



SPOLM 2008

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 05 e 06 de agosto de 2008.

SELECIONANDO AERONAVES NO MERCADO DE AVIAÇÃO EXECUTIVA ATRAVÉS DA COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS E DA TEORIA DA UTILIDADE

Angelo José Castro Alves Ferreira Filho

UNESP/FEG – Universidade Estadual Paulista

R.Ariberto Pereira da Cunha, 333 – CEP 12516-410 – Guaratinguetá, SP, Brasil

angelo.ferreira@hotmail.com

RESUMO

O crescimento no setor da aviação executiva torna a escolha de uma aeronave pelos clientes mais difícil, e por vezes duvidosa, devido o advento de novos modelos de aeronaves. Com isto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta que possa auxiliar na seleção de modelos de aeronaves para os operadores. Este trabalho visa também apresentar a comparação entre os resultados obtidos com a aplicação da Análise Envoltória de Dados ou DEA (*Data Envelopment Analysis*) e a da Teoria da Utilidade (*UT*) de forma a verificar se os resultados obtidos são consistentes apesar destes métodos serem diferentes quanto às suas filosofias de aplicação, onde a Teoria da Utilidade visa o auxílio à decisão, e o DEA busca a medida de eficiência. Entretanto ambos os métodos podem contribuir para esta seleção de aeronaves no mercado de aviação executiva.

Palavras-Chaves: Mercado de aviação executiva; Análise Envoltória de Dados; Teoria da Utilidade; Auxílio à tomada de decisão.

Abstract

The growing in the aviation executive market has become the decision harder in the selection of an executive aircraft by clients due the development of new modern models of aircrafts. This paper has the purpose to present a proposal of a model in order to support the decision of clients in the selection of a new executive aircraft. This papers also wants to present a comparison between the results which was obtained with DEA method and Utility Teory in order to verify the consistency of the results although those methods differs in its purposes once DEA is applied to measure the efficiency of a process and the Utility Theory is applied to support a decision making. Nevertheless both metohods can contribute for this selection of executive aircrafts.process.

Keywords: Aviation executive market; Data Envelopment Analysis; Utility Theory; Support Decision Making.

1. INTRODUÇÃO

A aviação executiva passa por um dos seus melhores momentos devido ao processo de globalização dos negócios, e do acelerado crescimento econômico mundial. No Brasil este crescimento também vem acontecendo, basta verificar os números disponibilizados pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), onde em 2006 haviam registrados 603 jatos no

país, em 2007 este número passou para 647, e em fevereiro deste ano, este número atingiu a quantidade de 651 aeronaves em operação.

Além deste aumento nos números de aeronaves em circulação no país, ocorre também o lançamento de novos modelos por parte dos fabricantes com as mais recentes tecnologias disponíveis no mercado, o que torna a decisão de quem quer adquirir uma aeronave deste segmento, um pouco mais difícil quanto não duvidosa. Entretanto esta escolha pode ser mais precisa quando feita pelos métodos adequados, e é esta a proposta deste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é feita uma fundamentação teórica quanto ao método DEA, e a Teoria da Utilidade. Para maiores detalhes recomenda-se a consulta a Charnes, Cooper e Rhodes (1978) no caso do método DEA, e Keeney e Raiffa (1976) para a Teoria da Utilidade.

2.1. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Um dos métodos a ser aplicado neste trabalho será o da Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis ou DEA) que foi desenvolvido originalmente por Charnes et al (1978), este método utiliza da programação linear para determinação de eficiências comparativas das chamadas Unidades de Tomadas de Decisão (Decision Making Units – DMUs). Algumas características inerentes ao Método DEA tais como a diferenciação dos demais métodos por não necessitar converter todos os *inputs* em unidades monetárias, os índices de eficiência baseados em fatos reais, é uma alternativa e um complemento aos métodos da análise central e análise custo benefício, e também por otimizar cada observação individual com o objetivo de determinar uma fronteira linear por partes que compreende o conjunto de DMUs Pareto-Eficiente

Segundo Lins e Meza (2000), a Análise Envoltória de Dados (DEA) é um método usado para medir a produtividade relativa de unidades de produção (DMUs) que avalia os produtos ou serviços alcançados (*outputs*) a partir dos insumos (*inputs*) disponíveis para produzi-los. Esta medida de eficiência é obtida através da divisão da soma ponderada dos insumos pela soma ponderada dos produtos, onde os pesos usados na ponderação são calculados através de um problema de programação linear, que atribui às DMUs pesos que maximizem sua eficiência (Soares de Mello e Gomes, 2003). Para Paredes (1999) trata-se também de um método que mede a eficiência relativa dentro de um conjunto de organizações que executam atividades semelhantes.

