

## **Eficiência Não-Radial De Companhias Aéreas Brasileiras**

**Silvio Figueiredo Gomes Júnior**

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste – UEZO  
Av. Manuel Caldeira de Alvarenga 1203, Campo Grande, 23070-200, Rio de Janeiro, RJ  
silviogomes@uezo.rj.gov.br

**João Carlos Correia Baptista Soares de Mello**

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense  
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ  
jccbsmello@id.uff.br

**Lidia Angulo Meza**

Dep. de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense  
Av. dos Trabalhadores, 420, 27255-125, Volta Redonda, RJ  
lidiaangulomeza@id.uff.br

**Ana Paula dos Santos Rubem**

Centro de Análise de Sistemas Navais /Universidade Federal Fluminense  
Praça Barão de Ladário, s/n, Ilha das Cobras, Centro, Rio de Janeiro, RJ  
anarubem@bol.com.br

### **Resumo**

Este trabalho faz uma análise temporal dos dados das companhias aéreas, no período de 2007 a 2010 com objetivo de avaliar a evolução destas companhias aéreas brasileiras de transporte de passageiros. Para isso, é utilizada a metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA), que fornece a eficiência das companhias aéreas analisadas e identifica alvos eficientes para as companhias ineficientes. Além disso, neste trabalho propõe-se o uso do índice de eficiência não radial baseado em propriedades vetoriais, denominado índice IV que permite o cálculo da eficiência em relação a outros alvos, não ficando restrito aos alvos identificados pelos modelos DEA clássicos.

**PALAVRAS CHAVE.** Análise Envoltória de Dados, Eficiência não radial, Transporte aéreo  
**ÁREA DE CLASSIFICAÇÃO PRINCIPAL DO TRABALHO:** Análise Envoltória de Dados.

### **ABSTRACT**

This paper evaluates the relative efficiency of the Brazilian passenger airlines. We use data from 2007-2010 in order to perform a temporal evaluation of those airlines. For this purpose, we use the Data Envelopment Analysis (DEA) approach, which provides the relative efficiency of airlines and identifies efficient targets for the inefficient airlines. Furthermore, this paper proposes the use of the nonradial efficiency index based on vector properties. This index, called IV index, allows to calculate the relative efficiency considering alternative targets other than those identified by classical DEA models.

**KEYWORDS.** Data Envelopment Analysis, Nonradial Efficiency, Air transport.

## 1. Introdução

O setor de transporte aéreo no Brasil tem passado por transformações estruturais significativas 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 fortemente controladas (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. Estas medidas acirraram 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 *LowCost Carrier* (LCC) em janeiro de 2001 (Evangelho *et al.*, 2005).

Os primeiros sinais da redução da competição ocorreram com o code-share entre a Varig e a TAM (Soares de Mello *et al.*, 2009). Essa tendência se agravou no ano de 2006, com as dificuldades enfrentadas pela Varig que acabou sendo comprada pela Gol. Inicia-se assim uma fase de concentração do transporte aérea com a gradual redução da competição e a instalação de um quase duopólio no setor. Esta tendência de concentração perdura até hoje, apesar das tentativas de algumas companhias de se firmarem como a Azul e a Avianca.

Este artigo pretende analisar a eficiência das companhias aéreas que operam no Brasil no transporte de passageiros no período de 2007 a 2010, que correspondem ao período de consolidação do duopólio. E também neste período que surgem as duas companhias que tentam atualmente se consolidar face ao duopólio. Além das companhias de âmbito nacional, são estudadas também as companhias regionais que operaram no período. As empresas exclusivamente de carga não serão incluídas neste trabalho, para não gerar divisões por zero e principalmente para garantir a homogeneidades das DMUs.

Deve-se ressaltar que já existem vários trabalhos sobre a eficiência de companhias aéreas brasileiras. A originalidade deste trabalho além da mudança do período analisado deve-se ao uso do índice não radial proposto por Gomes Junior *et al* (2013).

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2 é realizada uma revisão bibliográfica dos trabalhos de DEA em transporte aéreo, já na seção 3 apresenta-se o índice de eficiência não radial a ser utilizado neste artigo. Na seção 4 é feita a modelagem e são apresentados os resultados obtidos, nesta mesma seção os resultados são discutidos. Finalmente, na seção 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. Revisão Bibliográfica

Vários trabalhos já foram realizados na área de transporte aéreo no que se refere ao uso de modelos DEA na avaliação de aeroportos. Sem a pretensão da exaustividade, em seguida, são mencionados alguns desses trabalhos.

