DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO ÓTIMA DE UM AEROPORTO INDUSTRIAL NO BRASIL

MarceloAugusto Pires Togatlian
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Anderson Ribeiro Correia
Instituto Tecnológico de Aeronáutica

RESUMO
Este artigo trata sobre a localização ótima de um aeroporto industrial no Brasil, regime especial de entreposto aduaneiro. O método aplicado é o AHP (Analytic Hierarchy Process), amplamente utilizado no ambiente das decisões multi-critérios discretas, que obtém valores numéricos a partir de julgamentos verbais. Primeiro é apresentado o conceito de aeroporto industrial. Após, são descritas as duas fases do AHP, seguidas da sua aplicação, com três critérios e quatro localizações candidatas. Obtida a localização ótima, os resultados são analisados e sugeridos trabalhos com enfoque mais amplo.

ABSTRACT
This paper consider the problem of the otimal location of an industrial airport in Brazil, an special approach custom entrepot. The method applied is the AHP (Analytic Hierarchy Process), widely utilized in the environment of discrete multicriteria decision making, that obtain numerical values from verbal judgements. First, is presented the concept of industrial airport. Then, the two phases of the AHP are described. The method is applied with three criteria and four possible locations. After the optimal location be achieved, results are analized and new researchs with wider approach are proposed.

1. INTRODUÇÃO

O aeroporto industrial é um regime aduaneiro que permite às empresas que o adotam aumentar a competitividade e reduzir custos. As empresas que se instalam no aeroporto contribuem para o aumento do volume das exportações do país e geram empregos diretos, pela contratação de funcionários e indiretos, pela necessidade de produtos e serviços dos fornecedores situados no entorno do aeroporto. A INFRAERO (Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária) também é beneficiada pela cobrança da armazenagem nas suas instalações.

O aeroporto industrial não será construído, mas sim implementado num aeroporto já existente. A INFRAERO optou por quatro alternativas: os aeroportos internacionais do Galeão (RJ), de São José dos Campos (SP), de Petrolina (PE) e de Confins (MG).

Considerando a expectativa de grandes impactos no tráfego aéreo, no volume dos negócios e na geração de empregos após sua implementação, a motivação deste trabalho é concluir sobre a melhor localização de um aeroporto industrial no Brasil, pela análise cuidadosa de critérios iguais para cada alternativa.

2. CARACTERIZAÇÃO DO AEROPORTO INDUSTRIAL

O aeroporto industrial é um regime de entreposto aduaneiro aplicado à importação e exportação, com isenção dos impostos relativos a estas atividades em caso de o recinto alfandegado ser de uso público. As mercadorias admitidas no regime podem ser submetidas às atividades de: i) armazenagem; ii) exposição, demonstração e teste de funcionamento; iii) industrialização e iv) manutenção ou reparo. Quando o recinto alfandegado for credenciado para atividades de industrialização e estiver localizado em aeroporto, receberá a denominação de aeroporto industrial. As operações incluem acondicionamento, montagem, beneficiamento, recondicionamento e transformação, este no caso de preparo de alimentos para consumo a bordo de aeronaves utilizadas no transporte comercial internacional ou destinado à exportação. A política é importar insumos e pelas operações citadas, agregar valor e exportar. Uma vantagem do aeroporto industrial para as empresas é a diminuição do tempo entre o início das atividades e a entrega ao cliente, aumentando a competitividade, já que várias empresas se instalarão na área sob jurisdição do aeroporto. Outra vantagem é a redução dos custos relativos a transportes, pelo embarque de grandes lotes de manufaturados. A INFRAERO, administradora dos quatro aeroportos em tela, se beneficiará pela cobrança de taxas de armazenagem, referentes tanto aos insumos importados quanto aos produtos a exportar.

3. MÉTODO

O Analytic Hierarchy Process (AHP) será o método de decisão multi-critério aplicado, em que os elementos do problema (objetivo, critérios e alternativas) são divididos em níveis hierárquicos. O AHP é aplicado em duas fases: estruturação da hierarquia e modelagem. A primeira fase depende do conhecimento dos fatores envolvidos no problema. A fase de modelagem tem como base as comparações par a par. Os quatro axiomas utilizados pelo método são os seguintes: a) Axioma da comparação recíproca: os julgamentos efetuados pelo tomador de decisão devem possuir a condição de reciprocidade: se um elemento E_1 é *x vezes* mais preferido do que um elemento E_2, então E_2 é *1/x* vezes mais preferido do que E_1; b) Axioma da homogeneidade: os elementos de um mesmo nível hierárquico devem possuir os mesmos graus de magnitude e detalhamento; c) Axioma da independência: as comparações realizadas entre os critérios para obtenção dos pesos, devem ser independentes das alternativas; e d) Axioma da expectativa: para aplicação do método, todos os critérios e alternativas relevantes devem ser considerados pelo tomador de decisão, procurando tornar a estrutura da hierarquia completa.

