

SELEÇÃO DE ROTA AÉREA COM O USO DO APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

João Carlos C. B. Soares de Mello¹
Eliane Gonçalves Gomes²
Luiz Flávio Autran Monteiro Gomes³
Luiz Biondi Neto⁴
Fabiana Rodrigues Leta⁵

Resumo: Este artigo apresenta uma análise das opções na ligação aérea Rio-São Paulo. As opções existentes no mercado são descritas e avaliadas. A abordagem de avaliação escolhida é o Apoio Multicritério à Decisão. No caso investigado os critérios de decisão são preço, rota, frequência de vôos, serviço de bordo, modelo de aeronave e características do programa de milhagem, avaliados segundo três óticas: a do turista de final de semana e de meio de semana e a do executivo. Os critérios são agregados em um único critério síntese, com o uso de uma soma ponderada. Os critérios subjetivos e os pesos da soma ponderada são quantificados com o auxílio do método MACBETH e uma análise de robustez é feita com o método PROBE.

Palavras-chave: Ponte aérea; Apoio Multicritério à Decisão, MACBETH.

Abstract: This paper presents multicriteria approach for the problem of choosing an air transport alternative between the cities of Rio de Janeiro and São Paulo. Both executive and tourist points of view are considered. Decision criteria taken into account are price, route, frequency of flights, in board services, aircraft model and mileage program. Criteria are aggregated into a single, broad criterion by means of a weighting scheme. Subjective criteria are quantified and weights are assigned by the MACBETH approach. The PROBE method is used in a post optimization analysis.

Key words: Air Shuttle, Multicriteria Decision Aid, MACBETH.

¹ Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense

² EMBRAPA – Monitoramento por Satélite

³ Faculdades IBMEC

⁴ Engenharia Elétrica e de Telecomunicações – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

⁵ Engenharia Mecânica – Universidade Federal Fluminense

ENGEVISTA, v. 5, n. 10, p. 71-84, dez. 2003

1. INTRODUÇÃO

Até 1991, a ligação aérea Rio-São Paulo era feita por um *pool* de quatro empresas (Varig, Vasp, Transbrasil e Cruzeiro), que usavam apenas aviões *Lockeed Electra II* da Varig. Nesse ano, com a introdução dos Boeing 737-300 cada companhia passou a operar sua própria frota, embora ainda em regime de *pool*. Essa situação, além de impedir que os usuários fizessem suas escolhas, era um fator de danosa concentração do transporte aéreo (Espírito Santo Jr., 2002).

Ao longo da década de 90, as chamadas companhias regionais entraram nesse mercado. Por uma iniciativa da Varig, o *pool* foi desfeito após uma guerra de tarifas pela conquista de passageiros entre as companhias regionais e o *pool* (Oliveira et al., 2002). Surgiram, assim, novas opções de ligação, que passaram a usar os quatro aeroportos disponíveis nas duas cidades.

A concentração de cerca de 2/3 do PIB nacional nos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo proporciona um grande tráfego de empresários e executivos entre as duas cidades capitais. São eles os maiores usuários dessa ligação aérea. Não se pode, entretanto, desprezar outros dois grupos de passageiros: o turístico, principalmente na direção São Paulo-Rio, e aquele formado pelos habituais usuários do transporte rodoviário, que são atraídos para o transporte aéreo pelas baixas tarifas recentemente praticadas por algumas companhias (Oliveira e Müller, 2001).

Este artigo analisa as diversas alternativas na ligação aérea Rio-São Paulo, sob três óticas: a ótica do típico passageiro executivo, que viaja durante a semana, e a ótica do passageiro que viaja a turismo, tanto para o passageiro de final de semana quanto para o que viaja no meio da semana. Sob qualquer dessas óticas, são considerados múltiplos critérios de avaliação das opções de ligação. Não será abordada a ótica do habitual usuário do transporte rodoviário

que migra para o transporte aéreo devido às baixas tarifas. Para esse passageiro, o problema de escolha é, praticamente, monocritério, já que a escolha é pela companhia aérea que pratica os menores preços.

Enquanto alguns dos critérios de avaliação são objetivos e facilmente quantificáveis (exemplo, o critério preço da passagem aérea), outros são altamente subjetivos (exemplo, qualidade do serviço de bordo). Embora existam métodos qualitativos que permitam analisar critérios subjetivos, para o uso de métodos de ponderação é necessário o emprego de metodologia que transforme as opiniões qualitativas dos decisores em uma escala cardinal de valores. Para esse fim é usada a abordagem MACBETH (Bana e Costa & Vansnick, 1995, 1997; Bana e Costa et al., 1999).

Para tratar a avaliação com vários critérios, é necessário usar um dos vários métodos do Apoio Multicritério à Decisão. Foi escolhido o método da soma ponderada (Barba-Romero e Pomerol, 1997), que agrega todos os critérios em um critério único de síntese. Os pesos foram determinados com o auxílio do já citado método MACBETH. O uso do método da soma ponderada permite ordenar todas as alternativas, o que facilita a tomada de decisão.

2. APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

O Apoio Multicritério à Decisão (AMD) pode ser definido como o conjunto de técnicas que têm a finalidade de investigar um número de alternativas, sob múltiplos critérios e objetivos em conflito. É possível gerar soluções compromisso e uma hierarquização das alternativas, de acordo com o grau de atração destas para o tomador de decisão. Visam apoiar o processo decisório, por meio de indicação de ações ou cursos de ações a serem seguidos (Gomes et al., 2002).

