

## **AVALIAÇÃO DOS ATRASOS EM TRANSPORTE AÉREO COM UM MODELO DE ANÁLISE ENVOLTORIA DE DADOS**

**Tatiana Dodsworth de Barros**

Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense  
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 22210-240, Niterói, RJ  
tatianabarros83@yahoo.com.br

**Thiago Graça Ramos**

Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense  
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 22210-240, Niterói, RJ  
tgramos@globo.com

**João Carlos Correia Baptista Soares de Mello**

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense  
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 22210-240, Niterói, RJ  
jcsmello@producao.uff.br

### **Resumo:**

Atrasos em vôos sempre foram um dos problemas existentes no transporte aéreo. Diante do caos que se instalou nos aeroportos e no espaço aéreo brasileiro nos últimos tempos, o constante atraso de vôos de diversas companhias aéreas foi um tema que ganhou muito espaço na mídia. A forma de medir estes atrasos passou então a ser uma questão de suma importância. Tal medida já existia, mas foi executada uma alteração no limite de tolerância para os atrasos de vôos domésticos que retirou a credibilidade das medidas. Mesmo antes dessa alteração, o índice de pontualidade utilizado já tinha sérios inconvenientes. A proposta deste artigo é um novo índice que agregue os atrasos de partida e chegada num único indicador. Pretende-se ainda que, em vez de limites para um vôo ser considerado atrasado haja uma quantificação relativa desse atraso. Para a construção do índice foi usada a Análise Envoltória de Dados (DEA).

**Palavras-Chave:** DEA, atrasos, transporte aéreo

### **Abstract:**

Flights delays had always been one of the main problems in the air transportation. Due to the recent in the chaos in the Brazilian airports the media began to notice the situation of the flights delays. The form to measure these delays became a question of great importance. Such a measure already existed, but it lost credibility when the Brazilian Agency for Air Transportation changed the methodology of calculus for domestic flights. Even before this change, the punctuality index presented severe drawbacks. The main goal of this paper is to present a new index. Our index will take into account both the departure the arrivals delays. We do not want to say that a flight is, or is not, delayed. We intend to quantify the delays. To do so, we will propose an index based on Data Envelopment Analysis (DEA).

**Keywords:** DEA, flight delays, air transportation

## 1. Introdução

Nos chamados tempos heróicos da aviação, as companhias aéreas tinham um porte pequeno se comparadas às atuais. Os vôos efetuados seriam considerados regionais nos padrões de hoje. Com o passar dos anos, o transporte aéreo passou a ter uma maior participação no traslado de passageiros devido a uma maior acessibilidade e a facilidade em atingir maiores distâncias em menores tempos. Neste momento, além das chamadas “empresas de bandeira” começaram a surgir empresas concorrentes. Na década de 1950 apareceu o que se poderia chamar a primeira empresa “*low cost – low fare*”, a islandesa Loftleidir (hoje Icelandair) que fazia vôos a baixo custo entre Londres – Reykjavik - Nova York. Numa época de preços controlados, a Loftleidir conseguia oferecer passagens mais baratas por não pertencer à IATA. Os vôos de baixo custo foram popularizados entre 1977 e 1982 com a extinta Laker Airways que, com aviões *Airbus*, oferecia ligações a baixo custo e serviço de bordo quase inexistente entre Londres (Gatwick) e Nova York (JFK). Surgiram posteriormente várias empresas de baixo custo. Além da frugalidade do serviço, essas empresas usavam outras técnicas de redução de custos, como vendas pela internet, evitar aeroportos centrais (nem todas) e alta taxa de utilização dos aviões. No Brasil, a primeira empresa desse tipo (GOL) surgiu em 2001 e logo atingiu uma grande penetração no mercado (Evangelho et al, 2005).

Em decorrência do aumento da quantidade e diversidade de tipos de clientes e de concorrentes, as empresas tiveram que se preocupar com o tipo de serviço que oferecem e a quais itens daria prioridade. Muitas vezes as empresas preocupam-se apenas com o serviço aéreo, esquecendo-se que o bem-estar do passageiro e a qualidade da sua viagem começam no aeroporto (Martín-Cejas, 2005). Entre as preocupações das empresas contam-se:

- *planos de fidelidade ou programa de milhagens*: forma do passageiro acumular milhas (unidade de medida de distância) que proporcionam novas viagens sem nenhum ônus. Estes planos embora aparentem ser um benefício para o passageiro, também podem ser considerados um entrave à concorrência (Fridstrøm et al, 2004);
- *salas de embarque VIP*: locais onde o passageiro desfruta de um maior conforto na espera pelo embarque;
- *serviço de bordo e acomodação*: dois pontos de grande relevância, pois é o momento no qual o cliente usufrui o serviço que comprou, além de serem determinantes em viagens de longa duração;
- *internet*: disponibilidade de serviços *on-line* como verificação de horário de vôos, compra de passagens e até mesmo *check-in*, o que simplifica bastante os procedimentos anteriormente demorados;
- *pontualidade*: decolagens e pousos dentro dos horários previstos, de maneira a não prejudicar os compromissos dos passageiros.

Este último tem sido particularmente crítico no Brasil. Embora só recentemente a grande mídia tenha começado a dedicar espaço a este tema, o problema é antigo. Tem causas variadas, mas de forma geral, reflete uma visão empresarial em face do órgão controlador. De fato, para as empresas de transporte aéreo, o custo monetário com punições por desrespeito aos passageiros é menor que o custo de investir em diminuir os atrasos.

