

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS COMPANHIAS AÉREAS BRASILEIRAS POR MEIO DE MODELOS AVANÇADOS EM ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Juliana Quintanilha da Silveira
João Carlos C. B. Soares de Mello
Universidade Federal Fluminense
Departamento de Engenharia de Produção

RESUMO

O crescente aumento da competitividade do setor de transporte aéreo nos últimos anos tem provocado uma mudança na dinâmica de mercado, levando as companhias aéreas a buscar novas estratégias para garantir a sua posição. Este artigo tem o objetivo de analisar o desempenho das companhias aéreas brasileiras, no que tange à sua gestão operacional, após a consolidação das mudanças decorrentes da desregulamentação do setor, no ano de 2005. A eficiência das empresas aéreas foi avaliada através da comparação dos resultados obtidos no modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA) clássico com os Índices de Eficiência calculados com base no modelo multiobjetivo MCDEA-BCC, desenvolvido neste estudo a partir de Li e Reeves (1999). Este projeto inclui ainda a segmentação das empresas em *clusters* e a identificação de *benchmarks*, indicando-se as companhias com as melhores e práticas gerenciais do setor aéreo.

ABSTRACT

The increase of the air transportation sector competition in recent years has changed this market dynamics, leading airlines to seek new strategies to ensure its position. This article aims to analyze the performance of Brazilian air carriers regarding its operational management, after the consolidation of the changes arising from the deregulation of the sector, in the year 2005. The analysis of the companies' efficiency in the year 2005 is done by comparing the results obtained with Data Envelopment Analysis model and with efficiency index based on the multiobjective model MCDEA-BCC, developed in this study from the Li and Reeves (1999) model. This project included a segmentation of the companies in clusters and benchmark's indicating the best managerial practices in the air sector.

1. INTRODUÇÃO

O setor de transporte aéreo no Brasil passou por transformações estruturais significativas ao longo dos últimos anos. Desde o início da década de 90, o setor assistiu a um processo de desregulamentação, que rompeu com a política vigente, instalada desde o final dos anos 60, na qual a estrutura e a conduta de mercado eram controladas e associadas a mecanismos de política industrial (Oliveira, 2007).

O início deste processo ocorreu a partir da abolição dos monopólios regionais em 1992. Dessa forma, foi estimulada a entrada de novas operadoras, além da competição em preços, com a definição de bandas tarifárias. No final dos anos 1990, a desregulamentação teve um novo impulso (Coelho, 2002) e foram removidas as bandas tarifárias e a exclusividade ainda existente na operação de algumas linhas aéreas para companhias regionais. Estas medidas acirraram ainda mais a competição entre companhias. Em 2001, houve uma total liberalização dos preços, a flexibilização dos processos de entrada de novas firmas e de pedidos de novas linhas aéreas, frequências de voo e aviões, resultando inclusive na entrada da Gol, a primeira *Low Cost Carrier* (LCC) em janeiro de 2001.

A competição estabelecida entre as empresas de transporte aéreo induz à busca pelo melhor desempenho, levando as mesmas ao desenvolvimento de novas estratégias para garantir sua posição no mercado.

O presente artigo tem como objetivo avaliar o desempenho das companhias aéreas brasileiras para o transporte aéreo de passageiros e cargas, no ano de 2005, após a consolidação das mudanças descritas. Para isso, será aplicada a Análise Envoltória de Dados (DEA) às companhias operantes no ano em questão e o Modelo de Análise Envoltória de

Dados Multicritério (MCDEA) buscando o aumento da capacidade discriminatória do método clássico na avaliação das eficiências operacionais das companhias.

Para gerar as soluções não dominadas do modelo multiobjetivo utilizou-se a ferramenta computacional TRIMAP, desenvolvida por Clímaco e Antunes (1987) que permite uma avaliação a respeito da decomposição do espaço de pesos das funções objetivo. A partir do cálculo dos valores das funções objetivo para cada região do espaço dos pesos, determinou-se, para cada companhia aérea, o índice de eficiência MCDEA – TRIMAP, proposto por Soares de Mello et al. (2009).

Além disso, serão indicadas as companhias com as melhores práticas de gestão, através da segmentação das companhias em *clusters*, definidos a partir dos multiplicadores atribuídos por cada companhia aos seus recursos e produtos.

Destaque-se que são raros os estudos de eficiência em empresas aéreas. Entre as companhias brasileiras, foram encontrados dois estudos sobre eficiência operacional (Soares de Mello et al., 2003; Araújo et al., 2006) e outros dois que usam DEA para estudar a estrutura de capital dessas empresas (Fernandes e Capobianco, 2001; Capobianco e Fernandes, 2004). No que tange o transporte aéreo, a ferramenta DEA é mais usada para estudar eficiências de aeroportos (Fernandes e Pacheco, 2002; Pacheco e Fernandes, 2003; Soares de Mello e Gomes, 2004; Pacheco et al., 2006).

