modelo é o percentual de RNAs. Este percentual equivaleria a um modelo DEA CRS de *input* total de receitas e de *output* receitas não aeroportuárias.

É necessário um artifício para a construção do modelo final, que efetua a junção dos modelos anteriores. É um modelo DEA CRS em que os *outputs* são a eficiência operacional e o percentual de RNAs. Como estes *outputs* já incorporam os possíveis *inputs*, o modelo não deveria ter *inputs*, o que gera impossibilidades matemáticas (Lovell e Pastor, 1999). Para

contornar esta dificuldade, foi considerado um *input* único e unitário (Soares de Mello *et al.*, 2000). Tal como nos modelos para aeroportos brasileiros unicamente, este é o modelo que mede a eficiência global.

O uso do modelo de retornos constantes de escala neste último modelo é justificado pelo fato de os *outputs* já serem índices que não guardam proporcionalidade com a escala de operação.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1. Resultados dos modelos para os aeroportos brasileiros

A Tabela 1 mostra os resultados dos três modelos para os aeroportos brasileiros.

Tabela 1: Eficiências para os aeroportos brasileiros nos três modelos.

| DMU | Eficiência (%) | | |
|---------------|--------------------|------------|---------------|
| | Modelo Operacional | Modelo RNA | Modelo Global |
| Belém | 43,63 | 26,71 | 43,63 |
| Brasília | 51,66 | 22,12 | 51,66 |
| Campinas | 19,19 | 100,00 | 23,95 |
| Confins | 32,14 | 100,00 | 32,14 |
| Congonhas | 100,00 | 33,77 | 100,00 |
| Curitiba | 58,59 | 37,05 | 68,23 |
| Florianópolis | 95,10 | 100,00 | 95,10 |
| Galeão | 11,33 | 100,00 | 48,66 |
| Guarulhos | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Manaus | 26,33 | 60,78 | 29,79 |
| Pampulha | 100,00 | 22,61 | 100,00 |
| Porto Alegre | 42,00 | 34,05 | 46,20 |
| Recife | 39,43 | 38,14 | 48,68 |
| Salvador | 63,06 | 30,01 | 68,34 |
| Santos Dumont | 76,68 | 30,81 | 81,79 |

De forma geral, os resultados obtidos nos três modelos DEA apresentam alta concordância com os resultados obtidos por Palhares (2001). A maior discordância é no modelo RNA com relação aos aeroportos de Guarulhos e Galeão, especialmente neste último. No modelo aqui proposto estes aeroportos são eficientes, e no trabalho de comparação são alguns dos que apresentam maior ineficiência. Esta diferença ocorre principalmente pelo uso de uma abordagem alternativa que, ao invés de considerar o simples quociente entre RNAs e Receitas Aeroportuárias, considera os fatores capazes de gerar receitas aeroportuárias e efeitos de escala.

Embora o aeroporto do Galeão, em especial, apresente um baixo percentual de RNAs, estas são altas em relação ao seu movimento atual. Existem duas prováveis causas para esta situação: altas taxas aeroportuárias e o fato de não ser considerada a movimentação de cargas. Ainda neste modelo, deve-se destacar que a eficiência dos aeroportos de Campinas e Florianópolis é mera decorrência da distorção matemática anteriormente citada. Estes aeroportos podem ser chamados de eficientes por *default*.

No modelo operacional chama atenção a baixíssima eficiência do aeroporto do Galeão. Pode ser fator explicativo a inauguração do Terminal 2, anterior à queda de movimento neste

aeroporto. Tal queda de movimento decorre do maior uso de São Paulo e do Nordeste como porta de entrada para vôos internacionais e da transferência de muitos vôos nacionais para o aeroporto Santos Dumont, após sua reforma.

A presença dos dois aeroportos paulistas entre os três eficientes no modelo global é um fato a ser destacado.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos três modelos para os aeroportos brasileiros e estrangeiros.

Tabela 2: Eficiências para os aeroportos brasileiros e estrangeiros nos três modelos.

| DMU | Eficiência (%) | | |
|---------------|--------------------|------------|---------------|
| | Modelo Operacional | Modelo RNA | Modelo Global |
| Auckland | 32,00 | 38,36 | 53,89 |
| Belém | 25,24 | 26,70 | 37,51 |
| Brasília | 25,02 | 31,75 | 44,61 |
| Brisbane | 76,28 | 70,00 | 98,34 |
| Calgary | 100,00 | 38,22 | 100,00 |
| Campinas | 18,91 | 4,50 | 18,91 |
| Confins | 20,64 | 19,80 | 27,82 |
| Congonhas | 37,63 | 43,71 | 61,41 |
| Curitiba | 39,41 | 28,20 | 44,03 |
| Florianópolis | 100,00 | 19,80 | 100,00 |
| Galeão | 4,10 | 20,50 | 28,80 |
| Guarulhos | 8,87 | 26,17 | 36,77 |
| Manaus | 25,13 | 10,90 | 25,13 |
| Melbourne | 51,30 | 65,52 | 92,05 |
| Pampulha | 53,73 | 20,90 | 53,73 |
| Perth | 84,83 | 71,18 | 100,00 |
| Porto Alegre | 29,46 | 23,80 | 34,27 |
| Recife | 22,27 | 26,20 | 36,81 |
| Salvador | 46,29 | 28,40 | 49,37 |
| San Diego | 100,00 | 41,00 | 100,00 |
| Santos Dumont | 38,72 | 41,80 | 58,72 |
| Stansted | 11,77 | 58,75 | 82,54 |
| Vancouver | 100,00 | 48,00 | 100,00 |

Os resultados da Tabela 2 apresentam uma concordância ainda maior com os resultados apresentados por Palhares (2001). O principal destaque é a ausência de aeroportos brasileiros entre aqueles que apresentam maior eficiência. A exceção é o aeroporto de Florianópolis, cuja presença entre os eficientes é decorrência de ser uma DMU eficiente por *default*, neste caso por apresentar o menor valor do *input* número de funcionários aeroportuários.

