

Eficiência técnica das companhias aéreas brasileiras: um estudo com análise envoltória de dados e conjuntos nebulosos

Teresa Cristina Vilaro Domingues Correia^{a*},
João Carlos Correia Baptista Soares de Mello^b, Lidia Angulo Meza^c

^{a*}cristinavilaro@yahoo.com.br, UFF, Brasil

^bjcsmello@pq.cnpq.br, UFF, Brasil

^clidia_a_meza@pq.cnpq.br, UFF, Brasil

Resumo

Com a desregulamentação do transporte aéreo brasileiro, iniciada na década de 90, uma nova perspectiva de competição se desenvolveu, obrigando as empresas existentes a uma grande mudança em sua forma de posicionamento nesse tipo de mercado. Surge assim um novo conceito de voar com as companhias de baixo custo (*Low Cost Carriers* – LCCs) no mercado antes monopolizado pelas companhias tradicionais ou de serviço completo (*Full Service Carriers* – FSCs). Para garantir sua competitividade, as empresas viram-se obrigadas a buscar um melhor aproveitamento dos seus recursos. Este trabalho analisa, através do modelo DEA nebuloso, que leva em conta a má qualidade dos dados disponíveis, o desempenho das companhias aéreas brasileiras no período de 2001 a 2005. Além disso, dado que esse enfoque apresenta muitas unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Units* – DMUs) empatadas, é sugerido um modelo de aumento de discriminação da análise envoltória de dados nebulosa (Fuzzy-DEA). É feita uma análise temporal dos dados de forma a avaliar a evolução das companhias aéreas frente ao novo cenário de competitividade no mercado.

Palavras-chave

Transporte aéreo. Eficiência. Análise envoltória de dados. Conjuntos nebulosos.

1. Introdução

O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho operacional das companhias aéreas brasileiras após o surgimento da primeira *Low Cost Carrier* (LCC) no país. Para isso, avalia-se a utilização da frota para transporte de carga e passageiro em território nacional e internacional e leva-se em conta a má qualidade dos dados fornecidos pela Anac. Otimizar a frota, evitando ociosidade nas aeronaves, é um dos fatores que contribuem para redução de custos operacionais e, conseqüentemente, aumento do lucro da empresa.

A primeira LCC no Brasil, Gol Transportes Aéreos Ltda., surgiu em 2001 como produto do processo de desregulamentação do setor de transporte aéreo, obtendo em pouco tempo grande penetração no mercado (EVANGELHO; HUSE; LINHARES, 2005).

O processo de desregulamentação do setor de transporte aéreo, iniciado na década de 70 nos Estados Unidos, rapidamente expandiu-se por outras regiões, atingindo o mercado brasileiro nos anos 90. Com a eliminação de várias barreiras à concorrência, proporcionou o surgimento de um novo conceito de voar com as companhias de baixo custo, as *Low Cost Carriers* (LCCs), num mercado antes monopolizado pelas *Full Service Carriers* (FSCs).

O aumento da competitividade no setor de transporte aéreo induziu que a gestão das empresas passasse de uma visão puramente operacional para uma visão de negócios. Com a inibição do repasse de custo ao consumidor para as companhias cobrirem seus custos operacionais, estas precisaram

desenvolver estratégias para auferir lucros crescentes, sem prejuízos aos seus clientes. Assim, a atenção constante à utilização de seus recursos fez-se necessária, pois a administração desses bens é essencial ao desempenho operacional esperado por acionistas e clientes.

Assim, aplicou-se a análise envoltória de dados (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978) e princípios elementares de conjuntos nebulosos (ZADEH, 1965), metodologia recomendada para lidar com variáveis que apresentam incerteza em sua medição, para avaliar não somente o desempenho de cada empresa brasileira, mas sua evolução no período de análise, 2001 a 2005. Além disso, utiliza-se um artifício de ordenação em DEA através do estabelecimento de camadas de eficiência para melhor discriminação das unidades avaliadas. O uso do modelo DEA nebuloso deve-se a certo grau de incerteza nos dados, conforme explicado na seção 4.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 há uma revisão da metodologia DEA, fronteiras DEA nebulosas e métodos de discriminação em DEA. A seção 3 apresenta uma sucinta revisão do uso de DEA em transporte aéreo. A seção 4 mostra a modelagem DEA e os modelos utilizados para analisar as companhias aéreas brasileiras. Na seção 5, os resultados são apresentados e discutidos. Finalmente as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros estão descritas na seção 5.

2. Metodologia DEA e fronteiras DEA nebulosas

O método de análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) é uma ferramenta matemática que mede a eficiência relativa das unidades de produção (*Decision Making Units* – DMUs). Compara o que foi produzido (*outputs*), dado os recursos (*inputs*) disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos. É uma abordagem utilizada para determinar a eficiência de unidades produtivas, onde não seja relevante ou não se deseja somente o aspecto financeiro. E para isso compara certo número de DMUs que realizam tarefas similares e se diferenciam nas quantidades de *inputs* que consomem e de *outputs* que produzem.