O artigo foi organizado da seguinte forma: na seção 2 há uma revisão do modelo DEA clássico e do modelo de Li e Reeves. A seção 3 discute o uso do TRIMAP no modelo MCDEA. Na seção 4, é descrito o Índice MCDEA-TRIMAP e na seção 5 é detalhado o modelo para o cálculo dos multiplicadores das variáveis de cada companhia aérea. Na seção 6 são apresentadas a caracterização e a modelagem do problema. A seção 7 apresenta os resultados da aplicação do modelo MCDEA, juntamente com o cálculo do Índice de Eficiência e a segmentação em *clusters*. Finalmente, na seção 8, são descritas as conclusões do trabalho.

2. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS E O MODELO DE LI E REEVES

A Análise Envoltória de Dados é uma metodologia com base em programação matemática, que tem como objetivo medir a eficiência de um conjunto de unidades produtivas (unidades tomadoras de decisão), denominadas de DMU's (*Decision Making Units*), que consomem múltiplos *inputs* (insumos, recursos) para produzir múltiplos *outputs* (produtos).

Existem dois modelos clássicos em DEA: CCR (também conhecido por CRS ou *Constant Return to Scale*) proposto por CHARNES et al. (1978) e BCC (também conhecido por VRS ou *Variable Return to Scale*) proposto por BANKER et al. 1984). No modelo CCR qualquer variação nos *inputs* produz variação proporcional nos *outputs*, considerando-se retornos constantes de escala. Já o modelo BCC não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*, permitindo retornos variáveis de escala.

Para o cálculo da eficiência é possível utilizar a orientação a *inputs* que objetiva produzir a mesma quantidade de produtos minimizando a utilização dos recursos. Por outro lado, a orientação a *outputs* visa maximizar a produção mantendo constante a quantidade de recursos consumidos.

Em DEA, cada DMU escolhe seu próprio conjunto de multiplicadores, de modo que a eficiência seja a melhor possível em relação às demais. Por isso, é possível que um grande número de DMU's se localize na fronteira eficiente, revelando a estrutura benevolente do método e reduzindo sua 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.

Ao longo dos anos, têm-se desenvolvido diferentes modelos com o objetivo de melhorar a discriminação em DEA (Angulo-Meza e Lins, 2002). Dentre eles, pode-se destacar o modelo MCDEA, de Li e Reeves (1999), que utiliza Programação Linear Multiobjetivo para resolver os problemas de discriminação das DMU's e promover uma melhor distribuição dos multiplicadores para as variáveis. O modelo MCDEA apresenta soluções não dominadas, que levam em consideração todas as funções objetivo, não sendo limitado por soluções obtidas a partir da otimização individual de cada função.

Dessa forma, o modelo MCDEA de Li e Reeves (1999) inclui duas funções objetivo adicionais para restringir a liberdade de otimização do modelo DEA-CCR, proposto por Charnes et al. (1978). Assim, os novos critérios para medida de eficiência tendem a restringir mais a eficiência das DMU's, pois permitem menor flexibilidade para otimização.

O modelo MCDEA, propõe a utilização de uma folga d como medida de ineficiência, ao invés da eficiência 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. As duas funções objetivo adicionadas são: 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.

Neste estudo, foi formulado, de maneira análoga, o modelo MCDEA para o modelo DEA-BCC, a partir dos conceitos discutidos anteriormente. A formulação MCDEA-BCC é, então, apresentada em (1):

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } d_o \\
 & \text{Min Max } d_j \\
 & \text{Min } \sum_{j=1}^n d_j \\
 & \text{Sujeito a} \\
 & \sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1 \\
 & \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} + d_o + u_* \leq 0, \quad k=1, \dots, n \\
 & u_j, v_i \geq 0, \quad \forall j, i \\
 & u_* \in \mathcal{R}
 \end{aligned} \tag{1}$$

em que v_i e u_r são os multiplicadores de *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 , $j = 1, \dots, n$; u_* é a variável de escala; d_j é a folga da DMU j , $j=1, \dots, n$, e d_o é a folga da DMU O .

Vale ressaltar que devido a formulação do BCC clássico, o modelo 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.

Para avaliar os resultados, considera-se que uma DMU é eficiente minimax se, e somente se, o valor 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 do 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 não favorecem, geralmente, a eficiência clássica da DMU em avaliação.

No entanto, em casos particulares, o objetivo minimax pode restringir pouco as combinações de multiplicadores que otimizam a função objetivo clássica. Isso ocorre, normalmente, quando a DMU com pior avaliação tem pontos fortes e fracos semelhantes à DMU em avaliação, isto é, tem multiplicadores semelhantes.