3.1. Estruturação da hierarquia

Esta fase da implementação é composta de três processos inter-relacionados. O primeiro é a identificação dos níveis, elementos (objetivo, critérios e alternativas) e definição dos conceitos para cada critério. O segundo compreende a formulação de questionamentos como por exemplo, se um dado critério deve realmente participar da resolução do problema. O terceiro é a avaliação da hierarquia. A estrutura da hierarquia é um processo iterativo onde os conceitos, os questionamentos e as respectivas respostas determinam seus elementos e níveis. Se todos os questionamentos forem respondidos com consistência utilizando as informações obtidas, significa que a hierarquia está bem estruturada. Os três processos da estruturação da hierarquia e suas relações são mostrados na figura 1.

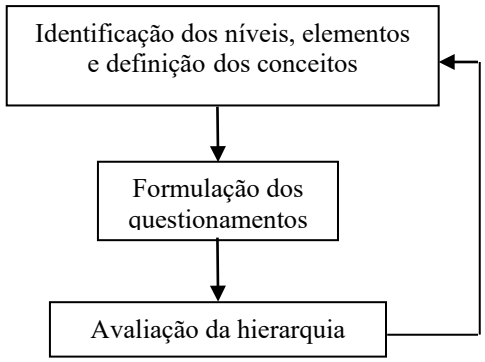


Figura 1: processos da estruturação da hierarquia e suas relações

3.2. Modelagem

É baseada em comparações par a par com o objetivo de obter vetores de prioridades, cujas componentes representam os pesos dos critérios ou das alternativas em relação aos critérios alocados em níveis superiores. Vários métodos foram propostos para a obtenção do vetor de prioridades, no entanto foi demonstrado por Saaty (1980), que o melhor método é o do autovetor direito, que permite estimar o vetor de prioridades com consistência. Considere *n* critérios ou alternativas a serem comparados. Seja $W = (w_1, w_2, \ldots, w_n)$ o vetor de prioridades, cujas componentes w_i representam os pesos dos critérios ou das alternativas em relação a um critério de nível superior. Considere $A = [a_{ij}] / i,j = 1,2, \ldots, n$, chamada *matriz de decisão*, em que cada linha i fornece as razões entre o peso do critério ou alternativa de índice i e todos (as) os (as) demais. Se todos os juízos forem perfeitos, a seguinte equação matricial é obtida:

$$\begin{matrix}\text{Linha 1} \Rightarrow \\ \text{Linha 2} \Rightarrow \\ \\ \text{Linha n} \Rightarrow\end{matrix} \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

o que corresponde a AW = nW. Logo, é correto afirmar que *n* é um autovalor de A e que $W = (w_1, w_2, \ldots, w_n)^T$ é o autovetor de A associado a *n*. A matriz de decisão A possui todos os elementos positivos e é uma matriz simétrica, já que $a_{ji} = 1/a_{ij}$. Além de ser simétrica, A é consistente, posto que $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik} \forall i,j,k = 1,\ldots,n$.

Entretanto, num ambiente de tomada de decisão, os valores exatos de $a_{ij} = w_i/w_j$ não podem ser obtidos, mas estimados. Considerando que mesmo uma pessoa ou grupo de pessoas com experiência no assunto referente à tomada de decisão pode cometer alguns erros, ainda que mínimos, caso ocorra alguma perturbação num elemento a_{ij} da matriz A, tal que *n* não satisfaça mais a equação AW = nW, será necessário encontrar o autovalor máximo de A ($\lambda_{máx}$), que permita à matriz A manter sua condição de matriz simétrica, embora não seja mais consistente, pois os juízos não são perfeitos. Esta situação gera um problema do tipo:

$$AW = \lambda_{máx} W$$

em que A: matriz de decisão;
$\lambda_{máx}$: autovalor máximo de A; e
W: autovetor de A associado a $\lambda_{máx}$.

A partir de (2) e após a normalização de W, o autovalor $\lambda_{máx}$ é obtido pela fórmula:

$$\lambda_{máx} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{[A\overline{w}]_i}{\overline{w}_i} \qquad (3)$$

em que A: matriz de decisão;
$\lambda_{máx}$: autovalor máximo de A;
n: ordem da matriz de decisão ; e
$\overline{w}_i$: componente normalizada do vetor $\overline{W}$.

