

# **LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES: ESTUDO DE CASO APLICADO A ESCOLHA ADEQUADA DE AEROPORTO PARA A MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS LOGÍSTICOS DE DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTOS FARMACOLÓGICOS**

**Vladimir Lima da Silva**

Graduação Tecnológica em Logística

Universidade Unigranrio

**Marcelo Prado Sucena**

Secretaria de Transportes do Estado do Rio de Janeiro

## **RESUMO**

Nos dias atuais, o processo de localização de centros de distribuição, plantas e mesmo hospitais (as chamadas facilidades) faz parte de um conjunto de procedimentos fundamentais para a minimização dos custos globais de escoamento da produção das organizações fabris ou atendimento das demandas por bens ou serviços de empresas e instituições. Sendo assim, e tendo como base um estudo de caso de empresa do ramo de fármacos, o presente trabalho tem por objetivo apresentar um procedimento para escolha adequada de aeroporto que apresente infraestrutura capaz de atender as necessidades de distribuição de produtos, minimizando os custos logísticos globais. A metodologia, resultado do emprego de funções da trigonometria esférica e do método do centro de gravidade, permite ainda a visualização do montante dos custos locais de transporte.

## **ABSTRACT**

Nowadays, the warehouses, plants or even hospitals (commonly known as facilities) decision localization process is considered part of a set of basic procedures for costs minimization of manufactured products distribution and also for services providing in a wide range of companies or institutions. Thus, and having as base a pharmaco-chemical industry case study, the primary role of the present work is to illustrate a selection procedure of an airport which is required to comprise sufficient infrastructure capabilities in order to ensure products distribution, as well as global logistic costs minimization. The methodology, applied by means of spherical trigonometry equations and the center of gravity (COG) method, still allows the local transportation costs assessment.

## **1. INTRODUÇÃO**

As organizações estão, cada vez mais, fortalecendo-se para avaliações estratégicas em um cenário mercadológico acirrado, onde o gerenciamento logístico da cadeia de suprimentos é cada vez mais complexo.

Tomando-se o principal objetivo da logística tradicional que é o de disponibilizar produtos e serviços onde e quando forem necessários, a custos competitivos, sob as mais adversas situações, chega-se a conclusão dos motivos do apelo mercadológico sobre essa área.

Entretanto, neste aspecto globalizado, ou seja, com distâncias cada vez maiores, um dos grandes problemas da logística é a identificação de pontos para atendimento ao cliente que otimizem certas impedâncias do transporte, tais como custo, tempo e distância. Ressalta-se ainda que, no Brasil, o transporte rodoviário para o escoamento de produtos manufaturados tem sofrido perdas sensíveis por conta de roubos e furtos, além de danos e não conformidades na carga, consequência do aumento nos índices de criminalidade e das precárias condições do pavimento. A implicação que fica evidente para as organizações é a busca por soluções que permitam contornar esses óbices, atentando para mecanismos e/ou modos de transporte que assegurem a integridade da carga, bem como afiancem o pronto atendimento às demandas de clientes. Por conseguinte, de modo recente, o transporte aéreo tem se tornado uma alternativa importante para o transporte de produtos de alto valor agregado, reduzindo o tempo de entrega e atendendo a critérios específicos como confiabilidade, segurança, dentre outros.

Nesse artigo, pretende-se expor uma aplicação da técnica denominada Centróide, para Localização de Facilidades, moldada para o modo aéreo. Por intermédio de um estudo de caso em uma famosa indústria de fármacos, aplicaram-se os conceitos associados transformando as orientações cartesianas, que geralmente são voltadas para o modo rodoviário, para o outro formato mais indicado para o transporte aéreo.

