

JOSÉ CARLOS RAMOS FERNÁNDEZ

**PRIORIZAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA MELHORIA DO
TRANSPORTE AÉREO DE PASSAGEIROS NO EIXO RIO-SP**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon

Guaratinguetá

2013

Fernández, José Carlos Ramos
F365p Priorização de alternativas para melhoria do transporte aéreo de passageiros no eixo Rio-SP / José Carlos Ramos Fernández– Guaratinguetá : [s.n], 2013.
43 f : il.
Bibliografia: f. 42-43

Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.
Orientador: Prof. Dr Valério Antonio Pamplona Salomon
Coorientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins

1. Aeronáutica comercial 2. Sistemas de suporte de decisão I. Título

CDU 656.7

PRIORIZAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA MELHORIA DO TRANSPORTE
AÉREO DE PASSAGEIROS NO EIXO RIO-SP

Jose Carlos Ramos Fernández


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA



Prof. Dr. Francisco Alexandre de Oliveira
Coordenador


Banca examinadora:



Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Fernando Augusto Silva Marins
UNESP-FEG



Prof. Marco Aurélio Reis dos Santos
UNESP-FEG

Junho de 2013

DADOS CURRICULARES

JOSÉ CARLOS RAMOS FERNANDEZ

NASCIMENTO	13.04.1989 – JAÉN / ESPAÑA
FILIAÇÃO	José Ramos Muñoz María del Mar Fernández Rodríguez
2007/2012	Curso de Graduação Engenharia Aeronáutica - Universidade de Sevilla.
2013	Curso de Graduação em Engenharia de Produção- Universidade Estadual Paulista (UNESP).

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho de modo especial, aos meus pais, minha irmã,
minhas duas avós e meus tios Pepe e Enri,
que sempre me ajudaram e incentivaram
durante minha carreira.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus por ter me dado força para o período da carreira e ter me dado calma nos momentos difíceis.

A minha família, meus pais Pepe e Mar, minha irmã Mar, minhas duas avós Kity e María e meus tios Pepe e Enri, que sempre me apoiaram e me ajudaram para realizar este intercâmbio.

A meu orientador, Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon, que sempre me ajudou e foi paciente comigo e com a fronteira da língua.

Ao Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins por colaborar nas avaliações de minha pesquisa.

A meus amigos Carlos Eduardo Valdés e Carol Zacharczuk que me ajudaram nos detalhes da redação do trabalho.

A meus amigos de Guaratinguetá que fizeram meu intercâmbio mais agradável.

FERNANDÉZ, José Carlos Ramos. **Priorização de alternativas para melhoria do transporte aéreo de passageiros no eixo Rio-SP** 2013. 43 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

Este trabalho estuda uma aplicação de um Método Multicritério (AHP do inglês Analytic Hierarchy Process) para analisar os problemas do congestionamento do tráfego aéreo nos aeroportos brasileiros, focando-se na ponte São Paulo-Rio de Janeiro. Primeiramente com um estudo em grupo mediante comparação em pares e posteriormente mediante um estudo individual com ratings. O objetivo deste trabalho será obter a alternativa mais adequada para os interesses do tráfego aéreo de Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Multicritério. AHP. Transporte Aéreo.

FERNANDÉZ, José Carlos Ramos. **Priorización de alternativas para mejorar el transporte aéreo de pasajeros en el eje Rio-SP** 2013. 43 f. Trabajo de Graduación (Graduación en Producción Mecánica) - Facultad de Ingeniería del Campus de Guaratinguetá, Universidad Estatal Paulista, Guaratinguetá, 2013. "

RESUMEN

Este trabajo estudia una aplicación de un Método Multicriterio (AHP del inglés Analytic Hierarchy Process) para analizar los problemas de congestión de tráfico aéreo en los aeropuertos brasileños, enfocándose en el puente Sao Paulo-Río de Janeiro. Primeramente con un estudio en grupo mediante comparación en pares y posteriormente mediante un estudio individual con ratings. El objetivo de este trabajo será obtener la alternativa más adecuada para los intereses del tráfico aéreo de Brasil.

PALABRAS-CLAVE: Multicriterio. AHP. Transporte Aéreo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Logos Eventos Esportivos. Fonte: Fifa, JMJ e Rio 2016.....	11
Figura 2. Passageiros transportados no Brasil 2000-2012. Fonte: Infraero.....	12
Figura 3. Estrutura do AHP (Adaptado de Saaty 1990).....	18
Figura 4. Escala de preferências (Adaptado de Saaty 1990).....	19
Figura 5. Autovetores calculados pelo AHP. (Adaptado de Saaty 1990).....	24
Figura 6. Aumento de infraestrutura de um aeroporto. Fonte: Aeropuertos de Vigo.....	27
Figura 7. Aeroporto regional. Fonte: Infraero.....	29
Figura 8. Consumo de petróleo do trem, carro e avião. Fonte: Journal of Transport Literature.....	29
Figura 9: Árvore hierárquica.....	33
Figura 10. Exemplo de julgamento online Fonte: Expert Choice.....	34
Figura 11. Exemplo diagrama de resultados. Fonte: Expert Choice.....	34
Figura 12. Resultados globais de todos os participantes. Fonte: Expert Choice.....	34
Figura 13. Resultados dos benefícios de todos os participantes. Fonte: Expert Choice.....	35
Figura 14. Resultados das oportunidades dos participantes. Fonte: Expert Choice.....	36
Figura 15. Resultados dos custos de todos os participantes. Fonte: Expert Choice.....	36
Figura 16. Resultados dos riscos de todos os participantes. Fonte: Expert Choice.....	37
Figura 17. Escala de ratings. Fonte: Expert.....	38
Figura 18. Exemplo de avaliação de ratings. Fonte: Expert Choice.....	38
Figura 19. Resultados globais do estudo mediante ratings. Fonte: Expert Choice.....	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	10
1.2	OBJETIVOS.....	12
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2	ANALYTIC HIERARCHY PROCESS.....	14
2.1	MÉTODOS MULTICRITÉRIO.....	14
2.2	O MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS.....	16
2.3	ESTRUTURA DO MÉTODO.....	17
2.4	DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO.....	19
3	APLICAÇÃO NA PRÁTICA.....	25
3.1	MODELO BOCR.....	25
3.2	ALTERNATIVAS.....	26
3.2.1	AUMENTO DE INFRAESTRUTURAS NOS AEROPORTOS PRINCIPAIS.....	26
3.2.2	GERENCIAMENTO DO CONGESTIONAMENTO.....	27
3.2.3	INVESTIMENTO EM AEROPORTOS SECUNDÁRIOS.....	28
3.2.4	TREM DE ALTA VELOCIDADE (TAV).....	29
3.2.5	CONSTRUÇÃO DE NOVOS AEROPORTOS.....	30
3.3	CRITÉRIOS.....	31
3.3.1	BENEFÍCIOS.....	31
3.3.2	OPORTUNIDADES.....	31
3.3.3	CUSTOS.....	32
3.3.4	RISCOS.....	32
3.4	AVALIAÇÃO DO MODELO.....	33
3.4.1	COMPARAÇÃO EM PARES EM GRUPO.....	33
3.4.2	ANÁLISE INDIVIDUAL DAS ALTERNATIVAS MEDIANTE RATINGS.....	37
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
	REFERÊNCIAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho tem como objetivo estudar o problema do congestionamento que atualmente apresenta o tráfego aéreo do Brasil devido ao aumento deste nos últimos anos. Em seguida, buscar soluções que ajudem a prevenir o gargalo dos aeroportos brasileiros.

O transporte aéreo passou por um intenso processo de liberalização nas últimas décadas, como um legado, tem-se notado um aumento do tráfego aéreo. De 2009 a 2010, a taxa de crescimento de passageiros transportados pelo modo aéreo no país cresceu acima dos 20% (INFRAERO, 2011). Além disso, atribuem-se como causas, dentre outras: a melhoria da economia como um todo (PIB de 4,7% ao ano no período de 2003 a 2008) e a inclusão dos passageiros da classe B e C como entrantes nesse mercado (MCKINSEY, 2010). Nos últimos dez anos, o volume de tráfego aéreo no país quase dobrou. Apenas no ano passado, cresceu 15%, o que representou um total de 3,5 milhões de movimentos aéreos na aviação civil (comercial e geral).