Ainda em Paredes (1999) as três principais fases no estudo da medida de eficiência usando a metodologia DEA são as seguintes:

- Seleção das DMUs para análise;
- Determinação dos insumos e produtos relevantes para avaliar a eficiência relativa das DMUs selecionadas;
- Aplicação dos modelos DEA e análise dos resultados.

Dessa maneira a Análise Envoltória de Dados identifica as fontes e quantifica a ineficiência relativa das unidades comparadas possibilitando uma comparação das unidades ineficientes entre si, e com as demais eficientes de acordo com Paredes (1999).

empírica, e que, portanto, podem servir de referência para as organizações ineficientes.

Assim, a Análise Envoltória de Dados também permite identificar possíveis causas da ineficiência produtiva de um plano de operação executado e ações corretivas para eliminar os focos dessa ineficiência.

2.1.1. Modelos Básicos DEA

Para Paredes (1999) existem duas classes de modelos DEA mais tradicionais. O

CCR, proposto por Charnes *et al.* (1978) é o modelo que aponta as diferenças de desempenho entre as DMUs de forma mais crítica, pois assume retornos de escala constantes. O outro modelo é o BCC, introduzido por Banker, Charnes e Cooper em 1984, que assume retornos de escalas variáveis. Portanto, esses modelos trabalham com diferentes tipos de tecnologias e, conseqüentemente, geram fronteiras de eficiência diferentes e medidas de eficiência diferentes.

O modelo DEA BCC foi escolhido para este estudo, onde na seção seguinte este modelo será detalhado assim como a justificativa de sua adoção para o estudo apresentado neste artigo.

2.1.2. O Modelo DEA BCC

Este modelo foi desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), e permite um retorno variável de escala ou VRS (*Variable Returns to Scale*), passando a considerar a possibilidade de rendimentos crescentes ou decrescentes de escala na fronteira eficiente.

Segundo Angulo Meza (1998), o modelo BCC (Banker *et al.*, 1984), também chamado de VRS (*Variable Returns To Scale*), considera situações de eficiência de produção com variação de escala e não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*.

Para Soares de Mello *et al.* (2002), o modelo BCC (Banker *et al.*, 1984), também chamado de VRS (*Variable Returns To Scale*), considera situações de eficiência de produção com variação de escala e não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*.

A formulação do modelo BCC usa para cada DMU₀ o problema de programação linear (PPL) apresentado em (1).

$$\begin{aligned} \text{Max } h_0 &= \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} + u_0 \\ \text{Sujeito a} \\ \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} &= 1 \\ \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + u_0 &\leq 0, \quad k = 1, 2, \dots, n \\ v_i, u_j &\geq 0 \quad \forall i, j. \end{aligned} \tag{1}$$

De acordo com Lins e Angulo Meza (2000), o problema está em determinar os valores dos pesos v_i e u_j de forma a maximizar a combinação linear dos *outputs* (soma ponderada) dividido pela combinação linear (soma ponderada) dos *inputs*.

Neste modelo, para a DMU₀ em análise, a eficiência é dada por h_0 ; x_{ik} representa o *input* i da DMU_k; y_{jk} representa o *output* j da DMU_k; v_i e u_j representam os pesos dados aos *inputs* i e aos *outputs* j , respectivamente; u_0 é um fator de escala (Soares de Mello *et al.*, 2005).

O modelo BCC (Banker *et al.*, 1984) é também denominado modelo de eficiência de escala, onde o principal motivo é o retorno variável de escala, com as quais o conjunto de possibilidades de produção é uma combinação convexa das unidades observadas (Sarica and Or., 2007).

A orientação para *input* indica que desejamos reduzir (minimizar) os *inputs*, mantendo os *outputs* inalterados. Por outro lado, a orientação para *outputs* significa que desejamos aumentar (maximizar) os *outputs* sem alterar os *inputs* (Lins *et al.*, 2000).