3. MÉTODO TRIMAP E O MODELO MCDEA

O TRIMAP (Climaco e Antunes, 1989) é uma ferramenta de apoio à decisão que objetiva apoiar os agentes de decisão na pesquisa de soluções eficientes para problemas de programação linear tricritério. Combina a redução da região admissível, com a redução do espaço dos pesos das funções objetivo, permitindo que o agente de decisão especifique limitações inferiores para os valores da função objetivo, e/ou imponha restrições no espaço dos pesos (Climaco *et al.*, 2003).

Inicialmente, no método TRIMAP, são calculadas as soluções eficientes que otimizam cada função objetivo e a solução eficiente que minimiza uma distância ponderada de Tchebycheff à solução ideal. O fato de trabalhar com apenas três funções objetivos, representa, muitas vezes, uma limitação do método. Todavia, ele permite o uso de representações gráficas bastante úteis, como a representação do espaço dos pesos, de grande interesse para o estudo do modelo MCDEA. Como este modelo tem exatamente 3 funções objetivo, a limitação não existe.

O gráfico obtido apresenta o espaço dos pesos decomposto em regiões de indiferença – regiões onde os pesos das funções objetivo podem variar sem alterar o valor da solução obtida – 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.

Considerando-se as características do modelo MCDEA, o TRIMAP apresenta-se como uma ferramenta altamente apropriada para o seu estudo, calculando todas as soluções ótimas da função objetivo do DEA clássico e identificando as não dominadas. Soares de Mello *et al.* (2006) destacam a importância deste resultado, uma vez que o conhecimento da existência de multiplicadores alternativos e a identificação de quais correspondem a soluções básicas propicia a realização de análises mais aprofundadas. Neste estudo, o cálculo dos multiplicadores atribuídos a cada variável da DMU, detalhado no item 5, será utilizado para segmentação do mercado das companhias aéreas brasileiras.

4. ÍNDICE MCDEA-TRIMAP

Proposto por Soares de Mello *et al.* (2009), o Índice de Eficiência MCDEA-TRIMAP considera as propriedades decorrentes do uso do TRIMAP no modelo de MCDEA.

A escolha dos multiplicadores de cada DMU depende da atribuição de pesos a cada função objetivo, que podem variar dentro de uma região de indiferença. Para cada região de indiferença haverá soluções diferentes, o que dificulta uma ordenação única. Além disso, não é fácil um decisor atribuir pesos, já que as funções objetivo minimax e minisoma, embora de clara interpretação matemática, não são triviais de interpretar pelo agente de decisão, num

contexto de avaliação por DEA.

Para o cálculo da eficiência no modelo MCDEA, deve ser considerada toda a infinidade de combinações possíveis dos pesos das funções objetivo. Ademais, há uma variação contínua dos valores assumidos pela função objetivo clássica, no espaço dos pesos.

Para definir uma forma de ordenação, o Índice MCDEA integra a função objetivo clássica 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 pela equação (2):

$$I(\text{Ef MCDEA- TRIMAP}) = 1 - \left(\frac{\int \int \int \text{FO1}(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) dS}{\text{área do } \Delta} \right) \quad (2)$$

em que FO1: Valor assumido pela função objetivo clássica na região de indiferença

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$: Pesos das funções objetivos

Área do Δ : Área do espaço dos pesos das funções objetivo.

O cálculo deste índice pode ser simplificado se for observado que o integrando é contínuo por partes no espaço dos pesos, e que em cada região de continuidade, assume valor constante. Portanto, basta calcular a soma ponderada da primeira função objetivo, tendo como ponderadores as percentagens da área em que cada solução é válida.

No entanto, uma pequena modificação deve ser feita no modelo MCDEA original, para evitar distorções na integração do espaço dos pesos, geradas pela consideração de vários desvios de eficiência na função objetiva minisoma, em contraste com o que ocorre nas outras duas funções objetivo. Para eliminar as distorções, divide-se a expressão referente a essa função objetivo (minisoma) pelo número total de DMU's em análise.

5. CÁLCULO DO CONJUNTO DE MULTIPLICADORES

Soares de Mello et al.(2006) propõem um processo de cálculo do conjunto de multiplicadores de cada DMU a partir do Índice MCDEA obtido por cada uma delas. Para isso, resolve-se um PPL originado no modelo DEA comum, no qual se obriga a eficiência a ser igual ao índice calculado pelo modelo MCDEA-TRIMAP, conforme descrito em (3). Neste método, maximiza-se o menor dos multiplicadores mantendo-se as demais restrições de DEA.