No entanto, os investimentos em infraestrutura não acompanharam esse mesmo ritmo e se constatou a degradação acentuada do nível de serviço oferecido nos aeroportos brasileiros. Recentemente, uma das principais preocupações nacionais é a questão da infraestrutura aeroportuária. Estudos mostravam a situação preocupante em que se encontravam os principais aeroportos brasileiros e a perspectiva do crescimento da demanda de transporte aéreo faz com que surjam questionamentos sobre como absorver esse crescimento. Além disso, eventos como a Copa de 2014 e as Olimpíadas de 2016 (Figura 1) no Brasil incrementam a movimentação da aviação comercial e executiva, exigindo ainda mais capacidade. Durante a Copa do Mundo de 2014, as estimativas apontam um aumento de 2% nos movimentos além do previsto apenas na aviação de transporte de passageiros. O processo é tão intenso que alguns aeroportos chegam a conviver com demandas que excedem suas capacidades de projeto. Ao mesmo tempo, aeronaves cada vez maiores e mais pesadas trouxeram problemas para a infraestrutura aeroportuária.



Figura 1: Logos Eventos Esportivos. Fonte: Fifa, JMJ e Rio 2016.

Este problema não tem apenas visão de curto prazo, já que a longo prazo, segundo previsões de demanda recentes (MCKINSEY, 2010), a Região metropolitana de São Paulo (RMSP) deve operar cerca de 61 milhões de passageiros por ano em 2020. Na Figura 2, pode-se observar a evolução dos passageiros transportados no Brasil (2000-2012).

Além de consequências operacionais, como o aumento de custos e riscos de problemas diversos e mesmo de acidentes. Por exemplo, os acidentes aéreos mais impactantes como o choque das aeronaves sobre o espaço aéreo do Mato Grosso pôs em cheque o controle do tráfego aéreo no Brasil e o *overrun* do A320 em Congonhas chamou a atenção das condições de segurança nos aeroportos, tudo isso compromete os níveis de serviços prestados aos usuários.

Passageiros transportados no Brasil

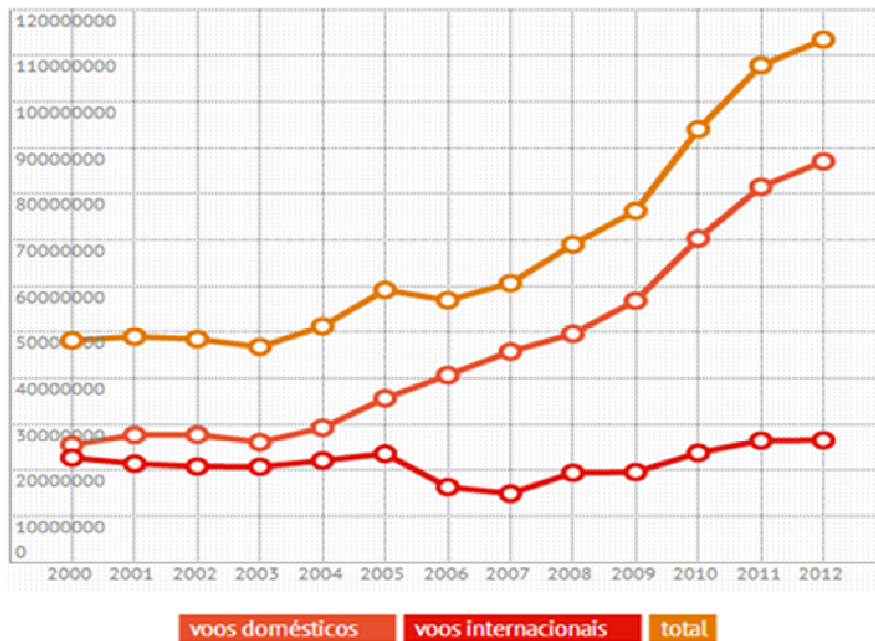


Figura 2. Passageiros transportados no Brasil 2000-2012. Fonte: Infraero.

1.2. OBJETIVOS

Uma vez identificado o problema, o objetivo geral do estudo é a priorização de soluções possíveis para melhoria do congestionamento do tráfego aéreo da ponte aérea São Paulo-Rio de Janeiro.

O objetivo específico pretende desenvolver um modelo para estudar as alternativas possíveis por meio do Analytic Hierarchy Process (AHP); analisar os resultados obtidos e propor a alternativa mais adequada.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Além da contextualização do problema, dos objetivos e do método de pesquisa apresentados neste capítulo, o leitor encontrará no capítulo 2 a fundamentação teórica; no capítulo 3 temos a aplicação prática dos conceitos abordados no capítulo anterior, além de apresentar a análise dos dados e os comentários pertinentes a os resultados

obtidos. Finalmente no capítulo 4 apresentam-se as conclusões, seguidas pelas referências bibliográficas.

2. ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

2.1 MÉTODOS MULTICRITÉRIO

A metodologia multicritério de apoio à decisão tem como objetivo identificar e selecionar o melhor caminho a seguir na existência de um problema de decisão que envolva grande complexidade. O método multicriterial de avaliação auxilia no processo por utilizar medições que permitam avaliar de maneira igualitária os aspectos subjetivos e objetivos da situação considerada.

Na realidade das empresas, o processo de tomada de decisão é usualmente complexo. A Análise de Decisão Multicritério auxilia o decisor a resolver problemas nos quais vários são os objetivos a serem alcançados de forma simultânea. A distinção entre a metodologia multicritério e as metodologias tradicionais de avaliação é o grau de incorporação dos valores subjetivos dos decisores nos modelos de avaliação, permitindo que uma mesma alternativa seja analisada de forma diversa de acordo com os critérios de valor individual de cada especialista (ZELENY, 1994).

Além de ser útil quando se tem dificuldade na obtenção de informações oriundas de dados probabilísticos, a utilização de uma metodologia multicritério é bastante interessante em problemas complexos onde existam diversos tipos de decisores, cada um com vários pontos de vista que consideram fundamentais no processo decisório, e possuindo muitas vezes objetivos conflitantes e, de difícil mensuração (ROY & VANDERPOOTEN, 1996), além de em muitos dos casos utilizar variáveis de ordem qualitativa.

Este processo pode ser decomposto em etapas (GOMES et al., 2004):

- 1) Identificar os decisores e seus objetivos;
- 2) Definir as alternativas;
- 3) Definir os critérios relevantes para o problema de decisão;
- 4) Avaliar alternativas em relação aos critérios;
- 5) Determinar importância relativa dos critérios;
- 6) Realizar a avaliação global de cada alternativa;

7) Conduzir a análise de sensibilidade;

8) Propor recomendações;

9) Implementar as ações.

As etapas 1, 2 e 3 constituem a *Fase de Estruturação*, que trata da formulação do problema e busca identificar, caracterizar e organizar os fatores considerados relevantes no processo de apoio à decisão. É uma fase interativa e dinâmica, pois fornece uma linguagem comum aos decisores, o que possibilita a aprendizagem e o debate. As etapas 4, 5, 6 e 7 compõem a Fase de Avaliação, que tem como objetivo a aplicação de métodos de análise multicritério para apoiar a modelagem das preferências e a sua agregação. A terceira fase, composta das etapas 8 e 9, é a Fase de Recomendação dos cursos de ação a serem seguidos.

Métodos têm sido desenvolvidos para a construção de escalas baseadas em avaliações subjetivas (KRUSKAL & WISH, 1978). Dentre as mais conhecidas metodologias caracterizadas na literatura como pertencentes à análise multicritério, destacam-se:

- a) Métodos da Família ELECTRE (ELimination Et Choix Tradusàint la REalitiè): desenvolvido por Bernard Roy a partir de 1968 (Electre I), e sofrendo refinamentos mais tarde (Electre IS, II, III, IV, TRI), e utilizando uma abordagem de relações de superação (outranking), esses métodos fazem uma comparação entre os pares de alternativas numa relação binária. Utiliza os conceitos de concordância e discordância que medem a afirmação de que uma alternativa “a” supera uma alternativa “b”.
- b) Método PROMETHÈ (Preference Ranking Organization Method for Enrichement Evaluation): desenvolvido por Brans e Vincke em 1985 estabelece uma estrutura de preferência entre alternativas discretas. Cada alternativa é avaliada segundo a intensidade de preferência em relação a cada critério
- c) Método MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorigal Based Evaluation Technique): consiste no uso de um software com o mesmo nome, e através de modelos de programação linear, são determinadas funções de valor para representar o julgamento dos decisores.

