

USO DE TÉCNICAS MULTIVARIADAS E MULTICRITÉRIO PARA AFERIR A EFICIÊNCIA DAS COMPANHIAS AÉREAS BRASILEIRAS

Armando Gonçalves Madeira Junior

Filiação: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).
Programa de Engenharia Aeronáutica e Mecânica.
madeira_ita@yahoo.com.br
Telefone: (12) 3947-3839

Moacyr Machado Cardoso Junior

Filiação: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).
Programa de Engenharia Aeronáutica e Mecânica.
moacyr@ita.br

Anderson Ribeiro Correia

Filiação: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).
Programa de Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica.
correia@ita.br

Rodrigo Arnaldo Scarpel

Filiação: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).
Programa de Engenharia Aeronáutica e Mecânica.
rodrigo@ita.br

Mischel Carmen Neyra Belderrain

Filiação: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).
Programa de Engenharia Aeronáutica e Mecânica.
carmen@ita.br

Palavras chave: Companhias Aéreas, eficiência, multivariadas, MCDA, MACBETH

RESUMO

O sistema de aviação civil brasileiro será colocado a prova devido à perspectiva de crescimento da demanda devido a realização da Copa do Mundo de Futebol em 2014 e das Olimpíadas de 2016 no Brasil. Um elemento sensível deste sistema são as companhias aéreas que prestam um serviço público por concessão. A Agência Nacional de Aviação Civil é responsável pela regulação e fiscalização dessa atividade de forma que os serviços públicos atendam os princípios da eficiência, continuidade e modicidade das tarifas. Para tal, este artigo apresenta um modelo de avaliação de desempenho das companhias aéreas baseado em métodos multicritério e multivariados. Para reduzir a dimensão dos insumos (*inputs*) e dos produtos (*outputs*), no cálculo da eficiência foram utilizadas técnicas multivariadas. O método multicritério MACBETH foi utilizado para estabelecer a taxa de substituição entre os fatores resultantes da técnica multivariada. O modelo proposto demonstrou ser satisfatório na ordenação das companhias aéreas no que tange a eficiência, sendo uma ferramenta para o gerenciamento da fiscalização dos serviços, bem como possibilita o *benchmarking* entre as companhias aéreas.

ABSTRACT

The Brazilian civil aviation system will be put to test by the prospect of demand growth due to the World Cup soccer in 2014 and Olympics games in 2016. A sensitive element of this system are the airlines that explore a public service concession. The National Agency of Civil Aviation is responsible for regulating and monitoring this activity so that public services meet the principles of efficiency, continuity and reasonableness of tariffs. To this end, this paper presents a model for evaluating performance of airlines based on multivariate and multi criteria methods. To reduce the size of inputs and outputs in the calculation of efficiency multivariate techniques were used. The MACBETH multi criteria method was used to establish the tradeoff within the factors resulting from the multivariate analysis. The proposed model proved to be satisfactory in the ordering of the airlines in terms of efficiency, being a tool for services control management, and allows benchmarking within the airlines.

1. INTRODUÇÃO

A importância do setor aéreo brasileiro pode ser verificada por participar com 12% do turismo no Brasil e com 6% das chamadas atividades características do turismo, ou seja, as atividades de transporte, alimentação, hospedagem, cultura e lazer que atendem turistas, mas também a residentes. Além disso, este setor tende a ser um bom estimulador da produção da economia como um todo, assim como gerador de renda e emprego. Isso porque, de acordo com os pesquisadores, ao aumentar sua própria produção, ele amplia os empregos gerados no setor, assim como a renda. São os efeitos diretos. Mas ao demandar insumos para satisfazer a esse aumento de produção, o setor aéreo estimula também a produção de outros setores, assim como a geração de emprego e renda neles (SNEA, 2009).

Nos próximos anos, tendo em vista a realização no Brasil de eventos internacionais de grande porte (Copa do Mundo de 2014 e Jogos Olímpicos de 2016), ocorrerá um elevado crescimento da demanda de passageiros. Para dar conta deste crescimento previsível torna-se necessário investimentos públicos em infraestrutura aeroportuária e aprimoramento na eficiência dos serviços públicos de transporte aéreo que são prestados pela iniciativa privada por concessão.

A Agência Nacional de Aviação Civil tem a responsabilidade de regular e fiscalizar este setor de forma que este serviço público atenda os princípios da eficiência, continuidade e modicidade das tarifas. Para executar sua missão, é necessário ter um modelo para monitorar a eficiência das companhias aéreas.

Existem numerosos estudos sobre companhias aéreas que utilizam análise de envoltória de dados (DEA), tanto a nível nacional (Silveira *et al*, 2008) como internacional (Barbot *et al*, 2008). Existem outras pesquisas em modelos baseados na *hard* PO (Pesquisa Operacional) como o índice Tornquist de produtividade total e modelos de fronteira econométrica estocástica (Barros e Peypoch, 2009). De forma discreta, são encontrados poucos modelos que utilizam a abordagem da *soft* PO como os métodos multicritérios: Simple additive weighting (SAW), weighted product (WP) e TOPSIS (Chang e Yeh, 2001). Fora da área portuária existem diversos trabalhos que abordam avaliação de desempenho com o método multicritério MACBETH (Ensslin e Stolt, 2009; Lacerda *et al*, 2010; Ensslin *et al*, 2010).