Existem dois modelos clássicos em DEA: CCR (também conhecido por CRS ou *Constant Return to Scale*), proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e BCC (também conhecido por VRS ou *Variable Return to Scale*), proposto por Banker, Charnes e Cooper (1984). O modelo CCR trabalha com retornos constantes de escala, ou seja, qualquer variação nos *inputs* produz variação

proporcional nos *outputs*. Já o modelo BCC não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*, permitindo que DMUs que operam com baixos valores de *inputs* tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes.

Para o cálculo da eficiência são possíveis dois tipos de orientação. A orientação a *inputs* tem como objetivo produzir a mesma quantidade de produtos, minimizando a utilização dos recursos. Em contrapartida, a orientação a *outputs* visa maximizar a produção mantendo constante a quantidade de recursos consumidos.

Na Equação 1 é apresentada a formulação do modelo BCC com orientação a *input* e formulação dos multiplicadores. Esse modelo calcula a eficiência da DMU o em análise; v_i e u_j são os multiplicadores dos *inputs* i , $i = 1, \dots, r$, e dos *outputs* j , $j = 1, \dots, s$ respectivamente, u^* o fator de escala; x_{ik} e y_{jk} são os *inputs* i e *outputs* j da DMU k , $k = 1, \dots, n$; x_{io} e y_{jo} são os *inputs* i e *outputs* j da DMU o .

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Eff_o &= \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} + u_* \\
 \text{sujeito a} & \\
 \sum_{i=1}^r v_i x_{io} &= 1 \\
 -\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} + u_* &\leq 0, \forall k \\
 v_i, u_j &\geq 0, u_* \in \mathfrak{R}
 \end{aligned} \tag{1}$$

A primeira restrição obriga a que o *input* virtual seja unitário. Trata-se de uma restrição arbitrária para evitar o problema de multiplicidade de soluções ótimas no programa de programação fracionária original de DEA. O segundo conjunto de restrições é a linearização das restrições originais do problema fracionário que significam que a eficiência de todas as DMUs com os pesos da DMU em análise não pode ser superior a 1. A primeira linha do modelo representa o objetivo de, em forma linearizada, maximizar a eficiência da DMU em análise.

Quando as variáveis (*inputs* ou *outputs*) apresentam algum grau de incerteza na medição, pode-se usar a fronteira estocástica (COELLI; RAO; BATTESE, 1998) ou combinações de DEA com conjuntos difusos. A base conceitual desses métodos pode ser vista em Kao e Liu (2000), que usam modelos de programação matemática difusa.

Neste artigo será usado um enfoque semelhante ao mencionado acima, mas baseado em propriedades geométricas da fronteira (SOARES DE MELLO et al., 2005; GOMES; SOARES DE MELLO; MANGABEIRA, 2006; BIONDI NETO et al., 2009). Neste enfoque a fronteira eficiente é construída considerando-se os

limites de incerteza, isto é, os menores e maiores valores possíveis de serem assumidos pela variável afetada pela incerteza de medição. Dessa forma, constrói-se uma região em relação à qual as DMUs possuem certo grau de pertinência.

Para calcular o grau de pertinência são construídas fronteiras otimistas e pessimistas. Quando se deseja utilizar a orientação a *inputs*, os limites inferiores das variáveis são utilizados para construir a fronteira otimista. Para a fronteira pessimista, utilizam-se os maiores valores das variáveis. O inverso é válido para a orientação a *outputs*.

Tanto nos modelos DEA clássicos quanto nos modelos DEA nebulosos, existe a problemática de fornecerem muitos empates nas DMUs avaliadas. Enquanto nos primeiros os empates são nas DMUs eficientes, em DEA nebuloso, os empates são principalmente nas DMUs com grau nulo de pertinência a fronteira nebulosa. Para discriminar essas DMUs, o conceito de fronteira invertida (YAMADA; MATUI; SUGIYAMA, 1994; ENTANI; MAEDA; TANAKA, 2002; LINS; NOVAES; LEGEY, 2005; SOARES DE MELLO et al., 2008) pode ser aplicado. Esse método consiste em uma avaliação pessimista das unidades, através da inversão dos *inputs* com os *outputs*. Métodos revistos por Angulo-Meza e Lins (2002) também são recomendados.

Porém, neste estudo, o artifício proposto para discriminar DMUs nos casos de DEA nebuloso (denominado camadas em DEA nebuloso) baseia-se no modelo DEA em camadas (TAVARES, 1998; BARR; DURCHHOLZ; SEIFORD, 2000b; GOMES, et al., 2009a,b) que consiste em estabelecer camadas de eficiências (denominadas camadas de isoeffiência) e assim prover uma classificação em DEA.