No modelo acima apresentado, a orientação adotada foi a *input*, no caso de uma orientação a *output* basta inverter o quociente fazendo-se agora uma relação entre a soma ponderada dos *inputs* dividida pela soma ponderada dos *outputs*, e procurar minimizar os *inputs* (Soares de Mello, 2002).

No modelo apresentado neste trabalho, a orientação a *input* é que será utilizada, uma vez que pretende-se reduzir (minimizar) os *inputs*, mantendo os *outputs* inalterados.

2.1.3. Modelos DEA com restrição aos pesos

De acordo com Soares de Mello *et al.* (2002), a estrutura matemática dos modelos DEA faz com que frequentemente uma DMU seja considerada eficiente por serem atribuídos pesos nulos a algumas variáveis. Com isto, muitas vezes, estas variáveis são desconsideradas na avaliação de eficiência de uma certa unidade, o que pode acarretar em uma avaliação incompleta.

Com isso, surgiram algumas técnicas para aumento de discriminação em DEA de acordo com Leta *et al.* (2005).

Existem as técnicas de restrições aos pesos e uma outra técnica que surgiu através de uma fusão com a disciplina de apoio múltiplo critério à decisão, denominada Análise de Eficiência do Valor (Leta *et al.*, 2005). O presente trabalho irá empregar a técnica de restrições aos pesos.

De acordo com Allen e Thanassoulis (1998), a flexibilidade completa dos pesos em DEA acarreta estimativas inapropriadas de eficiência. Nestes casos, as DMU podem atribuir pesos suficientemente baixos a certos *inputs* e *outputs* de forma a desconsiderá-los por completo.

Para Soares de Mello *et al.* (2002), a técnica de restrições aos pesos compara a importância de pares viáveis, desde que se faça uma prévia normalização para que os pesos retratem fielmente as opiniões dos especialistas.

Quando há julgamentos de valor sobre a importância relativa entre os *inputs*, e/ou *outputs* estes podem ser incorporados aos modelos DEA através de restrições aos pesos associados aos *inputs* e/ou aos *outputs* das unidades avaliadas (Leta *et al.*, 2005).

A completa revisão da evolução da incorporação de julgamentos de valor através de restrições aos pesos é apresentada por Allen *et al.* (1997).

O enfoque de restrição direta nos pesos foi desenvolvido por Dyson e Thanassoulis (1988) e generalizado por Roll, Cook e Golany (1991), onde são impostos limites numéricos aos multiplicadores com o objetivo de não superestimar ou ignorar *inputs* e *outputs* na análise (Leta *et al.*, 2005).

De acordo com Leta *et al.* (2005) seja o numerador da função original dado por:

$$I_0 = \sum v_i x_{i0} \quad (2)$$

Onde I_0 é o *input* virtual consumido pela DMU₀. Os limites impostos aos multiplicadores de *inputs*, v_i , e de *outputs*, u_j , são dados pelas relações apresentadas na Equação (3), onde II, SI, IO, SO representam os limites inferior e superior para *inputs* e *outputs*, respectivamente.

Assim as restrições são do tipo:

$$\begin{aligned} II_i &\leq v_i \leq SI_i \text{ para os } \textit{inputs} \\ IO_r &\leq u_r \leq SO_r \text{ para os } \textit{outputs} \end{aligned} \quad (3)$$

Observa-se que se impõem limites numéricos nos multiplicadores com o objetivo de que os *inputs* e os *outputs* não sejam superestimados ou ignorados na análise. Os limites utilizados nas restrições dependem da constante de normalização, que geralmente é igual a 1, pois este valor reflete a escala dos pesos em DEA. Dependendo do tipo de restrição pode-se chegar a um PPL inviável devendo-se, neste caso, relaxar os limites até que se atinja a viabilidade (Lins e Angulo Meza, 2000).

O enfoque por regiões de segurança, segundo Thompson *et al.* (1990), tende a evitar a inviabilidade, introduzindo restrições lineares separadas. Essas restrições são introduzidas para incorporar na análise a ordenação relativa ou valores relativos dos *inputs/outputs* (Angulo Meza e Lins, 2002). Na seção seguinte o enfoque por regiões de segurança será

abordado, uma vez que foi esta a técnica adotada para restrição aos pesos neste estudo.

2.1.4. Regiões de Segurança

Segundo Lins e Meza (2000) o conceito de região de segurança (Assurance Region) foi desenvolvido por Seiford e Thrall (1990) de maneira a se evitar o problema da inviabilidade.