Max Min u_o

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^r u_j y_{jo} = I(\text{MCDEA-TRIMAP})$$

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} + u_* \leq 0, \quad k=1, \dots, n$$

$$u_j, v_i \geq 0, \quad \forall j, i$$

$$u_* \in \mathcal{R}$$

em que v_i e u_r são os multiplicadores de *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 , $j = 1, \dots, n$; u_* é a variável de escala; u_o é o multiplicador da DMU O.

Caso o agente de decisão aceite os multiplicadores calculados e sendo estes não nulos, o problema termina. Caso o decisor não aceite, pode-se impor restrições aos multiplicadores e recalculá-lo.

6. AVALIAÇÃO DAS COMPANHIAS AÉREAS BRASILEIRAS

O período escolhido para a avaliação das companhias aéreas brasileiras foi o ano de 2005 quando já haviam sido consolidadas as mudanças no mercado de transporte aéreo brasileiro, descritas anteriormente. Este período foi marcado pela redução das barreiras geográficas entre companhias regionais, nacionais e internacionais e pela busca pelo melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Assim a concorrência entre as empresas se tornou mais acirrada.

Além disso, no ano de 2005 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.

Devido à diferença de tamanho entre as companhias aéreas e como não há garantia sobre a proporcionalidade entre *inputs* (capacidade da frota e total de pessoal) e *outputs* (passageiros.km utilizados e toneladas.km utilizados) escolheu-se o modelo DEA BCC com orientação à *input*, pois considera retornos variáveis de escala. Assim, entende-se que para longas distâncias o aproveitamento das aeronaves é maior.

Comparou-se os resultados da metodologia DEA com os do modelo MCDEA-BCC, desenvolvido a partir de Li e Reeves (1999), como método de aumento da capacidade discriminatória, de forma que a medida das eficiências operacionais das companhias tivesse maior precisão. Além disso, a fim de identificar companhias com o mesmo perfil operacional, foram definidos *clusters*, através do cálculo do vetor de multiplicadores de cada uma das companhias. Em cada *cluster* foi identificada a companhia mais eficiente, ou seja, o alvo (*benchmark*) a ser alcançado pelas demais.

O estudo visa avaliar o desempenho das companhias aéreas no que tange à sua gestão operacional. Para isso, como um dos *inputs* do modelo (recursos utilizados por cada companhia para operacionalização do serviço), considerou-se o principal bem de capital dessas empresas: as aeronaves. Porém, como as aeronaves utilizadas são de modelos diferentes, e consequentemente, tem capacidades de transporte diferentes, foi utilizada como variável o peso máximo de decolagem de cada companhia, conforme proposto por Correia e Soares de Mello (2008). De fato, o peso máximo de decolagem engloba o peso do avião e do combustível (o que não gera receitas), mais o peso da carga transportada e o peso dos passageiros (o que gera receitas).

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. Destaque-se que combustível poderia ser utilizado como outro *input*. No entanto, a ANAC deixou de divulgar o total de combustível gasto por cada empresa. Além disso, Soares de Mello et al. (2003) mostraram que o uso dessa variável distorce os resultados, identificando um número muito grande de empresas como eficiente.

As empresas transportam passageiros e carga, e recebem por esse transporte, logo os *outputs* devem estar vinculados a essas duas variáveis. Por outro lado, não basta transportar – o transporte aéreo caracteriza-se por transportar a longas distâncias. Assim, foram escolhidos como *outputs* o número de assentos utilizados.kilômetros, e toneladas utilizadas.kilômetros.

Os dados foram obtidos no Anuário Estatístico do Transporte Aéreo divulgado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Esse estudo considerou os dados disponíveis do ano de 2005 por serem os mais recentes na ocasião em que foi iniciado. Destaque-se que os anuários da ANAC fornecem dados referentes ao final do ano. Assim, embora não saibamos o

comportamento da frota ao longo do ano, pode-se estimar a frota média a partir dos dados no início do ano (frota do fim do ano anterior) e do fim do ano.

7. RESULTADOS

O modelo DEA-BCC clássico foi aplicado às 14 DMU's que representam as empresas brasileiras de transporte aéreo regular, com movimentação de carga e passageiros no ano de 2005. Para o cálculo das eficiências apresentadas na tabela 1, foi utilizado o *software* SIAD, de Angulo Meza et al.(2005).

