

Eficiência de empresas aéreas: uma análise baseada no modelo de Li & Reeves

[Airline efficiency: an analysis based on the Li & Reeves model]

Eliane Ribeiro Pereira, Juliana Quintanilha da Silveira, Maria Cecilia de Carvalho Chaves,

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brazil, Universidade Federal Fluminense (UFF), Brazil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO), Brazil, Universidade Federal Fluminense (UFF), Brazil

Submitted 3 Aug 2011; received in revised form 27 Nov 2011; accepted 26 Jan 2012

Resumo

A desregulamentação do setor aéreo nacional trouxe um expressivo aumento da competitividade entre as companhias aéreas, impulsionando-as a atualizar continuamente suas estratégias de ação. Este artigo estuda o desempenho operacional dessas companhias, a partir da contraposição dos resultados obtidos no modelo DEA Clássico e dos Índices de Eficiência MCDEA-TRIMAP. O uso de tal metodologia permite reduzir o número de unidades na fronteira de eficiência, possibilitando uma melhor avaliação das companhias aéreas investigadas.

Palavras-Chave: DEA; eficiência; transporte aéreo.

Abstract

The deregulation of the domestic airline industry brought a significant increase in competition between airlines, pushing them to continuously update their strategies. This article reviews the operating performance of these companies, from the contrast in the results of DEA classic model and MCDEA-TRIMAP efficiency indicators. The use of such methodology reduces the number of units on the efficient frontier and allows a better evaluation of them.

Key words: DEA; efficiency; air transportation.

* Email: jcsmello@pq.cnpq.br.

Recommended Citation

Pereira, E. R., Silveira, J. Q., Chaves, M. C. C. and Mello, J. C. C. B. S. (2012) Eficiência de empresas aéreas: uma análise baseada no modelo de Li & Reeves. *Journal of Transport Literature*, vol. 6, n. 2, pp. 105-123.

■ *JTL|RELIT is a fully electronic, peer-reviewed, open access, international journal focused on emerging transport markets and published by BPTS - Brazilian Transport Planning Society. Website www.transport-literature.org. ISSN 2238-1031.*

This paper is downloadable at www.transport-literature.org/open-access.

1. Introdução

O desenvolvimento contínuo da aviação comercial transformou-a em um dos principais meios de transporte de passageiros e cargas, quando se trata de médias e longas distâncias. Governos e analistas frequentemente apontam o setor de transporte aéreo como estratégico para o país (Pasin e Lacerda, 2003). No Brasil, que possui grandes dimensões territoriais, o uso desse meio de transporte se destaca como elemento de integração entre seus mais longínquos pontos. Sua indiscutível importância pode ser medida por ser o mercado brasileiro o maior da América Latina, responsável por 3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (Araújo et al., 2006).

O setor de transporte aéreo brasileiro sofreu profundas mudanças ao longo do tempo, principalmente em decorrência da liberalização do setor, (Soares de Mello et al., 2003), que deram um novo tom à concorrência no segmento. A entrada no mercado da Gol Linhas Aéreas Inteligentes, primeira companhia aérea LCC (*Low Cost Carrier*) da América Latina, em 2001, acirrou ainda mais a concorrência (Evangelho et al., 2005). Para garantir sua competitividade, as empresas aéreas viram-se obrigadas a buscar um melhor aproveitamento dos seus recursos. Novas transformações ocorreram em decorrência de problemas de infraestrutura física e operacional, revelados pela ocorrência de graves acidentes nos anos de 2006 e 2007. O setor aéreo nacional foi, então, colocado em cheque e vem aos poucos se recuperando desse período, marcado pela insegurança e desconfiança.

Este artigo objetiva investigar o desempenho das companhias aéreas brasileiras, dentro do cenário descrito. A análise efetuada considerou o pessoal envolvido na operacionalização desse meio de transporte, bem como a utilização da frota para transporte de carga e passageiros no território nacional e internacional, como feito por Silveira et al. (2008). Outros estudos sobre eficiência operacional, que podem ser encontrados em Soares de Mello et al. (2003) e Araújo et al. (2006). Fernandes e Capobianco (2001) e Capobianco e Fernandes (2004), usaram a ferramenta da Análise Envolvória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*) para estudar a estrutura de capital de empresas. Lopes et al. (2006) investigou a precificação das companhias aéreas no mercado doméstico de vôos de longo percurso. A metodologia DEA é muito utilizada em transporte aéreo no estudo de eficiências de

aeroportos (Fernandes e Pacheco, 2002; Pacheco e Fernandes, 2003; Soares de Mello e Gomes, 2004; Pacheco et al., 2006).

Para a obtenção de uma medida de eficiência mais apurada das companhias aéreas, aplicou-se o modelo multiobjetivo MCDEA (*Multiple Criteria Data Envelopment Analysis*), de Li e Reeves (1999), que acrescenta duas funções objetivo adicionais ao modelo desenvolvido por Charnes, Copper e Rhodes (1978), chamado CCR devido ao nome de seus autores. Neste estudo, para referência ao modelo CCR, será utilizado também a denominação de modelo DEA clássico. A formulação deste modelo e do modelo MCDEA será apresentada na seção 3.

Em seguida, foi utilizada a ferramenta computacional denominada TRIMAP (Clímaco e Antunes, 1987), que permitiu investigar o comportamento das funções objetivo do modelo MCDEA. Finalmente, a partir do cálculo dos valores das funções objetivo, foi determinado o índice de eficiência MCDEA – TRIMAP, proposto por Soares de Mello et al. (2006), a fim avaliar cada companhia aérea.