O enfoque AR permite aumentar sucessivamente uma AR até atingir um refinamento do nível de eficiência satisfatório. As regiões de segurança são de dois tipos: região do tipo I – O método Cone Ratio, e a região do tipo II desenvolvida por Thompson.

Pode-se resumir a aplicação das regiões de segurança proposta por Thompson *et al.* (1986), segundo o modelo matemático apresentado pela Equação 4 abaixo, assumindo que em N DMU, $j=1, \dots, N$, a DMU j utiliza níveis de input x_{ik} , $i=1, \dots, m$ para produzir níveis de *outputs*, y_{jk} , $k=1, \dots, s$.

$$\begin{aligned} \text{Max } h_0 &= \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} + u_0 \\ \text{Sujeito a} \\ \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} &= 1 \\ \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + u_0 &, k=1, 2, \dots, N \quad (4) \\ u_j - h_i v_i &\leq 0 \quad i=1, \dots, m, \quad :r1 \\ k_i v_i - v_{i+1} &\leq 0 \quad j=1, \dots, s, \quad :r2 \\ \rho_j u_j - u_{j+1} &\leq 0, \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, s, \quad :r3 \\ -v_i &\leq \varepsilon \quad i=1, \dots, m, \\ -u_j &\leq \varepsilon \quad j=1, \dots, s. \end{aligned}$$

Segundo Allen e Thanassoulis (1998), se as constantes r_1 , r_2 e r_3 forem retiradas do modelo, a eficiência do modelo DEA da DMU₀ pode ser observada pela Equação (4), entretanto se as constantes r_1 , r_2 , e r_3 forem consideradas, o modelo DEA será o modelo com restrições aos níveis relativos dos pesos de *input* e/ou *output* apresentado por Thompson *et al.* (1990), onde as restrições do tipo r_2 e r_3 são referenciadas como “Regiões de Segurança do Tipo I”, e as restrições do tipo r_1 como “Regiões de Segurança do Tipo II”.

Quando restrições deste tipo são impostas sempre existirá ao menos uma DMU eficiente (Thompson *et al.*, 1990). Após a apresentação dos três tipos de restrições aos pesos, no presente trabalho será aplicado o modelo categorizado por Thompson *et al.* (1990) que é o modelo de Região de Segurança do Tipo I ou o método do *Cone Ratio* apresentado na Equação (5).

$$\rho_j u_j - u_{j+1} \leq 0, \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, s \quad (5)$$

Assim esta será a formulação utilizada para as restrições aos pesos entre os *outputs* para o modelo DEA BCC.

2.2. A TOMADA DE DECISÃO COM MÚLTIPLOS CRITÉRIOS

Os métodos de MCDM são aplicados em situações em que se necessita da análise de múltiplos (dois ou mais) critérios, ou múltiplos atributos (Doupous & Zopounidis, 2002).

Para Gomes (2002) os métodos de MCDM objetivam auxiliar analistas e decisores em situações nas quais há necessidade de identificação de prioridades sob a ótica de múltiplos

critérios. Os métodos de MCDM estão classificados em três escolas de abordagens segundo Salomon (2004):

- Escola Americana com métodos baseados na utilidade ou na síntese.
- Escola Francesa ou Escola Européia com métodos de subordinação e análise.

Duas fases são identificadas nos processos de apoio à decisão de acordo com a definição de Dias *et al.* (1996): a fase de estruturação e a fase de avaliação. Para Bana e Costa *et al.* (2000) a fase de estruturação representa 80% do total do problema, e equivale justamente na definição do objetivo do problema como sendo extremamente necessária, e logo após a definição dos critérios, e das alternativas envolvidas.

No MCDM geralmente adota-se o uso de estruturas hierárquicas também denominadas de arborescentes de acordo com Ensslin *et al.* (2001). A identificação do objetivo do problema se dá no primeiro nível hierárquico, no segundo nível estão os critérios utilizados e no terceiro nível hierárquico estão situadas as alternativas.

Para Salomon (2004) o aumento de níveis hierárquicos torna a estrutura de MCDM mais complexa. Por outro lado constitui uma melhoria da qualidade no processo de auxílio à decisão.

Uma vez estruturado o MCDM os critérios, e as alternativas estão definidos. A etapa seguinte é a atribuição dos pesos, ou dos valores de importância para os critérios, e de valores de desempenho para as alternativas. Após a atribuição de valores tem-se a síntese dos resultados sendo esta a última fase do processo de auxílio à decisão, fase esta também chamada de avaliação.