O objetivo deste trabalho é apresentar um modelo para cálculo da eficiência das companhias aéreas considerando dados atinentes a receitas, despesas e resultados por empresa relativos ao período de 2005 a 2008, constantes do anuário do transporte aéreo (ANAC, 2008 e 2006). Este modelo baseia-se na abordagem multicritério de apoio à decisão (MCDA) que utiliza, em particular, o método MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*). A aplicação da técnica multivariada da análise fatorial para serviu para reduzir a dimensão dos indicadores operacionais e garantir a interdependência mútua entre eles para o correto emprego da abordagem MCDA. O modelo proposto tem a vantagem em relação aos métodos que utilizam apenas a abordagem da *hard* PO porque considera o sistema de valores do decisor que está em consonância com o planejamento estratégico desse setor, bem como reduz os números de julgamentos do decisor, comparados com os métodos que utilizam apenas a abordagem da *soft* PO.

Este trabalho encontra-se organizado da seguinte forma: na seção de introdução aborda a motivação e os objetivos para desenvolvimento do estudo; a Seção 2 apresenta o modelo proposto, os métodos multivariados da análise fatorial e análise de *clusters* e MACBETH. A Seção 3 dispõe sobre a aplicação do modelo, resultados obtidos; e, finalmente, a Seção 4 com as considerações finais.

2. METODOLOGIA

O uso de métodos multicritérios discretos é pertinente ao problema porque as alternativas são finitas (companhias aéreas) e nenhuma delas domina as outras em todas as perspectivas (critérios). A vantagem da aplicação de métodos que consideram a abordagem *soft* da PO é considerar ao modelo o sistema de valores do decisor (aspecto subjetivo) aos dados quantitativos (aspecto objetivo), enquanto que ferramentas da PO *hard* somente apreciam elementos objetivos.

O modelo de avaliação de desempenho para cálculo da eficiência das companhias aéreas é baseado na abordagem de critério único de síntese que consiste em determinar as funções de valor para cada critério e a taxa de substituição (*trade-off*) entre os critérios. Dentre os métodos disponíveis baseados nesta abordagem e que considera a problemática da ordenação para gerar um ranking com as alternativas, foi utilizado o MACBETH. Ele determina a função de valor que melhor representa os julgamentos do decisor por Programação Linear (PL). Uma formulação de problema de PL elimina as inconsistências, e outro calcula as taxas de substituição entre os pontos de vista (critérios), bem como o nível de impacto das alternativas para cada ponto de vista (Bana e Costa *et al*, 2008).

Os anuários de dados econômicos (ANAC, 2006 e 2008) apresentam 20 indicadores que foram divididos em benefícios (14) e custos (6). O modelo proposto utiliza a análise fatorial para reduzir o número de indicadores dos benefícios e custos, bem como garantindo a independência entre as novas variáveis (fatores comuns) para depois realizar a agregação aditiva pelo MACBETH, levando em consideração o sistema de valores do decisor, abordagem similar ao realizado por Yüksel e Dagdeviren (2007) com ANP (*Analytic network process*). A eficiência é calculada dividindo o resultado dos benefícios pelo resultado dos custos.

As companhias aéreas foram divididas em *clusters*, considerando todos os 20 indicadores, de forma a possibilitar ao analista identificar as companhias eficientes para a realização de *benchmarking* com o intuito de aprimoramento nas ineficientes, considerando a economia de escala.

Para determinação do número ideal de *clusters* de companhias aéreas utilizou-se a comparação de vários métodos de geração de *clusters* hierárquico e não hierárquico em conjunto com métricas de validação. Os *clusters* hierárquicos são gerados com base em uma matriz de dissimilaridade, representada pela distância Euclidiana. O método utilizado é o de Ward que busca aglomerar as observações de forma a minimizar a variância total, conforme Theodoridis e Koutroumbas (2009).

No caso dos métodos não hierárquicos, é definido inicialmente o número de *clusters* que se deseja particionar os dados. Estes métodos buscam maximizar a distância entre *clusters* diferentes e minimizar as distâncias intra-*clusters*. Neste trabalho utilizaram-se os métodos K-Médias, K-Médias Fuzzy, K-Medóide (PAM – *partitioning around*

medoids e os Mapas auto-organizados de atributos (SOM). (THEODORIDIS e KOUTROUMBAS, 2009)

As métricas utilizadas para validação do número de agrupamentos ou classes nas quais os dados serão particionados neste estudo são as métricas de validação interna propostas por Brock *et al.*(2008).

Para a validação interna foram selecionadas medidas que reflitam a compactação, conectividade e separação dos *clusters* gerados. A conectividade refere-se a extensão na qual uma instância está alocada a um mesmo *cluster* dos seus vizinhos mais próximos. A compactação avalia a homogeneidade do *cluster*, usualmente calculando a variância intra-*clusters*, enquanto a separação quantifica o grau de separação dos *clusters*, usualmente pela medida da distância dos centróides. Uma vez que a compactação e a separação apresentam tendências opostas, ou seja, compactação aumenta com o número de *clusters* e a separação diminui, uma opção é unir as duas métricas. Duas medidas que representam uma combinação não linear de compactação e separação são o índice de Dunn e a largura de Silhouette. (EVERITT *et al.*, 2001)

Os dados para a clusterização foram analisados com o software R, versão 9.0 (R DEVELOPMENT TEAM, 2009).