Gillen e Lall(1997) recomendaram o uso de DEA na avaliação de aeroportos, devido a sua característica não paramétrica e por considerar diversos fatores simultaneamente. Sarkis(2000)utilizou DEA para avaliar a eficiência operacional dos principais aeroportos norte-americanos. Pelset al (2001) compararam aeroportos europeus com uso de modelagem DEA. Adler e Berechman(2001) usaram DEA para avaliar a qualidade de aeroportos europeus, sob a ótica das companhias aéreas, com o objetivo de determinar quais aeroportos as companhias devem escolher para *hubs*. Martin e Roman (2001) avaliaram a eficiência dos aeroportos espanhóis para enfrentar o processo de privatização. Barros e Dieke(2007) utilizaram DEA para analisar o desempenho operacional e financeiro dos aeroportos italianos. Chi-Lok e Zhang (2009)aplicaram DEA para avaliar a produtividade dos aeroportos chineses. Chang *et al.* (2013)usaram DEA para verificar se características geográficas e estratégias de serviço influenciam a performance dos aeroportos chineses.

No Brasil, Fernandes e Pacheco (2002) aplicaram DEA para avaliar 35 aeroportos brasileiros quanto ao número de passageiros que os utilizaram. Ainda acerca desses mesmos aeroportos, Pacheco e Fernandes (2003) analisaram sua eficiência, com o objetivo de identificar formas de melhorar seu desempenho. Soares de Mello e Gomes (2004) também avaliaram a

eficiência aeroportuária no Brasil usando DEA. Pacheco, Fernandes e Santos (2006) utilizaram DEA para investigar os impactos causados pela mudança de gerenciamento dos aeroportos brasileiros no período de 1998 a 2001.

No que tange à avaliação de companhias aéreas, Schefczyk(1993) utilizou DEA para avaliar o desempenho operacional das companhias aéreas, finalizando o estudo com uma análise dos fatores estratégicos, relativos à rentabilidade e desempenho no setor aéreo. Outra abordagem não financeira para avaliação de desempenho de companhias aéreas latino-americanas é encontrada em Charnes et al. (1996). Já Adler e Golany(2001) usaram um modelo que engloba aspectos financeiros e não financeiros.

Estudos que utilizam DEA para analisar a eficiência da estrutura de capital das empresas do setor aéreo brasileiro são encontrados em Fernandes e Capobianco(2000), Capobianco e Fernandes(2004) e Fernandes et al. (2008).

Com foco nos aspectos operacionais, Soares de Mello et al. (2003) aplicaram modelos DEA clássicos para calcular a eficiência das empresas brasileiras, em relação ao transporte aéreo de passageiros. Além disso, determinaram os *benchmarks* de cada companhia com um enfoque DEA multiobjetivo, que permite cada DMU escolha um conjunto de benchmarks diferente daquele fornecido pelo modelo DEA radial tradicional. Ressalta-se que apesar de terem determinado alvos alternativos Soares de Melo et al (2003) não calculam a eficiência das empresas em relação a nenhum desses alvos alternativos, o que será feito neste artigo.

Uma análise da influência do *codeshare* na ponte aérea Rio-São Paulo usando um modelo DEA de dupla envoltória encontra-se em Soares de Mello et al. (2006). Araújo et al. (2006) avaliaram o desempenho operacional das principais empresas regionais de aviação brasileiras com ênfase nos principais fatores de produção (mão de obra, capital e combustível). Silveira et al. (2008) avaliaram a eficiência de um pequeno grupo de companhias aéreas com uma variação do modelo de Li e Reeves (1999), desenvolvida por Soares de Mello et al. (2009).

Ainda em relação ao transporte aéreo brasileiro, Barros et al. (2010) propuseram 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 aeroportos nacionais de origem e destino utilizados pelas empresas. Também sob o ponto de vista do consumidor Lima et al (2011) avaliaram uma relação custo-benefício de vários trechos de transporte aéreo. Fonseca et al. (2010) usaram modelos DEA com ganhos de soma zero, para realizar um estudo sobre tarifas aeroportuárias e receitas não aeroportuárias. Correia et al. (2011) aplicaram uma variação do modelo DEA Difuso, de Soares de Mello et al. (2005), para analisar a eficiência das empresas aéreas. A identificação de benchmarks e antibenchmarks com o modelo DEA que leva em conta transporte de passageiros, transporte de carga, frota e pessoal foi feita por Silveira et al (2012). Com os mesmos inputs e outputs Silveira et al (2012) adaptaram o modelo de Li e Reeves para retornos variáveis de escala. Tal como em outras circunstâncias (Soares de Mello *et al.*, 2013), Silveira et al. (2012a) verificaram que o modelo BCC pode gerar eficiências negativas quando aplicado conjuntamente com o modelo de Li e Reeves. No entanto, foi possível encontrar um conjunto de anos para os quais os dados não geravam esse problema e foi feita a análise de companhias aéreas com a adequação do modelo de Li e Reeves para retornos variáveis de escala.