Um dos fatores que contribuem para os atrasos é a grande utilização das aeronaves. Partindo do princípio gerencial de que avião no chão dá prejuízo, as empresas tentam maximizar a utilização da sua frota. Essa tendência ficou mais evidente a partir de 2001, com a já citada entrada de uma empresa de baixo custo no mercado. Como forma de diminuir os custos, as concorrentes buscaram a racionalização do uso da frota. Essa busca chegou a gerar um compartilhamento de vôos em rotas domésticas concorrentes, do tipo descrito por Ito e Lee (2005). Alguns dos prejuízos dessa prática para os passageiros são mostrados por Soares de Mello et al (2005,2006). Com o fim do compartilhamento de vôos, a utilização das aeronaves

pelas empresas ficou ainda mais intensa, diminuindo as folgas na frota. Assim, qualquer fator imprevisto provoca um atraso, pela simples falta de aeronaves.

Outro fator que contribui para os atrasos é a estrutura das malhas aéreas. Existe uma grande concentração de vôos nos aeroportos de São Paulo (Guarulhos e Congonhas). Este fato, aliado aos problemas de infraestrutura em Congonhas, faz com que os atrasos nesses dois terminais sejam freqüentes (Avellar Junior, 2006). A topologia da rede aérea encarrega-se de propagar e amplificar esses atrasos pelo resto do país.

O grave acidente de setembro de 2006 veio acrescentar mais problemas aos já existentes. O controle de tráfego aéreo passou a ser mais um motivo para os atrasos, seja pela deficiência estrutural, seja por atitudes dos controladores amplamente noticiadas.

A pontualidade, até então um fator de visibilidade mediana, passou a ocupar as manchetes dos principais serviços noticiosos. Como forma de tentar minimizar o impacto da falta de pontualidade nos noticiários, a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) alterou a medida do índice de pontualidade dos vôos nacionais e aumentou a janela de tempo para o início da contabilização dos atrasos. Esta medida trouxe certo descrédito aos índices de pontualidade divulgados. Junto com outros problemas desses índices, este fato motivou o estudo de uma nova forma de medir os atrasos no transporte aéreo, o que será feito neste trabalho com a metodologia Análise Envolvória de Dados (DEA – *Data Envelopment Analysis*). Deve-se realçar que este trabalho visa apenas medir os atrasos. Para uma revisão e um estudo original sobre conseqüências desses atrasos ver Avellar Junior (2006).

## 2. Medidas de pontualidade no transporte aéreo brasileiro

Atualmente, a ANAC utiliza um Índice de Eficiência Operacional, que engloba tanto a Regularidade como a Pontualidade. Esta última é medida através de índices (parcial e global) definidos pelo HOTRAN (horário de transporte), divulgados todo mês via internet e distribuídos a todas as empresas de transporte aéreo regular (DAC, 1999). O HOTRAN é o documento aprovado e emitido pelo DAC (Departamento de Aviação Civil) que registra os vôos comerciais regulares com os respectivos horários, freqüências, equipamentos aéreos e capacidades de transporte, para exploração de linhas aéreas de âmbito doméstico e internacional.

De acordo com o HOTRAN, antes da mudança no índice, era considerado pontual o vôo doméstico que tivesse a partida dos motores dada até 10 minutos antes ou 15 minutos após a hora prevista e a parada dos mesmos até 15 minutos após a hora prevista. Já os vôos internacionais seguiam o mesmo processo, porém com uma tolerância de 30 minutos tanto para a partida dos motores (antes e após a hora prevista) como para a parada dos mesmos.

A partir dos novos limites estabelecidos pela ANAC, os vôos domésticos se igualaram aos vôos internacionais no que diz respeito aos atrasos, pois adquiriram o direito de atrasar em até 30 minutos tanto na partida dos motores como na parada dos mesmos. Já no caso da antecipação da partida dos motores, os vôos domésticos permaneceram com 10 minutos de tolerância.

Assim, a construção do índice de pontualidade é feita através da proporção entre as etapas de vôo que foram operadas de acordo com os horários previstos nos respectivos documentos do HOTRAN e o total de etapas de vôo efetivamente realizadas, considerando-se os limites de tolerância estabelecidos na instrução de Aviação Civil (IAC 2006) citados nos parágrafos anteriores. Tal índice é chamado de índice de pontualidade parcial (*IPPi*) e é feito através da proporção acima para cada vôo *i*.

Após a construção do índice parcial pode-se calcular o índice de pontualidade global de uma determinada empresa (*IPG*), obtido através da média ponderada dos índices parciais. Como peso para cada índice parcial *i* é utilizado o número total de vôos realizados (*NVi* – na fórmula abaixo) em um determinado período. O *IPG* é encontrado então pela formulação abaixo:

$$IPG = \frac{\sum_{i=1}^n IPP_i * NV_i}{\sum_{i=1}^n NV_i}$$

**Onde:** *IPG* – índice de Pontualidade Global;

*IPP<sub>i</sub>* – Índice de Pontualidade Parcial correspondente ao voo *i*;

*NV<sub>i</sub>* – nº total de voos efetivamente realizados no período de 1 mês correspondente ao voo *i*;

*n* – Total de voos *i* considerados para efeito do cálculo do índice global.

Esta formulação utilizada pela ANAC possui um ponto crítico no que diz respeito à tolerância. Nos dias atuais, tal característica pode até ser percebida em diversas empresas, onde o controle na chegada dos funcionários é feito através de um sistema com uso de tolerância (vulgarmente chamado de “Controle de Ponto”). No entanto, este é um método retrógrado de se considerar atrasos para um mercado que movimenta tamanho volume de dinheiro e no qual o tempo tem um papel preponderante. Com um misto de benevolência e rigidez, essa forma causa grandes injustiças, visto que poucos minutos separam um voo pontual de um voo atrasado. Um exemplo apropriado seria o caso dos voos que excedem os 30 minutos de tolerância, o que faz o atraso ser contabilizado em sua totalidade. Enquanto isso, um voo onde o atraso não foi superior a 30 minutos é pontual.