2.1. Análise Fatorial

A análise fatorial é uma técnica multivariada de interdependência que tem o propósito de reduzir a dimensão das variáveis originais de forma a se obter uma simplificação na estrutura eliminando a redundância informativa (Dantas e DeSouza, 2008).

Ela parte da estrutura de dependência existente entre as variáveis de interesse (matriz de correlações ou covariâncias entre essas variáveis), permitindo a criação de um número menor de variáveis (variáveis latentes ou fatores comuns ou construtos) obtidas como combinação linear das variáveis originais que explicam partes da variabilidade dos dados, segundo a Equação 1. O número máximo de fatores comuns é menor que a metade do número de indicadores (variáveis) (Sharma, 1996).

$$x = \Lambda \cdot \xi + \varepsilon \quad (1)$$

em que x é o vetor de indicadores, Λ é a matriz de cargas fatoriais, ξ é o vetor de fatores comuns e ε é o vetor de fatores específicos.

Na composição do fator comum tem que as variáveis mais correlacionadas se combinam dentro do mesmo fator. Esses fatores tornam-se independentes e não correlacionados entre si. A derivação dos fatores se processa visando maximizar a porcentagem de variância total relativa a cada fator consecutivo. A Equação 2 apresenta a formulação do PPL da análise fatorial.

$$\begin{aligned} & \text{FO Min Tr } (\Psi) \\ & \text{s.a. } \Psi = \Sigma - \Lambda \Lambda' \end{aligned} \quad (2)$$

onde Σ é a matriz de correlação dos indicadores, Λ é matriz de cargas fatoriais e Ψ é a matriz dos fatores específicos.

Por intermédio do peso das cargas fatoriais, é possível determinar o quanto cada fator comum está associado a um conjunto de variáveis e, por conseguinte, a sua

interpretação. E ao calcular o quanto que o conjunto de fatores comuns explica da variabilidade geral dos dados originais se afere a significância da redução da dimensão.

São hipóteses da análise fatorial: o valor esperado dos indicadores, fatores comuns e dos fatores específicos é zero; a variância dos indicadores e dos fatores comuns é 1; e os fatores únicos não são correlacionados entre si e nem com os fatores comuns (Sharma, 1996).

É possível efetuar a rotação dos fatores com a finalidade de melhor definir as relações entre as variáveis e os fatores comuns, a rotação ortogonal (ex: método varimax) preserva a independência entre os fatores e não afeta a comunalidade (variância compartilhada) e nem os fatores específicos. O efeito final de rotacionar a matriz fatorial é redistribuir a variância dos primeiros fatores para os últimos com o objetivo de atingir um padrão fatorial mais simples e mais significativo (De Moraes e Abiko, 2006).

2.2. MACBETH

O MCDA (*Multicriteria Decision Aid*) é uma metodologia para problemas não estruturados (Mingers e Rosenhead, 2004) que se baseia na abordagem *Soft* da PO. A PO *Soft* considera a visão construtivista no qual há uma interação entre os elementos de natureza objetiva (contexto decisório) e os elementos de natureza subjetiva (sistema de valores dos decisores e *stakeholders*) no desenvolvimento do processo de aprendizagem do problema.

A metodologia MCDA é dividida em três fases: estruturação, avaliação e recomendações; conforme a Figura 1 (Ensslin *et al*, 2010).

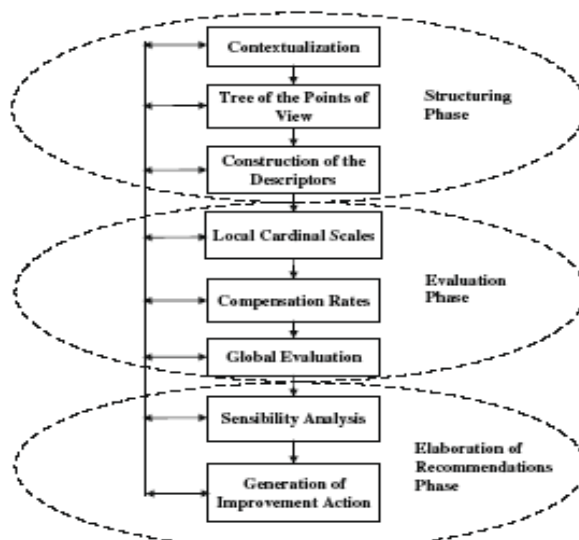


Figura 1: Fases da metodologia MCDA

A fase de estruturação consiste em três etapas. A primeira é a: contextualização do problema no qual se busca identificar os atores e seus objetivos. No segundo estágio é obtida a árvore de pontos de vista (PV), para tal é utilizado um método de estruturação de problemas, como os mapas cognitivos no qual são identificados os Elementos Primários de Avaliação (EPA), os EPA são transformados em conceitos e estabelecidos uma relação hierárquica causa e efeito entre eles, e, finalmente, convertido o mapa cognitivo em estrutura hierárquica de valores. Encerrando esta fase, são construídos os

descritores para os Pontos de Vista Fundamentais (PVF) constantes da árvore de PV, consiste em criar uma escala ordinal para descrever impactos plausíveis das ações potenciais em termos de cada PVF (Ensslin *et al*, 2010).