2.2.1. Teoria da Utilidade

Para esta seleção é proposta a aplicação de um método de auxílio à decisão, que é denominada Teoria da Utilidade múltiplo atributo (UT) ou MAUT (Multiple Attribute Utility Theory) desenvolvida por Keeny e Raiffa (1976).

A teoria da utilidade assume que um decisor deseja fazer uma escolha que corresponde ao maior nível de satisfação (ou utilidade). A satisfação é representada por uma função matemática denominada função de utilidade, onde possui a característica de ser uma função multiatributo, multicritério ou multidimensional (Shimizu, 2001).

3. APLICAÇÃO DO DEA E DA TEORIA DA UTILIDADE NA SELEÇÃO DE AERONAVES NO MERCADO DE AVIAÇÃO EXECUTIVA

Neste trabalho o objetivo é a seleção de aeronaves por parte dos clientes no mercado de aviação executivo. Com isso pretende-se auxiliar a decisão do cliente através dos resultados obtidos com a aplicação da Teoria da Utilidade e do método DEA. Uma segunda etapa é constituída de uma comparação entre os resultados obtidos com os dois métodos de forma a se verificar a consistência dos resultados.

3.1. APLICAÇÃO DA TEORIA DA UTILIDADE (UT)

A fase de estruturação começa com a definição das alternativas, e os critérios a serem utilizados na resolução do problema. No caso em questão as alternativas são os cinco modelos de aeronaves da categoria leve disponíveis no mercado de aviação executiva. Já os critérios são os seguintes: Alcance, Pesos, Capacidade da cabine e o custo da aeronave.

Tabela 1 -Estruturação do problema

OBJETIVO: SELECIONAR UM MODELO DE AERONAVE NO MERCADO DE AVIAÇÃO EXECUTIVA LEVE				
CRITÉRIOS				
Alternativa	ALCANCE (km)	PESOS TM	CAPACIDADE (PAX)	CUSTO(US\$)
A				
B		6		
C				
D				
E				

A partir deste ponto os critérios, e as alternativas serão avaliados segundo os pesos atribuídos aos mesmos sendo possível determinar o desempenho das alternativas. A Tabela 1 apresenta esta estruturação.

Tabela 2 – Desempenhos dos critérios

ATRIBUIÇÃO DIRETA				
Matriz de Decisão				
Alternativa	ALCANCE (km)	PESOS TM	CAPACIDADE (PAX)	CUSTO(US\$)
A	BOM	RAZOÁVEL	EXCELENTE	EXCELENTE
B	BOM	BOM	MÉDIO	BOM
C	MUITO BOM	RUIM	MUITO BOM	RAZOÁVEL
D	RAZOÁVEL	RAZOÁVEL	BOM	MUITO BOM
E	BOM	MÉDIO	MÉDIO	BOM

A Tabela 3 apresenta os valores de utilidade para os desempenhos apresentados na Tabela 2. Adotou-se uma função utilidade neutra ao risco, ou seja, linear (Shimizu, 2001). Também de forma direta se atribui o vetor [1,0; 0,6; 0,8; 0,5] para os pesos dos critérios Alcance, Pesos, Capacidade e Custo nesta ordem.

Tabela 3 – Valores de utilidade para os desempenhos dos critérios

Matriz de Utilidade				
Alternativa	ALCANCE (km) (1,0)	PESOS TM (0,6)	CAPACIDADE (PAX) (0,8)	CUSTO(US\$) (0,5)
A	0,5	0,5	1	1
B	0,5	1	0	0,43
C	1	0	0,667	0
D	0	0,5	0,5	0,57
E	0,5	0,667	0	0,43

Em seguida é feito o cálculo do valor para o desempenho global obtido para cada alternativa através do vetor de decisão resultante da utilidade normalizada. Neste caso prevalece o valor de 0,239 encontrado para a primeira representada pela aeronave A como indicado pela Tabela 4. Pelo vetor de decisão a alternativa A foi a que apresentou o maior valor de utilidade normalizada sendo portanto esta a escolha a ser feita mediante a aplicação da MAUT.