Além do índice de pontualidade há também o de regularidade, utilizado para verificar quais empresas efetivamente realizam os voos previstos no HOTRAN. Tal medida é calculada de maneira similar à pontualidade, com índices parciais e globais.

Após a confecção desses dois índices (regularidade e pontualidade) é possível encontrar o Índice de Eficiência Operacional Global da ANAC (IEOG), definido pelo produto entre os índices globais de regularidade (IRG) e pontualidade (*IPG*). Pode-se achar também o índice de eficiência operacional parcial (*IEOP<sub>i</sub>*), definido da mesma forma que o global.

É importante lembrar que o foco deste texto se dá no índice de pontualidade e nas críticas relativas ao mesmo. Por este motivo, a regularidade e a eficiência operacional foram apenas mencionadas acima, sem serem muito aprofundadas. Vale destacar apenas que o termo eficiência está tecnicamente mal usado. Uma média de índices não é uma eficiência, mesmo que essa média fizesse sentido (o que não é o caso do “índice de eficiência operacional”, que soma porcentagens sobre quantidades diferentes).

### 3. Objetivo

O objetivo do presente estudo é encontrar uma forma de medir a pontualidade, sem julgar tolerante qualquer atraso, por menor que ele seja. Desta forma, voos que tenham a partida dos motores dada com atraso já serão considerados atrasados, independente deste tempo ser de apenas 1 minuto ou de meia hora. Repare-se que o atual limite de tolerância considera como pontual um voo com atraso de 29m e 59s e como atrasado um com atraso de 30m e 1s. Ou seja, dois segundos de diferença mudam o *status* de pontual para atrasado. Já um atraso de 2h é contado de forma igual a um de 30m, o que é uma evidente falha de medição.

Além disso, outro ponto que deve ser considerado nesta proposta de medir a pontualidade é quanto ao tipo de atraso, ou seja, se ele se dá na saída do voo ou na sua chegada. Enquanto o primeiro, se for recuperado durante o percurso, apenas provoca irritação e alguns problemas operacionais no aeroporto de origem, o atraso na chegada pode provocar efetiva perda de tempo do passageiro, falha em compromissos, etc. O atraso na chegada é ainda prejudicial ao bom andamento das conexões. Tal fato aliado à indisponibilidade da aeronave no horário necessário pode provocar um efeito cascata de atrasos em outros voos. Portanto, deverá ser dada mais atenção ao atraso na chegada que ao ocorrido na partida.

Um último ponto é a dimensão relativa do atraso, quando comparado com a duração do voo. Um atraso de 1 hora num voo intercontinental, embora grande, não é tão grave quanto um atraso igual na ponte aérea Rio – São Paulo, por exemplo. De fato, nesta última, um atraso dessa magnitude seria praticamente igual à duração do voo.

Após considerar os pontos supracitados, apresentaremos uma nova forma de medição do desempenho quanto à pontualidade das companhias aéreas.

#### 4. Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*)

A Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) é uma forma matemática de mensurar as eficiências de determinados setores ou linhas de produção.

As unidades estudadas em DEA recebem o nome de DMUs (*Decision Making Units*), unidades produtoras tomadoras de decisão, que quando comparadas entre si geram o conceito de eficiência. Cada DMU possui seu próprio “endereço”, ou seja, cada uma armazena informações sobre cada variável do modelo. Com isso, é possível identificar cada DMU de forma única, mesmo que elas contenham informações iguais sobre suas variáveis.

Outro ponto de grande importância em DEA é a definição das variáveis que serão utilizadas no modelo, pois qualquer escolha errônea pode gerar modelos pobres em relação à análise e até mesmo modelos que discriminem pouco as DMUs.

São dois tipos de modelos normalmente utilizados em DEA: CCR (Charnes et al, 1978) ou CRS (*Constant Returns to Scale*) e BCC (Banker et al, 1984) ou VRS (*Variable Returns to Scale*). O primeiro é um modelo onde qualquer mudança nos *inputs* (insumos) gera uma mudança proporcional nos *outputs* (produtos) e vice-versa.

As orientações mais utilizadas em DEA são duas: a *outputs* e a *inputs*. Tais possibilidades devem ser bem estudadas, já que são duas orientações muito diferentes. Caso o modelo seja orientado a *input*, o objetivo será minimizar a matéria prima, isto é, produzir a mesma quantidade com menos insumos. Já quando o modelo é orientado a *output*, o foco está na produção, ou seja, deseja-se confeccionar o maior número possível de produtos sem alterar a quantidade de matéria-prima.

O cálculo de DEA no modelo CRS orientado a *input* é feito através da otimização da divisão entre a soma ponderada das saídas (*outputs*) e a soma ponderada das entradas (*inputs*). Assim, caso haja alguma DMU com o valor nulo nos dados de entrada, ocorrerá uma divisão por zero, o que tornará inviável a resolução do PPL. Para fazer a correção deste problema pode-se inverter os dados de entrada com os dados de saída. Dessa maneira, também é necessário manter a orientação do modelo, para que o cálculo seja feito normalmente. Por conseguinte, obtém-se a resolução do PPL e, como se trata do modelo CCR, não há mudança no valor das eficiências calculadas, pois neste modelo a orientação não influencia o resultado das eficiências. Contudo, é necessário lembrar que, pelo fato de *inputs* e *outputs* estarem trocados, a escala de eficiências estará invertida, ou seja, a DMU que possuir eficiência nula será a DMU eficiente. Esta é uma forma de contornar divisões por zero nos modelos DEA-CCR.