Essas camadas são obtidas da seguinte forma (GOMES; SOARES DE MELLO; ESTELLITA LINS, 2003): as alternativas com 100% de eficiência formam a camada 1; essas alternativas são, então, retiradas do conjunto de análise e corre-se novamente o modelo DEA. As alternativas eficientes nesse subconjunto formam a camada 2. O processo repete-se até que todas as alternativas tenham sido retiradas do conjunto inicial. Assim, as camadas de isoeffiência são utilizadas para obter uma forma alternativa de ordenação e divisão em classes em DEA clássico.

3. DEA em transporte aéreo

Na literatura, a maioria dos artigos em relação a transporte aéreo com aplicação de DEA refere-se à avaliação de aeroportos. No estudo feito por Adler e Berechman (2001), a qualidade dos aeroportos é

avaliada sob o ponto de vista das companhias aéreas, indicando apoio na escolha de seus aeroportos *hubs*. Barros 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 (2002) aplicam DEA para avaliar 35 aeroportos brasileiros quanto ao número de passageiros que os utilizaram. Ainda sobre esses 35 aeroportos, Pacheco e Fernandes (2003) discutem sobre a eficiência dos aeroportos brasileiros para identificar meios para melhorar seu desempenho. Neste estudo são avaliados dois aspectos: a qualidade da gestão, que mostra a capacidade dos aeroportos em gerar retornos financeiros, e as dimensões físicas dos aeroportos, que refletem o grau de utilização da infraestrutura disponível.

Pacheco, Fernandes e Santos (2006) utilizam DEA para investigar os impactos causados pela mudança de gerenciamento dos aeroportos no período de 1998 a 2001, momento em que se havia intenção de privatizar os aeroportos brasileiros. Neste estudo, verificam que, com as mudanças na forma de se gerenciar, os aeroportos brasileiros apresentaram melhoria em termos de desempenho financeiro, embora tenham apresentado redução em termos de performance operacional.

Para a avaliação de companhias aéreas, Soares de Mello et al. (2003) aplicam DEA para calcular o índice de eficiência das empresas brasileiras em relação ao transporte aéreo de passageiros nos anos de 1998, 1999 e 2000. Além disso, calculam os *benchmarks* de cada companhia com um enfoque DEA multiobjetivo, que permite a escolha de uma meta dentre um conjunto possível de empresas eficientes.

Para os anos de 2001 a 2004, Araújo et al. (2006) avaliam o desempenho operacional das principais empresas regionais de aviação brasileiras com foco nos principais fatores de produção (mão de obra, capital e combustível). Schefczyk (1993) avalia o desempenho operacional das companhias aéreas, finalizando o estudo com uma análise dos fatores estratégicos relativos à rentabilidade e desempenho no setor aéreo. Silveira et al. (2008) avaliaram a eficiência de um pequeno grupo de companhias aéreas com uma variação do modelo de Li e Reeves (1999).

Ainda em relação ao transporte aéreo brasileiro, Barros et al. (2010) propõem uma medição dos atrasos com aplicação de DEA. Neste estudo, sob o ponto de vista do consumidor, apresentaram uma avaliação das companhias aéreas brasileiras e dos

aerportos nacionais de origem e destino utilizados pelas empresas.

Finalmente, Fonseca et al. (2010) usam modelos DEA com ganhos de soma zero, para fazer um estudo sobre tarifas aeroportuárias e receitas não aeroportuárias.

4. Análise das companhias aéreas brasileiras

Para avaliar as companhias aéreas brasileiras, aplicou-se a análise envoltória de dados com as seguintes variáveis: peso máximo de decolagem como *input* e assento em quilômetros utilizados e toneladas em quilômetros utilizadas como *outputs*. O peso máximo de decolagem representa na realidade a soma dos pesos máximos de decolagem de todas as aeronaves daquela companhia. Essa variável considera simultaneamente o número de aviões e a capacidade dessas aeronaves. É importante ressaltar que o uso desagregado da capacidade de passageiros e da capacidade de carga poderia acarretar distorções. Conforme explicado em Gomes et al. (2009a), todo *output* deve ter uma relação causal com todos os *inputs*, o que não aconteceria se o *input* fosse desagregado. Caso isso fosse feito poderia ocorrer a situação, não desejada, de uma companhia aérea ser eficiente por ter, por exemplo, a melhor relação entre passageiros transportados e capacidade de carga. Situações desse tipo configuram as chamadas armadilhas em DEA (DYSON et al., 2001). Esta modelagem mede a capacidade de uma empresa usar de forma eficiente a frota que possui, ou seja, de fazer com que seus aviões voem muito, com alta ocupação e percorrendo grandes distâncias.