Tabela 5: Eficiência Clássica das Companhias Aéreas de 2005

Companhias Aéreas Brasileiras em 2005	Eficiência (Eff _o)
ABAETÉ LINHAS AÉREAS	1,0000
ABSA - AEROLINEAS BRASILEIRAS	1,0000
GOL TRANSPORTES AÉREOS	1,0000
TAM LINHAS AÉREAS	1,0000
GRUPO VARIG	1,0000
META MESQUITA	0,9267
PUMA AIR LINHAS AÉREAS	0,8297
PASSAREDO TRANSPORTES AÉREOS	0,8178
TAF LINHAS AÉREA	0,7020
TRIP LINHAS AÉREAS	0,5731
RICO LINHAS AÉREAS	0,4396
PANTANAL LINHAS AÉREAS	0,3723
OCEANAIR	0,2066
TOTAL LINHAS AÉREAS	0,1992

Revelando a estrutura benevolente do método, houve “empates”, tendo-se cinco DMU's eficientes no ano de 2005 (Abaeté Linhas Aéreas, ABSA Aerolineas Brasileiras, Gol Transportes Aéreos, TAM Linhas Aéreas e Grupo Varig). Neste caso não há como fazer distinção entre as companhias eficientes usando o modelo DEA-BCC clássico.

Para aumentar a discriminação das companhias aéreas em 2005, aplicou-se o modelo MCDEA-BCC, com a utilização da ferramenta TRIMAP, com o objetivo de avaliar também o espaço dos pesos. As figuras 1, 2, 3, 4 e 5 apresentam a decomposição do espaço dos pesos para as DMU's que foram eficientes no modelo clássico, após a aplicação do MCDEA-BCC.

Usando os processos de análise descritos em Clímaco et al (2008), verifica-se que as DMU's Abaeté Linhas Aéreas e ABSA Aerolineas Brasileiras foram minisoma eficientes e minimax eficientes. Os gráficos mostram que o vértice referente a função objetivo DEA-BCC clássica (vértice inferior direito) encontra-se na mesma região de indiferença que o vértice correspondente a função objetivo minisoma (vértice superior), o que significa dizer que uma mesma solução otimiza ao mesmo tempo tanto a função objetivo clássica quanto a função objetivo de minisoma. O mesmo ocorre para a função minimax, que nos casos mencionados também encontra-se em uma mesma região de indiferença que a função objetiva clássica.

Para as DMU's Abaeté e ABSA as soluções que otimizam a função objetivo referente ao modelo DEA-BCC recobrem todo o espaço dos pesos. Assim, segundo a análise feita em Clímaco et al (2008) estas deverão ser as DMU's com a melhor avaliação no modelo MCDEA-BCC.

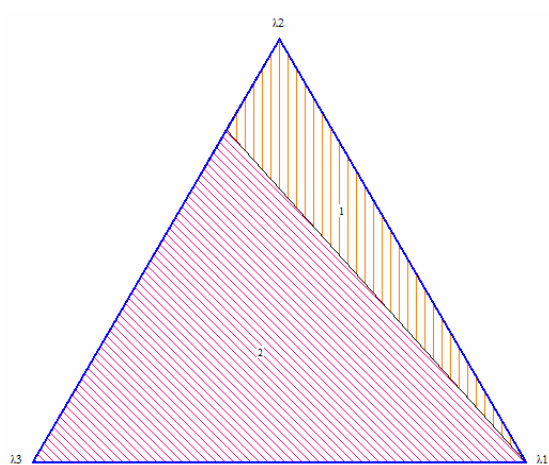


Figura 1: Espaço dos pesos das funções objetivo para a DMU Abaeté Linhas Aéreas

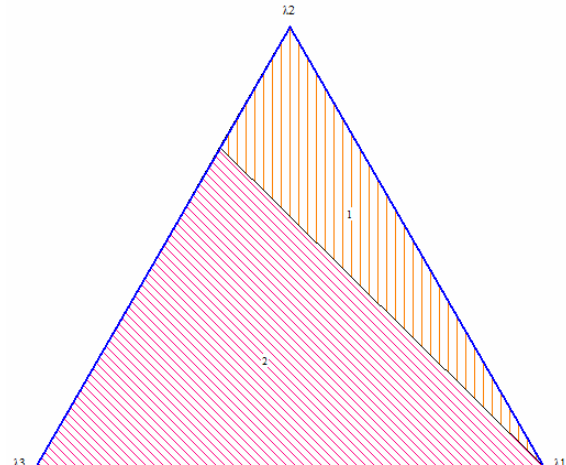


Figura 2: Espaço dos pesos das funções objetivo para a DMU ABSA – Aerolineas Brasileiras

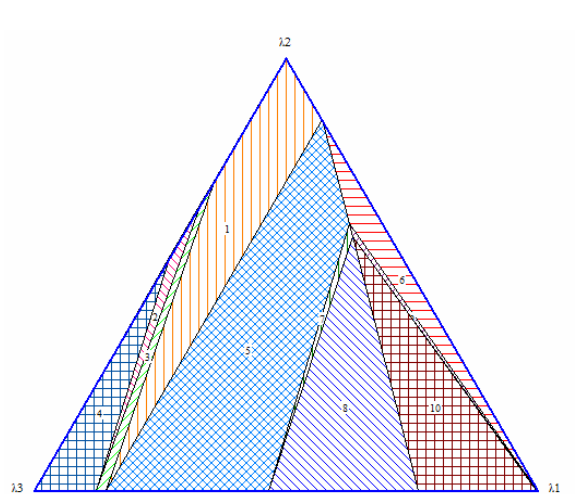


Figura 3: Espaço dos pesos das funções objetivo para a DMU Gol Transportes Aéreos