O uso de pesos nos modelos DEA é bastante relevante, pois inicialmente o modelo calcula com total liberdade o peso de cada variável de forma a encontrar DMUs eficientes da melhor maneira possível. Com isso, faz-se necessário, em alguns casos, o uso de restrições aos pesos, quando as variáveis em questão não possuem o mesmo grau de relevância em relação ao modelo (Allen et al., 1997). Isto pode ser encontrado quando se faz necessário identificar a priori as variáveis importantes do modelo (Dyson e Thanassoulis, 1988). Para ilustração de tal fato, pode-se considerar a produção de dois aparelhos eletrônicos por uma determinada empresa. Se a produção dos televisores gera um lucro maior para a companhia, deve-se encontrar a solução para maximizar o lucro desta empresa de forma a privilegiar a unidade produtiva (DMU) onde é confeccionado um número maior de aparelhos de televisão. Para tal, é necessário inserir uma restrição onde o peso desta variável seja maior do que a de rádios, por exemplo, desde que as produções estejam expressas na mesma escala.

Angulo Meza e Lins (2002) e Leta et al (2005) fazem uma revisão deste e de outros métodos de aumento de discriminação em DEA.

## 5. Modelo

Para alcançar o objetivo já citado anteriormente e encontrar um melhor índice para mensurar a pontualidade das empresas aéreas, foi preciso primeiro definir as variáveis e relacionar cada voo a uma DMU. Entre as possíveis variáveis, inicialmente consideradas, contam-se: a distância percorrida pela aeronave durante o voo, o preço da passagem aérea, o tempo de voo gasto e os atrasos na chegada e na saída dos voos. A escolha entre elas foi feita pelo conhecimento dos autores. Optou-se por não usar nenhum método de seleção, como os descritos em Senra et al (2007).

Ao escolher as variáveis foi descartada uma das cinco já citadas: o preço. Isto pelo fato de estar sujeito a uma alta volatilidade devido ao grande número de promoções, ofertas e até mesmo a data em que o consumidor comprou a passagem. Logo, para constituir o modelo foi eleita a distância entre o destino e a origem do voo, o tempo previsto para o mesmo, e os dois tipos de atraso (na partida e na parada dos motores). Diante da escolha das variáveis, foram construídos três modelos de forma a comparar o uso das variáveis. Os modelos utilizados são:

- 2 *inputs* (Tempo de voo e distância entre as cidades) e 2 *outputs* (atrasos de saída e chegada);

- 1 *input* (Tempo de voo) e 2 *outputs* (atrasos de saída e chegada);

- 1 *input* (Distância entre as cidades) e 2 *outputs* (atrasos de saída e chegada).

Foi usado o modelo CRS, por ser mais rígido e por admitir a proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. Com relação aos dados de entrada e saída, a formulação mais intuitiva seria usar os atrasos como *inputs* e a distância e o tempo previsto como *outputs*. Contudo, dada a orientação do modelo a *inputs*, com o objetivo de minimizar os atrasos, nota-se a possibilidade de existência de variáveis com valor nulo. Como já mencionado anteriormente, a utilização do modelo CRS é mantida, mas os papéis de *inputs* e *outputs* são invertidos. Com isso, os atrasos passarão a ser dados de saída e a distância e o tempo de voo serão os dados de entrada, variando de acordo com cada modelo supracitado. Este artifício foi usado apenas para evitar divisões por zero. Uma classificação mais rigorosa das variáveis seria a da distância e duração de voo como *inputs* e os atrasos como *outputs* indesejáveis. Este último artifício foi utilizado recentemente no estudo de Pathomsiri et al (2008). Para ver mais sobre modelagem com *outputs* indesejáveis consultar Gomes e Lins (2007).

Para que os atrasos na chegada sejam mais relevantes que os atrasos na saída, de maneira a respeitar a ótica do consumidor, utilizam-se restrições aos pesos. Mesmo que um atraso na chegada sofra influência do atraso na saída, este último pode ser recuperado durante o percurso, enquanto o primeiro tipo de atraso modifica de forma abrupta a rotina dos clientes. Logo, será utilizada a restrição onde o peso do atraso na chegada é superior ao do atraso na saída.

## 6. Dados

A obtenção de dados reais esbarra em várias dificuldades. A ANAC divulga apenas os índices já agregados, sem os dados que lhe deram origem, o que é uma prática comum deste órgão. Para detalhes sobre o problema da obtenção de dados sobre transporte aéreo no Brasil ver Espírito Santo Jr (2000). Por outro lado, a busca de dados nos aeroportos também se mostrou inviável, visto que os mesmos não informam ao público os horários de partida e parada dos motores.

Diante dos fatos acima expostos, foi solicitado a diversas pessoas que faziam viagens pelo Brasil que anotassem alguns dados como: horários previstos e reais de chegada e partida dos

vôos, companhia que executou o mesmo, dia da viagem, e também os locais de origem e destino do voo.

Assim, utilizamos dados reais para auxiliar na escolha das variáveis do modelo DEA. As distâncias entre cada origem e cada destino são as distâncias aéreas reais (*Air Routing International*, 2007). O tempo previsto de voo calculado pela diferença entre os horários de saída e chegada previstos de cada companhia. E os atrasos calculados também por uma diferença, desta vez entre o horário previsto e o real de chegada e partida de cada voo.