Os dados utilizados neste artigo foram retirados dos Anuários Estatísticos do Transporte Aéreo divulgados no site da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Cada empresa individualmente e os grupos empresariais de companhias aéreas em cada ano de operação dentro do período analisado são considerados unidades tomadoras de decisão diferentes. Sendo assim, a TAM Linhas Aéreas S/A em 2001 é considerada uma DMU e outra em 2002 e assim sucessivamente. Tratamento semelhante é dado a empresas aéreas que formam grupos empresariais: cada empresa é uma DMU e o grupo empresarial é outra DMU. Por exemplo, no grupo Varig, as empresas Varig, Rio Sul e Nordeste são uma DMU cada uma e o conjunto das três (o próprio grupo Varig) é outra DMU. Vale ressaltar que foram considerados no estudo companhias e grupos empresariais que operaram em pelo menos um dos anos do período avaliado, mesmo que

tenham encerrado suas operações neste intervalo de tempo.

Devido à grande disparidade de tamanho entre as companhias aéreas e ao fato de não haver presunção de proporcionalidade entre *input* e *outputs*, o modelo BCC foi escolhido. A modelagem escolhida envolve num único *input* toda a capacidade de transporte de cada avião, seja de passageiros ou de carga. De fato, o peso máximo de decolagem engloba o peso do avião e combustível (o que não gera receitas) mais o peso da carga transportada e o peso dos passageiros (o que gera receitas). Como há um *output* relativo a passageiros e outro a carga, e não há restrições aos pesos, o modelo permite que empresas especializadas em transporte de carga ou em transporte de passageiros sejam eficientes.

Conforme já explicitado, o estudo visa avaliar o desempenho das companhias aéreas no que tange à otimização da frota. Portanto, a orientação a *input* foi utilizada para avaliar as unidades que têm capacidade de reduzir sua frota sem prejuízos ao total transportado.

O período de análise é de 2001 a 2005. A escolha deste período baseia-se em três justificativas. O período de 1998 a 2000, embora com a utilização de metodologia diferente, já foi estudado por Soares de Mello et al. (2003) com a aplicação de DEA no estudo da eficiência e dos *benchmarks* para companhias aéreas brasileiras. Outro fator que contribuiu para iniciar o estudo em 2001 foi a entrada da companhia Gol no mercado, trazendo uma nova dinâmica de competitividade, em que grandes empresas tradicionais enfrentaram a entrada de um novo conceito de voar. Além disso, como em 2006 houve a crise da líder de mercado, Varig, culminando na saída desta empresa do mercado, observa-se mais uma grande mudança no setor aéreo. Sendo assim, optou-se por analisar anos com características semelhantes para se ter consistência nos dados.

Ressalta-se que os dados retirados dos anuários referem-se a informações do final do ano. Isso porque há a totalização de passageiros e cargas em quilômetros transportados ao longo daquele ano. Porém os dados da frota explicitam apenas a posição em dezembro de cada ano. Mas sabe-se que a frota pode variar ao longo do ano. No entanto, esse comportamento da frota é desconhecido, ou melhor, não são apresentados nos dados estatísticos divulgados pela Anac. Por isso, optou-se por aplicar a metodologia de DEA nebuloso para calcular a eficiência das empresas.

A utilização de DEA nebuloso é indicada quando não há certeza sobre as medidas. Sendo assim, embora não saibamos o comportamento da

frota ao longo do ano, podemos estimar a frota no início do ano como sendo a frota do final do ano anterior, dado este obtido nos Anuários Estatísticos divulgados pela Anac. Com esses dois valores, consegue-se calcular as fronteiras otimista e pessimista para aplicar o modelo desenvolvido por Soares de Mello et al. (2005).

Sendo assim, conforme mostrado na Figura 1, a linha composta pelos segmentos de reta OO'' e $O'O''$ representa a fronteira otimista. A linha composta pelos segmentos PP' e $P'P''$ a fronteira pessimista. I_{fo} representa o *input* otimista e I_{fp} o *input* pessimista. IP_{fo} representa o *input* projetado na fronteira otimista e IP_{fp} o *input* projetado na fronteira pessimista. Tem-se que c é o comprimento da DMU, l a largura da faixa composta pelas fronteiras otimista e pessimista e p a parte do comprimento total da DMU que está dentro da faixa.

O cálculo do grau de pertinência à fronteira é dado pela Equação 2, conforme explicação dada em Soares de Mello et al. (2005).

$$\wp = \begin{cases} \frac{(I_{fp}Ef_{fp} - I_{fo})^2}{(I_{fo}Ef_{fo} - I_{fp}Ef_{fp})(I_{fp} - I_{fo})}, & \text{se } (I_{fp}Ef_{fp} - I_{fo}) \geq 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

em que I_{fp} : *input* na fronteira pessimista; Ef_{fp} : eficiência na fronteira pessimista; I_{fo} : *input* na fronteira otimista; e Ef_{fo} : eficiência na fronteira otimista.