O artigo foi organizado da seguinte forma: na seção 2 há um breve resumo sobre a evolução do setor aéreo brasileiro. Na seção 3 é apresentada uma revisão do modelo DEA e do modelo de Li e Reeves. A seção 4 discute o uso da ferramenta TRIMAP na solução do Modelo MCDEA e a 5 apresenta a caracterização e a modelagem do problema. Na seção 6 são discutidos os resultados da aplicação do modelo MCDEA, juntamente com o cálculo do Índice de Eficiência, além da realização de uma comparação dos mesmos com os resultados obtidos através do DEA clássico. Finalmente, na seção 7, são descritas as conclusões do trabalho.

2. O Setor Aéreo Brasileiro

O primeiro grande impulso para o setor aéreo se deu na I Guerra Mundial, quando os aviões começaram a ser usados como suporte às estratégias militares. Entretanto, somente bem mais tarde, após a II Guerra Mundial, o transporte aéreo começou a ser utilizado em grande escala.

A grande extensão do território brasileiro e a precariedade de outros meios de transportes favoreceram a expansão da aviação comercial no país, que teve início em 1927, com a fundação da Viação Aérea Rio-Grandense (VARIG). Em 1933 foi fundada outra importante

empresa no cenário nacional, a VASP (Viação Aérea São Paulo), iniciando três anos mais tarde um voo regular entre Rio de Janeiro e São Paulo, até hoje a linha de maior tráfego da aviação brasileira, (Oliveira, 2005).

Na década de 40, esse mercado ganhou enorme impulso com a compra de aeronaves americanas, excedentes da II Guerra Mundial, (Novais e Silva, 2006), comercializadas a preços baixos e com financiamento, o que favoreceu o surgimento de companhias aéreas. A frágil estrutura administrativa e financeira das empresas nessa ocasião acarretou na realização de muitas fusões e falências na década de 50, sendo mantidas poucas empresas brasileiras, atuando principalmente regionalmente.

A década de 60 foi marcada pela busca de soluções para os problemas vividos pelo setor. O governo criou as Conferências Nacionais de Aviação (CONAC), com o objetivo de definir estratégias para reverter a crise em que o setor aéreo se encontrava mergulhado. As políticas definidas, cujas diretrizes mantiveram-se até o final da década de 80, incentivaram a fusão das empresas, melhorando sua situação econômico-financeira. O setor passou a praticar um modelo de “competição controlada”, no qual o governo controlava tanto a entrada de empresas aéreas no mercado nacional, quanto a definição das tarifas a serem praticadas, (Guimarães, 2003).

O princípio da década de 90 trouxe a implantação de uma nova política para o transporte aéreo brasileiro, dando-se o início da flexibilização da regulamentação do setor. As empresas passaram a poder trabalhar com tarifas diferenciadas, a partir de bandas tarifárias, controladas pelo governo. Em 1992, a abolição dos monopólios regionais contribuiu para o aumento da competição no setor. No final da década, essa competição recebeu um novo impulso – as bandas tarifárias foram extintas e a exclusividade na operação de algumas linhas aéreas para companhias regionais foram retiradas, (Lima e Soares de Mello, 2009). Todas as empresas passaram a ser denominadas domésticas regulares, acabando-se a classificação em empresas regionais e nacionais.

Com a absorção da Cruzeiro, a VARIG se transformou, no início do Século XXI, na maior transportadora da América Latina. Ainda nesse período, o DAC (Departamento de Aviação Civil, atual Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC) promoveu a liberdade tarifária, permitindo que cada empresa pudesse definir sua estratégia de comercialização, inclusive no

que tange a preços. A TAM, antes companhia regional, se transformou na segunda maior empresa do continente sul-americano, enquanto a Transbrasil encerrou suas operações em 2001.

O processo de criação de novas companhias e linhas aéreas, da frequência de vôos e aviões foi flexibilizado, o que viabilizou a criação da Gol Linhas Aéreas Inteligentes, em 2001, primeira companhia brasileira a adotar o modelo LCC (*Low Cost Carriers*). Neste modelo, são praticadas tarifas mais baixas, com alto uso das aeronaves, grande uso da internet para vendas, serviço de bordo reduzido e melhor aproveitamento do peso máximo de decolagem, (Evangelho et al., 2005).

O ano de 2005 foi marcado por mudanças. Houve a paralisação e encerramento das operações da VASP, enquanto novas empresas iniciaram operações regulares. Algumas empresas já tradicionais no segmento não regular se transformaram em concessionárias, passando a operar também linhas regulares, como a TAF Linhas Aéreas, por exemplo, que voltou a operar neste mercado, de onde havia se retirado em 2002.

Em setembro de 2006, o momento positivo de um setor visto como detentor de excelência em segurança, qualidade e pontualidade foi abalado pelos primeiros indícios da existência de graves problemas. Desastres aéreos denunciaram a imensa falta de infra-estrutura física e operacional do setor aéreo brasileiro. Controladores de vôo foram afastados, outros entraram em greve; vôos eram continuamente cancelados e as companhias aéreas, que não conseguiam cumprir os horários programados para seus vôos, agravavam a crise com a venda de bilhetes em número maior do que o de assentos. Em julho de 2007, um novo acidente trouxe ainda mais insegurança para os usuários desse meio de transporte.

Depois de toda a crise vivida pelo setor aéreo nos anos de 2006 e 2007, 2008 se apresenta como um ano de recuperação para o setor, que busca a adoção de medidas capazes de resgatar a confiança e a credibilidade que sempre gozou perante o mercado. Todavia, Visagio (2008) destaca que apesar de os sintomas da crise aérea já terem diminuído, as intempéries geradas pela crise financeira mundial podem trazer dificuldades para o setor, devido à diminuição da disponibilidade de crédito.