Durante seis meses houve a colaboração de diversas pessoas que efetuaram as viagens. Isso ajudou na formação de um banco de dados mais sólido, ou seja, uma base de informações que pode ser considerada verossímil, pois as pessoas envolvidas em tal tarefa não dispunham de nenhum interesse ou vínculo com nenhuma companhia aérea analisada em nosso estudo. Mas deve-se ressaltar que pode haver um viés relativo a cada indivíduo, pois nem sempre o dado foi verificado no exato instante em que o “evento” partida ou parada dos motores foi realizado.

Outro ponto de grande relevância é a possibilidade da existência de valores negativos para as variáveis “atraso na saída” e “atraso na chegada”. Como não podemos considerar tempos negativos, tais valores foram zerados. Essa atitude se explica devido ao adiantamento do voo tanto na chegada quanto na saída e não tem influência prejudicial como o atraso. Isto porque, do ponto de vista do consumidor, ter seu voo chegando antes do horário previsto é interessante. Além disso, os tempos negativos são valores baixos e não possuem grande representatividade.

Na tabela a seguir, encontram-se apresentadas as variáveis do modelo, que são as seguintes: DMU (número que identifica o voo); duração estimada do voo; distância entre origem e destino; atraso na saída; e atraso na chegada.

DMU	Companhia	Aeroporto de origem	Aeroporto de destino	Duração do voo em minutos	Distancia (km)	Atraso da saída - Minutos	Atraso na chegada - Minutos
1	BRA	Rio - Internacional	Belém	205,00	2447,32	45,00	-12,00
2	GOL	Rio - Internacional	Brasília	105,00	913,36	97,00	107,00
3		Rio - Internacional	Belo Horizonte - Confins	55,00	360,74	20,00	25,00
4		Belo Horizonte - Confins	Rio - Internacional	55,00	360,74	40,00	60,00
5	TAM	Rio - Internacional	Belo Horizonte - Confins	60,00	360,74	154,00	155,00
6	TAM	Belo Horizonte - Confins	Rio - Internacional	60,00	360,74	71,00	69,00
7	GOL	Rio - Internacional	Vitória	65,00	416,84	5,00	5,00
8	TAM	Rio - Internacional	São Luis	300,00	2249,78	-4,00	0,00
9	TAM	São Luis	Rio - Internacional	300,00	2249,78	10,00	10,00
10	GOL	Rio - Internacional	Belo Horizonte - Confins	60,00	360,74	10,00	15,00
11	TAM	Rio - Internacional	Fortaleza	190,00	2174,78	29,00	45,00
12	TAM	Fortaleza	Rio - Internacional	192,00	2174,78	2,00	18,00
13	GOL	Fortaleza	Rio - Internacional	200,00	2174,78	7,00	0,00
14	GOL	Fortaleza	Brasília	150,00	1690,58	4,00	15,00
15	GOL	Brasília	Rio - Internacional	105,00	913,36	0,00	0,00
16	GOL	Rio - Internacional	Brasília	105,00	913,36	32,00	54,00
17	Ocean Air	Fortaleza	Natal	55,00	434,26	15,00	20,00
18	Ocean Air	Natal	Brasília	130,00	1769,42	35,00	75,00
19	Ocean Air	Brasília	Rio - Internacional	100,00	913,36	90,00	105,00
20	GOL	Rio - Internacional	Belo Horizonte - Confins	55,00	360,74	16,00	11,00
21	GOL	Belo Horizonte - Confins	Rio - Internacional	70,00	360,74	29,00	10,00
22	VARIG	Rio - Internacional	São Paulo - Congonhas	55,00	360,05	4,00	30,00
23	VARIG	São Paulo - Congonhas	Rio - Internacional	55,00	360,05	11,00	58,00
24	GOL	Rio - Internacional	Belo Horizonte - Confins	55,00	360,74	3,00	10,00
25	TAM	Belo Horizonte - Confins	Rio - Internacional	55,00	360,74	0,00	3,00
26	GOL	Rio - Internacional	Curitiba	90,00	672,91	3,00	5,00
27	GOL	Curitiba	Foz do Iguaçu	70,00	532,45	0,00	0,00
28	GOL	Foz do Iguaçu	Curitiba	60,00	532,45	10,00	10,00
29	GOL	Curitiba	Rio - Internacional	80,00	672,91	10,00	2,00
30	GOL	Rio - Internacional	Curitiba	90,00	672,91	50,00	45,00
31	GOL	Brasília	Fortaleza	145,00	1690,58	43,00	61,00
32	GOL	Rio - Internacional	Fortaleza	190,00	2174,78	69,00	73,00
33	GOL	Fortaleza	Rio - Internacional	200,00	2174,78	7,00	8,00
34	Ocean Air	Rio - Internacional	Salvador	125,00	1216,06	80,00	95,00
35	Ocean Air	Salvador	Recife	75,00	648,97	90,00	95,00
36	TAM	Recife	Fortaleza	75,00	626,73	35,00	30,00
37	GOL	Rio - Internacional	Curitiba	85,00	672,91	69,00	71,00
38	GOL	Curitiba	Foz do Iguaçu	70,00	532,45	36,00	37,00
39	GOL	Foz do Iguaçu	São Paulo - Guarulhos	90,00	845,33	5,00	13,00
40	GOL	São Paulo - Guarulhos	Rio - Internacional	60,00	336,85	45,00	65,00
41	VARIG	Rio - Santos Dumont	São Paulo - Congonhas	60,00	365,26	0,00	20,00
42	VARIG	São Paulo - Congonhas	Rio - Santos Dumont	55,00	365,26	100,00	105,00
43	GOL	Rio - Internacional	Vitória	60,00	416,84	10,00	10,00
44	GOL	Vitória	Rio - Internacional	50,00	416,84	130,00	130,00
45	GOL	Brasília	Rio - Internacional	100,00	913,36	64,00	62,00
46	GOL	Rio - Santos Dumont	São Paulo - Congonhas	60,00	365,26	47,00	90,00
47	GOL	São Paulo - Congonhas	Rio - Santos Dumont	60,00	365,26	33,00	29,00
48	GOL	Rio - Internacional	Belo Horizonte - Confins	55,00	360,74	45,00	40,00
49	GOL	Belo Horizonte - Confins	Rio - Internacional	40,00	360,74	50,00	65,00
50	GOL	Rio - Internacional	Campinas	60,00	398,85	70,00	70,00
51	TAM	Campinas	Belo Horizonte - Confins	60,00	309,43	58,00	70,00
52	Ocean Air	Belo Horizonte - Pampulha	Rio - Santos Dumont	105,00	360,74	165,00	165,00
53	GOL	Rio - Internacional	Brasília	105,00	913,36	5,00	-1,00
54	TOTAL	Rio - Santos Dumont	São João del Rei	40,00	289	1,00	15,00
55	TOTAL	São João del Rei	Belo Horizonte - Pampulha	25,00	139	8,00	13,00