A equação fornece um índice de pertinência à fronteira DEA difusa. No numerador é o quadrado da diferença entre o alvo da fronteira pessimista e o *input* otimista. Já o denominador é o produto entre a diferença dos alvos nas fronteiras otimista e pessimista e a diferente entre os *inputs* otimista e pessimista. A equação só é válida nos casos em que o alvo pessimista for maior ou igual que o *input*

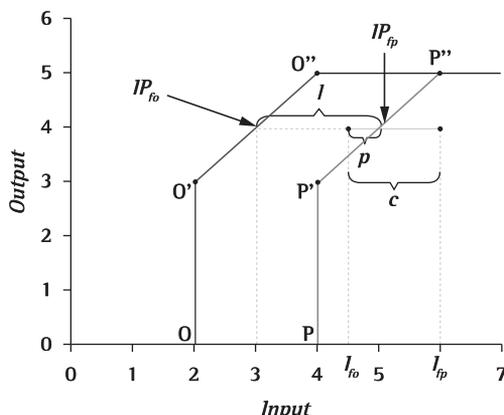


Figura 1. Fronteiras otimista e pessimista para o caso de modelo BCC orientado a *inputs*.

otimista. Esta equação é a expressão algébrica das relações geométricas apresentadas por Soares de Mello et al. (2005).

Como por esse método obteve-se empate em muitas DMUs com grau nulo de pertinência à fronteira difusa, optou-se por fazer uma abordagem semelhante ao DEA em camadas para discriminá-las e com isso avaliar melhor os resultados das companhias.

5. Resultados

Utilizando-se a Equação 2, foram calculados os índices de pertinências à fronteira nebulosa de todas as 83 DMUs envolvidas no estudo. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Para a construção das fronteiras otimista e pessimista foi utilizado o *software* SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão, de Angulo - Meza et al. (2005). Em seguida, aplicou-se o modelo DEA nebuloso desenvolvido por Soares de Mello et al. (2005).

Nesta análise, somente 21 DMUs apresentaram algum grau de pertinência à fronteira nebulosa. Todas as outras 62 DMUs avaliadas apresentaram índice nulo de pertinência a esta fronteira.

Se em DEA clássico existem muitos empates nas DMUs eficientes, em DEA nebuloso o maior problema costuma ser o grande número de DMUs com grau nulo de pertinência à fronteira nebulosa. Um método para discriminar as DMUs que tiveram índice nulo de pertinência à fronteira nebulosa é a fronteira invertida, que consiste em uma avaliação pessimista das unidades, através da inversão de *inputs* com *outputs*, como sugerido em Soares de Mello et al. (2005). Ou seja, esta abordagem obrigaria uma empresa especializada em transporte de passageiros a não negligenciar o transporte de carga e vice-versa. Porém, o objetivo deste estudo é permitir que uma empresa seja eficiente mesmo sendo especializada em apenas um tipo de transporte (carga ou passageiros). Assim, a fronteira invertida não é recomendada para este estudo.

Métodos revistos por Angulo-Meza e Estellita Lins (2002) também indicam formas de se obter a discriminação de DMUs em DEA clássico. No entanto, também não são recomendados para o presente estudo, pois de alguma forma retiram a capacidade de especialização de algumas DMUs.

Assim, de uma forma análoga ao modelo DEA em camadas (TAVARES, 1998; BARR; DURCHHOLZ; SEIFORD, 2000a) propõe-se um artifício para discriminar DMUs nos casos de DEA nebuloso. Essas camadas são obtidas da seguinte forma: retiram-se da

Tabela 1. Índice de pertinência à fronteira nebulosa.

Companhia aérea	Ano	Índice de pertinência
ABSA - Aerolinhas Brasileiras	2005	1,0000000
Gol Transportes Aéreos Ltda.	2005	1,0000000
Grupo Varig (Nordeste + Rio Sul + Variglog + Varig)	2001	1,0000000
Grupo Varig (Nordeste + Rio Sul + Variglog + Varig)	2002	1,0000000
Grupo Varig (Nordeste + Rio Sul + Variglog + Varig)	2004	1,0000000
TAM Linhas Aéreas S/A.	2005	1,0000000
Varig + Variglog	2002	1,0000000
Varig + Variglog	2004	1,0000000
Varig + Variglog	2003	0,7043351
Gol Transportes Aéreos Ltda.	2004	0,4214060
Webjet	2005	0,3737870
Gol Transportes Aéreos Ltda.	2002	0,3226111
Abaeté Linhas Aéreas	2003	0,3014440
Varig Viação Aérea Riograndense	2001	0,2735169
Gol Transportes Aéreos Ltda.	2003	0,1971427
Grupo Varig (Nordeste + Rio Sul + Variglog + Varig)	2005	0,0562013
Puma Air	2003	0,0511709
Abaeté Linhas Aéreas	2002	0,0297924
Grupo Varig (Nordeste + Rio Sul + Variglog + Varig)	2003	0,0146818
Abaeté Linhas Aéreas	2001	0,0017361
Abaeté Linhas Aéreas	2004	0,0016639

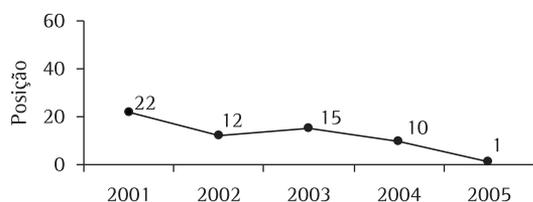


Figura 2. Posição anual da companhia Gol.