A fase de avaliação compreende em três estágios. Primeiro são estabelecidas as escalas cardinais para os descritores atinentes a cada PVF, permitindo a sua avaliação local, neste estágio são determinados dois níveis de impacto de referência, BOM (acima deste nível aponta uma performance acima das expectativas do decisor) e NEUTRO (abaixo deste nível indica performance insatisfatória), posteriormente o decisor realiza julgamentos semânticos comparando par a par os níveis de impacto dos descritores relativos a cada PVF e o método MACBETH transforma a escala ordinal em cardinal (função de valor) por meio de problemas de programação linear, que além disso analisa a consistência dos julgamentos, tanto semântica quanto cardinalmente. O segundo estágio é determinar as taxas de substituição (*trade-off*) entre os PVF, nela os PVF são comparados par a par, similarmente ao realizado com os níveis de impacto, na etapa anterior com o método MACBETH. Encerrando esta fase, é calculada a avaliação global das ações potenciais (alternativas) por meio da função de agregação aditiva dos PVF, conforme a Equação 3.

$$V(a_j) = \sum W_j * [V_{PVFj}(a)] ; \sum W_j = 1 ; 0 \leq W_j \leq 1, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

Onde W_j é a taxa de compensação para o PV (V_{PVFj}).

Ressalta-se que os PVF devem ser mutuamente independentes para utilizar a equação 3 (Ensslin *et al*, 2001).

Na fase de recomendações é realizada a análise de sensibilidade para validação do modelo pelo exame do impacto da variação da taxa de substituição de um PVF no ranking global das ações potenciais (Mateus *et al*, 2008), bem como a sugestão de ações para aperfeiçoamento das alternativas por meio de *bechmarking* com as alternativas líderes em cada PVF.

MACBETH é um método de abordagem interativa, baseado na teoria da utilidade multiatributo (MAUT), que utiliza decisões semânticas sobre as diferenças de atratividade de vários estímulos para apoiar o decisor quantificar esta diferença relativa de cada um (Bana e Costa e Chagas, 2004).

O método MACBETH verifica a consistência semântica da matriz de julgamento e calcula a escala cardinal por meio de problemas de programação linear (maiores detalhes da formulação matemática em Bana e Costa *et al*, 2005) que atenda as condições da Equação (4):

$$\text{Se } a_1 \text{ é mais atrativo que } a_2, \text{ então: } v(a_1) > v(a_2) \quad (4)$$

$$\text{Se } a_1 \text{ tem a mesma atratividade que } a_2, \text{ então: } v(a_1) = v(a_2)$$

$$\text{Se a diferença de atratividade entre } a_1 \text{ e } a_2 \text{ é maior que a diferença entre } a_3 \text{ e } a_4, \text{ então: } v(a_1) - v(a_2) > v(a_3) - v(a_4)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo proposto foi utilizado para avaliação de desempenho das ações potenciais (alternativas), com relativo ao tráfego doméstico, representadas pelas seguintes companhias aéreas constantes dos relatórios da ANAC referente aos anos de 2005 a

2008: Gol, NHT, OceanAir, Pantanal, Passaredo, Puma, Rico, Sete, TAM, Team, Total, Trip, VRG, Varig e Webjet.

As variáveis originais atinentes ao custo são: despesa de vôo (C1 – R\$), assento km oferecido (C2 – ASS/KM mil), ton km oferecida (C3 – TON/KM), horas voadas (C4 – H), custo/assento km (C5 – R\$), e custo/ton km (C6 – R\$). E as atinentes aos benefícios são: receita de vôo (B1 – R\$), resultado de vôo (B2 – R\$), pax km transportado pago (B3 – PAX/KM), número de passageiros embarcados pagos (B4 – UN), ton km transportada paga (B5 – TON/KM), km voados (B6 – KM), cobertura financeira (B7 – %), lucratividade (B8 – %), aproveitamento pax (B9 – %), aproveitamento ton km (B10 – %), yield (B11 – R\$), break-even pax (B12 – %), receita/ton km paga (B13 – R\$), break-even ton km (B14 – %). O anuário da ANAC relativo a 2005 e 2006 não apresenta valores atinentes aos indicadores B5, B10, B13 e B14, sendo atribuído o valor zero para estes campos.

Nos subitens desta sessão serão realizados os seguintes passos: aplicação da análise fatorial ao conjunto de dados para reduzir o número de indicadores e garantir a independência entre eles; estabelecimento das taxas de substituição dos fatores comuns gerados segundo o sistema de valores do decisor; cálculo da avaliação global dos benefícios e custos das companhias aéreas; agrupamento das companhias similares; e cálculo da eficiência.

3.1. Redução da Dimensão das Variáveis

Os dados atinentes aos custos e benefícios foram padronizados (resultado do valor subtraído da média da coluna dividido pelo desvio padrão) de forma que a grandeza das unidades das variáveis (indicadores) não interfira na variância (Sharma, 1996).

O programa estatístico R (versão 2.11.1) calculou as cargas fatoriais atinente aos custos (Tabela 1) o que permite a interpretação das novas variáveis.

Tabela 1 : Cargas Fatoriais atinentes aos custos

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
C1	0,989		0,121
C2	0,983		0,166
C3	0,739		0,649
C4	0,991		0,104
C5		0,992	
C6		0,521	0,113
Var. proporcional	57,9 %	21,4 %	8,3 %
Var. acumulada	57,9 %	79,3 %	87,6 %

A Tabela 1 apresenta para cada indicador de custo em qual fator a carga é relevante, agrupando as variáveis (C1 a C6) nos fatores comuns que serão os PVF na aplicação do MACBETH. A aplicação não convergiu com o cálculo da análise fatorial com 2 fatores, porém com 3 fatores (equivale a 87,6% da variância dos dados), o fator 3 possuía cargas fatoriais inexpressivas, portanto foram utilizados os fatores comuns 1 (c1) e 2 (c2) como novas variáveis que representam a 79,3% da variância dos dados.