- d) Método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchic Process): O AHP é o método científico mais aplicado na solução de problemas multicritério, é por isso que para a realização deste trabalho usaremos o método AHP. No capítulo seguinte, será explicado com maior profundidade as características e os fundamentos deste método.

2.2 O MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS.

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método para auxiliar as pessoas na tomada de decisões complexas. Mais do que determinar qual a decisão correta, o AHP ajuda as pessoas a escolher e a justificar a sua escolha. Baseado em matemática e psicologia, ele foi desenvolvido na década de 1970 pelo Prof. Thomas Saaty , então, na Escola Wharton da Universidade da Pensilvânia.

Tem sido extensivamente estudado e refinado desde então. O AHP fornece um procedimento compreensivo e racional para estruturar um problema, para representar e quantificar seus elementos, para relacionar estes elementos com as metas globais e para avaliar soluções alternativas. O AHP é o método científico mais aplicado na solução de problemas multicritério (WALLENIUS, et al., 2008). Também é um método bastante utilizado no ambiente corporativo, em parte devido à disponibilidade de softwares para facilitar a sua aplicação. É utilizado pelo mundo todo em uma ampla variedade de situações de decisões, em campos como governo, negócios, indústria, saúde e educação.

A teoria tem por princípio reduzir a complexidade dos estudos de processo de decisão, por meio de comparações realizadas entre os pares de opções mais próximas, organizados por uma disposição hierárquica, visando facilitar a compreensão e avaliação dos envolvidos no processo de tomada de decisão (SAATY, 1990).

De acordo com Forman e Selly (2002), o nome do método AHP pode ser compreendido da seguinte maneira e lógica de aplicação:

- ANALYTIC (Analítico): pelas suas características, o AHP ajuda a medir e sintetizar uma série de fatores envolvidos em decisões complexas.
- HIERARCHY (Hierárquico): grandes organizações são quase universalmente hierárquicas em estrutura. Elas são divididas em unidades que são subdivididas

em unidades menores e assim por diante. Subdivisão em hierarquia é uma característica que não é estranha às organizações humanas. Hierarquia é a forma adaptável para inteligência finita assumir uma face complexa.

- **PROCESS (Processo):** Um processo é uma série de ações, mudanças, ou funções que levam a um fim ou resultado. O Processo do AHP não é um modelo que acha a resposta certa, mas um processo que ajuda tomadores de decisão a achar a melhor resposta.

Esse é o fundamento do método de análise hierárquica, o AHP (Analytic Hierarchy Process): decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY, 1990).

2.3 ESTRUTURA DO MÉTODO

Para termos domínio do problema estudado, na estruturação do problema de decisão com o método AHP, devemos seguir o seguinte roteiro apresentado:

1. **Definição dos valores do tomador de decisão e definição do problema da decisão:** para identificar corretamente o problema da decisão, precisamos conhecer os valores do tomador de decisão, ou seja, o que é importante para ele, sem o qual, podemos identificar o problema errado, chegando a uma solução errada para o problema de decisão estudado.
2. *Decomposição do problema:* pesquisar, dividir e estruturar o problema formando uma hierarquia. A hierarquia forma uma estrutura que permite visualizar o problema em termos de objetivo e critérios, conforme ilustrado na figura.
3. *Estabelecer prioridades:* as prioridades dos critérios são dadas por comparação dois a dois em relação a sua contribuição ao critério imediatamente acima, sempre dentro do contexto do objetivo estabelecido para o problema. Este processo é realizado através de uma entrevista sobre o problema de decisão, e os

julgamentos são extraídos do tomador de decisão, colocados dois a dois como pesos em uma balança. Este processo garante que os critérios estão priorizados no contexto do objetivo a ser atingido. Exemplo da estrutura na Figura 3:

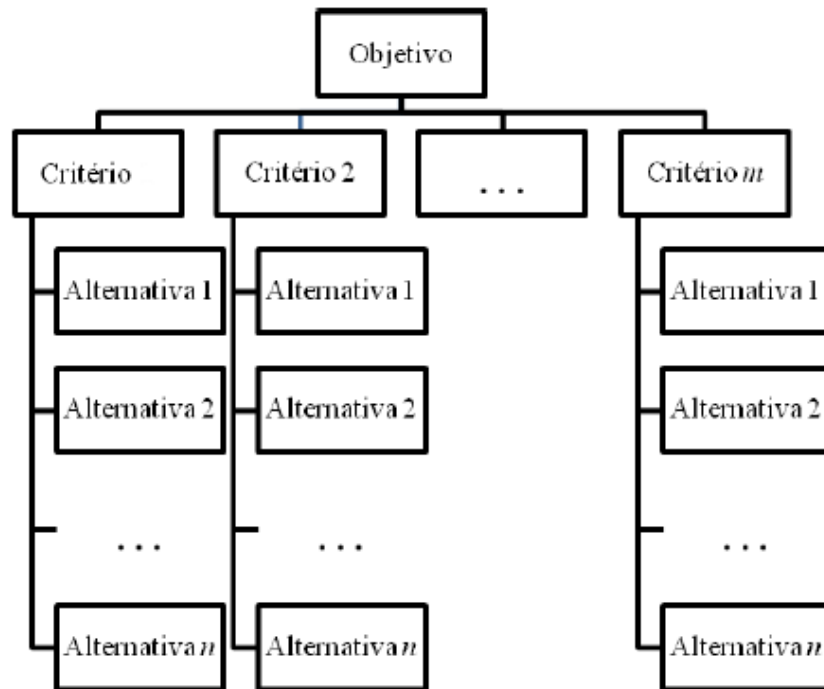


Figura 3. Estrutura do AHP (Adaptado de Saaty 1990).

4. *Síntese*: é obtida através de um processo de avaliação e combinação de prioridades aplicadas ao problema. A prioridade total é obtida através das ligações do modelo. A prioridade total de cada alternativa é somada para o resultado total ou síntese das preferências do tomador de decisão.

5. *Análise de sensibilidade*: é executada para avaliar a consistência do resultado nas alternativas, com respeito a cada um dos critérios que os compõe. Esta análise nos mostra a fragilidade ou não das preferências expressadas nas alternativas, ao mudar a prioridade de um critério. Ela consiste em fazer “pequenas mudanças” no peso das avaliações dos critérios na estrutura e ver o

impacto no resultado. Quando encontramos um impacto significativo, capaz de modificar o resultado, o critério onde detectamos esta sensibilidade dever ser submetido a uma análise crítica pelo tomador de decisão para confirmar sua avaliação.

6. *Iteração*: neste processo as etapas acima são repetidas várias vezes. Como informações foram incorporadas ao processo através de cada etapa, é benéfico que cada etapa seja revista com esta nova visão. Interações permitem que a decisão seja revisada com um entendimento melhor do problema através do modelo desenvolvido.

2.4 DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

O processo AHP envolve a identificação de um problema de decisão e, em seguida, decompõe este em uma hierarquia de “subproblemas” menores e mais simples, onde cada um poderia então ser analisado de forma independente, sem perder o foco do problema de decisão. Os pesos são atribuídos aos critérios, de acordo com sua importância relativa (Figura 4). As alternativas são avaliadas com base nesta importância relativa, por meio de comparações de pares, usando a escala de Saaty de números absolutos onde se atribui valores numéricos tanto quantitativos como qualitativos aos julgamentos.

Proposta verbal da preferência	Qualificação numérica
Extremamente preferível	9
Entre muito fortemente preferível e extremamente preferível	8
Muito fortemente preferível	7
Entre fortemente preferível e muito fortemente preferível	6
Fortemente preferível	5
Entre moderadamente preferível e fortemente preferível	4
Moderadamente preferível	3
Entre igualmente preferível e moderadamente preferível	2
Igualmente preferível	1

Figura 4. Escala de preferências (Adaptado de Saaty 1990).

Uma vez construída a hierarquia, avaliam-se sistematicamente seus elementos, comparando-os um ao outro, em pares. Ao fazer as comparações, utilizam-se dados concretos sobre os elementos, ou julgamentos sobre o significado relativo ou a importância dos elementos. O AHP converte os julgamentos em valores numéricos que podem ser processados e comparados sobre toda a extensão do problema. Um peso numérico, ou prioridade, é derivado para cada elemento da hierarquia, permitindo que elementos distintos e frequentemente incomensuráveis sejam comparados entre si.