Após obtido $\lambda_{máx}$, surge a dúvida sobre até que ponto o vetor de prioridades W é confiável, uma vez que não está mais associado ao autovalor *n* e sim a $\lambda_{máx}$. Saaty (1990), provou dois teoremas que relacionam $\lambda_{máx}$ e *n*. A partir destes teoremas foram adotados índices que permitem medir a confiabilidade de W. No primeiro teorema é provado que se $a_{ij} = (1+\delta_{ij}).\frac{w_i}{w_j}$ tal que $\delta_{ij} > -1$, é uma perturbação num elemento $a_{ij} = w_i/w_j$ da matriz de decisão A, então $\lambda_{máx} \geq n$. No segundo teorema é provado que *A é consistente se e somente se* $\lambda_{máx} = n$. Assim, o valor ($\lambda_{máx} - n$) é utilizado para medir a consistência dos julgamentos após a formação de A e a obtenção de W normalizado. Quanto mais próximo de zero, maior será a consistência dos julgamentos. É importante frisar que este valor deve servir como um alerta para o decisor e não apenas como um fato indesejado. A partir dos dois teoremas, Saaty (1980), propôs o cálculo da razão de consistência (RC) da matriz de decisão A:

$$RC = \frac{IC}{IR} \qquad (4)$$

em que RC: razão de consistência;
IC: índice de consistência; e
IR: índice aleatório.

IC é obtido por:

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n-1} \qquad (5)$$

em que IC: índice de consistência;
$\lambda_{máx}$: autovalor máximo de A; e
n: ordem de A.

IR é calculado para matrizes de ordem *n*, pelo Laboratório Nacional de Oak Ridge, nos Estados Unidos. Alguns dos valores de IR são mostrados na tabela 1.

Tabela 1: valores de IR para matrizes de ordem *n*

n	2	3	4	5	6	7
IR	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32

Quanto maior for RC, maior será a inconsistência. A tabela 2 apresenta valores de RC associados a n.

Tabela 2: limites superiores para RC

n	2	3	4	> 4
RC	= 0	< 0,05	< 0,09	≤ 0,10

3.3. A escala fundamental

A escala fundamental do método foi construída a partir de pesquisas do psicólogo George Miller na década de 50, no campo da psicologia, que comprovaram que o ser humano pode ocupar-se e conseguir bons resultados administrando (7 ± 2) informações simultaneamente. Além de nove informações, a administração torna-se confusa. A escala fundamental permite retirar valores de sua escala absoluta e transformá-los em uma escala relativa, quando são comparados par a par na matriz de decisão. Assim, julgamentos verbais são traduzidos em valores numéricos que representam a importância de um elemento (critério ou alternativa) em relação a outro. A principal aplicação das escalas relativas está na mensuração da importância entre elementos intangíveis, estabelecendo-a por um número. São sempre utilizadas quando há necessidade de expressar julgamentos subjetivos. A escala é apresentada na tabela 3.

Tabela 3: Escala fundamental do método AHP

Importância em escala absoluta	Definição	Explanação
1	Igual importancia	Os dois elementos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena	A experiência e o juízo favorecem um elemento sobre outro
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o juízo favorecem intensamente um elemento sobre outro
7	Importância muito grande ou demonstrada	Um elemento tem dominância muito acentuada sobre outro
9	Extrema importância	A experiência e o juízo favorecem um elemento sobre outro com o mais alto grau de segurança
2,4,6,8	Valores intermediários	Utilizados quando se procura uma condição de compromisso entre os elementos

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO

4.1. Estruturação da hierarquia

4.1.1. Identificação dos níveis e elementos

A hierarquia será estruturada em três níveis. No primeiro estará o objetivo, que é a localização ótima de um aeroporto industrial no Brasil. No segundo nível estarão três critérios a saber: pistas e pátios, acessibilidade e recebimento/escoamento. No terceiro nível estarão as quatro alternativas de localização dos aeroportos: Galeão (GL), São José (SJ), Petrolina (PE) e Confins (CF). A estrutura da hierarquia para o problema é apresentada na figura 2. As localizações serão citadas pelas abreviações quando conveniente.