Tabela 4 – Valores de utilidade normalizadas para as alternativas

Alternativa	Utilidade média	Utilidade normalizada
A	4,24	0,239
B	3,48	0,196
C	3,59	0,202
D	3,17	0,179
E	3,28	0,184

Na aplicação da teoria da utilidade, a análise de sensibilidade reforça a escolha pela alternativa A. A Tabela 5 apresenta os valores desta análise de sensibilidade considerando o critério do alcance das aeronaves.

Tabela 5 – Valores da análise de sensibilidade

	peso alcance	peso + capac+custo
A	0,5	0,52
B	0,5	0,34
C	1	0,15
D	0	0,34
E	0,5	0,25

Assim, a Análise da Sensibilidade contribui para o indicativo do Auxílio à Decisão de selecionar a aeronave da alternativa A no que se refere ao critério do alcance.

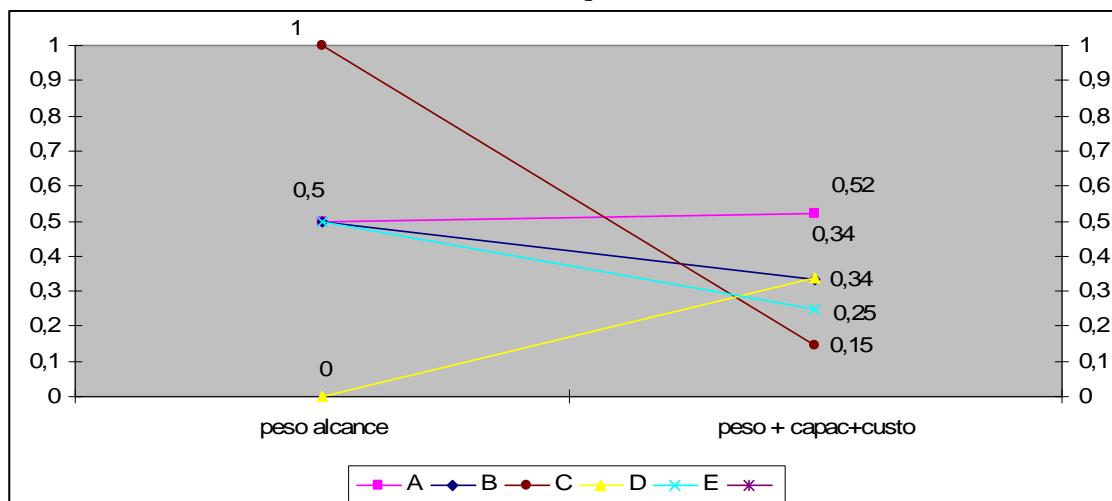


Figura 1 – Análise de sensibilidade

Esta opção se torna mais evidente conforme apresentado na Figura 1 que mostra o gráfico com variação do Desempenho Global dos modelos de aeronaves em função da importância dos pesos para as alternativas de Alcance, e do custo, capacidade e pesos. Observa-se que a alternativa representada pela aeronave A irá somente ser superada pela alternativa C, caso ao critério do Alcance for atribuída uma importância relativa menor do que 50%.

3.2. APLICAÇÃO DO DEA

O modelo DEA adotado foi o BCC devido à variação no processo de escolha destas aeronaves, ou seja, este processo não possui um porte semelhante para todas as entidades de tomada de decisão.

Os *outputs* são representados pelo alcance do avião, pela sua capacidade de cabine e peso. Como *input*, o custo da aeronave em si, e as unidades de tomadas de decisão serão os cinco modelos de aeronaves disponíveis no mercado de aviação executiva para a categoria de aeronaves leves, onde aquela aeronave que souber aproveitar melhor os seus dados de saída a um custo compatível com o preço do mercado, irão obter uma melhor eficiência, e com isso serão as aeronaves mais prováveis de serem selecionadas.

Tabela 6 – Dados da matriz DEA

CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE AERONAVES VLJ				
DMU	OUTPUTS			INPUT
	ALCANCE (km)	PESOS TM	CAPACIDADE (PAX)	CUSTO(US\$)
A	2148	4,5	7	2,8
B	2129	2,3	5	3
C	2389	5,7	6	3,5
D	2037	4,1	4	2,9
E	2370	2,6	5	3,3

Fonte: Revista AvionRevue

O modelo DEA BCC foi aplicado inicialmente sem as restrições aos pesos, os valores estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores DEA BCC padrão

Eficiências BCC sem restrição aos pesos	
DMU	Padrão
A	1,00
B	0,93
C	1,00
D	0,72
E	1,00

Para minimizar o efeito de se ter um número de DMU menor do que o dobro das variáveis de entradas e saídas será aplicada, a denominada restrição aos pesos, o que de certa forma tornará o modelo menos benevolente, e tornará a seleção mais próxima da realidade apresentada pelas variáveis escolhidas para a medida de eficiência.