A Análise Envoltória de Dados também tem sido extensamente utilizado para avaliação de outros modos de transporte, principalmente no transporte hidroviário. Não sendo o foco deste artigo remete-se ao leitor interessado ao artigo de Caillaux et al (2011).

### 3. DEA e o Índice não Radial

Os modelos DEA clássicos fornecem um e somente um alvo para cada DMU ineficiente e que está baseado na redução equiproporcional dos *inputs* ou no aumento equiproporcional dos *outputs* determinada pelas projeções radiais. Entretanto, podem existir outros alvos localizados na fronteira de eficiência que tenham a preferência dos gestores/decisores. Por isso, nos últimos anos têm surgido modelos para determinar alvos alternativos aos fornecidos pelos modelos DEA clássicos. Estas propostas são revistas em Gomes Junior et al (2013).

Apesar dos modelos para determinação de alvos muitas vezes apresentarem melhores *benchmarks* para uma DMU ineficiente, geralmente não fornecem um índice de eficiência para esta DMU que leve em conta o ponto de projeção do alvo. Outros modelos que fornecem índices apresentam sérias inconsistências. Um dos índices não radiais que apresentam menos inconsistências é o de Gomes Junior et al (2013), devido a seu sólido embasamento vetorial. Este índice é denominado IV e é apresentado na equação (1).

$$h = 1 - \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (1 - \varphi_i)^2 + \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s \left(1 - \frac{1}{\phi_j}\right)^2} \quad (1)$$

Os parâmetros  $\varphi_i$  e  $\phi_j$  representam, respectivamente, os índices de redução que cada input  $i$  deve sofrer e os índices de aumento de cada output  $j$  para que a DMU atinja o seu alvo não radial na fronteira de eficiência. Estes alvos podem ser determinados através da utilização de modelos de programação linear multiobjetivo ou, como será feito neste estudo, através da definição de benchmarks para uma DMU ineficiente. Os valores  $m$  e  $s$  representam o número total de inputs e outputs, respectivamente.

O índice de eficiência IV respeita as propriedades listadas a seguir e demonstradas por (Gomes Junior *et al.*, 2013).

- O índice de eficiência deve ser menor ou igual a 1;
- A eficiência da DMU na fronteira de eficiência deve ser igual a 1;
- Projeções radiais a input ou a output devem ser casos particulares da projeção não-radial;
- Unidades invariantes: a medida deve ser invariante em relação às unidades em quais os inputs e outputs são medidos;
- Decrescente em relação à fronteira: a medida deve ser monotonicamente decrescente à medida que a DMU se afasta da fronteira;
- Dependente do ponto de referência: a medida deve ser determinada somente consultando o ponto de referência da DMU, ou seja, uma vez determinado o alvo da DMU, sua eficiência depende apenas das coordenadas deste alvo.

Em relação à primeira propriedade, esta define um limite superior para o índice de eficiência igual a 1. Entretanto, não determina um limite inferior para a eficiência. Assim como em situações extremas dos modelos DEA BCC clássicos, demonstrados por (Soares de Mello *et al.*, 2013), no índice de eficiência IV podem ocorrer eficiências negativas. No entanto, este fato ocorre para DMUs localizadas em uma região do conjunto de possibilidades de produção distante da DMU eficiente onde ela será projetada. Note-se que estar longe de uma DMU eficiente pode não significar estar longe da fronteira. A Figura 1 apresenta um conjunto com 6 DMUs para o caso bidimensional, com 1 input e 1 output. As DMUs B, E e C são eficientes e definem a fronteira de produção, enquanto que as DMUs A, D e F são ineficientes. A curva representada na figura representa o limite para que a eficiência da DMU F seja positiva quando projetada na fronteira de eficiência. Pode-se notar então que, quando os alvos desta DMU são as DMUs B e E, a eficiência em relação a estes alvos será negativa.

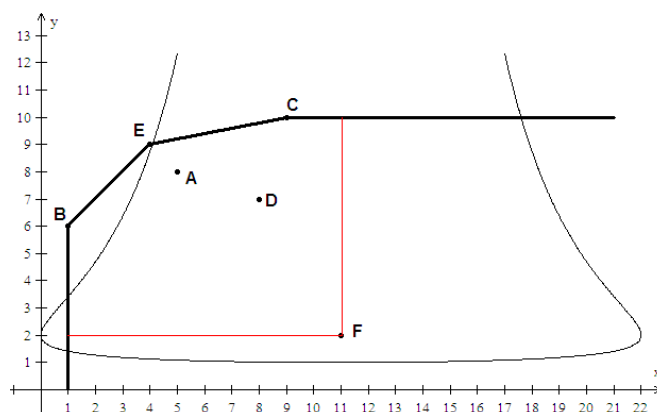


Figura 1 – Exemplo de eficiência negativa do índice IV

Outra condição que leva à eficiência negativa é a diferença muito grande entre os dados das DMUs, caracterizando DMUs bastante diferentes em tamanho. Neste caso, técnicas avançadas deveriam ser utilizadas para uniformizar o conjunto de DMUs como, por exemplo, a utilização de clusters dinâmicos (Bana e Costa *et al.*, 2002).