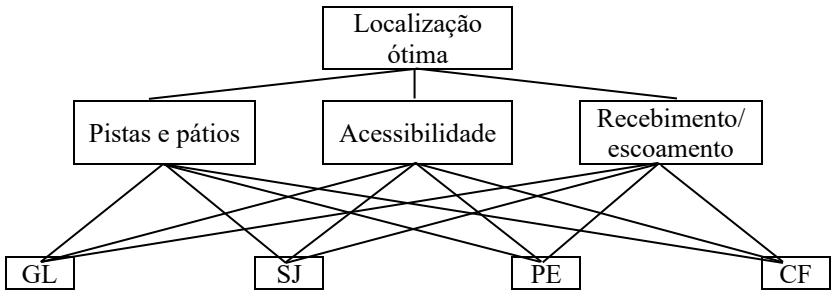


Figura 2: Estrutura da hierarquia

4.1.2. Definição dos conceitos dos critérios

Para gerar a matriz de decisão referente ao segundo nível da hierarquia e obter o respectivo vetor de prioridades, serão explanados os seguintes conceitos, que nortearão cada critério: a) Pistas e pátios (C_1): relacionado ao número de pistas e suas relações comprimentos/altitudes que permitam pousos e decolagens de aeronaves utilizadas no transporte internacional de carga, com os maiores pesos de pouso e decolagem possíveis. Pátios de estacionamentos em operação também serão considerados; b) Acessibilidade (C_2): refere-se à facilidade de acesso aos aeroportos pelas principais vias rodoviárias da região, existência de pavimentação, número de pistas nas vias e congestionamentos freqüentes; c) Recebimento/escoamento (C_3): associado à proximidade de outros

portos e aeroportos que podem servir como pontos de transbordo, tanto para envio de insumos aos quatro aeroportos (recebimento) quanto para escoamento da produção gerada nestes. Será considerada também a proximidade de linha ferroviária cargueira, para transporte a ou de pontos de transbordo.

4.2. Modelagem

4.2.1. Critérios

Com base nas conceituações dos critérios, será formada a matriz de decisão C e obtido o vetor de prioridades $\overline{W}$. C_1 é fundamental para o sucesso de um aeroporto industrial, já que quanto maior o volume de carga a relação comprimento/altitude de uma pista permitir para pouso e decolagem, maior será o benefício. Se houver pátio de estacionamento, será possível operar maior número de vôos diários e conseqüentemente importar e exportar mais carga, visto que haverá possibilidade de estacionar aeronaves utilizando infra-estrutura adequada, tanto para decolagem no mesmo dia como em casos de pernoite. A tendência é priorizar as importações e exportações operando a pista do próprio aeroporto industrial. C_2 e C_3 têm uma condição de compromisso, no entanto C_3 é um critério de abordagem geográfica mais ampla do que C_2. Assim, a matriz de decisão relativa aos critérios, formada a partir destes julgamentos é a seguinte:

C =

	C_1	C_2	C_3
C_1	1	7	7
C_2	1/7	1	1/2
C_3	1/7	2	1

(6)

A matriz normalizada $\overline{C}$ será obtida pela fórmula:

$$\overline{C} = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} c_{ij}}, j = 1,...,m \qquad (7)$$

em que $\overline{C}$: matriz C normalizada;

c_{ij}: elemento da linha i e coluna j; e

m : número de critérios alocados num mesmo nível.

$\overline{C}$ =

	C_1	C_2	C_3
C_1	7/9	7/10	14/17
C_2	1/9	1/10	1/17
C_3	1/9	2/10	2/17

(8)

Cada componente normalizada do vetor de prioridades dos critérios $\overline{W} = (\overline{w}_1, \overline{w}_2, ..., \overline{w}_m)$ será obtida pela fórmula:

$$\overline{w}_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} c_{ij}}{m}, i = 1,...,m \qquad (9)$$

em que $\overline{w}_i$: componente normalizada do vetor $\overline{W}$

c_{ij}: elemento da linha i e coluna j; e

m : número de critérios alocados num mesmo nível.

$$\overline{w}_1 = \frac{\frac{7}{9} + \frac{7}{10} + \frac{14}{17}}{3} = \frac{3521}{4590} = 0,7674 \qquad \overline{w}_2 = \frac{\frac{1}{9} + \frac{1}{10} + \frac{1}{17}}{3} = \frac{413}{4590} = 0,0899$$

$\overline{w}_3 = \frac{\frac{1}{9} + \frac{2}{10} + \frac{2}{17}}{3} = \frac{656}{4590} = 0,1427$. Logo $\overline{W} = (0,7674\ ,\ 0,0899,\ 0,1427)$. Em seguida serão calculados o IC conforme (5) e o RC segundo (4). Será aplicado, para n = 3, o IR = 0,58 conforme tabela 1. O primeiro passo é calcular $\lambda_{máx}$ segundo (3), substituindo A por C, que indica a matriz de decisão dos critérios.

$$\lambda_{máx} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{[C\overline{w}]_i}{\overline{w}_i} \tag{10}$$

$$C\overline{w} = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 7 \\ 1/7 & 1 & 1/2 \\ 1/7 & 2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0{,}7674 \\ 0{,}0899 \\ 0{,}1427 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2{,}3953 \\ 0{,}2702 \\ 0{,}4313 \end{bmatrix} \Rightarrow C\overline{w}_1 \Rightarrow C\overline{w}_2 \text{ e} \Rightarrow C\overline{w}_3$$

$$\lambda_{máx} = \frac{1}{3}\left(\frac{2{,}3953}{0{,}7674} + \frac{0{,}2702}{0{,}0899} + \frac{0{,}4313}{0{,}1427}\right) = 3{,}0504$$

$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n-1} = \frac{3{,}0504 - 3}{3-1} = 0{,}0252$ e $RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0{,}0252}{0{,}58} = 0{,}0434$. O limite superior de RC para n = 3 é 0,05, conforme tabela 2. Portanto, se RC = 0,0434, os julgamentos são consistentes. A matriz de decisão C, o vetor de prioridades $\overline{W}$, $\lambda_{máx}$, IC e o RC estão agrupados na tabela 4.