As comparações entre os atributos e as alternativas são registradas em matrizes na forma de frações entre 1/9 e 9. Cada matriz é avaliada pelo seu autovalor para verificar a coerência dos julgamentos. Este procedimento gera uma "razão de coerência" que será igual a 1 se todos os julgamentos forem coerentes entre si.

Considerando o problema de analisar n alternativas por um decisor ou grupo de decisores, tem-se o objetivo de designar julgamentos das importâncias relativas dessas alternativas, quantificando esses julgamentos com o propósito de permitir uma ordenação de todas as alternativas.

Seja o conjunto de alternativas A_1, A_2, \dots, A_n . Os julgamentos par-a-par são representados por uma matriz quadrada de ordem n , $A=(a_{ij})$, $i, j=1, 2, \dots, n$. Na posição (i, j) representa-se a razão entre os pesos que a alternativa A_i tem sobre A_j em relação a um critério considerado em um nível imediatamente acima da hierarquia. A matriz A é recíproca, ou seja, $a_{ji}=1/a_{ij}$, $a_{ij} \neq 0$. Ainda, se A_i é considerada de igual importância relativa que A_j , então $a_{ij}=a_{ji}=1$; em particular, $a_{ii}=1$, para todo i .

Assim, a matriz de comparação entre os pares de alternativas tem a forma:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

e registra os julgamentos feitos pelos decisores.

O problema se concentra, então, em encontrar os pesos w_1, w_2, \dots, w_n , de cada alternativa, que reflitam os julgamentos efetuados. Se os julgamentos forem perfeitos em todas as comparações, então $a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk}$ para quaisquer i, j, k e a matriz será consistente. Essa consistência será obtida, por exemplo, se as comparações forem baseadas em medições exatas, ou seja, se os pesos w_i forem conhecidos.

Desta forma, tem-se:

$$a_{ij} \cdot a_{jk} = \frac{w_i}{w_j} \cdot \frac{w_j}{w_k} = \frac{w_i}{w_k} = a_{ik} \quad (2)$$

$$a_{ji} = \frac{w_j}{w_i} = \frac{1}{w_i / w_j} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (3)$$

Neste caso, a matriz A pode ser representada como segue:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Multiplicando-se a matriz A pelo vetor $[w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n]^T$ obtém-se:

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = n \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

Ou seja, $\mathbf{A} \cdot \mathbf{w} = n \cdot \mathbf{w}$ (6)

Assim sendo, a busca do vetor de pesos das alternativas é equivalente à resolução da equação acima, o que significa encontrar o autovetor w de A , associado ao autovalor n . Além de ser recíproca, pode-se verificar facilmente que a matriz A é irredutível, já que não possui elementos nulos. Pelo Teorema de Perron-Frobenius, se A é uma matriz irredutível, com todos os elementos a_{ij} não-negativos, então existe um número real positivo λ_1 satisfazendo as seguintes propriedades:

(i) Existe um vetor real v , com todos os elementos positivos, tal que $\mathbf{A}v = \lambda_1 v$;

(ii) λ_1 possui multiplicidade algébrica e geométrica 1;

(iii) Para cada autovalor λ_i de \mathbf{A} , $\lambda_i \leq \lambda_1$.

Estes resultados garantem a existência de solução para a equação (6), ou seja, do vetor de pesos procurado.

Pode-se verificar que todas as linhas da matriz \mathbf{A} são combinações lineares da primeira. Assim, todos os autovalores de A serão nulos, exceto um. Como os elementos da diagonal principal de \mathbf{A} , a_{ii} são iguais a um e o somatório dos autovalores é igual ao traço da matriz, o autovalor não nulo será o valor n ($\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \lambda_1 = n$).

Se os coeficientes a_{ij} de uma matriz positiva recíproca sofrem pequenas perturbações, então os autovalores sofrem também pequenas perturbações. No caso em que a equação (6) se verifica inicialmente, essas pequenas perturbações fazem com que

o maior autovalor permaneça próximo de n e os demais, próximos de zero. Saaty demonstra que se A é uma matriz positiva e recíproca, então $\lambda_{\max} \geq n$.

Essas perturbações podem ser consideradas pela forma geral $a_{ij} = (w_i/w_j) \varepsilon_{ij}$.

A consistência ocorrerá quando $\varepsilon_{ij} = 1$. Define-se $\mu = -\frac{\sum_{i=2}^n \lambda_i}{n-1}$, e como $\sum_{i=1}^n \lambda_i = n$, tem-se:

$$\mu = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}; \lambda_{\max} \equiv \lambda_1$$

o índice de consistência (IC) que avalia se os julgamentos efetuados são perfeitamente relacionados.

A consistência de uma matriz recíproca positiva ocorrerá quando o seu autovalor máximo for igual a n . Para estimar a diferença entre estes valores usa-se o quociente $(\lambda_{\max} - n)/(n-1)$. Uma medida de consistência pode ser estimada comparando-se esse valor com a mesma razão calculada de uma matriz recíproca de julgamentos gerados aleatoriamente, de mesma ordem. Esta medida é chamada de razão de consistência (RC), dada por:

$RC = IC/IR$ sendo IR o índice randômico.

Uma tabela com o índice randômico para matrizes de ordem 1 até 15 é dada a seguir conforme apresentada em Saaty (1990):

ORDEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Em aplicações, geralmente considera-se aceitável uma razão de consistência de até 0,10.

Após o cálculo dos autovetores de cada matriz que corresponde aos julgamentos par-a-par das alternativas com relação a cada critério, em todos os níveis, tem-se a situação ilustrada na Figura 5:

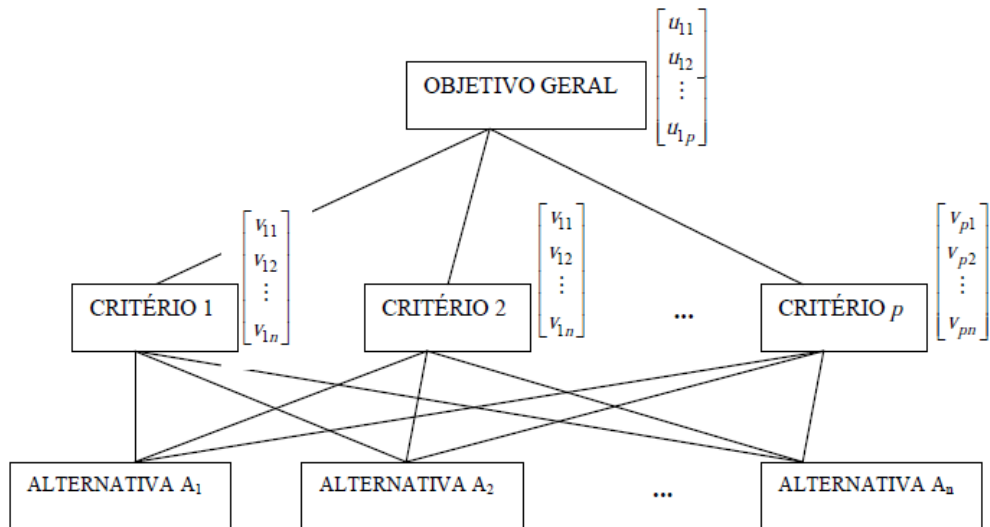


Figura 5. Autovetores calculados pelo AHP. (Adaptado de Saaty 1990).

Para cada alternativa A_i considerada, um valor é calculado da seguinte forma:

$$u_{11} \cdot v_{1i} + u_{12} \cdot v_{2i} + u_{13} \cdot v_{3i} + \dots + u_{1p} \cdot v_{pi}$$

A ordenação das alternativas, e até mesmo a escolha é efetuada a partir desses pesos calculados, que correspondem às importâncias relativas de cada alternativa.

3. APLICAÇÃO PRÁTICA

Visando atingir o objetivo geral proposto no presente trabalho que é utilizar a metodologia de análise multicritério AHP para priorizar os problemas relacionados com o congestionamento que atualmente tem o tráfego aéreo brasileiro. O problema foi tratado seguindo a mesma estrutura teórica explicada no ponto anterior. As etapas e atividades para o desenvolvimento da aplicação da ferramenta em questão foram as seguintes:

Em primeiro lugar começaremos com uma revisão bibliográfica sobre o transporte aéreo brasileiro, concentrando-se principalmente nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro e uma pesquisa da evolução histórica e atual dos aeroportos principais e regionais de ambos estados, bem como o estudo sobre a metodologia AHP, que foi aplicada no trabalho.