Neste trabalho será aplicado esse índice vetorial aos alvos das companhias aéreas brasileiras de transporte de passageiros. Em vez de usar julgamentos dos decisores, é considerado para cada DMU o benchmark real que forneça o melhor IV, quando este não for negativo. Este processo pode ser visto como o problema inverso do algoritmo dos modelos MORO aplicados em Angulo-Meza (2002), Soares de Mello et al (2003), Estellita Lins et al (2004), Quariguasi-Frota-Neto e Angulo-Meza (2007).

#### 4. Modelagem e Resultados

Tal como mencionado, neste trabalho serão considerados os dados das companhias aéreas para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010, retirados dos Anuários Estatísticos do Transporte Aéreo, disponível no site da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2007; 2008; 2009; 2010). As DMUs do modelo consistem das companhias aéreas regulares de transporte de passageiros, considerando que a mesma companhia em anos diferentes é uma DMU diferente. Esta é uma das formas de aumentar o número de DMUs sugerida por Podinovsky e Thanassoulis (2007) e é utilizado para análise temporais tal como realizado por Soares de Mello et al (2003), entre outros. Desta forma, este estudo possui um total de 71 DMUs.

Para avaliar as companhias aéreas brasileiras do ponto de vista do uso eficiente da frota, foram escolhidas como input a soma dos pesos máximo de decolagem de todas as aeronaves da frota da DMU. Como outputs o número de assento.kilômetros utilizados e toneladas.kilômetros utilizadas. 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. Modelagem semelhante embora com outra formulação matemática foi utilizada por Correia et al (2011).

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.

Como este estudo visa avaliar o desempenho das companhias aéreas em relação à otimização da frota, foi utilizada orientação a input, buscando avaliar assim as unidades que têm capacidade de reduzir sua frota sem prejuízos ao total transportado.

A Tabela 1 apresenta o valor da eficiência calculada pelo modelo DEA BCC orientado a input com o software SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão) (Angulo-Meza *et al.*, 2005). O modelo apresentou 5 DMUs eficientes: Gol/Varig Linhas Aéreas (2010), TAM (2010), TAM (2008), Gol (2007) e Mega (2007). Foram calculadas ainda, com o uso do índice de eficiência não radial, as eficiências para todas as DMUs ineficientes, tendo como alvos as DMUs eficientes do modelo DEA BCC. Estes resultados também estão descritos na Tabela 1.