Tabela 4: Dados agrupados dos critérios

	C_1	C_2	C_3	$\overline{W}$
C_1	1	7	7	0,7674
C_2	1/7	1	1/2	0,0899
C_3	1/7	2	1	0,1427
$\lambda_{máx}$ =3,0504 IC = 0,0252				RC = 0,0434

4.2.2. Alternativas em relação ao critério 1

Nesta fase da modelagem, as alternativas de localização serão analisadas com base no conceito de cada critério separadamente. Iniciando com o critério C_1 (pistas e pátios), foram pesquisadas as frotas de dez companhias aéreas, dentre estas duas nacionais, na tentativa de adotar um modelo de aeronave como referência, utilizado no transporte internacional de cargas, para as comparações entre as pistas. Entretanto, devido à variedade de modelos e de motores instalados num mesmo modelo, o que modifica os requisitos de pouso e decolagem, não foi possível selecionar uma aeronave que integrasse a frota da maioria das empresas. Por isso foi adotada como referência, a aeronave modelo 747- 300, fabricada pela Boeing, cujo PMD (peso máximo de decolagem) permitido é maior do que 375 t, com motor RB211-524D4. O ábaco para análise é o *Standard day + 15ºC*, em razão das temperaturas de referências das pistas. Para continuação da análise, são apresentadas a figura 3 e a tabela 5.

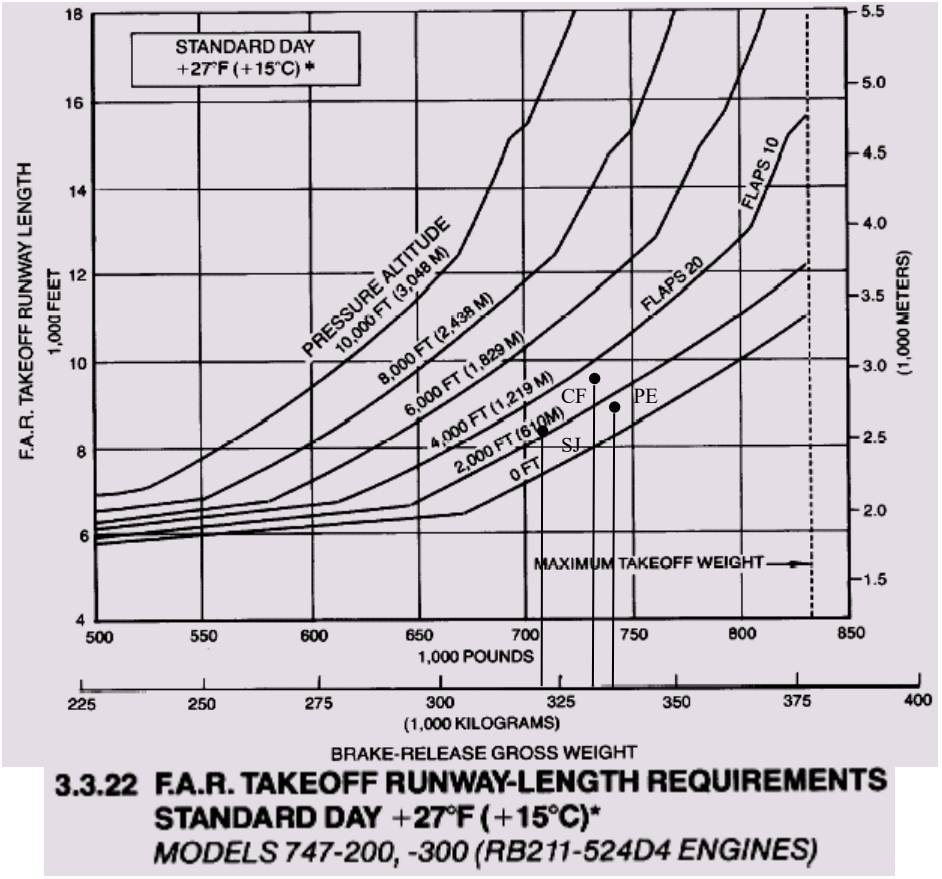


Figura 3: Ábaco (peso de decolagem x comprimento de pista)