Em seguida continuaremos definindo a estrutura do modelo hierárquico, após isso analisaremos nosso problema e suas alternativas, e por último obteremos a síntese e os resultados finais. Para apoiar o estudo do problema, será utilizado o software *Expert Choice* para a avaliação de alternativas e critérios propostos. Usaremos uma versão em nuvem do software, considerando a possibilidade de tomada de decisão em grupo. Professores e especialistas na área participarão na pesquisa e melhorão a qualidade do trabalho.

3.1 MODELO BOCR

Uma hierarquia ou uma rede é a conceituação lógica de um problema. Quando se têm conexões e certa complexidade, uma estrutura em rede é mais adequada. É arriscado usar hierarquia em situações que tenham decisões complexas, pois alguma influência poderá ser perdida; neste caso pode-se utilizar uma estrutura na forma do modelo BOCR – Benefícios, Oportunidades, Custos e Riscos (SAATY e SHIH, 2009).

O Modelo BOCR considera quatro tipos de méritos propostos para representar os diferentes clusters, que definem as interações com relação à hierarquia de controle estabelecida. Ela tem sido utilizada em muitos problemas de tomada de decisão, sendo que o B se opõe ao C, enquanto que O se opõe ao R. O B indica as alternativas que produzem o maior benefício, o O indica oportunidades, enquanto C e R indicam, respectivamente, as alternativas com mais custos e mais riscos (SAATY e OZDEMIR, 2005).

Neste trabalho propõe-se adotar o AHP em conjunto com o modelo BOCR – Benefícios, Oportunidades, Custos e Riscos na modelagem e solução de um problema de seleção de alternativas para a melhora do tráfego aéreo. Esta escolha se justifica pelo fato do BOCR permitir uma análise flexível e potencialmente mais rica em oposição a uma mera análise de custos e benefícios, embora muitos dos aspectos que definem os fatores e suas relações possam ser difíceis de especificar e quantificar (SAATY e OZDEMIR, 2005).

3.2 ALTERNATIVAS

Depois de identificar o problema, foi realizado o estudo para encontrar possíveis soluções (alternativas) que ajudam a melhorar o tráfego aéreo. Em seguida, são explicadas as alternativas escolhidas, e comentam-se as suas vantagens e desvantagens principais.

3.2.1 AUMENTO DE INFRAESTRUTURAS NOS AEROPORTOS PRINCIPAIS

O aeroporto é um sistema composto por vários subsistemas: pistas, pátios, terminais, acessos. Aumento das infra-estruturas dos subsistemas nos aeroportos principais: Guarulhos, Congonhas, Viracopos, Galeao e Santos Dumont.

Ações no sentido de ampliar efetivamente a capacidade do lado aéreo desses aeroportos.

Sabe-se que a expansão da infraestrutura aeroportuária é considerada a alternativa mais segura e efetiva para resolver o problema de congestionamento em aeroportos.

Porém, implantar tal solução envolve processos ociosos, que demandam grandes apoios de recursos financeiros além de enfrentar embates no âmbito ambiental e político.

Modelo de ampliação do Aeroporto de Vigo (Espanha) na Figura 6:

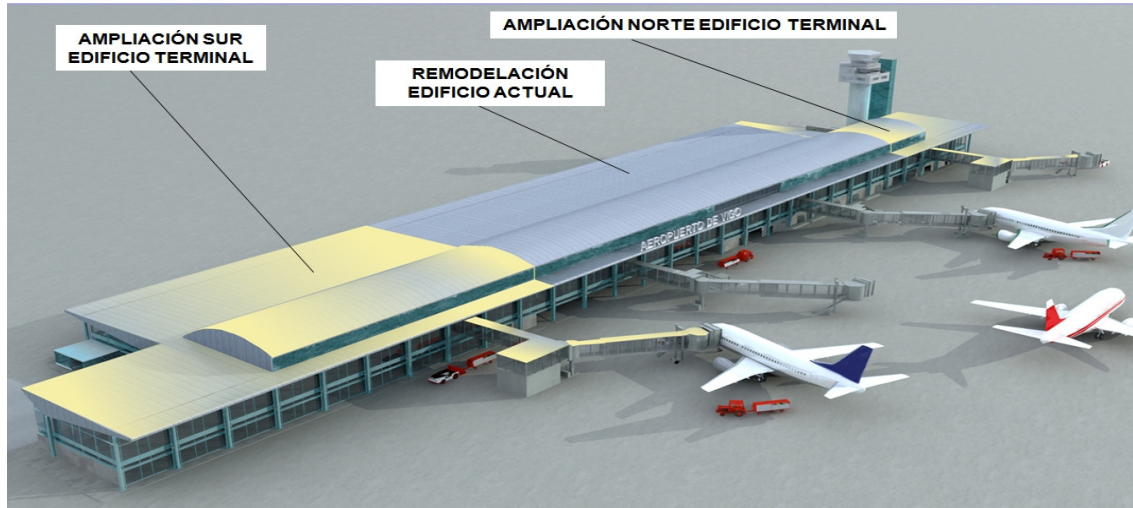


Figura 6. Aumento de infraestrutura de um aeroporto. Fonte: Aeropuertos de Vigo.

Exemplo: Atrasos atuais nas obras de modernização do Aeroporto Santos Dumont, que se arrastam desde 2004, e ainda não chegam ao fim.

3.2.2 GERENCIAMENTO DO CONGESTIONAMENTO

Melhorias tecnológicas em controle do tráfego aéreo poderiam aumentar significativamente a capacidade do espaço aéreo das nações e reduzir o impacto das más condições climáticas nas operações aeroportuárias, atenuando o problema já citado.

Devido ao crescimento assintótico da demanda por transporte aéreo, torna-se necessária a criação e ou aperfeiçoamento de instrumentos que adequem a capacidade dos aeroportos frente à demanda.

Haja vista às diversas dificuldades encontradas para expandir as infraestruturas aeroportuárias em sítios existentes ou a abertura de novos sítios, propõe-se o gerenciamento do congestionamento através da melhora da eficiência dos principais aeroportos de Brasil.

Possíveis Soluções:

-Aplicação da filosofia LEAN a gestão dos aeroportos. Implementação de técnicas que ajudem a evitar perdas no aeroporto. Realização de cursos para treinar os funcionários na filosofia LEAN.

-Sistema de precificação do congestionamento: sob um regime de precificação do congestionamento, as tarifas pagas pelas companhias aéreas atingiriam maiores valores em períodos de pico, e em resposta haveria uma mudança na distribuição espaço-temporal dos vôos.

-Implementação de um sistema eficiente de alocação de slots.

-Melhoras tecnológicas nos sistemas e equipes de controle de tráfego aéreo.

3.2.3 INVESTIMENTO EM AEROPORTOS SECUNDÁRIOS

Aumento da infraestrutura e melhora das condições operacionais e o nível de serviço das instalações no terminal de aeroportos regionais (Figura 7).

A aviação regional possui um importante papel na vida econômica e social de qualquer país. No Brasil, entretanto, este segmento apresenta um grau de desenvolvimento aquém do desejável para o atual estágio da economia. Permanecem latentes importantes benefícios que poderiam ser obtidos pelo desenvolvimento da aviação regional. Estes se concentram, principalmente, no potencial de criação de concorrência, desafiando o oligopólio hoje presente no setor de transporte aéreo; e na preservação de empregos de forma capilarizada, estimulando o desenvolvimento local.

Além disso, um aumento de investimento em aeroportos secundários pode ajudar fortemente ao descongestionamento dos aeroportos principais. Tem a desvantagem que aeroportos secundários geralmente oferecem um serviço menor ao cliente, aos aviões e as companhias. Também tem uma pior conexão desde o aeroporto, sendo mais longe do centro da cidade.



Figura 7. Aeroporto regional. Fonte: Infraero.

Possíveis regiões de São Paulo y Rio de Janeiro: Ribeirao Preto, Sao José do Rio Preto, Presidente Prudente, Angra dos Reis, Cabo Frío, Resende, Paraty,...