DMU	Índice de Eficiência para cada alvo					
	Radial	Não-radial				
	DEA BCC	Gol/VRG (2010)	TAM (2010)	TAM (2008)	Gol (2007)	Mega (2007)
Abaete(2010)	0,408	-828,77	-1.407,64	-1.213,85	-461,39	-1.273,65
Avianca(2010)	0,615	-8,37	-15,55	-33,56	-63,11	-1.224.403,51
Azul(2010)	0,945	-4,93	-9,69	-73,67	-148,29	-2.840.859,40
NHT(2010)	0,179	-232,97	-396,69	-341,88	-129,06	-6.874,47
Noar(2010)	0,415	-702,90	-1.194,06	-1.029,63	-391,18	-3.299,33
Pantanal(2010)	0,233	-26,60	-46,51	-39,99	-15,85	-160.248,96
Passaredo(2010)	0,479	-32,04	-55,73	-48,26	-21,93	-282.704,42
Puma Air(2010)	0,334	-102,55	-175,40	-151,01	-56,37	-57.255,12
Rico(2010)	0,022	-46,83	-80,84	-69,45	-25,25	-416,42
Sete(2010)	0,308	-290,32	-494,01	-425,82	-161,06	-11.076,17
Sol(2010)	0,707	-1.407,80	-2.390,12	-2.061,26	-784,36	-1.478,88
Team(2010)	0,248	-467,93	-795,37	-685,75	-260,12	-2.032,76
Total(2010)	0,233	-13,91	-24,95	-21,24	-7,02	-40.889,10
Trip(2010)	0,455	-7,21	-13,56	-27,97	-52,34	-1.020.794,20
Webjet(2010)	0,875	-4,70	-9,29	-70,59	-142,16	-2.724.633,37
Abaete(2009)	0,401	-828,77	-1.407,64	-1.213,85	-461,39	-1.083,13
Air Minas(2009)	0,177	-159,82	-272,58	-234,83	-88,26	-13.731,30
Avianca(2009)	0,636	-11,80	-21,38	-29,93	-48,83	-948.755,18
Azul(2009)	0,865	-10,82	-19,72	-39,09	-72,05	-1.392.251,54
Gol/VRG(2009)	0,860	0,83	0,10	-455,87	-915,46	-17.373.648,17
Meta(2009)	0,337	-311,82	-530,48	-457,28	-173,04	-13.373,35
NHT(2009)	0,216	-232,97	-396,69	-341,88	-129,06	-10.179,16
Pantanal(2009)	0,323	-109,44	-187,08	-161,09	-60,19	-51.095,33
Passaredo(2009)	0,444	-57,35	-98,69	-84,91	-31,86	-146.314,88
Puma Air(2009)	0,143	-330,31	-561,86	-484,34	-183,36	-26,92
Rico(2009)	0,030	-51,64	-89,00	-76,49	-27,93	-2.815,08
Sete(2009)	0,308	-349,92	-595,13	-513,03	-194,30	-6.933,32
Sol(2009)	0,660	-1.407,80	-2.390,12	-2.061,26	-784,36	-797,52
TAF(2009)	0,493	-45,92	-79,30	-68,13	-24,74	-3.182,98
TAM(2009)	0,946	0,42	0,84	-772,61	-1.550,33	-29.399.643,86
Team(2009)	0,381	-702,90	-1.194,06	-1.029,63	-391,18	-2.291,04
Total(2009)	0,256	-16,72	-29,73	-25,37	-8,56	-41.046,55
Trip(2009)	0,406	-12,78	-23,03	-23,94	-28,83	-561.529,22
Webjet(2009)	0,606	-5,57	-10,77	-43,26	-86,19	-1.663.861,78
Abaete(2008)	0,339	-786,53	-1.335,97	-1.152,03	-437,83	0,19
Air Minas(2008)	0,235	-296,23	-504,03	-434,46	-164,35	-11,09
Meta(2008)	0,438	-311,82	-530,48	-457,28	-173,05	-24,62
NHT(2008)	0,174	-232,97	-396,69	-341,88	-129,06	-9,68
Oceanair(2008)	0,401	-7,54	-14,13	-11,92	-3,39	-1.029,32
Pantanal(2008)	0,211	-90,87	-155,57	-133,91	-49,81	-52,86
Passaredo(2008)	0,338	-128,32	-219,12	-188,72	-70,70	-58,50
Puma Air(2008)	0,153	-330,31	-561,86	-484,34	-183,36	-1,23
Rico(2008)	0,093	-51,74	-89,18	-76,64	-27,99	-33,17
Sete(2008)	0,286	-466,99	-793,77	-684,37	-259,59	-4,56
TAF(2008)	0,256	-19,08	-33,73	-28,83	-9,79	-111,82
Team(2008)	0,286	-662,62	-1.125,71	-970,68	-368,72	-0,74
Total(2008)	0,212	-16,72	-29,73	-25,37	-8,48	-102,38

Trip(2008)	0,332	-21,75	-38,27	-32,74	-11,27	-358,89
VRG(2008)	0,322	0,16	-0,24	0,04	0,38	-7.368,85
Webjet(2008)	0,454	-11,85	-21,46	-18,24	-5,77	-825,59
Abaete(2007)	0,334	-773,39	-1.313,67	-1.132,79	-430,50	-0,17
Air Minas(2007)	0,190	-288,77	-491,38	-423,55	-160,19	-6,69
Meta(2007)	0,329	-308,16	-524,27	-451,92	-171,00	-15,46
NHT(2007)	0,214	-330,31	-561,86	-484,34	-183,36	-6,89
Oceanair(2007)	0,238	-5,51	-10,66	-8,93	-2,29	-760,21
Pantanal(2007)	0,240	-89,23	-152,79	-131,51	-48,89	-62,79
Passaredo(2007)	0,411	-256,46	-436,56	-376,27	-142,17	-31,30
Puma Air(2007)	0,204	-330,31	-561,86	-484,34	-183,36	-5,01
Rico(2007)	0,625	-122,07	-208,51	-179,57	-67,21	-112,07
Sete(2007)	0,269	-463,23	-787,40	-678,88	-257,50	-3,84
TAF*(2007)	0,010	-19,87	-35,07	-29,98	-10,23	-108,91
TAM(2007)	0,939	0,24	0,18	0,74	0,09	-23.679,34
Team(2007)	0,191	-441,08	-749,81	-646,45	-245,14	-0,56
Total(2007)	0,232	-15,33	-27,36	-23,33	-7,70	-184,64
VRG*(2007)	0,340	-0,93	-2,69	-2,08	0,06	-2.747,32
Webjet(2007)	0,490	-48,04	-82,89	-71,22	-25,92	-240,06