Tabela 5: dados das cartas de aeródromo (ADC) e de estacionamento (PDC)

Alternativa	Elevação (pés)	Comprimento de pista (m)	Pátio de estacionamento	Temperatura de referência (ºC)
GL	28	3.180	Sim	30
		4.000		
SJ	2120	2676	Não	33
PE	1263	2760	Não	28
CF	2715	3000	Sim	30

Apenas GL possui duas pistas, uma delas com comprimento de 4000 m, que permite decolagens deste modelo com *PMD da aeronave*, indicado no ábaco pela vertical pontilhada, além de possuir pátio de estacionamento para atender a aeronave em questão. No caso de GL, a altitude de 28 pés pode ser considerada tecnicamente neste artigo como zero pés. No entanto, para as outras três alternativas não é possível a construção das curvas exatas de pressão-altitude por interpolação porque: i) os intervalos de 25 t entre os pesos de decolagens e de 500 m entre os comprimentos de pista não fornecem precisão para tal procedimento; ii) teriam que ser considerados valores angulares de flap para cada curva. Pelos motivos expostos, são mostradas no ábaco as localizações *estimadas* dos pontos de interseção entre os comprimentos de pista e as curvas de pressão-altitude de cada aeroporto, possibilitando *referências dos PMD's* deste modelo de aeronave *em cada aeroporto*. A altitude em CF é maior do que em PE e SJ, constituindo um fator negativo no tocante à decolagem. A posição do ponto associado à CF indica menor PMD comparado à PE. Entretanto, CF possui pátio de estacionamento com estrutura pronta para receber um 747-300, o que possibilita operar um número maior de aeronaves do que em PE, em qualquer horizonte de tempo, aumentando sua capacidade de importação e exportação. Entre os dois aeroportos que não possuem pátio de estacionamento, PE possui maior comprimento de pista e menor altitude, permitindo decolagens do modelo em análise com maior PMD do que em SJ. O peso máximo de pouso é superior a 280t e com pista seca e flaps a 25º, condição operacional que exige maior comprimento de pista, as

quatro alternativas atendem aos requisitos, pois o comprimento de pista necessário para pouso é sempre inferior a 2500 m. Após esta análise, a matriz de decisão M_1, relativa ao critério *Pistas e pátios* é a seguinte.

$M_1 =$

	GL	SJ	PE	CF
GL	1	7	6	4
SJ	1/7	1	1/2	1/3
PE	1/6	2	1	1/4
CF	1/4	3	4	1

(11)

Para obtenção do vetor $\overline{A}_1$, relativo às prioridades das alternativas quanto ao primeiro critério (C_1), cálculos análogos àqueles para obtenção de $\overline{W}$ são procedidos, entretanto tomando n = 4 para o cálculo de IC conforme (5), IR = 0,9 retirado da tabela 1 para calcular RC segundo (4) e o limite superior de RC < 0,09 (tabela 2). Os dados agrupados são mostrados na tabela 6.

Tabela 6: Dados agrupados de C_1

	GL	SJ	PE	CF	$\overline{A}_1$
GL	1	7	6	4	0,6045
SJ	1/7	1	1/2	1/3	0,0679
PE	1/6	2	1	1/4	0,0981
CF	1/4	3	4	1	0,2295
$\lambda_{máx}$ = 4,1628					RC =0,0603
IC = 0,0543					

Pelo vetor $\overline{A}_1$, a ordem de prioridade das alternativas considerando C_1 é a seguinte: 60,45% da prioridade para GL, 6,79% para SJ, 9,81% para PE e 22,95% para CF. O valor de RC valida os julgamentos, pois é inferior ao seu limite máximo para matrizes de ordem 4.