Os valores das eficiências das DMU com a aplicação do modelo DEA BCC, com restrição aos pesos, estão na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores DEA BCC com restrição aos pesos

BCC com restrição aos pesos	
Eficiências	
DMU	Padrão
A	1,00
B	0,93
C	1,00
D	0,72
E	0,85

Comparando-se os resultados obtidos da aplicação do DEA sem as restrições aos pesos e os resultados do DEA com as restrições aos pesos, percebe-se que as DMU A e C obtiveram o melhor desempenho com eficiência de valor 1.0.

A relação entre as restrições impostas aos pesos pelo método da região de segurança desenvolvido por Thompson *et al.* (1990) está indicada por valores na Tabela 9.

Tabela 9 – Restrições aos pesos

RESTRICÇÕES	PESO OUTPUT 1	PESO OUTPUT 2	PESO OUTPUT 3
1	-1		1
2		-1	1
3	1	-1	

Pela relação acima o output 1, representado pelo critério do Alcance, tem um peso menor que o output 3 representado pelos critérios da capacidade. O output 2 representado pelo Peso da aeronave tem um também peso menor do que output 3 da capacidade. Por fim o output 1 do Alcance tem um peso maior do que o output 2 do Peso.

Para este trabalho foi utilizado o software SIAD (Angulo Meza *et al.*, 2003).

4. CONCLUSÕES

Mediante a aplicação do DEA e da Teoria da Utilidade foi possível selecionar a melhor aeronave para um determinado cliente no mercado de aviação executiva, com isto a seleção pelos clientes por estar se tornando um tanto complexa devido aos diversos modelos disponíveis no mercado, passa a ser feita de forma precisa considerando todas as variáveis pertinentes a esta decisão.

Com os resultados obtidos pelo DEA e pela MAUT foi possível verificar que os modelos selecionados foram praticamente os modelos A e C. Apesar de que pelo método DEA sem as restrições aos pesos, o modelo E também apresentou um resultado satisfatório. Entretanto ao se aplicar as restrições aos pesos, o modelo passou a ser menos benevolente, e assim as aeronaves A e C foram as que obtiveram o melhor resultado. Com relação a aplicação da Teoria da utilidade buscou-se através da análise de sensibilidade verificar os efeitos das variações nos valores de desempenho global das alternativas. Com isso a alternativa A apresentou um melhor valor de desempenho global quando o critério do alcance tiver uma importância maior do que 50%. Já a alternativa C apresentou um melhor valor de desempenho global quando o critério do alcance tiver uma importância menor do que 50%.

Com os resultados obtidos pelos dois métodos foi possível também verificar a

coerência dos resultados obtidos, e garantir desta forma a melhor decisão a ser tomada pelo cliente no momento que for selecionar o seu modelo de aeronave executiva que no caso são os modelos A e C considerando como critérios importantes na decisão o alcance e a capacidade da cabine.