Segundo Bouyssou (1993), uma abordagem multicritério apresenta as seguintes vantagens:

- Construção de uma base para o diálogo entre analistas e decisores, que fazem uso de diversos pontos de vista comuns;
- Facilidade em incorporar incertezas aos dados sobre cada ponto de vista;
- Interpretar cada alternativa como um compromisso entre objetivos em conflito. Esse argumento destaca o fato de que raramente será encontrada uma situação em que exista uma alternativa superior às restantes sobre todos os pontos de vista.

Em um problema multicritério é necessário, em primeiro lugar, estabelecer claramente qual o objetivo da análise. Classicamente podem ser definidas três problemáticas multicritério: ordenação, escolha e alocação em classes (Soares de Mello et al, 2003). Nesta análise pretende-se fazer três ordenações: ordenação das alternativas de ligação aérea Rio-São Paulo sob a ótica do executivo e sob a ótica do turista. Neste caso, é considerado tanto o turista que viaja em dia útil, quanto o que viaja no final de semana. Devem-se ainda definir as alternativas (que neste caso são as diferentes combinações de companhias aéreas e aeroportos usados), o método a ser usado (método MACBETH) e quem atua como decisores (aquele que emite juízos de valor sobre as alternativas e os critérios), que neste artigo foram simulados pelos autores.

2.1. Método MACBETH

2.1.1. Aspectos gerais

O método MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) auxilia na resolução de duas questões essenciais (Soares de Mello et al., 2002) [16]:

- Para cada critério, determina uma função que a cada alternativa faça corresponder um número real. Essa função deve atribuir números maiores a alternativas com maior

atratividade, de tal forma que a maiores diferenças de atratividade correspondam maiores diferenças no número real correspondente. É assim construída uma escala cardinal de valores. Se o valor nulo for atribuído a uma alternativa (real ou fictícia) com atratividade zero, obtém-se uma escala cardinal *ratio*, ou de razões, que tem as propriedades matemáticas de uma função utilidade monocritério

Em alguns casos existe uma forma natural atribuir valores sendo custo de uma mercadoria o exemplo clássico. Em outros casos a avaliação é qualitativa, sendo necessário transformá-la em quantitativa. Mesmo no caso em que há uma forma natural de atribuir valores, pode ser desejável o uso do MACBETH: é o caso em que a atratividade de uma alternativa não guarda relação de proporcionalidade com o valor atribuído pela escala usada.

- Tendo os valores de cada alternativa relativos a cada critério, é necessário agregá-los em um valor de síntese através de uma soma ponderada. O problema consiste na atribuição de coeficientes de ponderação aos vários critérios, respeitando as opiniões dos decisores. Note-se que, embora os coeficientes de ponderação sejam, tecnicamente, coeficientes de escala, a expressão "pesos" é normalmente usada para designá-los.

Para o problema de construção da escala cardinal é usado o módulo *scores* do programa MACBETH. No método MACBETH, quando ao decisor forem solicitados julgamentos de valor sobre as ações potenciais (alternativas) em uma

determinada situação, ele o fará em termos da atratividade que sente por essa alternativa. Essa tarefa é definida (Bana e Costa & Vansnick, 1995) como a construção de uma função critério v_j , tal que:

- para $a, b \in A$, $v(a) > v(b)$ se, e somente se, para o avaliador a é mais atrativa (localmente) que b ($a P b$);
- qualquer diferença positiva $v(a) > v(b)$ representa numericamente a *diferença de valor* entre a e b , com $a P b$ sempre em termos de um ponto de vista fundamental j (PVF_j), ou critério j .

Assim, para $a, b, c, d \in A$ com a mais atrativa que b e c mais atrativa que d , verifica-se que $v(a) - v(b) > v(c) - v(d)$ se, e somente se, "a diferença de atratividade entre a e b é maior que a diferença de atratividade entre c e d ".

A questão fundamental nessa abordagem é (Bana e Costa e Vansnick, 1995): "Dados os impactos $i_j(a)$ e $i_j(b)$ de duas alternativas a e b de A segundo um ponto de vista fundamental PVF_j (critério), sendo a julgada mais atrativa que b , a diferença de atratividade entre a e b é "indiferente", "muito fraca", "fraca", "moderada", "forte", "muito forte" ou "extrema".

É introduzida uma escala semântica formada por categorias de diferença de atratividade, com o objetivo de facilitar a interação entre o decisor e o analista. O decisor deverá escolher uma, e somente uma, entre as categorias apresentadas.

Se por um lado, o método MACBETH introduz um intervalo da reta real associado a cada uma das categorias, por outro lado, esse intervalo não é fixado *a priori*, sendo determinado simultaneamente com a escala numérica de valor v que está sendo procurada.

Assim, esse método liga-se ao problema teórico de representação numérica de semi-ordens múltiplas por limiares constantes de Doignon (1987), representado por m relações binárias ($P^{(1)}$, $P^{(2)}$, ..., $P^{(k)}$, ..., $P^{(m)}$), onde $P^{(k)}$ representa

a relação de preferência tanto mais forte quanto maior é k , dado um critério j .

As preferências são representadas por uma função v e por funções limiares s_k : $a P^{(k)} b$, $s_k < v(a) - v(b) < s_{k+1}$, ou seja, é possível representar numericamente categorias semânticas de diferença de atratividade através de um intervalo de números reais.