4.2.3. Alternativas em relação ao critério 2

GL situa-se à Avenida 20 de janeiro, cujo acesso se dá pela Estrada do Galeão, ambas asfaltadas e de pistas duplas. A Estrada do Galeão apresenta congestionamentos em horário comercial, no início da manhã e ao final da tarde e é o único acesso à Avenida 20 de janeiro. SJ situa-se a menos de dez quilômetros da Rodovia Presidente Dutra (BR-116), que é pavimentada e de pista dupla. Esta permite o acesso dos veículos vindos da cidade de São Paulo e das cidades situadas na região do Vale do Paraíba. Também pode ser acessada pela Rodovia Dom Pedro I (SP-065), oriunda do interior de SP, pavimentada e de pista dupla. SJ é acessado diretamente pela Rodovia dos Tamoios (SP-099), que tem origem no litoral norte de SP, pavimentada mas de pista simples. A Rodovia Presidente Dutra e as demais rodovias citadas não apresentam congestionamentos freqüentes. O acesso a PE pode ocorrer pela Rodovia Asa Branca (BR-122), para os veículos que vêm das cidades de Pernambuco ou pela Rodovia Lomanto Jr. (BR-407), para aqueles oriundos do Piauí. O acesso a veículos vindos da Bahia ocorre pela Rodovia BA-314, que apresenta um trecho de 60 Km, freqüentemente em estado precário de conservação, vindo a melhorar 5 Km antes de PE. As Rodovias Asa Branca e Lomanto Jr. são pavimentadas, de pistas simples e não apresentam congestionamentos. CF pode ser acessado pela Rodovia Américo René Gianetti (MG-424), para os veículos oriundos da região metropolitana de Belo Horizonte, ao sul, e para aqueles que vêm da região de Sete Lagoas, ao norte. A rodovia é pavimentada, entretanto ao norte de CF é de pista simples e ao sul, de pista dupla e não apresenta congestionamentos. A matriz de decisão M_2, referente ao critério *Acessibilidade*, gerada pelos julgamentos baseados nos dados acima é a seguinte:

$M_2 =$

	GL	SJ	PE	CF
GL	1	1/5	3	1
SJ	5	1	7	5
PE	1/3	1/7	1	1/3
CF	1	1/5	3	1

(12)

O vetor de prioridades $\overline{A}_2$ será calculado de maneira análoga à de $\overline{A}_1$, atribuindo os mesmos valores aos parâmetros n e IR e o mesmo limite superior a RC. Os dados agrupados de C_2 são os apresentados na tabela 7.

Tabela 7: Dados agrupados de C_2

	GL	SJ	PE	CF	$\overline{A}_2$
GL	1	1/5	3	1	0,1542
SJ	5	1	7	5	0,6279
PE	1/3	1/7	1	1/3	0,0637
CF	1	1/5	3	1	0,1542
$\lambda_{máx}$ = 4,0739					RC = 0,0274
IC = 0,0246					

Pelo vetor $\overline{A}_2$, a alternativa que possui a maior prioridade em relação a C_2 é SJ. GL e CF têm a mesma prioridade com o segundo maior valor e PE tem a menor prioridade no critério 2.

4.2.4. Alternativas em relação ao critério 3

GL dista 130 Km, 53 Km, 25 Km e 10 Km dos Portos de Angra dos Reis, Sepetiba, Niterói e Rio de Janeiro, respectivamente. A proximidade do Aeroporto Santos Dumont não é aproveitável, visto que este só opera vôos domésticos. Não há proximidade de linhas ferroviárias cargueiras. SJ dista 110 Km e 169 Km dos Portos de São Sebastião e de Santos, respectivamente. Está a 150 Km do Aeroporto de Campinas e a 90 Km do Aeroporto de Guarulhos. Paralela à Rodovia Presidente Dutra (BR-116), existe linha ferroviária cuja malha à qual está integrada contempla o Porto de Santos e dista, em trecho ferroviário, 150 Km de SJ. PE dista 15 Km do Porto Fluvial de Petrolina. Não há proximidade de aeroportos ou ferrovias. CF está a 270 Km do Porto Fluvial de Pirapora (MG) e a 560 Km do Porto de Vitória (ES). Embora esteja próximo ao Aeroporto da Pampulha, em Belo Horizonte, esta condição não o favorece, uma vez que só operam vôos domésticos no aeroporto da capital. A linha ferroviária disposta paralelamente à Rodovia Américo René Gianetti (MG-424) conduz ao Porto Fluvial de Pirapora, cuja distância ferroviária é 270 Km de CF. Os julgamentos baseados nos dados colhidos geraram a matriz de decisão M_3, relativa ao critério *Recebimento/escoamento*.

M_3 =

	GL	SJ	PE	CF
GL	1	1/3	3	3
SJ	3	1	5	5
PE	1/3	1/5	1	2
CF	1/3	1/5	1/2	1

(13)

Os valores atribuídos aos parâmetros n e IR e ao limite superior de RC são iguais aos dos cálculos de $\overline{A}_1$ e $\overline{A}_2$. Os dados agrupados de C_3 são os da tabela 8.