## 7. Resultados

Após a coleta de dados foi utilizado o *software* SIAD (Angulo Meza et al., 2005), Sistema Integrado de Apoio à Decisão, para calcular as eficiências de cada DMU (cada voo). O programa oferece ainda a possibilidade de inserir restrições aos pesos como uma forma de refinar o modelo. Com auxílio do SIAD, foram inseridos os dados e as opções de modelo previamente propostas, e obteve-se assim a eficiência individual das DMUs, listadas na tabela mais abaixo.

Contudo, antes de apresentarmos a tabela, vale a lembrança de que os voos eficientes são os que possuem eficiência nula e não unitária como normalmente utilizado em DEA. Isso porque



em nosso caso houve uma inversão entre *inputs* e *outputs*, com o intuito de evitar divisões por zero, o que impossibilitaria a execução do modelo.

Eficiências							
DMU	Modelos			DMU	Modelos		
	Com distância e duração	Apenas distância	Apenas duração		Com distância e duração	Apenas distância	Apenas duração
1	0,0422	0,0201	0,0422	28	0,0641	0,0411	0,0641
2	0,3919	0,2564	0,3919	29	0,0288	0,0195	0,0288
3	0,1757	0,1515	0,1748	30	0,2037	0,1544	0,2030
4	0,4216	0,3636	0,4196	31	0,1618	0,0789	0,1618
5	1,0000	0,9394	0,9936	32	0,1478	0,0734	0,1478
6	0,4531	0,4242	0,4487	33	0,0154	0,0080	0,0154
7	0,0298	0,0262	0,0296	34	0,2923	0,1709	0,2923
<b>8</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	35	0,4872	0,3203	0,4872
9	0,0129	0,0097	0,0128	36	0,1667	0,1134	0,1667
10	0,0968	0,0909	0,0962	37	0,3216	0,2308	0,3213
11	0,0911	0,0453	0,0911	38	0,2037	0,1522	0,2033
12	0,0361	0,0181	0,0361	39	0,0556	0,0337	0,0556
13	0,0067	0,0035	0,0067	40	0,4465	0,4220	0,4167
14	0,0385	0,0194	0,0385	41	0,1290	0,1199	0,1282
<b>15</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	42	0,7377	0,6294	0,7343
16	0,1978	0,1294	0,1978	43	0,0645	0,0525	0,0641
17	0,1400	0,1008	0,1399	44	1,0000	0,6821	1,0000
18	0,2219	0,0928	0,2219	45	0,2423	0,1510	0,2423
19	0,4038	0,2516	0,4038	46	0,5805	0,5395	0,5769
20	0,0951	0,0818	0,0944	47	0,2006	0,1858	0,1987
21	0,1243	0,1182	0,1071	48	0,2994	0,2576	0,2972
22	0,2108	0,1823	0,2098	49	0,6250	0,3939	0,6250
23	0,4076	0,3525	0,4056	50	0,4519	0,3838	0,4487
24	0,0703	0,0606	0,0699	51	0,5201	0,4956	0,4487
25	0,0211	0,0182	0,0210	52	1,0000	1,0000	0,6044
26	0,0214	0,0163	0,0214	53	0,0092	0,0060	0,0092
<b>27</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	54	0,1447	0,1136	0,1442
				55	0,2163	0,2046	0,2000

Através da tabela acima, observa-se que o modelo com 2 *inputs* e 2 *outputs* tem um desempenho muito próximo ao modelo onde somente a duração do voo é considerada como *input*. Diante do exposto, pode-se afirmar que o tempo de voo tem uma maior importância no modelo do que a distância, uma vez que ao considerarmos a mesma como o único *input*, houve um rigor menor na hora de medir as eficiências. Tal fato é comprovado pelos resultados mostrados acima, que em sua maioria revelam números mais próximos da eficiência para o modelo que considera apenas distância entre as localidades como *input*.

A princípio, à distância e a duração do voo podem parecer proporcionais, mas deve-se ressaltar que o tempo de voo é determinado por cada companhia separadamente. Por isso, pode levar em consideração os taxiamentos dentro dos aeroportos de origem e destino e o tempo de

espera na fila para decolar e pousar o avião. Tais pontos não são igualmente considerados pela distância já que esta é sempre fixa.

Ao executar tal manobra de tempo, a companhia evita um desgaste na relação com o seu passageiro e também uma punição da ANAC já que, caso atrase mais de meia hora (ou trinta minutos) na partida ou na parada dos motores, será penalizada com uma multa.

Tendo como base a tabela dos resultados percebemos também que somente três vôos foram eficientes, pois foram os únicos que não obtiveram atraso nem na saída e nem na chegada.