5. CONCLUSÕES

O uso de modelos DEA como medida de eficiência aeroportuária comparada permitiu validar a maioria dos resultados obtidos por Palhares (2001). Além disso, pode-se identificar resultados não esperados (por exemplo, eficiência do aeroporto do Galeão), cuja análise detalhada pode gerar subsídios para a administração aeroportuária.

Os resultados para os modelos que agregam aeroportos brasileiros e estrangeiros apresentaram grande concordância com os resultados do trabalho de comparação, principalmente por ter sido usado o mesmo modelo de eficiência RNA. O eventual acesso a dados desagregados permitiria melhorar este estudo e introduzir novos temas de análise.

O uso dos resultados deste estudo, em especial no que se refere ao modelo de eficiência RNA, pode servir como auxílio a estudos para a necessária modernização das administrações aeroportuárias no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, N. e B. Golany (2001) Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe. *European Journal of Operational Research*, v. 132, n. 2, p. 260-273.
- Banker, R.D., A. Charnes e W.W. Cooper (1984) Some models for estimating technical scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078-1092.
- Charnes, A., W.W. Cooper e E. Rhodes (1978) Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, p. 429-444.
- Cooper, W.W., L.M. Seiford e K. Tone (2000) *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Kluwer Academic Publishers, USA.
- Espírito Santo Jr., R. A. (2000) Concentração no transporte aéreo e os possíveis impactos sobre os consumidores, a sociedade e a economia. *Transporte em Transformação V*, p. 155-170.
- Espírito Santo Jr., R.A., Correia, F.C. e G.L. Palhares (2001) Principais barreiras para o processo de modernização das administrações aeroportuárias no Brasil. In: Setti, J.R.A. e O.F. Lima-Júnior (eds) *Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes – Anais do XV Congresso de Pesquisa em Transportes*, Campinas, SP, Novembro, v. 2, p. 9-16.
- Fernandes, E. e R.R. Pacheco (2002) Efficient use of airport capacity. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 36, n. 3, p. 225-238.
- Gomes, E.G., J.C.C.B. Soares de Mello, B.P. Serapião, M.P.E. Lins e L.N. Biondi (2001) Avaliação de Eficiência de Companhias Aéreas Brasileiras: Uma Abordagem por Análise de Envoltória de Dados. In: Setti, J.R.A. e O.F. Lima Júnior (eds), *Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2001 – Anais do XV ANPET*, Campinas, SP, Novembro, v. 2, p. 125-133.
- Lovell, C.A.K. e J.T. Pastor (1999) Radial DEA models without inputs or without outputs. *European Journal of Operational Research*, v. 118, n. 1, p. 46-51.
- Palhares, G.L. (2001) *Transporte Aéreo e Turismo: gerando desenvolvimento socioeconômico*. Editora Aleph, São Paulo.
- Palhares, G.L. e R.A. Espírito Santo Jr. (2001) O turismo e o transporte aéreo como multiplicadores socioeconômicos. In: Setti, J.R.A. e O.F. Lima Júnior (eds), *Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2001 – Anais do XV ANPET*, Campinas, SP, Novembro, v. 2, p. 225-232.
- Pereira, B.D., Guedes, E.P. e M.V.M. Feitosa (2001a) Aeroporto Santos Dumont: análise de propostas de melhorias na infra-estrutura aeroportuária via modelo de simulação. In: Setti, J.R.A. e O.F. Lima-Júnior (eds) *Anais do XV Congresso de Pesquisa em Transportes*. p. 151-156.
- Pereira, B.D., Guedes, E.P. e M.V.M. Feitosa, M.V.M. (2001b) Estudo dos atrasos na área terminal São Paulo: situação atual e futura via modelo de simulação. In: Setti, J.R.A. e O.F. Lima-Júnior (eds) *Anais do XV Congresso de Pesquisa em Transportes*. p. 157-164.
- Rolim, H.L. e M.V.M. Feitosa (2001) Capacidade de pista em aeroportos: uma proposta metodológica. In: Setti, J.R.A. e O.F. Lima-Júnior (eds) *Anais do XV Congresso de Pesquisa em Transportes*. p. 145-150.
- Soares de Mello, J.C.C.B., Gomes, E.G., Lins, M.P.E. e L.A.M. Vieira (2000) Mapeamento da interiorização da Universidade Federal Fluminense, fazendo uso integrado de Sistemas de Informação Geográfica, Análise de Envoltória de Dados e Análise Multicritério. *Anais do GISBrasil 2000*, Salvador.

Endereços

Eliane Gonçalves Gomes – Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Dr. Júlio Soares de Arruda, 803, Parque São Quirino, 13088-300, Campinas, SP. eliane@cnpm.embrapa.br
João Carlos Correia Baptista Soares de Mello – DEP/UFF
Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ. jcsmello@bol.com.br
Luiz Biondi Neto – DETEL/UFERJ
Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, 20550-013, Rio de Janeiro, RJ. lbiondi@embratel.net.br