Tabela 8: Dados agrupados de C_3

	GL	SJ	PE	CF	$\overline{A}_3$
GL	1	1/3	3	3	0,2487
SJ	3	1	5	5	0,5502
PE	1/3	1/5	1	2	0,1185
CF	1/3	1/5	1/2	1	0,0826
$\lambda_{máx}$ = 4,1055					RC = 0,0391
IC = 0,0352					

Obtidos o vetor de prioridades dos critérios $\overline{W}$ = (0,7674 , 0,0899, 0,1427) e os vetores de prioridades das alternativas em relação a cada critério $\overline{A}_1$ = (0,6045, 0,0679, 0,0981, 0,2295), $\overline{A}_2$ = (0,1542, 0,6279, 0,0637, 0,1542) e $\overline{A}_3$ = (0,2487, 0,5502, 0,1185, 0,0826), a função aditiva $\bar{f} = (A_j)$ é definida da seguinte maneira:

$$\bar{f}(A_j) = \sum_{i=1}^{m} \overline{w}_i \times \bar{a}_j^i, j = 1,2,3,4 \qquad (14)$$

em que $\bar{f}(A_j)$: função aditiva que fornece o peso da alternativa j em relação ao objetivo;

$\overline{w}_i$: componente normalizada do vetor $\overline{W}$;

$\bar{a}_j^i$: peso da alternativa j em relação ao critério i, obtido do vetor normalizado $\overline{A}_i$;e

m : número de critérios.

Os índices j das alternativas são: 1=GL, 2=SJ, 3=PE e 4=CF e os índices i dos critérios são: 1=pistas e pátios, 2=acessibilidade e 3=recebimento/escoamento.

Os vetores de prioridades estão dispostos na tabela 9 e o resultado na coluna $\bar{f}(A_j)$.

Tabela 9: Vetores de prioridades e resultado

$\bar{a}^i_j$ \ $\bar{w}_i$	0,7674	0,0899	0,1427	$\bar{f}(A_j)$
$\bar{a}^i_1$	0,6045	0,1542	0,2487	0,5132
$\bar{a}^i_2$	0,0679	0,6279	0,5502	0,1871
$\bar{a}^i_3$	0,0981	0,0637	0,1185	0,0979
$\bar{a}^i_4$	0,2295	0,1542	0,0826	0,2018

Ao final da fase de modelagem e da aplicação do método, foi obtida a prioridade de cada alternativa em relação ao objetivo. Considerando os três critérios definidos e os julgamentos das quatro alternativas em relação a cada critério, *a localização ótima de um aeroporto industrial no Brasil é no aeroporto do Galeão, cuja prioridade é de 51,32%.*

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os resultados indicam que, considerando os critérios definidos e os julgamentos subjetivos do autor, GL é a melhor alternativa para implementar um aeroporto industrial. CF e SJ, tecnicamente empatadas, são boas opções, porém PE está aquém das necessidades. A política de importar insumos, agregar valor e exportar manufaturados em grandes quantidades sem que saiam do aeroporto teve peso significativo nos resultados, visto que o critério *pistas e pátios,* que favoreceu fortemente GL, está alinhado em alto grau com esta política. Dados os impactos em áreas importantes como tráfego aéreo, geração de empregos e exportações, que tratam de bilhões de dólares, o procedimento ideal para uma tomada de decisão deste vulto é um trabalho em grupo, envolvendo especialistas em áreas cujos critérios abrangem também *apoio político em cada região, áreas disponíveis em comparação com as necessárias, custos de implantação e impactos ambientais nos entornos dos aeroportos,* o que pode gerar resultados diversos do atual, tanto pelos julgamentos como pelas estruturas de hierarquias construídas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo tratou da seleção da localização ótima de um aeroporto industrial no Brasil aplicando o método de decisão multi-critério AHP (Analytic Hierarchy Process). Foi caracterizado o regime de aeroporto industrial e em seguida o método foi descrito e aplicado, considerando três critérios e quatro alternativas. Após a obtenção dos resultados, estes foram discutidos. Foi sugerido um trabalho de maior vulto, com critérios mais abrangentes, em que a tomada de decisão seria influenciada por especialistas e citadas as razões pelas quais resultados distintos podem ser obtidos, ainda que seja aplicado o mesmo método. Informações sobre aeroporto industrial podem ser obtidas em legislações da Receita Federal.

Agradecimentos

O autor agradece ao superintendente e à encarregada de atividades de logística do Aeroporto de São José dos Campos pela entrevista concedida e pela cessão da legislação sobre o regime de aeroporto industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ballou, R. H. (2001) *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial.* Ed.Bookman, Porto Alegre.

Editora Abril (2005) *Guia de Estradas Quatro Rodas*, São Paulo.

Gomes, L. F. A. M., Araya, M. C. G., Carignano C.(2004) *Tomada de Decisões em Cenários Complexos: Introdução aos Métodos de Apoio Multicritério à Decisão.* Ed. Pioneira Thomson Learning, São Paulo.

Secretaria da Receita Federal (2002) *Instrução Normativa SRF nº 241, de 6 de novembro de 2002.*

Saaty, T. L. (1990) How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, v.48, p.9-26.

Vargas, L. G. (1990) An overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications. *European Journal of Operational Research*, v.48, p.2-8.