Uma análise por companhia pode ser feita através das médias das eficiências, como representado na tabela abaixo:

Companhia	Médias Companhias			% na amostra
	Duração	Distância	Duração e Distância	
BRA	0,20329075	0,12371375	0,20329075	7,27%
GOL	0,198823613	0,154816645	0,20000271	56,36%
Ocean Air	0,594839	0,507502667	0,462971	5,45%
TAM	0,255941444	0,240771333	0,248011889	16,36%
TOTAL	0,1804855	0,15909	0,1721155	3,64%
VARIG	0,3616735	0,357151722	0,367702537	7,27%
Indefinido	0,29912	0,2741935	0,29912	3,64%

A companhia que teve o melhor desempenho foi a Total, como mostra a tabela acima. Porém, a mesma tem um número de vôos pequeno e um baixo percentual na amostra. Além disso, seus vôos têm como destino ou origem o aeroporto de São João Del Rey, onde o fluxo e quantidade de vôos também são reduzidos, o que facilita o trabalho da companhia com relação aos atrasos.

Diante do aspecto citado, a Gol pode ser considerada a empresa de melhor desempenho, pois teve uma grande participação na amostra e, de uma maneira geral, os seus vôos foram os que menos atrasaram.

A *Ocean Air* teve o pior desempenho se comparada às demais. Contudo, a mesma realizou o vôo mais crítico da amostra. Além disso, seus outros vôos também não tiveram um bom desempenho. Todavia, ela não pode ser taxada como uma empresa ruim, visto que a sua participação na amostra é baixa e qualquer conclusão pode ser precipitada.

Em relação aos aeroportos, a análise pode ser dividida em aeroportos de origem e aeroportos de destino. Vale ressaltar que a participação dos aeroportos (chegada e partida) foi reduzida, pois em sua maioria realizaram ou receberam até 5 vôos, com algumas exceções.

Origem	Médias Aeroportos Origem			% na amostra
	Duração	Distância	Duração e Distância	
Belo Horizonte - Confins	0,3259316	0,2759358	0,3295378	9,09%
Belo Horizonte - Pampulha	1	1	0,604396	1,82%
Brasília	0,202902	0,125625	0,202902	7,27%
Campinas	0,520084	0,495636	0,448718	1,82%
Curitiba	0,077911333	0,060849	0,077911333	5,45%
Fortaleza	0,0476084	0,0318838	0,0476084	9,09%
Foz do Iguaçu	0,0603195	0,0398215	0,0603195	3,64%
Natal	0,223325	0,098649	0,223325	1,82%
Recife	0,168285	0,121079	0,168285	1,82%
Rio - Internacional	0,201187714	0,166630429	0,200914762	36,36%
Rio - Santos Dumont	0,284748667	0,260157	0,283395333	5,45%
Salvador	0,490323	0,340692	0,490323	1,82%
São João del Rei	0,216295	0,204622	0,2	1,82%
São Luis	0,012945	0,010378	0,012945	1,82%
São Paulo - Congonhas	0,449268333	0,409922333	0,448644	5,45%
São Paulo - Guarulhos	0,419355	0,449096	0,449096	1,82%
Vitória	1	0,682073	1	3,64%

As três cidades com melhor desempenho referente ao aeroporto de origem foram: São Luis, Fortaleza e Foz do Iguaçu. Esse aparente bom resultado pode ser explicado por uma movimentação de vôos menor nesses aeroportos, se comparados a outros aeroportos como Rio-Internacional, Guarulhos, Congonhas e Santos Dumont.

O estado que foi mais afetado com a crise vivida nos últimos tempos foi São Paulo, pois é perceptível que seus três maiores aeroportos (Guarulhos, Congonhas e Campinas) tiveram um desempenho muito ruim. Isto pode estar aliado ao fato do espaço aéreo paulista ser o mais usado do país.

Origem	Médias Aeroportos Destino			% na amostra
	Duração	Distância	Duração e Distância	
Belém	0,042624	0,021466	0,042624	1,82%
Belo Horizonte - Confins	0,322559714	0,309024429	0,312050143	12,73%
Belo Horizonte - Pampulha	0,216295	0,204622	0,2	1,82%
Brasília	0,1729482	0,1071076	0,1729482	9,09%
Campinas	0,451879	0,383838	0,448718	1,82%
Curitiba	0,153633	0,1178815	0,153633	7,27%
Fortaleza	0,14288525	0,08283325	0,14288525	7,27%
Foz do Iguaçu	0,095157333	0,091584	0,102304	3,64%
Natal	0,140762	0,107187	0,140762	1,82%
Recife	0,490323	0,340692	0,490323	1,82%
Rio - Internacional	0,262914063	0,210441375	0,265899813	29,09%
Rio - Santos Dumont	0,592951889	0,566162167	0,514039	5,45%
Salvador	0,294194	0,181816	0,294194	1,82%
São João del Rei	0,144676	0,113558	0,144231	1,82%
São Luis	0	0	0	1,82%
São Paulo - Congonhas	0,306904667	0,286944	0,305699667	5,45%
São Paulo - Guarulhos	0,055914	0,035791	0,055914	1,82%
Vitória	0,047173	0,040237	0,046988	3,64%

As três cidades com melhor desempenho referente ao aeroporto de destino foram: São Luis, Belém e Vitória.

O aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro, teve um desempenho crítico. Uma das causas pode ser a recepção de vôos provenientes de Congonhas, um dos aeroportos que teve

desempenho ruim quando considerado como aeroporto de origem. Novamente, é necessário frisar que qualquer conclusão pode ser precipitada, já que se trata de uma amostra pequena.