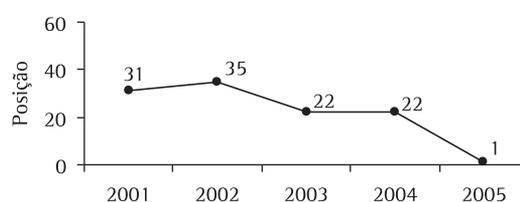


Figura 3. Posição anual da companhia TAM.

análise as companhias que apresentaram pertinência não nula à fronteira e repetem-se todos os cálculos anteriores. Seguem-se esses passos até que todas as unidades apresentem algum grau de pertinência à fronteira nebulosa. Com isso, estabelecem-se camadas de eficiência difusa e introduz-se um mecanismo de ordenação das DMUs.

Foram necessárias oito rodadas até que todas as companhias aéreas fossem ordenadas com base em seus resultados de pertinência à fronteira difusa. As Figuras 2, 3, 4 e 5 mostram, respectivamente, a posição das companhias Gol, TAM, grupo Varig e Vasp no *ranking* estabelecido após realizada a análise em camadas.

Ressalta-se que, nos gráficos, os menores valores indicam melhores posições no *ranking*. Assim, uma curva decrescente indica melhora em termos de

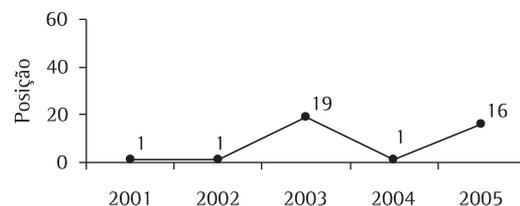


Figura 4. Posição anual do grupo Varig.

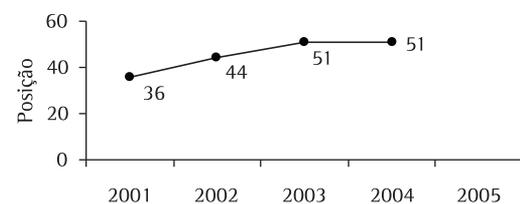


Figura 5. Posição anual da companhia Vasp.

desempenho, o que pode ser visto nas Figuras 2 e 3, com as empresas Gol e TAM. Analisando anualmente esses desempenhos, percebe-se que, conforme o mercado foi amadurecendo, as companhias mostraram-se capazes de ter um bom desempenho operacional. Em 2005, Gol e TAM atingem o índice máximo de pertinência à fronteira.

A TAM, embora disputando a cada ano a participação de mercado com a Gol, apresenta-se como forte concorrente no mercado. A Gol, por sua vez, também em 2005, atinge o seu mais alto índice de eficiência, confirmando que suas ações de entrante no mercado estão consolidadas.

Quanto ao grupo Varig, observa-se que nos primeiros anos de análise, momento em que se estabelecia a concorrência mercadológica, este grupo econômico mostrou-se eficiente em termos operacionais. Assim, além das estatísticas de participação no mercado e lucratividade, percebe-se o bom desempenho deste grupo quanto à utilização de sua frota para transporte de passageiros e carga.

Em 2003, pelo Figura 4, verifica-se que este grupo econômico saltou para a 19ª posição. Sabe-se que, nesse ano, TAM e Varig compartilharam aeronaves (*code-share*) (SOARES DE MELLO; SOARES DE MELLO; ANGULO-MEZA, 2009), o que pode ter introduzido discrepância nos dados e que não foi possível quantificar.

Em 2006, sabe-se que a companhia Varig, operando com muitas dificuldades e com milhões de reais em dívidas, cessou suas operações. Mas já em 2005, segundo avaliação deste estudo, apresentou uma redução de desempenho operacional, o que pode ter contribuído para sua crise financeira.

Em relação à Vasp, considerada uma das grandes companhias nacionais que também operava em rotas internacionais, verifica-se (Figura 5) um decréscimo anual de desempenho operacional. Em 2001, apresentou-se na 36ª posição, atingindo a 51ª em 2005. E, devido às sucessivas crises, em 2006 a Vasp, com dificuldades operacionais e financeiras, encerrou suas operações.