Não há restrição ao número de categorias semânticas a ser utilizado. No entanto, uma pessoa é capaz de avaliar, simultaneamente, um número limitado de classes quando da expressão de um juízo absoluto de valor, sendo algo em torno de sete fatores.

No MACBETH, a expressão dos julgamentos do decisor é feita por uma escala semântica formada por seis categorias, de dimensão não necessariamente igual:

- C_1 diferença de atratividade muito fraca $\rightarrow C_1 =]s_1, s_2]$ e $s_1 = 0$
- C_2 diferença de atratividade fraca $\rightarrow C_2 =]s_2, s_3]$
- C_3 diferença de atratividade moderada $\rightarrow C_3 =]s_3, s_4]$
- C_4 diferença de atratividade forte $\rightarrow C_4 =]s_4, s_5]$
- C_5 diferença de atratividade muito forte $\rightarrow C_5 =]s_5, s_6]$
- C_6 diferença de atratividade extrema $\rightarrow C_6 =]s_6, +[$

As categorias são delimitadas por limiares constantes s_1, \dots, s_6 , determinados simultaneamente à obtenção da escala de valor v .

2.1.2. Matriz de juízos de valor

Para facilitar a expressão dos julgamentos absolutos de diferença de atratividade entre os pares de alternativas é útil a construção de matrizes de juízos de valor. A Figura 1 mostra a matriz triangular superior construída para cada critério, na qual se supõe que $A = \{a_n, a_{n-1}, \dots, a_1\}$ é o conjunto de n alternativas a avaliar, e que essas estão ordenadas por ordem decrescente de atratividade $a_n P a_{n-1} P \dots P a_1$, não existindo indiferença em nenhum caso para este critério.

| | | | | | | |
|-----------|-------|-------------|-----|-----|-------------|-------------|
| | a_n | a_{n-1} | ... | ... | a_2 | a_1 |
| a_n | | $X_{n,n-1}$ | ... | ... | $X_{n,2}$ | $X_{n,1}$ |
| a_{n-1} | | | ... | ... | $X_{n-1,2}$ | $X_{n-1,1}$ |
| ... | | | ... | ... | ... | ... |
| ... | | | ... | ... | ... | ... |
| a_2 | | | | | ... | ... |
| a_1 | | | | | | $X_{2,1}$ |

Figura 1: Matriz de juízos de valor para avaliação local das ações.

Cada elemento $x_{i,j}$ da matriz toma o valor k ($k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) se o decisor julgar que a diferença de atratividade do par (a_i, a_j) pertence à categoria C_k . Esses números não têm significado matemático; servem apenas como indicadores semânticos de qual categoria de diferença de atratividade foi atribuída ao par respectivo.

2.1.3. Inconsistência nos julgamentos de valor

Nos casos em que as matrizes de valor são grandes, a avaliação de todas as alternativas de maneira coerente torna-se difícil. Nesses casos, é comum o aparecimento de inconsistências nos julgamentos de valor do decisor.

Há dois tipos de inconsistências: semântica (quando a atribuição de categoria de diferença de atratividade a um par de alternativas não é logicamente aceitável) e cardinal (se a representação dos julgamentos não é possível através de uma escala cardinal dentro dos números reais). O estudo detalhado das inconsistências está fora do escopo deste artigo, e pode ser encontrado em Corrêa (1996) e Soares de Mello et al. (2002) [16]. É suficiente referir que o método possui testes de inconsistência cujo uso em casos reais faz com que os decisores refaçam seus juízos de valor quando envolvidos em alguma situação de inconsistência.

2.1.4. Formulação matemática

Matematicamente, o método MACBETH é constituído por quatro PPLs seqüenciais que realizam a análise de consistência cardinal, a construção da ENGEVISTA, v. 5, n. 10, p. 71-84, dez. 2003

escala de valor cardinal e revelam fontes de inconsistência. Os primeiro, terceiro e quarto problemas destinam-se a verificar a existência de inconsistências e a sugerir sua solução. O 2º PPL é responsável pela construção da escala de valor cardinal que representa o conjunto de julgamentos do decisor. A formulação desses PPLs pode ser encontrada em Bana e Costa e Vansnick (1995) e Corrêa (1996).

2.1.5. Pesos para os critérios

Para o segundo problema apontado (atribuição de coeficientes de ponderação e construção da função que conduz ao critério síntese) utiliza-se o módulo *weights* do programa MACBETH. Ao contrário do método AHP que compara a importância dos critérios diretamente, o MACBETH faz a comparação de forma indireta, ao considerar alternativas fictícias que representam cada um dos critérios. A alternativa fictícia a_i representa o critério j quando apresenta a maior atratividade em j e a pior em todos os outros critérios. É ainda introduzida uma outra alternativa, correspondente a um critério artificial, com a pior avaliação em todos os critérios, com a finalidade de evitar que um critério real tenha peso nulo. A eventual atribuição de peso zero a um critério relevante violaria o axioma da exaustividade (Roy e Bouyssou, 1993). Através da comparação da atratividade das alternativas são atribuídos os pesos aos critérios (e a faixa de variação). Os PPLs são semelhantes aos anteriores, excetuando-se a restrição de normalização.

3. ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

A estruturação de um problema multicritério consiste em definir alternativas e critérios. Neste artigo, as alternativas são as opções que um passageiro tem para realizar a ligação aérea entre Rio de Janeiro e São Paulo. Essas opções não são somente as empresas nesta rota, mas deve-se considerar também os aeroportos de origem e destino. Por exemplo, a Tam operando na rota Santos Dumont e Congonhas (SDU-CGH) é uma alternativa diferente da mesma empresa na rota Galeão e Guarulhos (GIG-GRU). Já Varig, Rio Sul e Nordeste na rota SDU-CGH foram consideradas como uma única alternativa, já que o acordo de cooperação entre elas não permite ao passageiro decidir por uma das três (Espírito Santo Jr., 2002).

Por outro lado, a mesma empresa na mesma rota em horários diferentes pode praticar preços diferentes. Em uma análise preliminar feita anteriormente (Soares de Mello et al., 2002) [15], a diversidade de preços nos diferentes horários obrigou a considerar um preço

médio, para não inviabilizar a análise. No entanto, na época em que foram colhidos os dados para este artigo, a guerra tarifária era bem menor, e não havia quase nenhuma diferença de preços entre os vários horários. A exceção eram os vôos da GOL, que apresentavam dois tipos de preço, conforme o horário fosse de alta ou baixa procura. Assim, a GOL numa mesma rota, com preços diferentes, foi considerada como duas alternativas diferentes.

Nas três óticas exploradas neste problema os critérios de avaliação são os mesmos, embora com relevâncias diferentes. Os critérios usados são preço da passagem, número de vôos semanais, equipamento, característica do programa de milhagem, serviço de bordo e rota (aerportos de origem e destino). As informações sobre número de vôos (sentido Rio-São Paulo), equipamentos e preços (sentido único) referem-se à semana de 4 a 10 de novembro de 2002, capturados em 27 de outubro de 2002. As Tabelas 1 e 2 apresentam as alternativas e algumas de suas características, diferenciadas pelo dia da semana em que ocorre o vôo.

Tabela 1: Alternativas e algumas características para vôos em dias úteis.

| <i>Alternativa</i> | <i>N.º vôos/dia</i> | <i>Equipamento</i> | <i>Preço médio (R\$)</i> |
|---------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| Varig – GIG-GRU | 8 | B767 | 221,25 |
| Varig – SDU-CGH | 36 | B737-300 | 287,00 |
| TAM – GIG-CGH | 4 | A320 | 211,25 |
| TAM – GIG-GRU | 4 | Foker100 | 211,25 |
| TAM – SDU-CGH | 26 | A319 | 294,20 |
| VASP – GIG-GRU | 3 | B737-300 | 237,00 |
| VASP – SDU-CGH | 16 | B737-300 | 237,00 |
| GOL – GIG-CGH | 4 | B737-700 | 159,00 |
| GOL – SDU-CGH | 6 | B737-700 | 199,00 |
| GOL – SDU-CGH | 6 | B737-700 | 219,00 |
| Fly – GIG-GRU | 1 | B727-200 | 117,25 |
| Ocean Air – SDU-GRU | 2 | EMB120 Brasília (Hélice) | 228,00 |

Tabela 2: Alternativas e algumas características para vôos em finais de semana.

| Alternativa | N.º vôos/dia | Equipamento | Preço médio (R\$) |
|-------------------|--------------|-------------|-------------------|
| Varig – GIG-GRU | 8 | B767 | 211,25 |
| Varig – SDU-CGH | 25 | B737-300 | 287,00 |
| TAM – GIG-CGH | 3 | A320 | 211,25 |
| TAM – GIG-GRU | 3 | Foker 100 | 211,25 |
| TAM – SDU-CGH | 15 | A319 | 294,20 |
| VASP – GIG-GRU | 3 | B737-300 | 237,00 |
| VASP – SDU-CGH | 7 | B737-300 | 237,00 |
| GOL – GIG-CGH | 3 | B737-700 | 159,00 |
| GOL – GIG-CGH | 2 | B737-700 | 187,00 |
| GOL – SDU-CGH | 2 | B737-700 | 199,00 |
| GOL – SDU-CGH | 5 | B737-700 | 219,00 |
| Fly – GIG-GRU | 1 | B727-200 | 117,25 |
| Ocean Air–SDU-GRU | 0 | --- | --- |

4. AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS E CRITÉRIOS

4.1. Avaliação de alternativas

No critério preço, as alternativas foram avaliadas pelo preço da passagem de ida, normalizadas de forma que a mais barata tenha valor 1 e a mais cara valor zero.

O critério serviço de bordo foi avaliado qualitativamente; algumas alternativas por experiência dos autores, outras por relatos de terceiros. Destaca-se que a alternativa Varig GIG-GRU teve a pior avaliação em virtude de, na maioria dos casos, este ser um trecho de um vôo intercontinental, no qual o serviço de bordo é somente efetuado na etapa maior.

Igualmente qualitativa foi a avaliação do critério equipamento. Nessa avaliação foram considerados equivalentes os diversos modelos do Boeing 737 (737 na Figura 1). Quando a

alternativa utiliza diversos tipos de aeronaves, foi considerada a aeronave que mais vezes realiza o vôo. Foram consideradas como melhores alternativas, os Airbus A319 e A320 (320), devido à sua modernidade e conforto. As diferenças entre esses dois aviões são apenas no comprimento e capacidade, pelo que foram considerados equivalentes para os passageiros. Embora o Boeing 727-200 (727) seja o avião mais antigo em uso na rota e o EMB120 Brasília (EMB) seja um turboélice, foi considerada como pior aeronave o Foker100 (F10), devido à sucessão de acidentes que este equipamento tem sofrido, o que lhe causa uma grande aversão por parte dos passageiros. Finalmente, o Boeing 767 (767) não teve boa avaliação por operar já configurado para vôo intercontinental. A Figura 2 ilustra a tela do módulo MACBETH scores resultante dessa avaliação.