## 8. Conclusões

O presente estudo evidenciou que a forma proposta de utilizar a média das eficiências para verificar a pontualidade de companhias e aeroportos é satisfatória, pois considera em sua análise que uma empresa ou até mesmo os vôos só são eficientes caso todos cumpram os horários sem que haja atraso. Com isso, a eficiência em DEA é nula e o índice de atraso também. Devido à inversão de *inputs* e *outputs*, quanto mais a companhia aérea tiver seu índice próximo de zero, mais pontual ela poderá ser considerada.

Nota-se que o modelo DEA perde sua característica de benevolência quando feita a inversão de *inputs* e *outputs*, transformando-se em um modelo muito agressivo. Para um vôo ser considerado pontual não pode ter atraso nenhum, independentemente dos atrasos dos outros vôos. Já um vôo com o maior atraso na chegada terá eficiência unitária, ou seja, será considerado nada pontual, mesmo que o atraso tenha sido pequeno.

Outro ponto que deve ser mencionado é a relação da eficiência com as variáveis do modelo, já que existe uma maior benevolência com relação a atrasos de vôos que percorrem uma maior distância. Esse fato se explica pela própria construção do modelo DEA CCR.

Com relação ao desempenho das companhias, ficou evidenciado que a Gol teve atrasos que podem ser considerados aceitáveis, enquanto as outras companhias não podem ser analisadas da mesma forma porque tiveram um número insuficiente de dados coletados.

Donos de fluxos intensos de vôos, os aeroportos de São Paulo têm enfrentado problemas para atender a crescente demanda de mercado que os atingem, principalmente no que diz respeito às pontes aéreas. Cada vez mais este trajeto é realizado pelas companhias aéreas, que somente acompanham a necessidade do consumidor. Assim, o controle do tráfego fica mais difícil e os atrasos se tornam uma constante.

## 9. Bibliografia

- AIR ROUTING INTERNATIONAL**, disponível em <http://www.airrouting.com/content/tdcalc.html>, acesso em 17 de março de 2007.
- ALLEN, R., ATHANASSOPOULOS, A., DYSON, R.G., THANASSOULIS, E.** (1997) Weights restrictions and value judgements in data envelopment analysis: evolution, development and future directions. *Annals of Operations Research*, 73, 13-34.
- ANGULO MEZA, L., BIONDI NETO, L., SOARES DE MELLO, J.C.C.B., 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., LINS, M.P.E.** (2002) Review of methods for increasing discrimination in Data Envelopment Analysis. *Annals of Operations Research*, 116, 225-242.
- AVELLAR JUNIOR, L.C.** (2006) *Contribuição metodológica para a análise dos impactos econômicos de atrasos e congestionamentos no transporte aéreo brasileiro: o caso da área terminal de São Paulo*. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Transportes), COPPE-UFRJ
- BANKER, R.D., CHARNES, A., COOPER, W.W.** (1984) Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30 (9), 1078-1092.
- CHARNES, A., COOPER, W.W., RHODES, E.** (1978) Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- DAC** (1999). Portaria nº 366/DGAC, *Instrução de Aviação Civil 1502-0699*

- DYSON, R.G., THANASSOULIS, E.**(1988) Reducing weight flexibility in data envelopment analysis. *Journal of the Operations Research Society*, 39 (6), 563-576.
- ESPÍRITO SANTO Jr., R.A.** (2000). Concentração no transporte aéreo e os possíveis impactos sobre os consumidores, a sociedade e a economia. *Transporte em Transformação V*, 155-170.
- EVANGELHO, F., HUSE, C., 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.
- FRIDSTRØM, L., HJELDE, F., LANGE, H., MURRAY, E., NORKELA, A., PEDERSEN, T.T., RYTTER, N., TALÉN, C.S., SKOVEN, M., SOLHAUG, L.** (2004). Towards a more vigorous competition policy in relation to the aviation market. *Journal of Air Transport Management*, 10, 71–79.
- GOMES, E.G., LINS, M.P.E.**(2007) Modelling undesirable outputs with zero sum gains data envelopment analysis models. *Journal of the Operational Research Society*, no prelo.
- ITO, H., LEE, D.** (2005). Domestic codesharing practices in the US airline industry. *Journal of Air Transport Management*, 11, 89–97.
- LETA, F.R., SOARES DE MELLO, J.C.C.B., GOMES, E.G., ANGULO MEZA, L.** (2005) Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos. *Investigação Operacional, Lisboa*, 25 (2) 229-242.
- MARTÍN-CEJAS, R.R.** (2005) Tourism service quality begins at the airport. *Tourism management*, 27 (5) 874-877.
- PATHOMSIRI, S.A., HAGHANI, A.B., DRESNER, M.C., WINDLE, R.J.D.** (2008). Impact of undesirable outputs on the productivity of US airports. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44 (2), pp. 235-259.
- SENRA, L.F.A.C., NANJI, L.C., SOARES DE MELLO, J.C.C.B., ANGULO MEZA, L.** (2007). Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. *Pesquisa Operacional*, no prelo.
- SOARES DE MELLO, J.C.C.B., ANGULO-MEZA, L., GOMES, E.G., BIONDI NETO, L.** (2006). Evaluación de la concentración en una ruta aérea brasilera con modelo DEA y frontera invertida. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 14 (1) 64-71.
- SOARES DE MELLO, P.H.C., SOARES DE MELLO, J.C.C.B., ANGULO MEZA, L.** (2005) Quantificação dos efeitos do compartilhamento de vôos nas informações prestadas nos aeroportos: estudo de caso no aeroporto internacional do Rio de Janeiro. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção da UFF*, 5 (24).