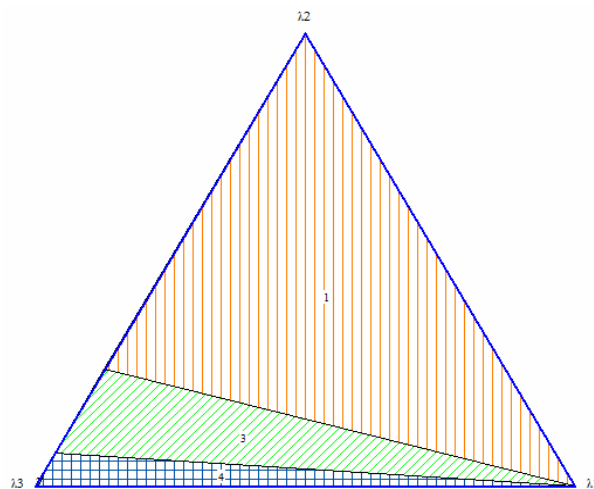


Figura 4: Espaço dos pesos das funções objetivo para a DMU TAM Linhas

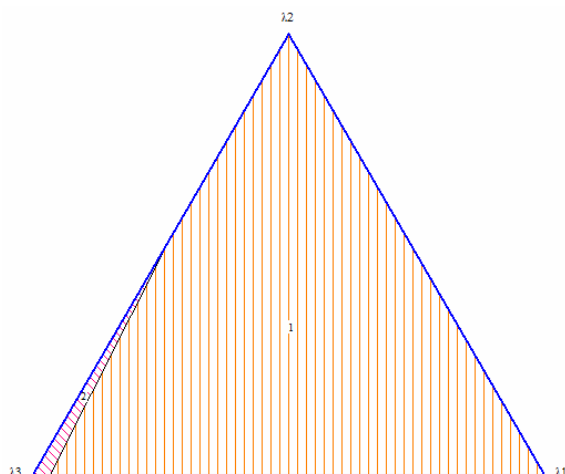


Figura 5: Espaço dos pesos das funções objetivo para a DMU Grupo Varig

As DMU's TAM e Grupo Varig são minisoma eficientes, mas não minimax eficientes. No entanto, a DMU TAM deixa de ser minimax apenas por uma área muito pequena (0,02% da área do espaço dos pesos). Assim, em análise qualitativa a TAM deve ser melhor avaliada

que o Grupo Varig. Já a DMU GOL foi apenas eficiente e, mesmo assim, numa área muito pequena. Só consegue a eficiência com esquemas muito particulares de multiplicadores.

A Tabela 2 apresenta o índice de eficiência MCDEA-TRIMAP, através da soma ponderada das soluções da primeira função objetivo, cujos ponderadores são os percentuais das áreas em que cada solução é válida. Os dados são todos fornecidos pelo TRIMAP.

Tabela 2: Índice MCDEA-TRIMAP

Companhias Aéreas Brasileiras em 2005	Índice MCDEA – TRIMAP
ABAETÉ LINHAS AÉREAS	1,000000
ABSA - AEROLINEAS BRASILEIRAS	1,000000
TAM LINHAS AÉREAS	0,999996
GRUPO VARIG	0,999390
GOL TRANSPORTES AÉREOS	0,952333
META MESQUITA	0,613453
PASSAREDO TRANSPORTES AÉREOS	0,494743
PUMA AIR LINHAS AÉREAS	0,490256
TRIP LINHAS AÉREAS	0,455677
RICO LINHAS AÉREAS	0,420171
PANTANAL LINHAS AÉREAS	0,212925
TAF LINHAS AÉREA	0,196084
TOTAL LINHAS AÉREAS	0,194015
OCEANAIR	0,118447

A avaliação das companhias aéreas por meio do modelo MCDEA-BCC, não gera alvos. Para a determinação das companhias aéreas com os melhores desempenhos no ano de 2005, é importante segmentá-las em *clusters*, capazes de agrupar DMU's com características gerenciais semelhantes. Assim, o processo de determinação de *benchmarks* torna-se mais eficaz, apontando os alvos em um grupo de empresas com o mesmo tipo de operação. Para determinação dos *clusters*, foi realizada uma comparação entre os multiplicadores atribuídos pelo modelo a cada variável de cada DMU. Para o cálculo dos multiplicadores foi utilizado o software LINDO 6.1.