O mercado doméstico teve, entre 2003 e 2008, a predominância de poucas empresas no setor. O Anuário Estatístico de Transporte Aéreo referente ao ano de 2008 destaca a presença de quatro principais empresas neste ano: Tam, Gol, VRG e Oceanair, sendo as 3 primeiras consideradas as maiores do ano. Em outubro desse mesmo ano, a Gol se fundiu com a VRG, surgindo a VRG Linhas Aéreas S.A., ficando o mercado nacional dividido basicamente entre duas companhias.

3. Análise Envoltória de Dados e o Modelo de Li e Reeves

A Análise de Envoltória de Dados, desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), utiliza a otimização matemática com o objetivo de estimar a eficiência técnica de unidades produtivas (*Decision Making Units* – DMUs), sem que seja necessário arbitrar-se os pesos para cada variável de *input* (recursos disponíveis) ou *output* (resultados obtidos), ou considerar questões financeiras para efetuar análises comparativas, (Estellita Lins e Angulo-Meza, 2000).

A Programação Linear Multiobjetivo (PLMO) e DEA têm em comum o conceito de Pareto eficiência, já que ambas as abordagens consideram que unidades produtivas são eficientes, se, e somente se, não é possível melhorar uma de suas características sem piorar alguma das demais.

A metodologia DEA constrói uma fronteira de eficiência, cujos vértices são formados pelas DMUs consideradas eficientes (Pareto eficientes), por possuírem uma melhor relação produto/insumo; enquanto as demais ficam situadas numa região inferior à fronteira, (Gomes et al., 2003). Como cada DMU escolhe seu próprio conjunto de multiplicadores, de modo que a eficiência seja a melhor possível em relação às demais, é possível que um grande número de DMU's se localize na fronteira eficiente, revelando a estrutura benevolente do método DEA clássico e sua pouca capacidade discriminatória. Segundo Leta et al. (2005), por determinação empírica, o empate das unidades produtivas acontece principalmente quando o número de DMU's não é muito grande em comparação com o número total de *inputs* e *outputs*.

O modelo MCDEA, de Li e Reeves (1999), utiliza programação linear multiobjetivo a fim de resolver os problemas de discriminação das DMU's e promover uma melhor distribuição dos multiplicadores para as variáveis. Propõe um enfoque multicritério para DEA, incluindo duas outras funções objetivo, além da função objetivo clássica do modelo DEA, cada uma representando um novo critério para a medida de eficiência (desvio máximo e soma dos desvios). Tais critérios, por propiciarem menor flexibilidade para a otimização, tendem a restringir a liberdade das DMU's na busca pela eficiência.

Destaque-se, ainda, que o modelo MCDEA pode ser considerado um método de avaliação conjunta (Angulo-Meza et al., 2003), pois se trata de um método multicritério, que apresenta soluções não dominadas, levando em consideração todas as funções objetivo, sem ser limitado pelas soluções obtidas a partir da otimização individual de cada função.

O modelo CCR, originalmente definido, considera a maximização da eficiência h_o da unidade produtiva, que é calculada de acordo com o modelo (1), onde v_i e u_r são os multiplicadores dos *inputs* i , $i = 1, \dots, m$, e *outputs* r , $r = 1, \dots, s$, respectivamente; x_{ij} e y_{rj} são os *inputs* i e *outputs* r da DMU j , $j = 1, \dots, n$; x_{io} e y_{ro} são os *inputs* i e *outputs* r da DMU O.

$$\text{Max } h_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}$$

$$\text{Sujeito a} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad \forall r, i$$

Uma DMU é eficiente quando $h_o = 1$, o que significa dizer que a restrição relativa a essa DMU está ativa e, portanto, tem folga igual a zero ($d=0$). O modelo MCDEA, propõe a utilização da folga d como medida, ao invés de h . Assim, neste modelo a DMU é eficiente se, e somente se, $d = 0$. Pode-se dizer, então, que esta formulação minimiza a ineficiência da

DMU, com a restrição de a soma ponderada dos *outputs* ser menor ou igual à soma ponderada dos *inputs* de cada DMU. Assim, o modelo CCR é reformulado como em (2):

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } d_o \\
 & \text{Sujeito a} \quad (2) \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0, j=1, \dots, n \\
 & u_r, v_i, d_j \geq 0, \forall r, i
 \end{aligned}$$

A partir do modelo apresentado em (2), e com o objetivo de restringir a liberdade de escolha dos multiplicadores, o modelo MCDEA adiciona duas funções objetivo: minimização da soma dos desvios (“benevolência generalizada”) e minimização do desvio máximo (“equidade”). De acordo com Li e Reeves (1999), cada uma das três funções objetivo é independente em relação às demais, não havendo ordem de prioridade entre os critérios de eficiência. A formulação do modelo MCDEA, é então apresentada em (3):

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } d_o \\
 & \text{Min Max } d_j \\
 & \text{Min } \sum_{j=1}^n d_j \\
 & \text{Sujeito a} \quad (3) \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0, j=1, \dots, n \\
 & u_r, v_i, d_j \geq 0, \forall r, i
 \end{aligned}$$

Na avaliação dos resultados, uma DMU é eficiente minimax se, e somente se, o valor de d_o correspondente à solução que minimiza a segunda função objetivo do modelo MCDEA é zero. Analogamente, uma DMU é eficiente minisoma se, e somente se, o valor de d_o correspondente à solução que minimiza a terceira função objetivo do modelo é zero.

Quando uma DMU é minimax ou minisoma eficiente, também deve ser DEA eficiente, pois, por definição, as eficiências minisoma e minimax requerem $d_o = 0$. Pode-se concluir, então, que os objetivos minimax e minisoma via de regra não favorecem a eficiência da DMU em avaliação.

Para a solução do modelo em estudo foi utilizada a ferramenta de apoio à decisão TRIMAP, que possui uma excelente interface gráfica para análise e é indicada para problemas de programação linear que possuem três funções objetivo.