Tabela 1 – Eficiências DEA BCC e índice IV

Observa-se que das cinco DMUs eficientes uma, a Mega 2007, é uma empresa que deixou de operar no ano seguinte e de porte muito pequeno. Ela foi eficiente por ter o menor input, portanto foi eficiente por default. As outras DMUs referem-se a alguns anos de operação da Gol e da TAM que são as de maior porte do mercado brasileiro. Dentre estas, a DMU TAM 2010 foi eficiente por ter o maior valor tanto no output 1 (assento.kilômetros) quanto no output 2 (toneladas.kilômetros), sendo portanto também uma DMU eficientes por default.

Verifica-se então que as DMUs eficientes são de muito pequeno porte ou de grande porte. Assim, a maioria das DMUs, de porte intermediário, ao projetar em DMUs reais a projeção é feita em DMUs de porte muito diferente da DMU projetada. Esta é a situação em que o índice vetorial pode gerar eficiências negativas, tal como explicado no item 3. Isto explica o grande número de eficiências negativas que aparecem na Tabela 1.

Na Tabela 2 apresentam-se as DMUs ineficientes que tiveram índices de eficiência não radiais positivos tomando como alvo alguma das DMUs eficientes.

DMU	Índice de Eficiência para cada alvo				
	Não-radial				
	Gol/VRG (2010)	TAM (2010)	TAM (2008)	Gol (2007)	Mega (2007)
Gol/VRG(2009)	0,83	0,10	-	-	-
TAM(2009)	0,42	0,84	-	-	-
Abaete(2008)	-	-	-	-	0,19
VRG(2008)	0,16	-	0,04	0,38	-
TAM(2007)	0,24	0,18	0,74	0,09	-
VRG*(2007)	-	-	-	0,06	-

Tabela 2. Índices de Eficiência não radiais que apresentam valores positivos

Nesta Tabela observa-se que a Abaete 2008 conseguiu um índice positivos apenas em relação à Mega 2007. Isso se deveu ao fato da Abaete ter porte muito pequeno o que permitiu a comparação com a Mega 2007. A Varig 2007 teve índice positivo em relação à Gol 2007 que viria a ser a sua controladora no final do ano. Já a Varig 2008, antes da fusão de frotas com a Gol, apresenta como maior índice positivo a Gol 2007, ou seja, a que já era a sua controladora mas no

ano anterior. Deve ser lembrado que em 2008 a Gol promoveu uma completa reestruturação da Varig com subutilização de grande parte da frota durante a maior parte do ano, o que pode explicar a busca de um alvo no ano anterior. As DMUs Gol/Vrg 2009, e a TAM 2007 e TAM 2009 apresentam uma característica comum: cada uma delas tem maior índice não radial de eficiência em relação a uma DMU que é a mesma companhia em um ano posterior. De fato, TAM 2007 apresentam maior índice em relação à TAM 2008, e a TAM 2009 em relação à TAM 2010. Já a Gol/Vrg 2009 apresenta maior índice em relação à Gol/Vrg 2010. Isto indica uma boa gestão nos períodos analisados, pois as DMU se moveram com relação ao seu alvo. Conclusão semelhante havia apresentado por Soares de Mello et al (2003) em relação à companhia TAF, que nos anos de 1998 e 1999 tinha como principal benchmark ela mesma no ano 2000. Apesar da semelhança das análises deve ser ressaltado que foram realizadas sobre diferentes modelos matemáticos.

## 5. Conclusões

Neste artigo foi feita uma avaliação de companhias aéreas com o uso do índice de eficiência não radial baseado em propriedades vetoriais. Observou-se um grande número de eficiências negativas quando se calculava o índice em relação às DMUs eficientes. Isto deve-se ao fato de todas as DMUs eficientes serem de porte extremo, ou muito pequeno ou muito grande. Assim sendo o modelo BCC não conseguiu lidar adequadamente com as diferenças de tamanho entre as DMUs, principalmente devido a inexistência de DMUs eficientes de porte médio. Tal fato sugere como estudos futuros o uso dos chamados clusters dinâmicos (Bana e Costa *et al.*, 2002; Ferreira, 2003; Appa *et al.*, 2010; Castro, 2012) junto com o modelo BCC e o índice não radial.

Mesmo com grande número de índices negativos, o modelo permitiu obter conclusões sobre o acerto gerencial das principais companhias em anos recentes. Finalmente deve-se ter algum cuidado com as conclusões, uma vez que os dados de frota fornecidos pela ANAC referem-se a um momento do ano e não ao ano todo. O problema da má qualidade dos dados fornecidos na área de transporte aéreo brasileiro é um problema conhecido (Espírito Santo Jr., 2000) e pode afetar os resultados se tiver havido variações de frota muito grande ao longo do ano.