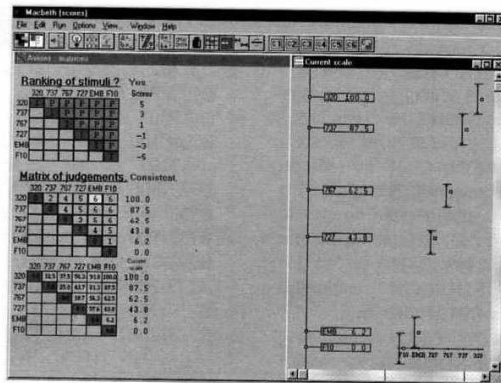


Figura 2: Avaliação das alternativas no critério Equipamento.

As três óticas adotadas conduzem a avaliações diferentes para os critérios rota, programa de milhagem e número de vôos semanais. Para o primeiro deles, as diferentes óticas produzem a mesma ordenação, embora com quantificações diferentes. Vôos com saída de SDU são uma exigência para quase a totalidade dos executivos e são apenas uma preferência para muitos dos turistas. Já os vôos que chegam a GRU são quase sempre uma má opção para ambos os tipos de passageiros.

A característica do programa de milhagem pode ser medida diretamente pela quantidade de vôos necessários para conseguir um vôo gratuito. Esse indicador, após normalização, é uma boa medida para passageiros que voam com grande frequência, como é o caso de executivos. Já sob a ótica do turista é necessário considerar as parcerias do programa de milhagem, visto que o número de vôos realizados por esse tipo de passageiro é menor comparativamente e, por si só, pode não ser suficiente para garantir as milhas necessárias à obtenção

de trecho gratuitos. Nessa última ótica foi usado o módulo *scores* do MACBETH.

Situação semelhante à anterior ocorre para o critério número de vôos semanais (Frequência). Esse critério, que mede a disponibilidade e flexibilidade de horários, pode ser avaliado sob a ótica do executivo pela simples normalização do total de vôos da alternativa. Para o turista é necessário considerar que a utilidade marginal decresce à medida que aumenta o número de vôos. Por esse motivo, recorreu-se novamente ao MACBETH *scores*.

As Tabelas 3, 4 e 5 resumem o valor de cada alternativa nos critérios mencionados e ainda no critério serviço de bordo, para os três tipos de passageiros considerados.

Tabela 3: Matriz de decisão sob a ótica do executivo.

| Alternativa | Frequência | Equipamento | Preço | Milhagem | Rota | Serv. Bordo |
|---------------------|------------|-------------|-------|----------|------|-------------|
| Varig – GIG-GRU | 0,22 | 0,63 | 0,53 | 0,45 | 0,00 | 0,00 |
| Varig – SDU-CGH | 1,00 | 0,88 | 0,41 | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| TAM – GIG-CGH | 0,11 | 1,00 | 0,56 | 0,90 | 0,75 | 0,60 |
| TAM – GIG-GRU | 0,11 | 0,00 | 0,56 | 0,90 | 0,00 | 0,60 |
| TAM – SDU-CGH | 0,72 | 1,00 | 0,40 | 0,90 | 1,00 | 0,98 |
| VASP – GIG-GRU | 0,08 | 0,88 | 0,49 | 1,00 | 0,00 | 0,53 |
| VASP – SDU-CGH | 0,44 | 0,88 | 0,49 | 1,00 | 1,00 | 0,82 |
| GOL – GIG-CGH | 0,11 | 0,88 | 0,74 | 0,00 | 0,75 | 0,22 |
| GOL – SDU-CGH | 0,33 | 0,88 | 0,56 | 0,00 | 1,00 | 0,22 |
| Fly – GIG-GRU | 0,03 | 0,44 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,47 |
| Ocean Air – SDU-GRU | 0,06 | 0,06 | 0,51 | 0,00 | 0,25 | 0,42 |

Tabela 4: Matriz de decisão sob a ótica do turista que viaja durante a semana.

| Alternativa | Frequência | Equipamento | Preço | Milhagem | Rota | Serv. Bordo |
|---------------------|------------|-------------|-------|----------|------|-------------|
| Varig – GIG-GRU | 0,92 | 0,63 | 0,53 | 0,64 | 0,00 | 0,00 |
| Varig – SDU-CGH | 1,00 | 0,88 | 0,41 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| TAM – GIG-CGH | 0,78 | 1,00 | 0,56 | 0,73 | 0,80 | 0,60 |
| TAM – GIG-GRU | 0,78 | 0,00 | 0,56 | 0,73 | 0,00 | 0,60 |
| TAM – SDU-CGH | 0,98 | 1,00 | 0,40 | 0,73 | 1,00 | 0,98 |
| VASP – GIG-GRU | 0,67 | 0,88 | 0,49 | 0,18 | 0,00 | 0,53 |
| VASP – SDU-CGH | 0,96 | 0,88 | 0,49 | 0,18 | 1,00 | 0,82 |
| GOL – GIG-CGH | 0,78 | 0,88 | 0,74 | 0,00 | 0,80 | 0,22 |
| GOL – SDU-CGH | 0,94 | 0,88 | 0,56 | 0,00 | 1,00 | 0,22 |
| Fly – GIG-GRU | 0,51 | 0,44 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,47 |
| Ocean Air – SDU-GRU | 0,65 | 0,06 | 0,51 | 0,00 | 0,20 | 0,42 |