4. A ferramenta TRIMAP e o Modelo MCDEA

A programação linear multiobjetivo (PLMO) é aplicada em situações em que há a necessidade de encontrar a melhor solução possível para um problema de otimização no qual as preferências do tomador de decisão são conflitantes. Neste caso, dado que existem múltiplos objetivos, será encontrado um conjunto de soluções eficientes, chamadas de não dominadas, para o problema. (ANGULO MEZA et al, 2006).

Para cada solução X eficiente, pode haver intervalos de variação para os pesos de cada função objetivo. Estes intervalos de variação definem um espaço que é chamado de região de indiferença associada à solução X . Assim, todos os grupos de pesos λ que estão neste conjunto fornecem a mesma solução eficiente X e, em consequência, a opção do decisor entre eles é indiferente. Portanto, uma região de indiferença é a região ou intervalo em que os pesos λ podem variar e a solução X continua eficiente. O espaço dos pesos é definido pelo conjunto de regiões de indiferença de um dado problema.

A ferramenta computacional TRIMAP, (Clímaco e Antunes, 1989), combina três procedimentos fundamentais: decomposição do espaço dos pesos das funções objetivo, introdução de restrições no espaço dos objetivos e introdução de restrições no espaço dos pesos. O ambiente interativo propicia ao agente decisor pesquisar soluções eficientes, baseado

numa aprendizagem progressiva e seletiva do conjunto de soluções eficientes. A combinação da redução da região admissível, com a redução do espaço dos pesos das funções objetivo, permite ao agente de decisão especificar limitações inferiores para os valores da função objetivo, e/ou impor restrições no espaço dos pesos (Climaco et al., 2003).

O TRIMAP calcula as soluções eficientes que otimizam cada função objetivo e a solução eficiente que minimiza uma distância ponderada de Tchebycheff à solução ideal. Durante as interações, conforme as soluções indesejadas são eliminadas, são percebidas as preferências do decisor. O desenvolvimento do método propicia a diminuição da região admissível, poupando esforço computacional e aumentando progressivamente o foco na sub-região eficiente de maior interesse do agente decisor, facilitando a tomada de decisão.

O uso dessa ferramenta permite a obtenção de representações gráficas importantes, de grande interesse para o estudo do modelo MCDEA. O gráfico obtido apresenta o espaço dos pesos decomposto nas regiões de indiferença que correspondem às soluções básicas não dominadas obtidas até o momento. Além disso, o gráfico pode mostrar restrições diretas aos pesos e aos valores admissíveis das funções objetivo. O TRIMAP oferece, ainda, um resumo dos resultados numéricos obtidos, fornecendo, para cada solução básica não dominada, o valor das variáveis básicas, das funções objetivo, o percentual da área ocupada pela região de indiferença, entre outros dados. Neste trabalho o TRIMAP foi utilizado para gerar soluções e servir de ferramenta de análise para o estudo do espaço dos pesos, como em Soares de Mello et al.(2006).

O TRIMAP é uma ferramenta bastante apropriada para o estudo do modelo MCDEA, uma vez que calcula todas as soluções ótimas da função objetivo do DEA clássico, identificando as não dominadas. Soares de Mello et al.(2006) destacam a importância deste resultado, pois o conhecimento da existência de multiplicadores alternativos e a identificação de quais correspondem a soluções básicas propicia a realização de análises mais aprofundadas. Além disso, o conhecimento da decomposição do espaço dos pesos permite investigar a estabilidade das soluções eficientes, bem como identificar combinações de pesos que, mesmo não atribuindo eficiência máxima a uma DMU, permitam que as mesmas sejam consideradas boas soluções, por não reduzirem demasiadamente a eficiência e, ao atribuir melhores valores às outras funções objetivo, estejam mais de acordo com as preferências do agente de decisão.

Em Clímaco et al.(2008) pode-se encontrar discussões sobre como fazer análises qualitativas do modelo MCDEA com o TRIMAP. Soares de Mello et al.(2006) propuseram o Índice MCDEA-TRIMAP, que considera as propriedades decorrentes do uso do TRIMAP no modelo de Li e Reeves. Considerando-se que o cálculo da eficiência neste modelo requer a consideração de toda a infinidade de combinações possíveis dos pesos das funções objetivo e que os valores assumidos pela função objetivo clássica sofrem uma variação contínua; integra-se esta função objetivo quando a soma ponderada das três funções objetivo é otimizada. Essa integração deve ser feita em todo o espaço dos pesos possíveis e a divisão de seu resultado pelo tamanho desse espaço fornece o valor médio da função objetivo clássica nesse espaço. O complemento desse valor médio representa o índice de eficiência, conforme detalhado em (4):

$$I(Ef_{MCDEA-TRIMAP}) = I - \left(\frac{\iint_{\Delta} FOI(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) dS}{\text{área do } \Delta} \right) \quad (4)$$

Como o integrando é contínuo por partes no espaço dos pesos, assumindo valor constante em cada região de continuidade, o cálculo do índice pode ser simplificado, fazendo-se a soma ponderada da primeira função objetivo, usando como ponderadores as percentagens da área em que cada solução é válida. Destaque-se que todos esses valores são facilmente obtidos através do TRIMAP. Para evitar distorções na integração do espaço dos pesos deve-se dividir a expressão referente à função objetivo minisoma pelo número total de DMU's em análise (Soares de Mello et al, 2006). Em concordância com as propriedades do modelo de Li e Reeves, o Índice de Eficiência MCDEA-TRIMAP é menor ou igual à eficiência no modelo clássico DEA-CCR. Assim, neste estudo a avaliação da eficiência será realizada através da comparação do Índice MCDEA-TRIMAP com os resultados obtidos pelo DEA clássico.