3.2.4 TREM DE ALTA VELOCIDADE (TAV)

Um trem de alta velocidade transporta grande quantidade de pessoas em um curto período de tempo. O modelo planejado para ser utilizado no Brasil tem capacidade para transportar 458 pessoas no percurso expresso (trecho RJ-SP, sem paradas) e 600 pessoas nos percursos regionais. Para o percurso expresso, 1 TAV transporta a mesma quantidade de pessoas que 3 aviões B737-800 (com 187 assentos), ou que 11 ônibus rodoviários (42 assentos), ou que 305 veículos particulares (considerando-se uma média de 1,5 passageiros por automóvel). Além disso, o TAV consome menos combustível do que outros meios de transporte e polui menos o meio ambiente, como pode ser observado na Figura 8.

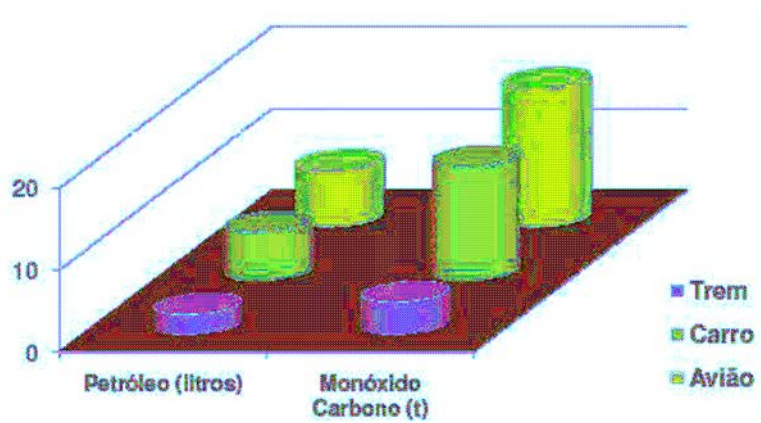


Figura 8. Consumo de petróleo do trem, carro e avião.

Fonte: Journal of Transport Literature.

O TAV apresenta vantagens ao ser comparado com o transporte aéreo: maior pontualidade, *check in* mais rápido e o passageiro não precisa estar com tanta antecedência na estação.

As companhias aéreas temem perder a ponte aérea entre o Rio de Janeiro e São Paulo para o futuro trem.

Considerando-se o tempo de viagem como um fator de escolha do modal pelo passageiro, em um percurso de até 150 km, o automóvel é mais competitivo do que outros modais de transporte (viagem demora em torno 1 hora e meia). De 150 km a 600 km o TAV é o mais competitivo (até 3 horas de viagem para um trem com velocidade de 200 km/h). E a partir de 600 km, nenhum outro transporte é mais competitivo do que o avião (mais de 3 horas de viagem).

Tem como desvantagem principal o custo econômico e duração do projeto, além do impacto ambiental gerado pela sua construção.

3.2.5. CONSTRUÇÃO DE NOVOS AEROPORTOS

As principais razões para a adoção de mais de um aeroporto em uma região incluem restrições de capacidade ou técnicas, ilustrando as situações de São Paulo e Rio de Janeiro, cujas restrições de comprimento de pista em seus aeroportos centrais motivaram a construção de novos aeroportos.

A Região metropolitana de São Paulo (RMSP) deve operar cerca de 61 milhões de passageiros por ano em 2020. Isto representa uma carga operacional relevante, visto que seus principais aeroportos atualmente não possuem capacidade operacional suficiente para esta demanda. A situação torna-se ainda mais crítica, visto que os dois principais aeroportos da região possuem restrições técnicas que impedem seu crescimento, incluindo espaço físico insuficiente, restrições ambientais de ruído e obstáculos naturais e artificiais no entorno.

Um novo aeroporto em uma região metropolitana pode provocar desequilíbrios em uma rede aeroportuária. Em função da necessidade de concentração de vôos para aumento da eficiência operacional de empresas aéreas, o excesso de capacidade operacional em uma região pode provocar o esvaziamento de aeroportos que não possuem muita atratividade aos clientes.

Esta solução ajuda a reduzir o congestionamento dos aeroportos principais, mas igualmente implantar tal solução envolve processos ociosos, que demandam grandes aportes de recursos financeiros além de enfrentar embates no âmbito ambiental e político.

Regiões possíveis:

Caierias, Franco da Rocha, Parelheiros, Sao José dos Campos,...

3.3 CRITÉRIOS

A seguir definem-se os critérios que se utilizam neste estudo. Como foi discutido no capítulo anterior para este trabalho propõe-se adotar o AHP em conjunto com o modelo BOCR – Benefícios, Oportunidades, Custos e Riscos na modelagem e solução de um problema de seleção de alternativas para a melhora do tráfego aéreo que permite uma análise mais flexível do problema. Os critérios considerados são os seguintes:

3.3.1 BENEFÍCIOS

- *Descongestionamento nos aeroportos principais:* impacto na redução de passageiros e tráfego aéreo no aeroporto principal.
- *Accesibilidade dos passageiros:* facilidade de acesso e embarque dos passageiros.

3.3.2 OPORTUNIDADES

- *Segurança:* Segurança dos passageiros no interior das instalações no meio de transporte utilizado.
- *Operatividade da companhia:* Facilidade da empresa para operar e gerenciar vôos.

-Operatividade do veículo de transporte: Facilidade de operações de veículos nas instalações, estacionamento, manutenção, abastecimento, limpeza, etc.

3.3.3 CUSTOS

-Custo econômico: orçamento do projeto.

-Duração: tempo de conclusão do projeto.

-Conexão com o centro da cidade: facilidade para chegar ao centro da cidade, custo e tempo adicional para o passageiro.

3.3.4 RISCOS

-Impacto Ambiental: impacto ambiental gerado pela construção do projeto. Dano natural.

-Manutenção: custos de manutenção gerados pelo projeto.

-Tarifa do bilhete: impacto sobre o valor do preço do bilhete para o passageiro.

-Número de incidentes: possibilidade de problemas e incidentes que retarde o fluxo de passageiros.

Em seguida apresenta-se conforme a Figura 9 a árvore hierárquica:



Figura 9: Organograma hierárquico

3.4 AVALIAÇÃO DO MODELO

3.4.1 COMPARAÇÃO EM PARES:

Uma vez estabelecido a estrutura hierárquica, o próximo passo na aplicação do AHP é a atribuição de pesos ou valores de importância para os critérios. Este passo é geralmente executado por comparações entre os critérios, e para esta ocasião foi decidida uma comparação em pares. Após o estabelecimento do vetor de pesos dos critérios, devem ser estabelecidos valores de preferência para cada alternativa de acordo com cada critério, igualmente comparadas duas a duas e inseridas em uma matriz de comparações **A**. Os julgamentos podem ser realizados por uma única pessoa ou podem ser realizados em grupo. Para esta análise, assim como a participação do aluno, teve a colaboração de professores da UNESP, todos com conhecimento na matéria, e obtendo-se desta forma resultados de melhor qualidade.

A primeira atividade desenvolvida foi a criação do projeto no ambiente *online*, utilizou-se a função *Project Management* do software Expert Choice. Os participantes foram cadastrados no projeto com atribuição do papel de julgadores e posteriormente receberam um e-mail contendo o convite para a participação no processo de avaliação

dos critérios e alternativas e link do endereço <https://core.expertchoice.com/> do website. O software permite que os julgamentos possam ser efetuados por várias pessoas e ao final o sistema apresenta uma classificação das decisões.

Nas Figuras 10 e 11, têm-se exemplos de como as comparações são realizadas no software:

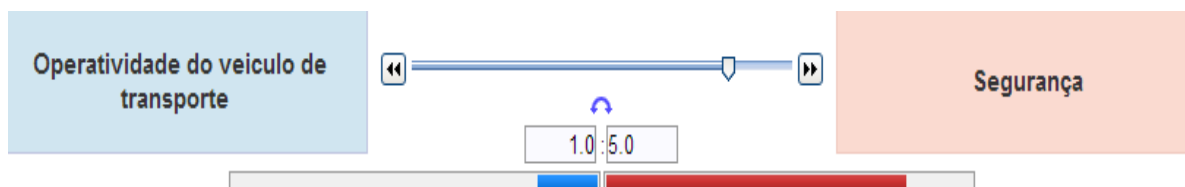


Figura 10. Exemplo de julgamento online Fonte: Expert Choice.