Tabela 5: Matriz de decisão sob a ótica do turista que viaja no final de semana.

| Alternativas | Frequência | Equipamento | Preço | Milhagem | Rota | Serv. Bordo |
|-----------------|------------|-------------|-------|----------|------|-------------|
| Varig – GIG-GRU | 0,83 | 0,63 | 0,56 | 0,64 | 0,00 | 0,00 |
| Varig – SDU-CGH | 1,00 | 0,88 | 0,41 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Tam – GIG-CGH | 0,67 | 1,00 | 0,56 | 0,73 | 0,80 | 0,60 |
| Tam – GIG-GRU | 0,67 | 0,00 | 0,56 | 0,73 | 0,00 | 0,60 |
| Tam – SDU-CGH | 0,97 | 1,00 | 0,40 | 0,73 | 1,00 | 0,98 |
| Vasp – GIG-GRU | 0,67 | 0,88 | 0,49 | 0,18 | 0,00 | 0,53 |
| Vasp – SDU-CGH | 0,78 | 0,88 | 0,49 | 0,18 | 1,00 | 0,82 |
| Gol – GIG-CGH | 0,67 | 0,88 | 0,74 | 0,00 | 0,80 | 0,22 |
| Gol – GIG-GRU | 0,58 | 0,88 | 0,63 | 0,00 | 0,80 | 0,22 |
| Gol – SDU-CGH | 0,58 | 0,88 | 0,59 | 0,00 | 1,00 | 0,22 |
| Gol – SDU-GRU | 0,72 | 0,88 | 0,54 | 0,00 | 1,00 | 0,22 |
| Fly – GIG-GRU | 0,44 | 0,44 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,47 |

4.2. Avaliação intercritério

É nessa etapa que se encontram as maiores diferenças de julgamento de valor entre os decisores simulados. O executivo necessita, essencialmente, de rapidez no deslocamento, ou seja, deseja grande frequência de vôos e aeroportos

ENGEVISTA, v. 5, n. 10, p. 71-84, dez. 2003

centrais. Já o turista tem no custo o fator principal de decisão.

A Tabela 6 apresenta os pesos para os critérios nas três óticas. Nessa tabela, VIR refere-se ao critério artificial para evitar pesos nulos. A Figura 3 apresenta a tela do módulo *weights* do

MACBETH com os resultados da avaliação sob a ótica do executivo.

Tabela 6: Pesos para os critérios sob as óticas analisadas.

| Critérios | Pesos (%) | | |
|------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| | Ótica do executivo | Ótica do turista de meio de semana | Ótica do turista de fim de semana |
| Número de vôos | 27,27 | 18,30 | 11,60 |
| Rota | 23,38 | 20,74 | 27,55 |
| Milhagem | 18,18 | 14,64 | 11,63 |
| Serviço de bordo | 14,29 | 10,98 | 4,35 |
| Preço | 10,39 | 29,25 | 43,43 |
| Equipamento | 6,49 | 6,10 | 1,45 |

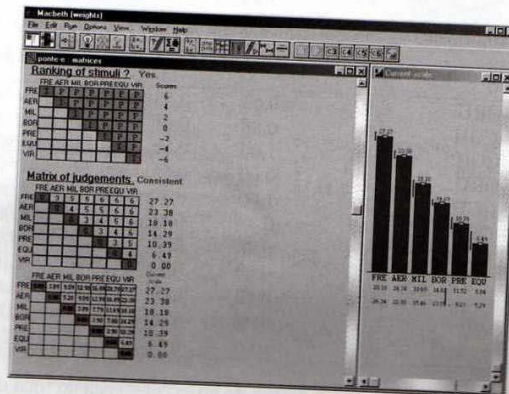


Figura 3: Avaliação dos critérios sob a ótica do executivo.

5. RESULTADOS

Para agregar todas as informações em um critério único de síntese, usa-se o método da soma ponderada, com os pesos

da Tabela 6. As Tabelas 7, 8 e 9 mostram a avaliação final e ordenação das alternativas segundo as óticas do executivo e dos turistas, respectivamente.

Tabela 7: Nota final das alternativas, segundo a ótica do executivo.

| Alternativas | Nota final |
|---------------------|------------|
| Varig - SDU-CGH | 91,66 |
| Tam - SDU-CGH | 84,35 |
| Vasp - SDU-CGH | 76,44 |
| Tam - GIG-CGH | 57,81 |
| Gol - SDU-CGH | 47,29 |
| Vasp - GIG-GRU | 38,92 |
| Gol - GIG-CGH | 37,13 |
| Tam - GIG-GRU | 33,78 |
| Varig - GIG-GRU | 23,90 |
| Fly - GIG-SDU | 20,68 |
| Ocean Air - SDU-GRU | 19,16 |

Tabela 8: Avaliação final das alternativas, segundo a ótica do turista que viaja durante a semana.