## 6. Referências

- Adler, N. e Berechman, J.** (2001), Measuring airport quality from the airlines' viewpoint: An application of data envelopment analysis, *Transport Policy*, 8(3), 171-181.
- Adler, N. e Golany, B. E.** (2001), Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe, *European Journal of Operational Research*, 260-273.
- ANAC.** (2007). "Anuários Estatísticos do Transporte Aéreo." Retrieved março de 2013, from <http://www.anac.gov.br/>.
- ANAC.** (2008). "Anuários Estatísticos do Transporte Aéreo." Retrieved março de 2013, from <http://www.anac.gov.br/>.
- ANAC.** (2009). "Anuários Estatísticos do Transporte Aéreo." Retrieved março de 2013, from <http://www.anac.gov.br/>.
- ANAC.** (2010). "Anuários Estatísticos do Transporte Aéreo." Retrieved março de 2013, from <http://www.anac.gov.br/>.
- 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.** (2002). Um enfoque multiobjetivo para a determinação de alvos na Análise Envoltória de Dados. Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Doutor.



- Appa, G., Bana e Costa, C. A., Chagas, M. P., Ferreira, F. C. e Soares, J. O.** (2010). DEA in X-factor evaluation for the Brazilian Electricity Distribution Industry. Working Paper LSEOR 12-121, London School of Economics, U.K.: 44.
- Araújo, A. H., Avellar, J. V. G., Million, A. Z. e Marins, F. A. S.** (2006), Eficiência e Desempenho do Transporte Aéreo Regional Brasileiro, *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*, 1-10.
- Bana e Costa, C. A., Ferreira, F. C., Chagas, M. P. e Appa, G.** (2002). Metodologia de análise de desempenho operacional de concessionárias de distribuição de energia elétrica - Relatório Final. Rio de Janeiro, Fundação Padre Manuel França, PUC,.
- Barros, C. P. e Dieke, P. U. C.** (2007), Performance evaluation of Italian airports: A data envelopment analysis, *Journal of Air Transport Management*, 13(4), 184-191.
- Barros, T. D., Ramos, T. G., Soares de Mello, J. C. C. B. e Angulo-Meza, L.** (2010), Avaliação dos atrasos em transporte aéreo com um modelo DEA, *Produção*, 20(4), 601-611.
- Caillaux, M. A., Sant'anna, A. P., Angulo-Meza, L. e Soares de Mello, J. C. C. B.** (2011), Container Logistics in Mercosur: Choice of a Transshipment Port Using Ordinal Copeland Method, Data Envelopment Analysis and Probabilistic Composition, *Maritime Economics and Logistics*, 13(4), 355-370.
- 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.
- Castro, P. G. S. A.** (2012). Performance measurement in Portuguese Public hospitals: Combining Data Envelopment Analysis, Dynamic Clustering and Multiple Criteria Decision Analysis methods to analyze hospital efficiency and quality. Biomedical Engineering. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa. Master.
- Chang, Y., Yu, M. e Chen, P.** (2013), Evaluating the performance of Chinese airports, *Journal of Air Transport Management*, DOI: 10.1016/j.jairtraman.2012.11.002.
- Charnes, A., Gallegos, A. e Li, H.** (1996), Robustly efficient parametric frontiers via Multiplicative DEA for domestic and international operations of the Latin American airline industry, *European Journal of Operational Research*, 88(3), 525-536.
- Chi-Lok, A. Y. e Zhang, A.** (2009), Effects of competition and policy changes on Chinese airport productivity: An empirical investigation, *Journal of Air Transport Management*, 15(4), 166-174.
- Correia, T. C. V. D., Soares de Mello, J. C. C. B. e Angulo-Meza, L.** (2011), Eficiência técnica das companhias aéreas brasileiras: Um estudo com análise envoltória de dados e conjuntos nebulosos, *Produção*, 21(4), 676-683.
- Espírito Santo Jr., R. A.,** *Concentração no transporte aéreo e os possíveis impactos sobre os consumidores, a sociedade e a economia.* em CNT, A. (Eds), *Transporte em Transformação V*, 155-170, 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(2), 99-105.
- Fernandes, E. e Capobianco, H. M. P.,** *Eficiência e estratégia financeira de empresas de aviação: uma comparação internacional* em Estellita Lins, M. P. e Angulo Meza, L. (Eds), *Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de Apoio à Decisão*, Rio de Janeiro, 85-102, 2000.
- Fernandes, E. e Pacheco, R. R.** (2002), Efficient use of airport capacity, *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 36(3), 225-238.
- Fernandes, E., Pires, H. M., Lins, M. P. E. e Silva, A. C. M.** (2008), Financial performance of air transport companies: An analysis of the non-Pareto-efficient space in data envelopment analysis, *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 185-194.
- Ferreira, F. C.** (2003). Regulação Econômica. Fronteira Eficiente e Clusters Dinâmicos: Desenvolvimento e Aplicação para o Cálculo do Fator X. Florianópolis, Brasil, Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor: 137.