	Name	Participant Results	Graph Bar
1	Operatividade da companhia	14.27 %	
2	Operatividade do veículo de transporte	14.27 %	
3	Segurança	71.45 %	

Inconsistency ratio: 0.00

Figura 11. Exemplo diagrama de resultados. Fonte: Expert Choice.

Destaca-se também o cálculo do índice de inconsistência do software. Sendo inferior a 0.10 para ser considerada uma avaliação coerente.

A Figura 12 traz os resultados globais que reúnem a avaliação de todos os participantes, onde fica refletido o valor final que tem a cada uma das alternativas, identificando a opção ótima.

Aumento de infraestruturas nos aeroportos principais	21.58 %
Gerenciamento do congestionamento	24.11 %
Investimento em aeroportos secundarios	16.75 %
Novos aeroportos	15.60 %
TAV	21.96 %

Figura 12 . Resultados globais de todos os participantes. Fonte: Expert Choice.

Podemos ver que a alternativa mais adequada e que melhor se ajusta aos critérios estabelecidos é o **Gerenciamento do congestionamento**.

Agora serão apresentados os resultados parciais com respeito à matriz BOCR, E observando-se assim nas Figuras 13, 14, 15 e 16 a alternativa que gerará o maior Benefício, Oportunidade, Custo e Risco. Para as análises das soluções serão apresentados os resultados igualmente com os gráficos de diferentes sensibilidades, para observar a grande versatilidade que o software nos oferece.

Benefícios:

Para se obter um maior benefício para o nosso problema, a alternativa que mais vai ajudar a reduzir o congestionamento nos principais aeroportos e melhorar a acessibilidade para os passageiros é a construção de novos aeroportos. Por outro lado destaque-se que o gerenciamento do congestionamento é a alternativa que gera menos benefício para resolver o nosso problema, sendo esta beneficiada pelos outros critérios.



Figura 13. Resultados dos benefícios de todos os participantes. Fonte: Expert Choice.

Oportunidades:

O resultado que oferece melhores oportunidades para a segurança, operatividade do meio de transporte e das companhias é a alternativa do Trem de Alta Velocidade.

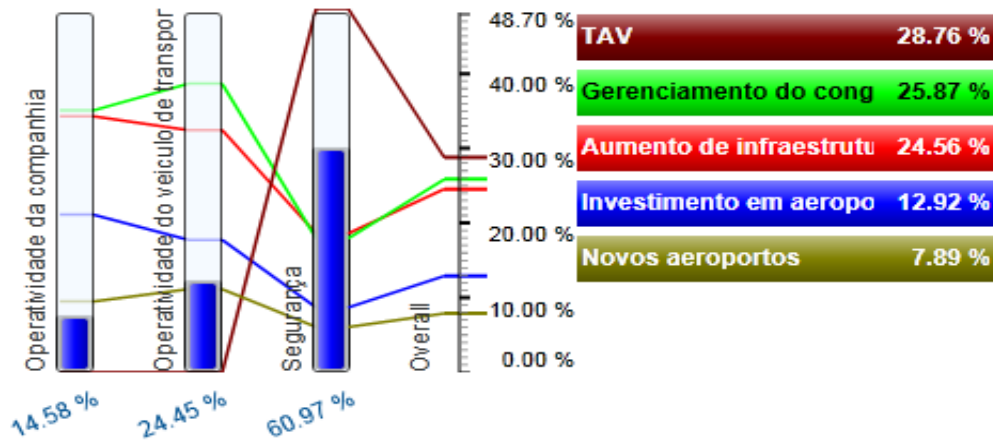


Figura 14. Resultados das oportunidades de todos os participantes.

Fonte: Expert Choice.

Custos:

Para as avaliações dos custos econômicos, da duração do projeto e da conexão com o centro da cidade, a melhor alternativa é o aumento da infraestrutura nos aeroportos principais, sendo que a mais afetada é a construção de novos aeroportos.

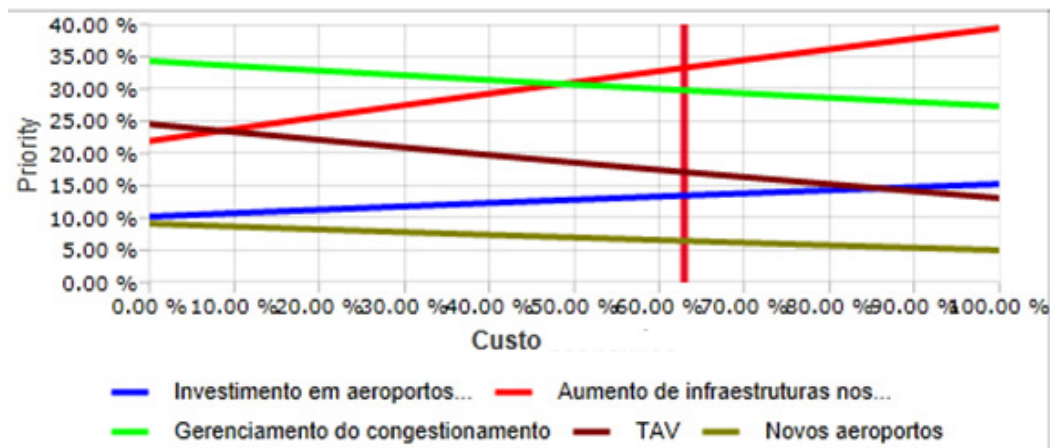


Figura 15. Resultados dos custos de todos os participantes. Fonte: Expert Choice.

Riscos:

Finalmente, para a avaliação dos riscos, a alternativa que causa menor impacto ambiental, número de incidentes e custo de manutenção e preço do bilhete será o Gerenciamento do congestionamento.

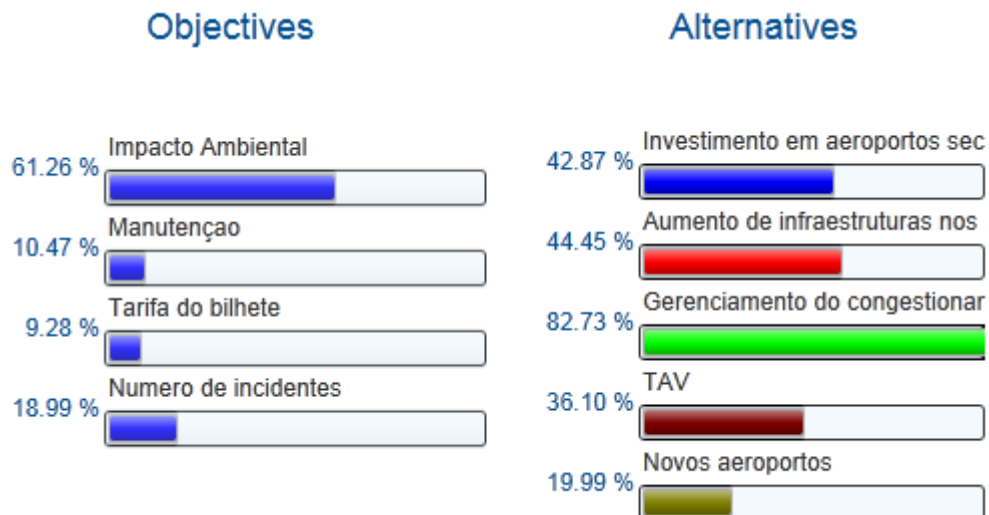


Figura 16. Resultados dos riscos de todos os participantes. Fonte: Expert Choice.

3.4.2 ANÁLISE INDIVIDUAL DAS ALTERNATIVAS MEDIANTE RATINGS

Para a aplicação do método AHP, existe a possibilidade do uso do ratings, ou medida absoluta, isto é, enquanto na aplicação do AHP compara-se cada alternativa com muitas alternativas, pelos ratings compara-se cada alternativa com uma alternativa ideal. Para a definição da alternativa ideal, é preciso criar níveis de intensidade ou graus de variação da qualidade sobre um critério, por exemplo: excelente, muito bom, regular, moderado, ruim. Em seguida, pode-se compará-los para estabelecer prioridades e normalizar as prioridades dividindo pelo maior valor entre eles, de modo que, se excelente tiver um valor de 1, os outros serão proporcionalmente menores (SAATY, 2005).