Analogamente, foi calculada a análise fatorial para o ramo de benefícios (Tabela 2). Não foi possível o seu cálculo com menos de 8 fatores. Para 8 fatores apenas 6 (b1 a b6) são interpretáveis (93,6% da variância total dos dados), sendo os PVF do ramo de benefícios.

Tabela 2 : Cargas Fatoriais atinentes aos benefícios

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Fator 7	Fator 8
B1	0,968	0,163			0,122	0,104		
B2	0,259	0,312		0,160		0,896		
B3	0,973	0,150			0,107			
B4	0,959	0,171				0,145		
B5	0,795		0,309				0,499	
B6	0,971	0,158			0,124			
B7	0,246	0,915		0,113		0,226		
B8	0,179	0,936						
B9	0,350	0,568		-0,257	0,644			
B10	0,122		0,964	0,157				
B11	-0,213	0,210		0,711	-0,128			-0,131
B12	0,181	-0,233		-0,123	0,939			
B13			0,360	0,904	-0,103			0,142
B14	0,110		0,953	0,205	0,109			
Var. proporcional	34,1 %	16,8 %	15,1 %	11 %	10,1 %	6,7 %	1,9 %	0,4 %
Var. acumulada	34,1 %	50,9 %	65,9 %	76,9 %	87 %	93,6 %	95,5 %	95,9 %

Realizando a rotação ortogonal do eixo (varimax) não alterou os valores relativos às cargas fatoriais de ambos os ramos.

3.2. Fase de Agrupamento

Os resultados obtidos para as métricas de validação interna apontaram para 2 classes, conforme indicado pelos resultados da conectividade e da largura de Silhouette, com os melhores resultados obtidos para o SOM. Para a métrica de Dunn, o número de agrupamentos ideais foram 4, para o PAM. A decisão adotada foi a de agrupar as companhias aéreas em 4 classes, pois 2 classes generalizam demais as companhias aéreas.

3.3. Fase de Avaliação MCDA

O sistema de avaliação proposta é formado por descritores diretos quantitativos contínuos para os PVF, representados pelos *scores* fatoriais (combinação linear das variáveis originais com as respectivas cargas fatoriais) atinentes a cada fator comum.

O programa M MACBETH estabeleceu a função linear de valor (Figura 2 apresenta a função de valor para o fator 1 - benefícios), onde foi atribuído o nível bom para os maiores valores dos *scores* fatoriais atinentes a cada fator comum e o nível neutro para o pior valor. Esses níveis de referência devem ser utilizados para calcular o nível de impacto do desempenho das companhias aéreas em cada PVF, inclusive se for acrescentado novos períodos de avaliação, como 2009 ou anteriores a 2005. Alterando, posteriormente, os níveis de referência todo modelo deve ser recalculado (função de valor e taxas de substituição).

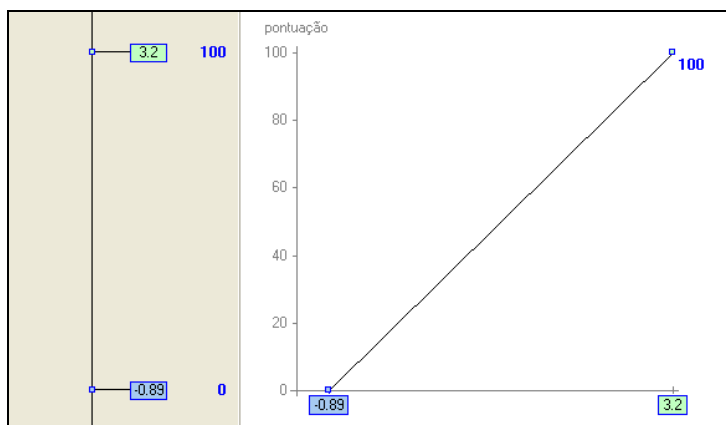


Figura 2: Função de valor para o PVF fator 1 - Benefícios

O decisor ordenou os PVF por intermédio da matriz de ordenação (Roberts, 1979 *apud* Ensslin *et al*, 2001) e realizou o julgamento semântico do grau de atratividade dos PVF considerando a amplitude entre os níveis bom e neutro. A Figura 3 apresenta a matriz de julgamento e as taxas de substituição calculadas pelo programa M MACBETH para o ramo de benefícios.

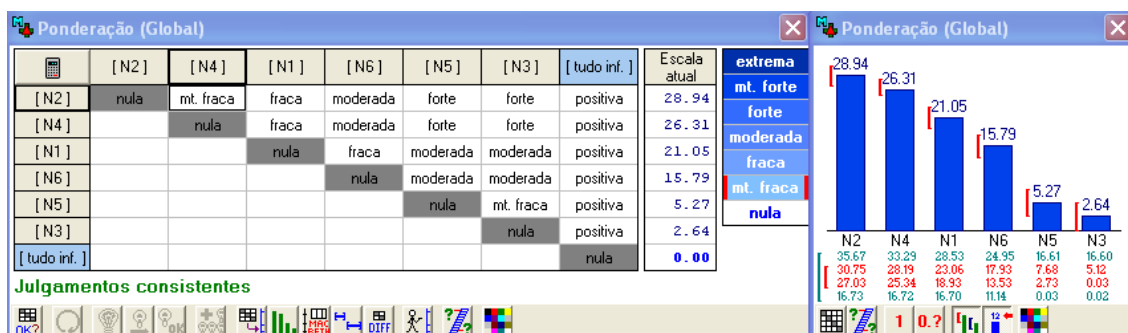


Figura 3: Matriz de Julgamento e histograma das taxas de substituição ramo benefícios