5. Caracterização e Modelagem do Problema

Anualmente, a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) divulga o Anuário Estatístico do Transporte Aéreo, que contém os dados estatísticos referentes ao setor de transporte aéreo nacional. Silveira et al. (2008) investigaram a eficiência das companhias aéreas nacionais, considerando os dados relativos ao ano de 2005, através de metodologia similar à usada nesse estudo. As grandes mudanças ocorridas no cenário do transporte aéreo brasileiro nos últimos

anos motivaram a realização dessa investigação, que considerou os dados relativos ao ano de 2008, disponíveis em www.anac.gov.br. O cenário recente da história do setor aéreo apresenta mudanças significativas de um ano para outro, com fusões, criação e encerramento da operação de companhias. Assim, não foi possível realizar uma análise comparativa dos resultados obtidos com o de anos anteriores.

Os dados fornecidos pela ANAC são referentes ao final do ano, não sendo, portanto, consideradas para fins de análise quaisquer possíveis variações ocorridas ao longo do ano. Em outubro de 2008 a Varig foi comprada pela Gol e o mercado nacional ficou dividido basicamente entre duas companhias: Gol/VRG e Tam. Para fins de simplificação, esse estudo considerou apenas uma empresa (GOL/VRG), computando para ela a soma das informações referentes a cada empresa durante o período.

As companhias AZUL, MASTER TOP, SKYMASTER e VARIG LOG não apresentaram seus dados dentro do prazo de divulgação, não sendo incluídas nesse estudo. A empresa ABSA – Aerolíneas Brasileiras, por efetuar somente transporte de carga, também não foi considerada.

No ano de 2008, os graves problemas enfrentados pelo setor aéreo nos anos de 2006 e 2007 foram, senão sanados, ao menos suavizados. O governo adotou uma série de medidas ao longo desse tempo, objetivando resolver os problemas de infra-estrutura e pessoal desvendados pela crise.

A avaliação das companhias aéreas brasileiras foi efetuada a partir de uma análise comparativa dos resultados obtidos pela aplicação da metodologia DEA e dos índices obtidos pela aplicação do modelo MCDEA.

O transporte aéreo caracteriza-se pelo transporte de passageiros e cargas por longas distâncias. Assim, foram escolhidos para este estudo dois *outputs* relacionados a essas variáveis: número de assentos pagos utilizados.quilômetro e toneladas utilizadas.quilômetro. A escolha dos *inputs* considerou o principal bem de capital dessas empresas: os aviões. Como as aeronaves de cada companhia possuem características distintas, utilizou-se como *input* o peso máximo de decolagem, por ser uma variável que tem ligação com a capacidade de transporte, tanto de passageiros, quanto de carga. Por outro lado, é preciso pessoal para operar as aeronaves,

executar os serviços de apoio e gerir a empresa. Com isso, o outro *input* utilizado foi o total de pessoal de cada empresa.

Cada empresa individualmente foi considerada uma DMU. Como mencionado, a Gol e a Varig foram consideradas como uma única DMU, devido à compra dessa última em outubro de 2008. Como o estudo visa avaliar o desempenho das companhias aéreas no que tange à sua gestão operacional, utilizou-se a orientação a *input* para avaliar as empresas que têm a capacidade de reduzir sua frota e gerenciar seu quadro funcional, sem prejuízos ao total transportado.

Apesar da diferença de tamanho entre as companhias aéreas, não há garantia de desproporcionalidade entre os *inputs* e *outputs* (retornos constantes de escala). Silveira e Soares de Mello (2009) formularam o MCDEA aplicado ao modelo BCC, de Banker et al. (1984), que considera retornos variáveis de escala. O modelo MCDEA-BCC foi aplicado ao setor de companhias aéreas, com os dados relativos ao ano de 2005. Todavia, devido à formulação do BCC clássico, o MCDEA-BCC pode gerar folgas maiores do que um, o que significa eficiências negativas. Segundo Soares de Mello et al (2002), este fenômeno ocorre especialmente quando uma DMU tem retornos crescentes de escala. Assim, foi adotado o modelo CCR para fins de comparação com o modelo utilizado por Li e Reeves (1999), que é baseado neste modelo.

6. Resultados

O modelo DEA-CCR clássico foi aplicado às 17 DMU's que representam as empresas brasileiras de transporte aéreo regular, com movimentação de carga e passageiros no ano de 2008.

Segundo informações da ANAC, o ano de 2008 foi marcado pela presença de quatro empresas representando 80% do total de etapas realizadas: TAM, GOL, VRG e OCEANAIR, sendo as três primeiras consideradas as maiores empresas do ano.

Em outubro de 2008, ocorreu a fusão das concessionárias GOL e VRG que resultou na permanência de uma única empresa, a VRG Linhas Aéreas S.A. Para fins de simplificação, este estudo considerou conjuntamente os dados relativos às duas empresas, como GOL/VRG.

O relatório da ANAC de 2008 fez uma retrospectiva das informações divulgadas no período 2000/2008, destacando que entre os anos de 2003 a 2008, a participação de mercado doméstico teve a predominância de poucas empresas no setor. No ano de 2008, a TAM teve participação de 50%; a Gol, de 29%; e a VRG, de 14%.

O primeiro passo do estudo foi aplicar o modelo DEA-CCR às DMU's investigadas, utilizando-se o software SIAD, de Angulo Meza et al.(2005). Os resultados obtidos encontram-se resumidos na tabela 1.