Devido que no software *Expert Choice* está disponível também a possibilidade de estudo mediante ratings, decidiu-se realizar um estudo individual do aluno, utilizando o método de *ratings* na avaliação das alternativas, a fim de obter um maior conhecimento do método AHP e comparar posteriormente os resultados com o método anterior de comparação em pares.

A escala de *ratings* definida neste estudo contribuiu na redução do número total de julgamentos e está na Figura 17 a 19:

Name	Priority	
Excelente	 1	
entre muito bom e excelente	 0.9	
Muito bom	 0.75	
Bom	 0.6	
Regular	 0.5	
Razoavel	 0.4	
Moderado	 0.25	
Ruim	 0.1	
Pessimo	 0.05	

Figura 17. Escala de ratings. Fonte: Expert Choice.

Exemplo de avaliação com ratings:

Rate "Novos aeroportos" with respect to "Descongestionamento nos aeroportos principais"

- Excelente (100%)
- entre muito bom e excelente (90%)
- Muito bom (75%)
- Bom (60%)
- Regular (50%)
- Razoavel (40%)
- Moderado (25%)
- Ruim (10%)
- Pessimo (5%)

Figura 18. Exemplo de avaliação de ratings. Fonte: Expert Choice.

Finalmente mostram-se os resultados das avaliações mediante ratings:

No.	Name	Participant results ▼	Bar Graph
3	Gerenciamento do congestionamento	28.42%	
4	TAV	24.28%	
2	Aumento de infraestruturas nos aeroportos principais	18.24%	
1	Investimento em aeroportos secundarios	16.34%	
5	Novos aeroportos	12.72%	

Figura 19. Resultados globais do estudo mediante ratings. Fonte: Expert Choice.

Novamente a melhor opção é a alternativa do Gerenciamento do congestionamento. Pode-se ver que, embora as percentagens dos resultados variem ligeiramente a ordem de prioridade das alternativas permanece inalterada em relação ao estudo anterior de comparação em pares. Isto confirma a coerência dos resultados obtidos nos estudos.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez realizados os dois estudos, analisou-se os resultados obtidos e realizou-se uma avaliação deles.

Em primeiro lugar, já se discutiu que a melhor alternativa é o Gerenciamento do congestionamento. Esta solução, a priori, não é a alternativa que gera maior benefício, sendo a construção de novos aeroportos e o Trem de Alta Velocidade, aqueles que mais reduziriam o congestionamento do tráfego aéreo. Mas hoje em dia estamos em um mundo onde os recursos são limitados, o custo econômico e o tempo são fatores fundamentais que limitam nossos projetos. Portanto os custos e riscos definidos em nossos critérios determinam que estas alternativas não sejam as mais prioritárias, a favor do gerenciamento de congestionamento que se ajusta de uma melhor maneira para os critérios e problemas de curto prazo.

Em segundo lugar e também com uma visão de mais longo prazo, a alternativa a ser escolhida seria a criação do Trem de Alta Velocidade. Esta alternativa teria maiores custos e riscos, mas ajudaria consideravelmente na redução do tráfego aéreo. Aparentemente é uma solução razoável que se deve escolher, já que se analisar os países mais desenvolvidos, a maioria deles tem uma ampla rede ferroviária que abrange as cidades mais importantes do país. Isso ajudaria a reduzir significativamente o tráfego aéreo doméstico, deixando uma maior disponibilidade nos aeroportos para tráfego aéreo internacional.

Em síntese, as cinco alternativas propostas vão ajudar a reduzir o problema. Este trabalho não tem por objetivo excluir qualquer delas, porque as cinco são consideradas necessárias para o bom desenvolvimento do transporte aéreo, e propõe-se que a solução ideal é a aplicação conjunta delas, com uma distribuição dos nossos recursos em consonância com as prioridades obtidas nos resultados.

Em relação à ferramenta utilizada no presente trabalho, demonstrou que é possível utilizar o método de análise multicritério AHP para a priorização das alternativas para melhorar o tráfego aéreo brasileiro.

O primeiro estudo realizado em grupo com o método AHP se mostrou uma ferramenta eficiente, pois além de hierarquizar as causas do problema estudado, o

método AHP faz uma comparação par a par permitindo identificar o grau de dominância que um tem sobre o outro, ou seja, possibilitou ter uma consistência por meio da matriz de julgamento, a qual aprova a validade entre os julgamentos comparados par a par, podendo dessa forma, ter uma hierarquização com pesos entre os critérios analisados. Assim este método fornece dados mais próximos da realidade e que são úteis para a tomada de decisão.

O segundo estudo individual com o método AHP realizado com *ratings*, serviu para complementar o primeiro estudo e confirmar que os resultados obtidos foram coerentes, já que a ordem de prioridades coincidiu e também para uma maior compressão do método AHP com as diferentes possibilidades que oferece.

Este trabalho fica aberto para futuros estudos que abordarão o problema com mais profundidade. Pode-se propor uma análise das possíveis alternativas e critérios que também ajudem a reduzir o tráfego aéreo, com a possibilidade de modificar os já existentes ou acrescentando o número deles em função do objetivo desejado. Também há a possibilidade de realizar uma análise com um maior foco nos problemas de curto prazo ou com uma visão nos problemas de longo prazo.

Nesta ocasião contou-se com a colaboração nas avaliações dos professores da UNESP que forneceram a sua experiência no estudo realizado. Para um futuro estudo pode-se contar com a participação de mais professores e especialistas em transporte aéreo, que aportem seus conhecimentos e habilidades para a obtenção de resultados mais completos.

REFERÊNCIAS

- AEROPUERTOS DE VIGO, <http://aeropuertodevigo.wordpress.com/>, Vigo, 2013. Acesso em: 26 abril 2013.
- ALVES, C. J. P. & FRAGA, R. Capacidade do lado aéreo dos aeroportos brasileiros, *Journal of Transport Literature* Vol. 6, n. 4, pp. 178-189. Brasil, 2012.
- DEMANT, M. A. R. Infraestrutura aeroportuária e o desenvolvimento do tráfego aéreo regional no Brasil, *Journal of Transport Literature* Vol. 5, n. 1, pp. 124-160. Embraer, Brasil, Jan. 2012.
- FORMAN, E.H.; SELLY, M.A. Decision by objectives – How to convince other that you are right. 1 ed. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2002.
- GOMES, L.F.A.M.; GONZALEZ-ARAYA, M.C. & CARIGNANO, C. Tomada de decisões em cenários complexos. Rio de Janeiro: Pioneira Thomps on Learning. 2004.
- INFRAERO. <http://www.infraero.gov.br/>, Brasil, 2011. Acesso em: 27 abril 2013.
- KRUSKAL, J.B., WISH, M. Multidimensional Scaling, Sage University Press, Beverly Hills, USA, 1973.
- MCKINSEY. Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2010.
- PAIVA, I. Competição intermodal com trem de alta velocidade. *Journal of Transport Literature* Vol. 6, n. 2, pp. 218-233. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Brasil, Abril 2012.
- ROY, B., VANDERPOOTEN, D. The European School of MCDA: Emergence, Basic Features and Current Works, *J. of Multicriteria Decision Analysis*, vol.5, 22-38. 1996.
- SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980.
- SAATY, T. L. Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. 2nd ed. Pittsburgh, Pa.: University of Pittsburgh, 1990.
- SAATY, T. L & OZDEMIR, M.S. The encyclicon: A dictionary of decisions with dependence and feedback based on the analytic networking process. RWS publications, Pittsburg, 2005.
- SAATY, T. L. & SHIH, H. S. Structures in decision making: On the subjective geometry of hierarchies and networks. *European Journal of Operational Research*, 199, 867–872, 2009.
- TRAMARICO, C. L & SALOMON, V. A. P. & MARINS, F. & MUNIZ, J. Modelagem com AHP e BOCR para a seleção de prestadores de serviços logísticos. Rio de Janeiro, Agosto de 2012.

WALLENIS, J.; DYER, J. S.; FISHBURN, P. C.; STEUER, R. E.; ZIONTS, S.; DEB, K. Multiple Criteria Decision Making and Multiattribute Utility Theory: Recent Accomplishments and What Lies Ahead. *Management Science*, 54(7), 1336–1349, 2008.

ZELENY, M. *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill, 1994.