A redução de dimensão proporcionou ao analista a redução das comparações para a par para o cálculo das taxas de substituições, no ramo de benefícios ocorreu uma redução de 83,5% das comparações par a par (91 para 16), e 93,3% no ramo de custos (16 para 1). Desta forma otimiza a interação entre facilitador-decisor e garante a independência entre os PVF, possibilitando o correto emprego da metodologia MCDA.

Tabela 3 : Comparação Peso MACBETH e Análise Fatorial

MACBETH	b1	b2	b3	b4	b5	b6
Limite superior	23,06	30,75	5,12	28,19	7,68	17,93
Obtido	21,05	28,94	2,64	26,31	5,27	15,79
Limite inferior	18,93	27,03	0,03	25,34	2,73	13,53
Análise Fatorial	36,4	17,9	16,1	11,7	10,8	0,1
MACBETH	c1	c2				
Limite superior	99,99	49,99				
Obtido	66,67	33,33				
Limite inferior	50,01	0,02				
Análise Fatorial	73	27				

A Tabela 3 apresenta a diferença da abordagem da PO *hard* e da PO *soft*. Para o ramo dos custos o peso dado pela análise fatorial está condizente com o julgamento semântico do decisor, por estar dentro da escala cardinal dada pelo método MACBETH. Porém no ramo de benefícios, os graus de importância dos PVF considerando apenas questões

objetivas (variância dos dados - PO *hard*) são bastante diferentes quando agrega elementos objetivos e subjetivos (abordagem MCDA - PO *soft*). Como o modelo de análise de desempenho das companhias aéreas irá assessorar o decisor na implantação de políticas públicas com o intuito de melhoria do setor aéreo, é de vital importância que o modelo incorpore o sistema de valores do decisor, onde somente é possível com a adoção de abordagens *soft* da PO.

O modelo permite ao decisor analisar tanto global quanto local, a Tabela 4 demonstra esta possibilidade para a empresa Webjet. Pode-se observar que a empresa teve um crescimento nos benefícios (principalmente em b2 – cobertura financeira e lucratividade e b3 – aproveitamento ton km), porém seus custos (em ambos os fatores) cresceram numa grandeza maior, impactando na redução de sua eficiência, sem considerar o efeito de economia de escala.

Tabela 4 : Análise Local e Global da Empresa Webjet

Webjet	2005	2006	2007	2008
c1	0,49	0,91	1,54	4,99
c2	4,7	5,18	4,89	6,19
b1	15,89	16,87	6,85	8,31
b2	0	27,16	42,45	49,09
b3	9,03	12,15	75,39	74,14
b4	20,12	16,99	11,13	13,67
b5	70,69	33,77	63,27	76,25
b6	60,90	54,15	51,21	41,35
Custo	1,32	1,77	2,02	4,61
Benefícios	22,22	26,53	30,07	32,86
Eficiência	16,83	14,99	14,88	7,13

A Tabela 5 apresenta os dados atinentes às companhias aéreas divididas em 4 *clusters* (azul, verde, marrom e vermelho, em ordem decrescente com relação ao porte). Como no anuário relativo aos anos de 2005 e 2006 não possuía informações de carga (B5, B10, B13 e B14), a eficiência sofreu uma redução e gerou um mais *cluster* (verde) formado principalmente pelas companhias de grande porte no período *supra*. Apesar do crescimento do valor do salário mínimo e do Produto Interno Bruto (PIB) de 2005 a 2008, fatores que influenciam no ramo de benefícios, não foi suficiente para aumentar a eficiência das empresas em virtude do crescimento do preço do petróleo que impacta decisivamente nos custos delas, sendo o maior responsável pela queda da eficiência da maioria das empresas do estudo de casos. Nos anos de 2006 e 2007 ocorreu a crise aérea que resultou no crescimento dos custos, forçando a queda da eficiência das empresas aéreas.

Pode-se observar que a Varig entre 2005 e 2006 reduziu tanto no ramo dos custos quanto dos benefícios, bem como mudou para um *cluster* de menor porte, demonstrando que a empresa encontrava-se em dificuldades financeiras, o que levou a esta a reduzir sua frota de aviões e perda de *slots*. A Gol sofreu queda na eficiência em 2008 devido a reestruturação societária resultante da fusão com a Varig. Em 2008 a TAM recuperou seus valores atinentes aos benefícios anteriores à crise aérea, provavelmente pelo planejamento estratégico em se tornar membro da Star Alliance (entrou em maio de 2010), fato este que tende ao aprimoramento na eficiência. A Webjet, empresa apontada pelo modelo na fronteira da eficiência entre 2005 a 2007, apresentou incrementos significativos tanto nos benefícios quanto nos custos, marcando crescimento no *marketshare*, seguindo o conceito de *low cost low fare*.