Tabela 1: Eficiência Clássica das Companhias Aéreas, no ano de 2008

Companhia Aérea	Eficiência Clássica
GOL TRANSPORTES AÉREO LTDA/VRG LINHAS AÉREAS	1,000000
TAM LINHAS AÉREAS S/A	1,000000
TAF LINHAS AÉREAS S/A	1,000000
TOTAL LINHAS AÉREAS S/A	0,713920
WEBJET	0,694577
OCEANAIR	0,619809
TRIP T.A.R.INTERIOR PAULISTA	0,431652
META MESQUITA	0,414240
PASSAREDO TRANSP.AE.S/A	0,384954
RICO LINHAS AÉREAS S/A	0,378091
PANTANAL L.A.SUL-MATOGROSSENSE	0,255394
AIR MINAS	0,192657
SETE	0,150975
NHT	0,129612
ABAETÉ LINHAS AEREAS	0,098966
PUMA AIR	0,091950
TEAM	0,078830

O modelo DEA-CCR clássico forneceu três DMU's eficientes – Gol Transportes Aéreos Ltda/VRG Linhas Aéreas, TAM linhas Aéreas S/A, e TAF Linhas Aéreas S/A, sem que fosse possível fazer quaisquer distinções entre elas (pouca discriminação). Nesse momento,

aplicou-se o modelo MCDEA, a fim de aumentar o poder de discriminação entre as unidades estudadas e utilizou-se o TRIMAP, com o objetivo de avaliar também o espaço dos pesos.

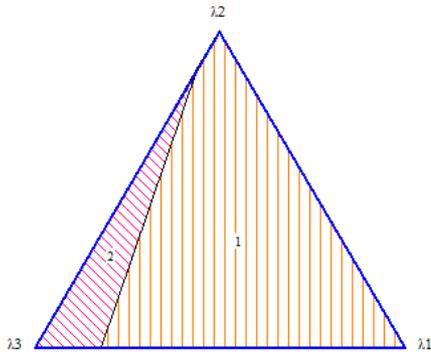


Figura 1: Gol Transportes Aéreos/VRG Linhas Aéreas

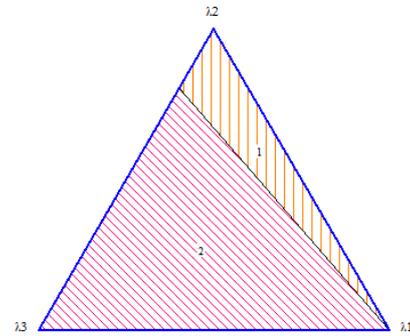


Figura 2: TAM Linhas Aéreas

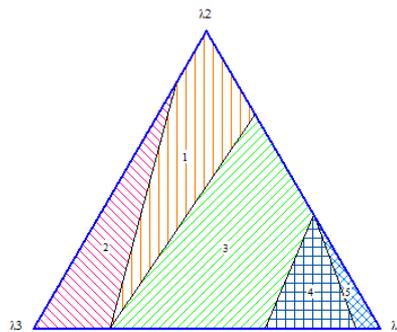


Figura 3: TAF Linhas Aéreas

As figuras 1, 2 e 3 mostram a decomposição do espaço dos pesos para as DMU's eficientes no modelo DEA clássico. Sua análise (maiores detalhes em Clímaco et al., 2008) permite verificar que a DMU TAM Linhas Aéreas (figura2) foi a única minisoma e minimax eficiente. Como as soluções que otimizam a função objetivo referente ao modelo DEA CCR recobrem todo o espaço dos pesos, esta deverá ser a DMU melhor avaliada pelo modelo MCDEA.

A DMU GOL/VRG (figura 1) é minimax eficiente, mas não minisoma eficientes. No entanto, a DMU GOL/VRG deixa de ser minisoma eficiente apenas por uma pequena área. Já a DMU TAF (figura3) foi apenas eficiente, conseguindo essa eficiência com esquemas muito particulares de multiplicadores.

A tabela 2 apresenta o cálculo do índice de eficiência MCDEA-TRIMAP para as DMU's do estudo. Destaque-se que o processo de cálculo considera a soma ponderada das soluções da primeira função objetivo, cujos ponderadores são os percentuais das áreas em que cada solução é válida, utilizando-se os dados fornecidos pelo TRIMAP.

	COMPANHIA AÉREA	Solução 1	Área 1	Solução 2	Área 2	Solução 3	Área 3	Solução 4	Área 4	Solução 5	Área 5	Solução 6	Área 6	Solução 7	Área 7	Solução 8	Área 8	Solução 9	Área 9	Índice	Área Total
DMU1	ABAETÉ Linhas Aéreas	0,91	0,00	0,97	16,90	0,97	83,10													0,0341	100,00
DMU2	GOL Transportes Aéreos Ltda/VRG Linhas Aéreas	0,00	84,18	0,02	15,82															0,9963	100,00
DMU3	META Mesquita	0,85	8,65	0,83	89,02	0,79	2,06	0,59	0,14											0,1745	99,87
DMU4	OCEANAIR	0,50	0,94	0,46	16,59	0,43	70,80	0,38	4,89	0,41	6,77									0,5654	100,00
DMU5	PUMA AIR	0,95	16,53	0,95	83,37	0,94	0,08	0,94	0,01											0,0466	99,99
DMU6	PASSAREDO Transp.Ae.S/A	0,86	7,50	0,84	84,29	0,80	7,08	0,75	0,34	0,75	0,20	0,62	0,40	0,62	0,10					0,1648	99,91
DMU7	PANTANAL L.A.Sul-Matogrossense	0,84	1,94	0,83	10,47	0,81	86,39	0,78	0,69	0,76	0,06	0,74	0,10							0,1949	99,64
DMU8	RICO Linhas Aéreas S/A	0,90	22,40	0,90	76,92	0,84	0,13	0,83	0,22	0,62	0,13									0,1067	99,81
DMU9	TAM Linhas Aéreas S/A	0,00	19,95	0,00	80,05															1,0000	100,00
DMU10	TRIP T.A.R.Interior Paulista	0,75	0,96	0,72	5,79	0,68	78,17	0,64	4,34	0,64	3,57	0,58	4,62	0,58	0,42	0,57	1,78	0,57	0,05	0,3260	99,65
DMU11	TAF Linhas Aéreas S/A	0,84	25,60	0,84	18,52	0,70	43,38	0,69	9,96	0,00	2,54									0,2568	100,00
DMU12	TOTAL Linhas Aéreas S/A	0,87	26,27	0,87	19,23	0,75	42,68	0,74	9,68	0,29	2,08									0,2061	99,94
DMU13	WEBJET	0,42	0,39	0,37	17,91	0,35	75,03	0,33	4,10	0,31	2,58									0,6470	100,00
DMU14	AIR MINAS	0,95	13,57	0,95	86,16	0,93	0,20	0,82	0,02											0,0534	99,95
DMU15	NHT	0,91	1,13	0,89	93,69	0,90	5,08	0,88	0,01	0,88	0,08									0,1069	99,99
DMU16	SETE	0,95	9,73	0,94	90,11	0,92	0,14													0,0615	99,98
DMU17	TEAM	0,97	9,63	0,97	90,35															0,0309	99,98