Os valores encontrados foram utilizados para segmentar as DMU's, primeiramente no que se refere a gestão de seus recursos (*inputs*). Assim, foram gerados dois clusters para todas as companhias. O cluster 1 é caracterizado pelas companhias aéreas que atribuíram um multiplicador maior para o *input* peso máximo de decolagem do que para o *input* pessoal. Essas empresas têm a capacidade como recurso mais valorizado na avaliação do desempenho.

O cluster 2 é formado por empresas que atribuíram um multiplicador maior para a variável pessoal do que para a variável de capacidade (peso máximo de decolagem). Neste caso, as companhias dão maior valor ao *input* pessoal, sendo este recurso o principal responsável pela avaliação da empresa neste ano.

Da mesma forma, foram definidos dois *clusters* a partir dos multiplicadores atribuídos por cada empresa aos seus *outputs*. Estes *clusters* definem o principal foco operacional das empresas, pois indicam que *output* mais influenciou em seu desempenho.

O cluster 3 é formado pelas companhias aéreas que impuseram um multiplicador maior para o *output* assentos.kilômetros utilizados do que para o *output*

toneladas.quilômetros utilizados. Neste caso, as companhias aéreas consideraram seu principal negócio o transporte de passageiros e não o de carga.

O cluster 4 é composto pelas empresas têm o transporte de carga como seu principal negócio. As companhias deste *cluster* atribuíram um multiplicador maior para o output toneladas.quilômetros utilizados do que para o output assentos.quilômetros utilizados. Os *clusters* definidos para as companhias aéreas estão descritos na figura 6, onde estão destacados os *benchmarks* (como a companhia que obteve o maior índice MCDEA-TRIMAP).

Cluster 1	Cluster 3
GOL TRANSPORTES AÉREOS	GOL TRANSPORTES AÉREOS
TAM LINHAS AÉREAS	TAM LINHAS AÉREAS
GRUPO VARIG	GRUPO VARIG
META MESQUITA	META MESQUITA
PASSAREDO TRANSPORTES AÉREOS	PASSAREDO TRANSPORTES AÉREOS
PUMA AIR TRANSPORTES AÉREOS	PUMA AIR TRANSPORTES AÉREOS
TRIP LINHAS AÉREAS	TRIP LINHAS AÉREAS
PANTANAL LINHAS AÉREAS	PANTANAL LINHAS AÉREAS
RICO LINHAS AÉREAS	RICO LINHAS AÉREAS
OCEANAIR	OCEANAIR
TOTAL LINHAS AÉREAS	TOTAL LINHAS AÉREAS
	TAF LINHAS AÉREAS

Cluster 2	Cluster 4
ABAETÉ LINHAS AEREAS	ABAETÉ LINHAS AEREAS
ABSA - AEROLINEAS BRASILEIRAS	ABSA - AEROLINEAS BRASILEIRAS
TAF LINHAS AÉREAS	

Figura 6: Clusters das Companhias Aéreas em 2005

8. CONCLUSÕES

O índice MCDEA-TRIMAP possibilitou a realização de uma análise mais completa do modelo em estudo, identificando-se a ABSA como realmente eficiente no seu ramo de atuação, que é o transporte de cargas, atuando basicamente no norte do Brasil e em algumas cidades da América Latina. A companhia Abaeté é uma companhia regional, que opera em apenas três cidades baianas. Como esta companhia é pequena, se beneficiou dos retornos de escala do BCC, sendo eficiente por *default*.

O “Grupo Varig” foi quase 100% eficiente. O resultado apresentado é coerente, embora esta companhia estivesse em estado pré-falimentar no ano de 2005 e efetivamente, entraria em colapso em 2006. Isso porque no decorrer do ano de 2005, o grupo Varig passou por um choque de gestão com vistas, finalmente, a aumentar o uso da frota, reduzir empregados e custos operacionais. Portanto, os resultados obtidos mostram o sucesso desse esforço, em termos de eficiência operacional. Os resultados aqui apresentados não consideram variáveis monetárias, nem o acúmulo de problemas anteriores, como o code-share com a TAM (SOARES DE MELLO et al., 2005).

A segmentação do mercado de transporte aéreo permite identificar a TAM como *benchmark* dos clusters 1 e 3, pois esta apresentou o melhor índice de eficiência MCDEA-TRIMAP em relação as demais. Isso pode ser justificado pelo crescimento já notado desta companhia ao longo dos anos anteriores, com o aumento de rotas e de voos.

Para o *cluster* 2, o *benchmark* para a TAF é a Abaeté, pois ambas transportam tanto carga quanto passageiros. O *cluster* 4 é composto pela companhia ABSA, uma empresa exclusivamente cargueira, justificando sua classificação neste cluster composto por empresas que tem maior foco no transporte de cargas. Já a Abaeté Linhas Aéreas transporta também passageiros, porém o índice de eficiência calculado tem maior influência do transporte de cargas.