## **2. REVISÃO SOBRE OS PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO E SEU REFERENCIAL TEÓRICO**

Observa-se que, na grande maioria dos estudos, foca-se a aplicação de técnicas de localização de facilidades nos problemas de distribuição física em modos terrestres, justamente pela mobilidade no plano. A literatura aplicada sobre assunto é extensa, destacando-se os trabalhos de BEZERRA (1995), LOPES e CAIXETA FILHO (2000), CORTES e PAULA JÚNIOR. (2001), DUBKE (2006) e os internacionais HIDAKA e OKANO (1997), ELHEDHLI e HU (2004) e GALVÃO (2004).

Existem vários estudos que enfatizam o desenvolvimento de algoritmos com alto desempenho de processamento, aperfeiçoado para solução de problemas de localização de facilidades que são implementados para serem processados em computador. Os trabalhos de ARAKAKI (2002), ARAKAKI e LORENA (2006), CORRÊA *et al.* (2006), CORRÊA (2008) e BEZERRA *et al.* (2008) são alguns destaques.

Em ARAKAKI (2002) uma nova heurística é desenvolvida para problemas de localização-alocação de facilidades. CORRÊA (2008) explora a representação de restrições de problemas em grafos e estratégias de particionamento para resolver problemas de localização de facilidades, usando relaxações e método de decomposição. Para problemas de localização, ARAKAKI e LORENA (2006) desenvolveram heurística simples, rápida e eficiente que foi aplicada nos problemas de localização de máxima cobertura e das p-medianas. A técnica da relaxação lagrangeana é a base para abordagem apresentada por CORRÊA e LORENA (2006), aplicando-se a problema de localização de facilidades não-capacitado.

Encontraram-se alguns trabalhos que usam técnicas tradicionais para localização de facilidades no modo aéreo, isto é, utilizando-se coordenadas cartesianas, principalmente para indicação de identificação de aeroportos concentradores, também conhecidos como *Hub*. São eles: MONTICONE e FUNK (1994), BRYAN e O'KELLY (1999) e ALUMURA e KARA (2007). Não se encontrou nenhuma pesquisa que estruturasse alguma das técnicas para localização de facilidades usando-se funções de trigonometria esférica, denotando-se, com isso, que são poucas, senão nenhuma, essas experiências.

Estas pesquisas se inserem em um referencial teórico no qual os problemas de localização de facilidades se resumem em posicionar uma, ou algumas instalações, objetivando a minimização ou maximização de impedâncias, satisfazendo uma demanda específica.

CORRÊA (2003) classifica os componentes envolvidos em problemas de localização de facilidades como:

- Facilidades: objetos que devem ter sua localização identificada para prover um serviço ou um bem;
- Locações candidatas: conjunto de pontos candidatos para localização das facilidades;
- Clientes: usuários das facilidades que demandam certos serviços ou bens.

De acordo com FORMIGONI (2005), os problemas típicos das análises de localização podem ser caracterizados como:

- Muito complexos: a complexidade é criada pela multiplicação da alternativa de lugares para localização, com as estratégias de estoques para cada localização;
- Intensivos em informações: a intensidade de informações é criada, porque a análise requer informação detalhada da demanda e do transporte.

BEZERRA *et al.* (2008) registram que o termo “facilidades”, utilizado nos problemas de localização, pode ser substituído por fábricas, depósitos, escolas, hospitais etc., enquanto “clientes” (pontos de demanda) referem-se a depósitos, unidades de vendas, estudantes etc.. Em geral, várias facilidades podem ser localizadas e, por sua vez, alocadas aos seus clientes.

Quando se necessita minimizar certa impedância para orientar a melhor localização da facilidade, denomina-se essa abordagem como Problema da p-Mediana. Em se tratando de situação onde se objetiva a localização para limites mínimo e máximo da impedância, identifica-se este problema como de Cobertura.

O problema de p-Mediana pode ser tratado como um modelo de programação linear inteira, sendo expresso pela seguinte expressão:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ij} \\
 & \text{s.a.} \\
 & \sum_{i \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \\
 & \sum_{j \in N} x_{jj} = p \\
 & x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j \in N \\
 & x_{ij} \leq x_{jj}; \forall i, j \in N
 \end{aligned}
 \tag{Eq.1}$$

Onde:

$[d_{ij}]_{n \times m}$  é uma matriz simétrica de custos (distâncias), com  $d_{ii} = 0$ ,  $\forall i \in N$ ;

$[x_{ij}]_{n \times m}$  é a matriz de alocação;

$p$  é o número de medianas;

$n$  é o número de pontos de demanda.