Tabela 2:. Cálculo do Índice de Eficiência MCDEA das DMU's eficientes

A partir destes resultados, verificou-se que a única DMU que se manteve eficiente foi a companhia TAM Linhas Aéreas, seguida da GOL/VRG, confirmando a análise gráfica realizada e o fato de que o modelo MCDEA restringe a otimização das DMU's.

A TAM é hoje a maior transportadora doméstica brasileira. No ano de 2008, a TAM desenvolveu esforços para oferecer serviços diferenciados de alta qualidade aos seus clientes, sendo a primeira empresa aérea brasileira a ter uma plataforma móvel para iPhone. Além disso, a TAM ampliou a frequência de voos para Belém, São Luís e João Pessoa, onde a demanda era crescente neste ano. Os novos vôos eram operados com as modernas aeronaves A320, com capacidade para transportar até 174 passageiros.

Os resultados obtidos pela TAM revelam que esta companhia aérea foi a que soube melhor utilizar seus recursos (aeronaves e pessoal) a fim de transportar um grande número de pessoas e um grande volume de cargas a todos os pontos do país.

Além disso, a análise das tabelas 1 e 2 permite observar a benevolência do modelo DEA clássico, que apontou a companhia TAF Linhas Aéreas como eficiente, enquanto o índice de eficiência MCDEA-TRIMAP desta companhia apresentou um valor bastante reduzido, 0,2568.

Conclusões

A aplicação do modelo DEA aos dados do setor aéreo brasileiro, referentes ao ano de 2008, disponibilizados pela ANAC, indicou 3 empresas como eficientes; a aplicação do modelo MCDEA em conjunto com a ferramenta TRIMAP, através do cálculo do índice MCDEA-TRIMAP permitiu a identificação da companhia mais eficiente no ano de 2008 – a empresa TAM Linhas Aéreas. Logo, o índice mostrou, mais uma vez, permitir uma melhor discriminação das unidades produtivas em estudo (redução do número de unidades eficientes na fronteira).

É importante ressaltar que a empresa GOL, dada como eficiente na aplicação do modelo DEA, obteve índice bem próximo na aplicação do MCDEA; já, a companhia TAF atingiu um índice muito inferior. Tal diferença pode ser verificada na análise qualitativa da Figura 3, onde a TAF conseguiu ser apenas eficiente e, mesmo assim, numa área muito pequena.

Destaque-se que, desde a saída de cena da VARIG, em 2006, a TAM tem sido responsável pela maior fatia do mercado brasileiro. O resultado obtido no estudo é bastante coerente, uma vez que a eficiência é fundamental para uma companhia que deseje manter-se líder de um setor. A fusão Gol/VRG ocorrida ao final de 2008 é, sem dúvida, prenúncio de uma grande disputa num futuro próximo, devendo gerar fortes reações no mercado.

O modelo MCDEA (Li e Reeves, 1999) foi desenvolvido para modelos DEA-CCR. Estudos futuros aprofundar o uso do MCDEA com os modelos DEA-BCC (Banker et al., 1984). Também para estudos futuros podem explorar-se as potencialidades de interatividade do TRIMAP e de modelos DEA, seja com limitações aos valores das funções objetivo, seja com restrições aos valores dos multiplicadores.

Futuras pesquisas também poderiam incluir na abordagem companhias aéreas internacionais, dando um tom mais abrangente à avaliação e comparando com o desempenho das nacionais.