- Gillen, D. e Lall, A.** (1997), Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis, *Transportation Research Part E: Logistic and Transportation Review*, 33(4), 261-273.
- Gomes Junior, S. F., Soares de Mello, J. C. C. B. e Angulo-Meza, L.** (2013), DEA nonradial efficiency based on vector properties, *International Transactions in Operational Research*, 20(3), 341-364.
- Li, X.-B. e Reeves, G. R.** (1999), A 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. e Angulo-Meza, L.** (2011), Cost-Benefit Analysis in Selected Air Trips using a Non Parametric Method, *African Journal of Business Management*, 5(21), 9678-9685.
- Lins, M. P. E., Angulo-Meza, L. e Moreira da Silva, A. C.** (2004), A multi-objective approach to determine alternative targets in data envelopment analysis, *Journal of the Operational Research Society*, 55(10), 1090-1101.
- Martin, J. C. e Roman, C.** (2001), An application of DEA to measure the efficiency of Spanish airports prior to privatization, *Journal of Air Transport Management*, 7(3), 149-157.
- 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 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.
- Pels, E., Nijkamp, P. e Rietveld, P.** (2001), Airport and airline choice in a multiple airport region: An empirical analysis for the San Francisco bay area, *Regional Studies*, 35(1), 1-9.
- Podinovski, V. V. e Thanassoulis, E.** (2007), Improving discrimination in data envelopment analysis: Some practical suggestions, *Journal of Productivity Analysis*, 28(1-2), 117-126.
- QuariguasiFrotaNeto, J. e Angulo-Meza, L.** (2007), Alternative targets for data envelopment analysis through multi-objective linear programming: Rio de Janeiro Odontological Public Health System Case Study, *Journal of the Operational Research Society*, 58, 865-873.
- Sarkis, J.** (2000), Analysis of the operational efficiency of major airports in the United States, *Journal of Operations Management*, 18(3), 335-351.
- Schefczyk, M.** (1993), Operational performance of airlines: an extension of traditional measurement paradigms, *Strategic Management Journal*, 14, 301-317.
- Silveira, J. Q., Pereira, E. R., Correia, T. C. V. D., Soares de Mello, J. C. C. B., Climaco, J. C. N. e Angulo-Meza, L.** (2008), Avaliação da eficiência das companhias aéreas brasileiras com uma variação do modelo de Li e Reeves, *Engevista*, 10(2), 145-155.
- Silveira, J. Q., Soares de Mello, J. C. C. B. e Angulo-Meza, L.** (2012), Evaluación de la eficiencia de las compañías aéreas brasileñas a través de un modelo híbrido de análisis envolvente de datos (DEA) y programación lineal multiobjetivo, *Ingeniare*, 20(3), 331-342.
- Silveira, J. Q., Soares de Mello, J. C. C. B. e Angulo-Meza, L.** (2012), Identificação de benchmarks e anti-benchmarks para companhias aéreas usando modelos DEA e fronteira invertida, *Produção*, 22(4), 788-795.
- Soares de Mello, J. C. C. B., Angulo-Meza, L., Gomes, E. G. e Biondi Neto, L.** (2006), Evaluación de la concentración en una ruta aérea brasileira con modelo DEA y frontera invertida, *Revista de la Facultad de Ingeniería. Universidad de Tarapacá*, 14(1), 64-71.
- 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., Angulo Meza, L., Silveira, J. Q. e Gomes, E. G.** (2013), About negative efficiencies in Cross Evaluation BCC input oriented models, *European Journal of Operational Research*, v. 229, p. 732-737.

**Soares de Mello, J. C. C. B., Clímaco, J. C. N. e Angulo-Meza, L.** (2009), Efficiency evaluation of a small number of DMUS: An approach based on Li and Reeves's model, *PesquisaOperacional*, 29(1), 97-110.

**Soares de Mello, J. C. C. B., Gomes, E. G., Angulo-Meza, L., Biondi Neto, L. e Sant'anna, A. P.** (2005), Fronteiras DEA Difusas, *Investigação Operacional*, 25(1), 85-103.

**Soares de Mello, P. H. C., Soares de Mello, J. C. C. B. e Angulo-Meza, L.** (2009), 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*, 3(1), 2.