O problema de Cobertura pode ser expresso pelo modelo a seguir:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \sum_{i=1}^n h_i z_i \\
 & \text{s.a.} \\
 & z_i \leq \sum_{j=1}^m x_j, \forall i \in (1, \dots, n) \\
 & \sum_{j=1}^m x_j = P \\
 & x_j \in \{0,1\}, \quad z_j \in \{0,1\}, \forall (i, j) \in \{(1, \dots, n), (1, \dots, m)\}
 \end{aligned}
 \tag{Eq.2}$$

Onde:

$h_i$  é a demanda do cliente  $i$  que foi atendida;  
 $P$  é a quantidade de facilidades que podem ser instaladas;

$$x_j \begin{cases} 1 & \text{se a facilidade } j \text{ é localizada (instalada);} \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$z_i \begin{cases} 1 & \text{se o cliente } i \text{ é atendido;} \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Para DUBKE (2006), o problema de localizar uma instalação consiste em escolher uma posição geográfica para sua operação tal, que seja maximizada uma medida de utilidade, satisfazendo diversas restrições, em particular restrições de demanda.

ARAKAKI (2002) ressalta que existe o Problema de Localização de Máxima Cobertura (PLMC) que consiste em escolher locais para instalar facilidades de forma que a maior quantidade de clientes (pontos de demanda) seja coberta pela rede, identificando-se qual deles deverá ser atendido, por qual facilidade. O modelo matemático do PLMC é representado a seguir.

$$\begin{aligned} & \text{Max } \sum_{i \in N} D_i y_i \\ & \text{s.a.} \\ & \sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \in N \\ & \sum_{j \in M} x_j = p, \\ & x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in M \\ & y_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in N \end{aligned} \tag{Eq.3}$$

Onde:

$N = \{1, 2, \dots, n\}$  é o conjunto de pontos de demanda;

$M = \{1, 2, \dots, n\}$  é o conjunto de possíveis facilidades;

$D_i$  é a demanda de população da área  $i$ ;

$p$  é a quantidade de facilidades a serem localizadas;

$d_{ij}$  é a menor distância do nó  $i$  ao nó  $j$ ;

$N_i = \{j \in J \mid d_{ij} \leq S\}$ ;

$S$  é a distância de serviço - a área de demanda estará coberta se estiver dentro desta distância;

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{se a área de demanda } i \text{ é coberta e;} \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{se a facilidade deve ser localizada em } j \text{ e;} \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

### **3. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE E DE SEU ESTUDO DE CASO: A EMPRESA XYZ**

Fundada na década de 50, na região sudeste do Brasil, a empresa XYZ, objeto do presente estudo de caso, atua no ramo de fármacos por meio da fabricação e exportação de mais de 100 itens (e.g. genéricos), bem como pela comercialização, no mercado interno, de sua extensa linha de produtos.

No último ano, atentando para a crescente demanda do mercado doméstico, os executivos da empresa decidiram por realizar investimentos da ordem de US\$ 100 milhões na construção de uma nova planta. A nova unidade, que dará amplo suporte às operações logísticas da empresa, deverá empregar cerca de quinhentos trabalhadores e contar com uma sofisticada tecnologia de processamento de pedidos, sistemas automatizados para simplificação e maior rapidez do fluxo de trabalho, além de capacidade para suprir quase 80% de todo o volume de pedidos da empresa no país.

A nova fábrica, que deverá ainda comportar obras de expansão já em 2016, terá uma área de 60 mil metros quadrados e terreno de cerca de 150 mil m<sup>2</sup>. O início das obras, planejado para fevereiro de 2010, dependerá apenas de pequenos ajustes e adequações no sistema viário por parte do poder público, conforme acordo com o governo estadual, concluído no segundo semestre de 2008.