Referências

- 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*, 25(3), 493-503.
- Angulo-Meza, L., Gomes, E. G., Biondi Neto, L. e Coelho, P. H. G. (2003), Avaliação do ensino nos cursos de Pós-graduação em engenharia: Um enfoque quantitativo de avaliação em conjunto, *Engevista*, 5(9), 41-49.
- Angulo-Meza, L.; Soares de Mello, J.C.C.B.; Clímaco, J.C.N. (2006), Estudos conjuntos de análise envoltória de dados (DEA) e programação linear multiobjetivo: uma revisão bibliográfica, *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção da UFF*, v.6, p.5.
- Anuário Estatístico do Transporte Aéreo – disponível em <http://www.anac.gov.br/>
- Araújo, A. H., Avellar, J. V. G., Milioni, A. Z. e Marins, F. A. S. (2006), Eficiência e Desempenho do Transporte Aéreo Regional Brasileiro, *SPOLM*.
- Banker, R. D., Charnes, A. e Cooper, W. W. (1984), Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Capobianco, H. M. P. e Fernandes, E. (2004), Capital structure in the world airline industry, *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 38(6), 421-434.
- Charnes, A., Cooper, W. W. e Rhodes, E. (1978), Measuring the efficiency of decision-making units, *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Climaco, J. C. N. e Antunes, C. H. (1989), Implementation of a user-friendly software package. A guided tour of TRIMAP, *Mathematical and Computer Modelling*, 12(10-11), 1299-1309.
- Clímaco, J. C. N. e Antunes, C. H. (1987), TRIMAP - an interactive tricriteria linear programming package, *Foundations of Control Engineering*, 12, 101-119.
- Climaco, J. C. N., Antunes, C. H. e Alves, M. J., *Programação Linear Multiobjetivo*, Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2003.
- Clímaco, J. C. N., Soares de Mello, J. C. C. B. e Angulo-Meza, L., *Performance Measurement – From DEA to MOLP* em Adam, F. e Humphreys, P. (Eds), *Encyclopedia of Decision Making and Decision Support Technologies*, Information Science Reference, Hershey, 709-715, 2008.
- Estellita Lins, M.P.; Angulo-Meza, L. *Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de Apoio à Decisão*, Editora da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.
- Evangelho, F., Huse, C. e Linhares, A. (2005), Market entry of a low cost airline and impacts on the Brazilian business travelers, *Journal of Air Transport Management*, 11, 99-105.
- Fernandes, E. e Capobianco, H. M. P. (2001), Airline capital structure and returns, *Journal of Air Transport Management*, 7(3), 137-142.
- Fernandes, E. e Pacheco, R. R. (2002), Efficient use of airport capacity, *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 36(3), 225-238.
- Gomes, E. G.; Soares de Mello, J. C. C. B.; Biondi, L. N. *Avaliação de eficiência por Análise Envoltória de Dados: conceitos, aplicações à agricultura e integração com Sistemas de Informação Geográfica*, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, 2003.
- Guimarães, E. A., Salgado, L. H. (2003) “A Regulação no Mercado de Aviação Civil no Brasil.” In: *Notas Técnicas (2) IPEA*, Rio de Janeiro, out/2003.

- Leta, F. R., Soares de Mello, J. C. C. B., Gomes, E. G. e Angulo-Meza, L. (2005), Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos, *Investigação Operacional*, 25(2), 229-242.
- Li, X. B. e Reeves, G. R. (1999), Multiple criteria approach to data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, 115(3), 507-517.
- Lima, V.S. ; Soares de Mello, J.C.C.B. (2009) *Análise envoltória de dados no estudo das relações de custo x benefício em passagens aéreas de rotas selecionadas*. In: VIII SITRAER / II RIDITA, 2009. Avanços do Transporte Aéreo Brasileiro, p. 105-120.
- Lopes, L. S., Bandeira, M. C. G. da S. P., Ronzani, G. M., Oliveira, D. S., Oliveira, A. V. M., (2006) Precificação de Companhias Aéreas: Estudo de Caso das Rotas Domésticas de Longo Percurso, in *Anais do 120 Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XII ENCITA*.
- Novais e Silva, L. (2006) *Tópicos Sobre a Evolução da Aviação Comercial no Brasil: a história entre o direito e a economia*. Jus Navengandi, Teresina, ano 11, n. 1224.
- Oliveira, A. V. M. (2005) *Descontos em Tarifas Aéreas e Seus Determinantes: um estudo aplicado à compra de passagens pela internet em rotas selecionadas*. In: XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2005, Recife. Anais do XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes_ANPET.
- Pacheco, R. R. e Fernandes, E. (2003), Managerial efficiency of Brazilian airports, *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 37(8), 667-680.
- Pacheco, R. R., Fernandes, E. e Santos, M. P. D. (2006), Management style and airport performance in Brazil, *Journal of Air Transport Management*, 12(6), 324-330.
- Pasin, J. A. B., Lacerda, S. M. (2003). *A Reestruturação do Setor Aéreo e as Alternativas de Política para a Aviação Civil no Brasil*. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v.10, n. 19, junho 2003.
- Silveira, J.Q. ; Pereira, E.R. ; Correia, T.C.V.D. ; Soares de Mello, J.C.C.B. ; Clímaco, J.C.N. ; Angulo-Meza, L. Avaliação da eficiência das companhias aéreas brasileiras com uma variação do modelo de Li e Reeves. *Engevista*, v. 10, n. 2, p. 145-155, 2008.
- Silveira, J. Q. ; Soares de Mello, J.C.C.B. (2009), *Avaliação da Eficiência das Companhias Aéreas Brasileiras por meio de modelos avançados em Análise Envoltória de Dados*. In: XXIII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Vitória. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes.
- Soares de Mello, J. C. C. B., Angulo-Meza, L., Gomes, E. G., Serapião, B. P. e Lins, M. P. E. (2003), Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras, *Pesquisa Operacional*, 23(2), 325-345.
- Soares de Mello, J. C. C. B., Clímaco, J. C. N. e Angulo-Meza, L. (2006), Índice de eficiência MCDEA-TRIMAP, *XXXVIII Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Pages.
- Soares de Mello, J. C. C. B. e Gomes, E. G. (2004), Eficiências aeroportuárias: uma abordagem comparativa com análise de envoltória de dados, *Revista de Economia e Administração*, 3(1), 15-23.
- Soares de Mello, J.C.C.B.; M.P. Estellita Lins, M.P., E.G. GOMES (2002). Construction of a smoothed DEA frontier. *Pesquisa Operacional*, v. 22, n. 2, p. 183-201.
- Visagio (2008) Melhores e Piores no Transporte Aéreo Brasileiro. Sumário executivo, outubro 2008. Disponível em: <http://www.institutodegestao.com.br/artigos.htm>. Acesso em 26 jan. 2009.