Essa avaliação temporal das companhias e dos grupos econômicos foi estendida a todas as 83 DMUs deste estudo. Porém o destaque foi dado às empresas de grande porte para que fossem observados seus comportamentos diante do aumento da competitividade no setor de transporte aéreo.

6. Considerações finais

O presente estudo proporcionou uma avaliação das companhias aéreas diante de um novo cenário de competitividade no mercado de transporte aéreo. Além do surgimento de um novo conceito de voar, iniciado no Brasil pela Gol Transportes Aéreos

Ltda., o mercado tentava se restabelecer após a crise provocada pelos atentados de 11 de setembro de 2001. Muitas empresas tiveram que se reorganizar para superar a redução do tráfego e o aumento dos custos gerados pelas novas medidas de segurança.

Nesse cenário destaca-se o desempenho da Gol Transportes Aéreos, que encontrou a oportunidade de entrar e de se estabelecer no mercado. O desempenho operacional aqui exposto foi acompanhado de crescimento na participação de mercado, atingindo a vice-liderança em 2005 com 27,29% de todo o volume de passageiros transportados de janeiro a dezembro, perdendo apenas para a TAM Linhas Aéreas com 43,52%.

Quanto ao método de avaliação das companhias, ressalta-se a proposta aqui apresentada para melhor avaliar o conjunto de DMUs em questão. Estabelecer camadas de eficiência difusa permite discriminar as unidades não pertencentes à fronteira nebulosa e conduz a uma ordenação de todo o conjunto analisado. No entanto, não consegue desempatar as DMUs com índice unitário à fronteira DEA difusa. Sugere-se para pesquisas futuras o estudo de métodos que permitam esse desempate mantendo a possibilidade de especialização das DMUs.

Surge como muito promissor o uso de diferentes normas T para calcular pertinência à fronteira (BIONDI NETO et al., 2009).

Referências

- ADLER, N.; BERECHMAN, J. Measuring airport quality from the airlines' viewpoint: an application of data envelopment analysis. *Transport Policy*, v. 8, n. 3, p. 171-81, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0967-070X\(01\)00011-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0967-070X(01)00011-7)
- ANGULO-MEZA, L. et al. 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, 2005.
- ANGULO-MEZA, L.; ESTELLITA LINS, M. P. Review of methods for increasing discrimination in data envelopment analysis. *Annals of Operations Research*, v. 116, n. 1-4, p. 225-42, 2002. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1021340616758>
- ARAÚJO, A. H. et al. *Eficiência e desempenho do transporte aéreo regional brasileiro*. Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha. Rio de Janeiro, 2006. p. 1-10.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078-92, 1984. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- BARR, R. S.; DURCHHOLZ, M. L.; SEIFORD, L. M. *Peeling the DEA onion: layering and rank ordering DMUs using tiered DEA*. Southern Methodist University, 2000a.
- BARR, R. S.; DURCHHOLZ, M. L.; SEIFORD, L. M. *Peeling the DEA onion: layering and rankordering DMUs using tiered DEA*. Southern Methodist University, 2000b.
- BARROS, C. P.; DIEKE, P. U. C. Performance evaluation of Italian airports: a data envelopment analysis. *Journal of Air Transport Management*, v. 13, n. 4, p. 184-91, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2007.03.001>