A Figura 5 dispõe as companhias aéreas em um gráfico benefício *versus* custo gerado pelo programa M-Macbeth. Ressalta-se a grande similaridade com a análise de envoltória de dados (DEA), pois apresenta a fronteira de eficiência. Difere desta metodologia por incorporar a abordagem da *soft* PO (considera o sistema de valores do decisor para estabelecer a taxa de substituição dos PVF dos custos e benefícios), o valor da eficiência não está entre 0 e 1 (tanto para os benefícios como para os custos, a escala MACBETH atinente aos níveis BOM - 100 e NEUTRO - 0, a eficiência foi definida como quociente entre eles). A grande vantagem da definição dos níveis BOM e NEUTRO como âncoras para a escala é ser possível avaliar outros períodos de tempo pelo modelo, representando uma eficiência absoluta e não relativa às alternativas (DMU – *decision making unit*).

Tabela 5 : Ranking Eficiência Companhias Aéreas

Empresa		2008	2007	2006	2005
Gol	custo	33,20	39,75	34,08	24,16
	benefício	45,90	47,12	51,30	50,73
	eficiência	1,38	1,19	1,51	2,10
NHT	custo	11,40	10,83	14,03	
	benefício	41,50	44,31	24,47	32
	eficiência	3,64	4,09	1,74	
Ocean Air	custo	7,32	6,32	6,78	10,42
	benefício	31,87	32,08	29,65	29,82
	eficiência	4,35	5,08	4,37	2,86
Pantanal	custo	8,48	7,86	7,04	6,75
	benefício	37,44	37,08	36,22	35,22
	eficiência	4,42	4,72	5,14	5,22
Passaredo	custo	8,41	4,63	5,58	5,92
	benefício	39,24	38,36	38,35	35,62
	eficiência	4,67	8,29	6,87	6,02
Puma	custo	16,4	3,84	6,25	6,29
	benefício	30,74	34,77	32,49	35,97
	eficiência	1,87	9,05	5,20	5,72
Rico	custo	5,93	3,16	3,44	3,92
	benefício	39,21	40,89	39,31	37,84
	eficiência	6,61	12,94	11,43	9,65
Sete	custo	19,79	16,74	10,32	
	benefício	43,24	41,67	45,19	22
	eficiência	2,18	2,49	4,38	
Tam	custo	58,65	50,81	52,63	44,77
	benefício	49,82	44,05	50,57	46,15
	eficiência	0,85	0,87	0,96	1,03
Team	custo	17,63	18,55	18,73	21,95
	benefício	55,56	43,34	28,64	40,15
	eficiência	3,15	2,34	1,53	1,83
Total	custo	43,35	12,98	13,99	14,37
	benefício	40,41	36,64	38,03	40,12
	eficiência	0,93	2,82	2,72	2,79
Trip	custo	10,41	6,65	6,89	6,02
	benefício	37,91	38,18	35,79	37,99
	eficiência	3,64	5,74	5,19	6,31
VRG	custo	23,81	7,92		
	benefício	38,98	28,48		
	eficiência	1,64	3,60		
Varig	custo			14,86	28,03
	benefício			32,25	37,80
	eficiência			2,17	1,35
Webjet	custo	4,61	2,02	1,77	1,32
	benefício	32,06	30,07	26,53	22,22
	eficiência	6,95	14,89	14,99	16,83
Petróleo Brent (\$/bbl)		97,26	72,39	66,14	54,52
Salário Mínimo (R\$)		415,00	380,00	350,00	300,00
PIB per capita (R\$)		15847,00	14183,00	12769,00	11709,00

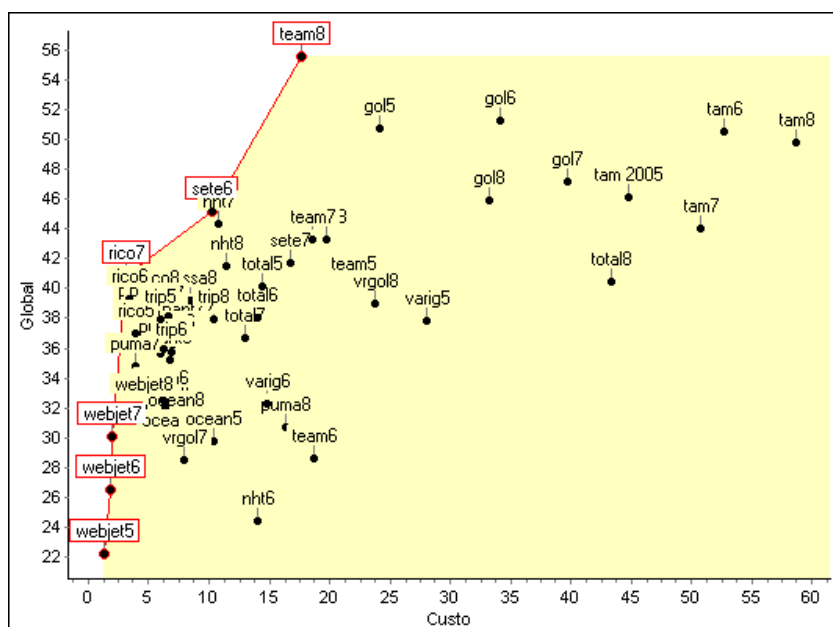


Figura 5: Gráfico Benefício/Custo e Fronteira da Eficiência

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo proposto, que utilizou a análise fatorial em conjunto com MACBETH no cálculo da eficiência das companhias aéreas, possibilitou uma avaliação mais completa delas em diferentes períodos, utilizando diversos indicadores econômicos constantes do anuário da ANAC.