Vale a pena ressaltar que as conclusões aqui futuramente a serem relatadas refletem condições de um mercado em particular podendo algum outro fator não ter sido considerado, ficando aberto para futuros trabalhos a serem desenvolvidos, e que abordem a questão da tomada de decisão também em outros setores ou até mesmo neste mesmo processo de decisão na seleção de aeronaves leves na aviação executiva.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALLEN, R., THANASSOULIS, E. Simulating Weight Restrictions in Data Envelopment Analysis by Means of Unobserved DMU. *Management Science*, Vol.44, No4, Apr 1998.
- [2] ANGULO MEZA, L., LINS, M.P.E. Review of Methods for Increasing Discrimination in Data Envelopment Analysis. *Annals of Operations Research*. New Jersey/USA: , v.116, p.225 - 242, 2002.
- [3] ANGULO MEZA, L., BIONDI NETO, L., SOARES DE MELLO, J.C.C. B., GOMES, E.G., COELHO, P.H.G. SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão: Uma Implementação Computacional de Modelos de Análise Envoltória de Dados. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção*, v. 3, n. 20. Niterói: Universidade Federal Fluminense - Mestrado em Engenharia de Produção, 2003.
- [4] BANKER, R.D., CHARNES, A., COOPER, W.W., "Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis". *Management Science*, 30 (9), 1078-1092., 1984.
- [5] BANA E COSTA, C.A., FERREIRA, J.A.A, CORREA, E.C., Metodologia multicritério de apoio à avaliação de propostas em concursos público, em Antunes, C.H. e Tavares, L.V. (Org.), *Casos de Aplicação da Investigação Operacional*, McGraw Hill, Amadora , 336-363, 2000.
- [6] BARR, R.S., DURCHHOLZ, M.L., SEIFORD, L. Peeling the DEA onion: Layering and rankordering DMU using tiered DEA, Technical Report, Southern Methodist University, 2000.
- [7] CHARNES, A., COOPER, W.W., RHODES, E. "Measuring the efficiency of decision -making units". *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444, 1978.
- [8] DIAS, L. C., J. P. COSTA, J. N. CLÍMACO, "O Processamento Paralelo e o Apoio Multicritério à Decisão: Algumas Experiências Computacionais", *Investigação Operacional*, Vol. 16, pp. 181- 199, 1996.
- [9] DOUMPOS, M., ZOPOUNIDIS, C. *Multicriteria Decision Aid Classification Methods*, Kluwer, Dordrecht (Nederland), 2002.
- [10] ENSSLIN, L., MONTIBELLER NETO, G, NORONHA, S. M., Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas, Insular, Florianópolis, 2001.
- [11] GOMES, L. F. A. M., GOMES, C. F. S, ALMEIDA, A. T. Tomada de Decisão Gerencial: enfoque multicritério, Atlas, São Paulo, 2002.
- [12] KEENEY, P., RAIFFA, H. *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*. New York: Wiley, 1976.

- [13] LETA, F.R., SOARES DE MELLO, J.C.C.B., GOMES, E.G., ANGULO MEZA, L. Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos. *Investigação Operacional*, 25, 229-242, 2005.
- [14] LINS, M.P.E., ANGULO MEZA, L. *Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de apoio à decisão*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.
- [15] LINS, M.P.E., NETO, L.B., CHIGANER, L., FUKUDA, F.H., ROBERTO, V.D., ANTONIO, E.R., OLIVEIRA, F.S. Determinação da eficiência relativa de unidades de tomadas de decisão: Uma abordagem neural. *Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Viçosa, 2000.
- [16] OR, I., SARICA, K. Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis. *Energy*, 32, 1484–1499, 2007.
- [17] PAREDES, E.B., *Análise de componentes principais e procedimento iterativo de Normam e Stoker: Técnicas Alternativas para identificação dos insumos e produtos relevantes no emprego da análise envoltória de dados para avaliação da eficiência técnica de instituições de ensino*, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 1999.
- [18] SAATY, T. L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [19] SALOMON, V. A. P., *Desempenho da Modelagem do Auxílio à Decisão por Múltiplos Critérios na Análise do Planejamento e Controle da Produção*, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- [20] SEIFORD, L.M., THRALL, R.M. Recent developments in DEA : The mathematical programming approach to frontier analysis, *Journal of Econometrics*, Vol.46, pp 7-38, 1990.
- [21] SOARES DE MELLO, J.C.C.B., GOMES, E.G., MANGABEIRA, J.A.C. Análise de envoltória de dados para avaliação de eficiência e caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. *RER*, Rio de Janeiro, vol. 43, nº 04, p. 607-631, 2005.
- [22] SOARES DE MELLO, M.H.C., *Avaliação de desempenho nas engenharias: estudo de caso UFF*. Tese de Mestrado, Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2002.
- [23] SOARES DE MELLO, J.C.C.B., GOMES, E.G., LINS, M.P.E., MELLO, M.H.C.S. Emprego de métodos ordinais multicritério na análise do campeonato mundial de Fórmula 1. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção- Universidade Federal Fluminense*, 2002.
- [24] SHIMIZU, T. *Decisão nas organizações: introdução aos problemas de decisão gerencial encontrados nas organizações e nos sistemas de apoio à decisão*, Atlas, São Paulo, 2001.
- [25] THOMPSON, R.G., LANGEMEIER, L.N., LEE. The Role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to kansas farming. *Journal of Econometrics*, vol.46, pp.93-108, 1990.