- BARROS, T. D. et al. Avaliação dos atrasos em transporte aéreo com um modelo DEA. *Produção*, v. 20, n. 4, p. 601-611, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132010005000047>.
- BIONDI NETO, L. et al. *A geometrical approach for fuzzy DEA frontiers*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL – SBPO, 41. Porto Seguro, 2009. 1524-34 p.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 6, p. 429-44, 1978. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- COELLI, T.; RAO, D. S. P.; BATTESE, G. E. *An introduction to efficiency and productivity analysis*: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- DYSON, R. G. et al. Pitfalls and protocols in DEA. *European Journal of Operational Research*, v. 132, n. 2, p. 245-59, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00149-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00149-1)
- ENTANI, T.; MAEDA, Y.; TANAKA, H. Dual models of interval DEA and its extensions to interval data. *European Journal of Operational Research*, v. 136, n., p. 32-45, 2002.
- EVANGELHO, F.; HUSE, C.; LINHARES, A. Market entry of a low cost airline and impacts on the Brazilian business travelers. *Journal of Air Transport Management*, v. 11, n. 2, p. 99-105, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2004.09.005>
- FERNANDES, E.; PACHECO, R. R. Efficient use of airport capacity. *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, v. 36, n. 3, p. 225-38, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0965-8564\(00\)00046-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0965-8564(00)00046-X)
- FONSECA, A. B. D. M. et al. Uniformization of frontiers in non-radial ZSG-DEA models: an application to airport revenues. *Pesquisa Operacional*, v. 30, n. 1, p. 175-93, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382010000100009>
- GOMES, E. G. et al. Dependência espacial da eficiência do uso da terra em assentamento rural na Amazônia. *Produção*, v. 19, n. 2, p. 417-32, 2009a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132009000200015>
- GOMES, E. G. et al. Efficiency and sustainability assessment for a group of farmers in the Brazilian Amazon. *Annals of Operations Research*, v. 169, n. 1, p. 167-81, 2009b. <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-008-0390-6>
- GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ESTELLITA LINS, M. P. Busca sequencial de alvos intermediários em modelos DEA com soma de outputs constante. *Investigação Operacional*, v. 23, n. 2, p. 163-78, 2003.
- GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; MANGABEIRA, J. A. D. C. Fronteira DEA difusa na avaliação de eficiência em agricultura. *Investigação Operacional*, v. 26, n. 1, p. 65-88, 2006.
- KAO, C.; LIU, S. T. Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 113, n. 3, p. 427-37, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114\(98\)00137-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00137-7)
- LI, X. B.; REEVES, G. R. A multiple criteria approach to data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, v. 115, n. 3, p. 507-17, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00130-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00130-1)
- LINS, M. P. E.; NOVAES, L. F. L.; LEGEY, L. F. L. Real estate appraisal: a double perspective data envelopment analysis approach. *Annals of Operations Research*, v. 138, n. 1, p. 79-96, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-005-2446-1>
- MARTIN, J. C.; ROMAN, C. An application of DEA to measure the efficiency of Spanish airports prior to privatization. *Journal of Air Transport Management*, v. 7, n. 3, p. 149-57, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0969-6997\(00\)00044-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-6997(00)00044-2)
- PACHECO, R. R.; FERNANDES, E. Managerial efficiency of Brazilian airports. *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, v. 37, n. 8, p. 667-80, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0965-8564\(03\)00013-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0965-8564(03)00013-2)
- PACHECO, R. R.; FERNANDES, E.; SANTOS, M. P. D. Management style and airport performance in Brazil. *Journal of Air Transport Management*, v. 12, n. 6, p. 324-30, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2006.07.010>
- SCHEFCZYK, M. Operational performance of airlines: an extension of traditional measurement paradigms. *Strategic Management Journal*, v. 14, p. 301-17, 1993. <http://dx.doi.org/10.1002/smj.4250140406>
- SILVEIRA, J. Q. et al. Avaliação da eficiência das companhias aéreas brasileiras com uma variação do modelo de Li e Reeves. *Engevista*, v. 10, n. 2, p. 145-55, 2008.
- SOARES DE MELLO, J. C. C. B. et al. Análise de Envoltória de Dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. *Pesquisa Operacional*, v. 23, n. 2, p. 325-45, 2003.
- SOARES DE MELLO, J. C. C. B. et al. Fronteiras DEA difusas. *Investigação Operacional*, v. 25, n. 1, p. 85-103, 2005.
- SOARES DE MELLO, J. C. C. B. et al. DEA Advanced Models for Geometric Evaluation of used Lathes. *WSEAS Transactions on Systems*, v. 7, n. 5, p. 500-20, 2008.
- SOARES DE MELLO, P. H. C.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ANGULO-MEZA, L. Misunderstandings due to a codeshare between two Brazilian airlines in Rio de Janeiro international airport. *Rio's International Journal on Sciences of Industrial and Systems Engineering and Management*, v. 3, n. 1, p. 2, 2009.
- TAVARES, G. *Data envelopment analysis: basic models and their main extensions: a model to analyse the modernization of telecommunication services in OECD countries*. Coimbra: Universidade de Coimbra, 1998.
- YAMADA, Y.; MATUI, T.; SUGIYAMA, M. New analysis of efficiency based on DEA. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, v. 37, n., p. 158-67, 1994.
- ZADEH, L. Fuzzy Sets. *Information and Control*, v. 8, n. 3, p. 338-53, 1965. [http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

Assessment of Brazilian airlines technical efficiency: a study using data envelopment analysis and fuzzy sets

Abstract

The deregulation of the Brazilian aviation industry started in the early 1990s. It created a new scenario of competition for the existing carriers, forcing them to change their way of dealing with this type of market. This led to a new flying concept - the Low Cost Carriers (LCCs). Before the beginning of the LCCs operation, there were only Full Service Carriers (FSCs). In order to ensure their competitiveness, other companies were forced to seek a better use of its resources. This paper analyses - through the Fuzzy DEA model, which takes into account the poor quality of the available data - the performance of the Brazilian airlines from 2001 to 2005. Moreover, since there are many DMUs tied in this approach, a model to increase discrimination for Fuzzy DEA models was suggested. The temporal data to assess the evolution of airlines facing the new competitive scenario in the market was analysed.

Keywords

Air transport. Efficiency. Data Envelopment Analysis. Fuzzy sets.