Como o setor aéreo é estratégico para o país, é importante que o modelo que calcula a eficiência das companhias aéreas consiga integrar elementos objetivos e subjetivos, possibilitando a incorporação dos valores da ANAC.

A abordagem utilizada contribui para o aprimoramento da prestação de serviço de transporte aéreo, pois possibilita o *benchmarking*, onde a companhia menos eficiente em um determinado PVF (atinentes aos custos ou benefícios) poderá analisar as boas práticas da companhia avaliada como paradigma neste setor.

O uso da técnica multivariada da análise fatorial reduziu significativamente o número de PVF, diminuindo o esforço da comparação par a par por parte do decisor, e garantiu a interdependência mútua entre eles, possibilitando o correto emprego da agregação aditiva.

Para trabalhos futuros, sugere-se incorporar ao modelo dados atinentes a mais períodos de tempo de forma a analisar a influência de fatores externos (variáveis independentes) com relação à eficiência (variável dependente) por intermédio da regressão linear.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAC (2008) – *Anuário do Transporte Aéreo – Volume II Dados Econômicos - Relatório Técnico*. Agência Nacional de Aviação Civil, Brasília.
- ANAC (2006) – *Anuário do Transporte Aéreo – Volume II Dados Econômicos - Relatório Técnico*. Agência Nacional de Aviação Civil, Brasília.
- Bana e Costa, C. A., Chagas, M. P. (2004), A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments, *European Journal of Operational Research*, 153, 323–331.
- Bana e Costa, C. A., De Corte, J. M., Vansnick J.C. (2005) *On the Mathematical Foundation of*

- MACBETH*. In Figueira, J., Greco, S. and Ehrgott, M., *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, 409-443. Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London.
- Bana e Costa, C.A. *et al.* (2008). Prioritization of Bridges and Tunnels in Earthquake Risk Mitigation using Multicriteria Decision Analysis: Application to Lisbon. *Omega*, 36, 442– 450.
- Barbot, C., Costa, A., Sochirca, E. (2008) Airlines performance in the new market context: A comparative productivity and efficiency analysis. *Journal of Air Transport Management*, v. 14, 270–274.
- Barros, C. P., Peypoch, N. (2009) An evaluation of airlines' operational performance. *International Journal Production Economics*, v. 122, 525–533.
- Brock G.; Pihur, V.; Datta, S.; Datta, S. (2008) cValid: An R Package for Cluster Validation. *Journal of Statistical Software*, v.25, 4.
- Chang, Y., Yeh, C. (2001) Evaluating airline competitiveness using multiattribute decision making. *Omega*, v. 29, 405–415.
- Dantas, R. F., DeSouza, S. A. (2008), Modelo de risco e decisão de crédito baseado em estrutura de capital com informação assimétrica. *Pesquisa Operacional*, 28, 263-284.
- De Moraes, O. B., Abiko, A. K. (2006) Utilização da análise fatorial para a identificação de estruturas de interdependência de variáveis em estudos de avaliação pós-ocupação. In: *XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído*, Florianópolis.
- Ensslin, L., Montibeller, G. N. e Noronha, S. M. (2001) *Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. Ed. Insular, Florianópolis.
- Ensslin, L., Stolt, R. (2009). Avaliação de pilotos de very light jets utilizando-se a MCDA-C. *Revista Conexão SIPAER*, v. 1, n. 1, 85–103.
- Ensslin, L., *et al.* (2010). The multicriteria analysis for construction of benchmarkers to support the Clinical Engineering in the Healthcare Technology Management. *European Journal of Operation Research*, 200, 607– 615.
- Everitt B. S, Landau S. e Morven L. (2001), *Cluster Analysis*. London: Arnold. - Vol. 4 Ed.
- Lacerda, R. T. O., Ensslin, L., Ensslin, S. R. (2010). Um estudo de caso sobre gerenciamento de portfólio de projetos e apoio à decisão multicritério. *Revista Gestão Industrial*, v. 6, n. 1, 1–28.
- Mateus, R. et al. (2008), Multicriteria Decision Analysis (MCDA): Central Porto High-Speed Railway Station. *European Journal of Operational Research*, 187, 1–18.
- Mingers, J., Rosenhead, J. (2004). Problem Structuring Methods in Action. *European Journal of Operation Research*, 152, 530 - 554.
- R Development Team (2009), *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R. Foundation for Statistical Computing.
- Sharma, S. (1996) *Applied Multivariate Techniques*. Wiley, New York.
- Silveira, J. Q., Pereira, E. R., Correia, T. C. V. D., Soares de Mello, J. C. C. B., Clímaco, J. C. N., Meza, L. A. (2008) Avaliação da Eficiência das Companhias Aéreas Brasileiras com uma variação do modelo de Li e Reeves. *Engevista*, v. 10, n. 2, 145–155.
- SNEA – Sindicato Nacional das Empresas Aéreas. 2009. Disponível em <<http://www.snea.com.br/estudos/CET%20-%20SNEA%20-%20Trabalho%202009.pdf>>. Acesso em 2 Set. 2010.
- Theodoridis S. e Koutroumbas K. (2009). *Pattern Recognition*. London: Elsevier.
- Yüksel, İ., Dagdeviren, M. (2007) Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis – A case study for a textile firm. *Information Sciences*, v. 177, I. 16, 3364–3382.