| <i>Alternativas</i> | <i>Nota final</i> |
|---------------------|-------------------|
| Varig – SDU-CGH | 74,14 |
| TAM – SDU-CGH | 70,39 |
| TAM – GIG-CGH | 67,71 |
| VASP – SDU-CGH | 67,13 |
| GOL – GIG-CGH | 65,35 |
| GOL – SDU-CGH | 65,05 |
| Fly – GIG-GRU | 52,01 |
| TAM – GIG-GRU | 44,22 |
| Varig – GIG-GRU | 42,04 |
| Ocean Air – SDU-GRU | 37,31 |
| VASP – GIG-GRU | 34,96 |

Tabela 9: Avaliação final das alternativas, segundo a ótica do turista que viaja no final de semana.

| <i>Alternativas</i> | <i>Nota final</i> |
|---------------------|-------------------|
| Varig – SDU-CGH | 79,11 |
| Tam – SDU-CGH | 75,83 |
| Tam – GIG-CGH | 68,95 |
| Vasp – SDU-CGH | 68,18 |
| Gol – SDU-CGH | 63,50 |
| Gol – GIG-CGH | 59,29 |
| Fly – GIG-GRU | 46,06 |
| Varig – GIG-GRU | 40,50 |
| Tam – GIG-GRU | 40,48 |
| Vasp – GIG-GRU | 37,32 |

A análise da Tabela 7 revela uma clara divisão em dois grupos: alternativas aceitáveis e alternativas inaceitáveis. O primeiro grupo é formado por Tam na rota SDU-CGH, Varig/Rio Sul na rota SDU-CGH e Vasp na rota SDU-CGH. A alternativa Tam na rota GIG-CGH pode ser considerada como uma alternativa intermédia. As demais alternativas podem ser classificadas como não adequadas às necessidades de um executivo com o perfil aqui considerado.

Para o decisor com o perfil de um turista, surpreendentemente uma das alternativas mais caras foi a preferida. A surpresa é pelo fato de o critério preço ser o que mais é levado em conta pelo turista. No entanto, ao contrário de meses anteriores, as diferenças de preço não são tão significativas, uma vez que as dificuldades das empresas as levaram a reduzir a guerra tarifária. Dessa forma, as diferenças nos outros critérios

ENGEVISTA, v. 5, n. 10, p. 71-84, dez. 2003

acabaram sobrepondo a simples análise de preço.

A modelagem aqui efetuada pode ter prejudicado a GOL. Apesar de praticar preços baixos, o critério número de vôos acabou penalizando em excesso esta companhia, ao se considerarem vôos com preços diferentes como sendo alternativas diferentes. Se isso não fosse feito, haveria que decidir qual dos preços considerar, ou até considerar uma média ponderada. Qualquer que fosse a decisão, outras distorções seriam introduzidas.

A ordenação encontrada para ambos os perfis não significa que apenas as alternativas com melhor classificação sejam válidas no mercado. Essas alternativas são as melhores para os perfis de consumidores considerados. Este trabalho simulou atitude (preferências) de dois decisores hipotéticos. Não foi considerado, por

exemplo, o local de residência do passageiro, que pode influenciar na rota a escolher. Além disso, podem existir outras razões para a decisão por uma determinada alternativa não explicitadas neste artigo (como o fato de uma companhia aceitar ou não reservas prévias), bem como pequenas mudanças de opinião.

6. ANÁLISE DE ROBUSTEZ

Como toda a análise multicritério, os resultados aqui apresentados são altamente dependentes das opiniões dos decisores. Como os decisores neste problema não eram reais, mas imaginados pelos autores, essa dependência torna-se bastante crítica.

O método PROBE (*Preference Robustness Evaluation*) (Cised, 1999) permite fazer uma análise do grau de influência da opinião dos decisores em relação ao valor dos pesos. Para tal, além do conceito de dominância clássico, o método introduz o conceito de dominância aditiva. Diz-se que a alternativa *a* domina aditivamente a alternativa *b* se a utilidade aditiva de *a* for maior que a de *b*, para quaisquer valores dos pesos que respeitem a ordenação dos critérios. O método ainda identifica as alternativas que dominam outras, considerando-se a definição clássica de dominância.

O método PROBE pode ser implementado através do programa de mesmo nome, com boa interface gráfica. Um exemplo de utilização desse programa é encontrado em Maia et al. (2002).

O método pode também ser implementado através da resolução de vários PPLs. Para cada par de alternativas maximiza-se a utilidade aditiva da pior colocada e minimiza-se a da melhor colocada. Para ambos os PPLs as restrições são que o critério com maior peso deve continuar tendo o maior peso, mantendo-se toda a relação de ordem entre os pesos dos demais critérios. As variáveis de decisão são exatamente os pesos. Se o valor mínimo da alternativa

melhor colocada for superior ao máximo da pior colocada, diz-se que primeira domina aditivamente a segunda. Ressalta-se que é necessário fazer uma análise para cada par de alternativas, sendo portanto um processo bastante moroso.

Foi aplicado o método PROBE ao problema da escolha da opção da ponte aérea, para a ótica do executivo, por ser a de maior importância econômica. A análise mostrou em primeiro lugar que, com exceção de VASP (GIG-GRU), TAM (GIG-GRU) e Ocean Air (SDU-GRU), as demais são todas ótimas de Pareto. Por outro lado, a opção melhor colocada (Varig na rota SDU-CGH) domina aditivamente todas as demais, o que mostra uma grande robustez do resultado obtido. A opção considerada a segunda melhor (TAM na rota SDU-CGH) domina aditivamente as outras alternativas, com exceção de VASP na rota SDU-CGH e, obviamente, VARIG na mesma rota. Há assim uma grande robustez dos resultados no tocante à ordenação das duas primeiras alternativas.

7. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste artigo, em especial na ótica do executivo, estão de acordo com o senso comum observado pelo mercado. No entanto, o comportamento do executivo foi simulado pela média, e casos particulares de passageiros podem levar à opção por qualquer das alternativas não dominadas.

O fato de que a ordenação não invalida a possibilidade de escolha por alternativas com notas inferiores, é verificado pela sobrevivência de todas as alternativas no mercado. Mesmo as alternativas dominadas podem ser selecionadas em situações não previstas nesta análise, tais como uso de critérios não avaliados (crédito junto à companhia, simpatia pela marca, sistema de reservas etc.) ou perfis de decisores diferentes dos considerados (vãos de conexão, passageiros com moradia na região de

Lumbica e Baixada Fluminense, entre outros).

A contribuição principal do artigo é a forma de análise do problema. Os resultados estão, evidentemente, desatualizados, dado a grande concorrência existente na rota estudada, o que provoca constantes mudanças nos dados. No entanto, devido às características de procurar esclarecer o processo de decisão, incorporar julgamentos de valor e entender o processo como aprendizagem (Gomes et al., 2002), o Apoio Multicritério à Decisão fornece uma forma de análise interessante que, mesmo sem atualização de dados, permite estudar características das rotas em análise.

Um dos resultados mais significativos foi mostrar que, mesmo com decisores estereotipados, sem refletir a enorme variedade de opiniões, quase todas as alternativas se mostraram ótimas de Pareto, no perfil de decisor mais importante do ponto de vista econômico. Assim, justifica-se a sobrevivência de um número tão grande de diferentes opções, todas com seu espaço próprio no mercado.

8. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro, processo 301095/2003-5.

9. REFERÊNCIAS

- [1] Bana e Costa, C.A. & Vansnick, J.C. (1995). A theoretical framework for Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH). In: Clímaco, J. (ed.) Multicriteria Analysis. Springer Verlag, Berlin.
- [2] Bana e Costa, C.A. & Vansnick, J.C. (1997). Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model. *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, 6 (2), 107-114.
- [3] Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C., Corrêa, E.C. & Ensslin, L. (1999). Decision Support Systems in action: Integrated Application in a ENGEVISTA, v. 5, n. 10, p. 71-84, dez. 2003
- Multicriteria Decision Aid Process. *European Journal of Operational Research*, 113 (2), 585-594.
- [4] Barba-Romero, S. & Pomerol, J.C. (1997). Decisiones Multicriterio: Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica, Colección de Economía. Universidad de Alcalá, Spain.
- [5] Bouyssou, B. (1990). Building criteria: a prerequisite for MCDA. In: Bana e Costa, C.A. (ed.) Readings in Multiple Criteria Decision Aid. Springer Verlag, Berlin.
- [6] Cised (1999). PROBE Software Package. CISED Consultores. Lisboa.
- [7] Corrêa, E.C. (1996). Construção de um Modelo Multicritério de Apoio ao Processo Decisório. Tese de Mestrado em Engenharia de Produção, EPS/UFS.
- [8] Doignon, J.P. (1984). Threshold representations of multiple semioorders. *SIAM Journal of Algebraic Discrete Methods*, 8, 77-84.
- [9] Espírito Santo Jr., R.A. (2002). Concentração no transporte aéreo e os possíveis impactos sobre os consumidores, a sociedade e a economia. Transporte em Transformação VI, 155-171.
- [10] Gomes, L.F.A.M., Gomes, C.F.S. & Almeida, A.T. (2002). Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério. Editora Atlas, Rio de Janeiro, Brasil.
- [11] Maia, C.C., Rangel, M.V.N., Soares de Mello, J.C.C.B. & Gomes, E.G. (2002). Apoio multicritério à decisão da escolha da localização de uma estação Rádio Base. Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP 2002, Curitiba.
- [12] Oliveira, A., Turolla, F. & Busto, A. (2002). Modelagem dos Impactos da Política de Flexibilização na Competição das Companhias Aéreas Brasileiras. Anais do XXX Congresso ANPEC, Nova Friburgo, RJ.
- [13] Oliveira, A.V.M. & Muller, C. (2001). A acessibilidade de novo

segmento e os efeitos da guerra de tarifas no bem estar do consumidor. Transporte em Transformação IV, 149-163.

- [14] Roy, B. & Bouyssou, D. (1993). Aide multicritère à la décision: méthodes et cas. Economica, Paris.
- [15] Soares de Mello, J.C.C.B., Gomes, E.G., Biondi, L.N. & Gomes, L.F.A.M. (2002). Avaliação multicritério das opções de ligação aérea Rio-São Paulo. Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2, 449-457.
- [16] Soares de Mello, J.C.C.B., Gomes, E.G. & Lins, M.P.E. (2002). Análise Multicritério da presença da Universidade Federal Fluminense com o uso do Método Macbeth. Revista Produção, 11 (2), 53-67.
- [17] Soares de Mello, J.C.C.B., Gomes, E.G., Leta, F.R., Pessolani, R.B.V. (2003). Conceitos básicos do apoio multicritério à decisão e sua aplicação ao projeto Aerodesign. ENGEVISTA. 5 (8), 22-35.