Percebe-se um grande potencial de estudo no que se refere ao desempenho operacional no transporte aéreo, já que não existem muitos estudos com este enfoque. Grande parte da avaliação das companhias aéreas baseia-se nos resultados econômico-financeiros destas empresas, sem considerar os aspectos operacionais que geraram estes resultados. No entanto presente estudo tem a limitação da imprecisão dos dados fornecidos pela ANAC. Sugerem-se estudos para adaptar os modelos de DEA que tratam de imprecisão dos dados de forma a poderem ser usados com o modelo MCDEA.

O modelo MCDEA (Li e Reeves, 1999) foi desenvolvido para modelos DEA-CCR. Este estudo contribui com a adaptação do modelo para o BCC, possibilitando uma melhor avaliação, já que o mercado de transporte aéreo pode apresentar retornos de escala variáveis.

Estudos futuros poderiam explorar o melhor desenvolvimento do modelo MCDEA para o DEA-BCC com a utilização da ferramenta TRIMAP. Isso porque esta ferramenta apresenta certas instabilidades numéricas, que algumas vezes impossibilitam o estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angulo Meza, L. e M.P. Estellita Lins (2002) Review of methods for increasing discrimination in data envelopment analysis. *Annals of Operations Research*, v.116, p.225-242.
- Angulo Meza, L.; L. Biondi Neto; J.C.C.B. Soares de Mello e E.G. Gomes (2005) ISYDS - Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 3, p. 493-503.
- Anuários Estatísticos do Transporte Aéreo* – disponível em <http://www.anac.gov.br/>.
- Araújo, A.H.; J.V.G. Avellar; A.Z. Millioni e F.A.S.Marins (2006) Eficiência e Desempenho do Transporte Aéreo Regional Brasileiro. *Anais do Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*, Rio de Janeiro, v. 1, p. 1-10.
- 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.
- Capobianco, H. M. P. e E. Fernandes. (2004), Capital structure in the world airline industry, *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 38(6), 421-434.
- 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.
- Climaco, J. C. N. e C.H. Antunes (1989). Implementation of a user-friendly software package. A guided tour of TRIMAP, *Mathematical and Computer Modelling*, 12(10-11), 1299-1309.
- Climaco, J. C. N., C.H. Antunes, C. H. e M.J. Alves (2003). *Programação Linear Multiobjetivo*, Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Clímaco, J. C. N., J.C.C.B. Soares de Mello e L. Angulo-Meza (2008). 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.
- Coelho, R. (2002). A Construção da agenda de desregulamentação do setor de transporte aéreo no Brasil. *Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2002, Anais do XVI ANPET*, Natal, p. 383-394..
- Correia, T.C.V.D.; J.C.C.B. Soares de Mello (2008). Avaliação da eficiência das companhias aéreas brasileiras com modelo DEA nebuloso. *Anais do XII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET . Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes*, p. 975-985.
- Fernandes, E. e H.M.P. Capobianco (2001). Airline capital structure and returns. *Journal of Air Transport Management*, 7(3), 137-142.
- Fernandes, E. e R.R. Pacheco (2002). Efficient use of airport capacity, *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 36(3), 225-238.
- Leta, F. R.; J.C.C.B. Soares de Mello; E. G. Gomes; L. 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 G. R. Reeves (1999). Multiple criteria approach to data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, 115(3), 507-517.
- Oliveira, A.V.M (2007). A experiência brasileira na desregulamentação do transporte aéreo: um balanço e proposição de diretrizes para novas políticas. *SEAE/MF*, Documento de Trabalho (5).
- Pacheco, R. R. e E. Fernandes (2003). Managerial efficiency of Brazilian airports, *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 37(8), 667-680.
- Pacheco, R. R., E. Fernandes, e M.P.D. Santos (2006). Management style and airport performance in Brazil, *Journal of Air Transport Management*, 12(6), 324-330.
- Soares de Mello, J. C. C. B. e E.G. Gomes (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., J.C.N. Clímaco e L. Angulo-Meza (2006). Índice de eficiência MCDEA-TRIMAP. *Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, p. 294-305.
- Soares de Mello, J. C. C. B.; L. Angulo-Meza; E.G. Gomes; B.P. Serapião e M.P.E. Lins (2003). Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. *Pesquisa Operacional*, 23(2), p.325-345.
- Soares de Mello, J.C.C.B.; J.C.N. Clímaco; L. Angulo Meza (2009). Efficiency evaluation of a small number of DMUs: an approach based on Li and Reeves s model. *Pesquisa Operacional*, v. 29 (1), p. 97-110.
- 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.

Juliana Quintanilha da Silveira (juliqs@hotmail.com)

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

Departamento de Eng. De Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 – São Carlos, SP, Brasil