Por conta da problemática do transporte de produtos de alto valor agregado por via terrestre, especialmente a rodoviária (e.g. os valores de seguro de carga, deslocamento de equipe especializada para acompanhamento do transporte, sistemas de localização por satélite, perdas, furtos, custos diversos) a empresa optou por realizar o escoamento de sua produção por meio de aeroportos, agilizando, sobretudo, a entrega de seus produtos. O acordo foi extensamente discutido com empresas de cargas aéreas/expressas e o suporte a essas operações também foi concluído de forma satisfatória para os agentes envolvidos (de forma mais direta: empresas aéreas, fabricante, poder público).

Torna-se importante salientar que um dos mais importantes “*drivers*” que devem ser criteriosamente elucidados e amplamente analisados por meio de testes robustos (modelos econométricos ou baseados em inteligência artificial) é o volume demandado pelos principais centros consumidores. Assim é que, a projeção dos custos de transporte se dará muito por conta dessas características, já que o montante do número de viagens para atendimento adequado será bastante influenciado por esse item. Outrossim, o volume demandando também é o insumo para a definição da capacidade de produção da nova planta, pois define a capacidade a ser ofertada pelo sistema e, de forma consequente, os custos inerentes à construção e equipagem da nova fábrica.

Ressalta-se também que não constitui intenção dos autores abordar, no presente texto, o projeto ou mesmo os custos de implementação da nova unidade fabril, mas sim esclarecer, de forma didática, o modelo que pode servir de base para a escolha de local ou posicionamento de unidade de produção, tendo em vista a minimização dos custos globais de operação.

Os elementos básicos que fazem parte do modelo de decisão (mercados consumidores, demanda, custo de transporte e localização geográfica de aeroportos) são discriminados na tabela 1.

Tabela 1 - Dados de Entrada para o Modelo de Decisão

Município	Aeroporto				Demanda (mês)	Custo de Transporte (R\$/t/km)
	Nome	ICAO	Latitude (S)	Longitude (W)		
Brasília	Pres. Juscelino Kubitschek	SBBR	15° 52' 12"	47° 55' 17"	850t	0,44
Rio de Janeiro	Antonio Carlos Jobim	SBGL	22° 48' 32"	43° 14' 37"	1.450t	0,36
Rio Grande do Sul	Salgado Filho	SBPA	28° 59' 06"	51° 10' 03"	1.200t	0,42
Salvador	Luís Eduardo Magalhães	SBSV	12° 58' 16"	38° 30' 39"	900t	0,37
São Paulo	Guarulhos (Cumbica)	SBGR	23° 27' 46"	46° 32' 00"	1.700t	0,36

A Figura 1 apresenta o problema em termos espaciais.

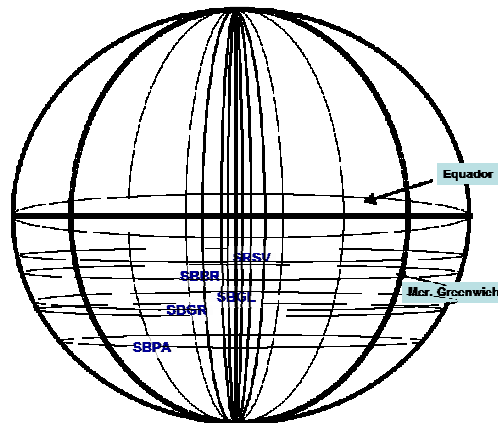


Figura 1 – Localização geográfica de aeroportos

Vale notar que o custo de transporte, definido em reais por tonelada transportada e distância aérea, fora objeto de negociação com a empresa aérea e definido em função dos aparelhos (aeronaves), características do plano de voo e consumo de combustíveis (QAV), bem como aeroportos a serem utilizados no atendimento as demandas. Os autores se reservaram o direito de modificar os valores de custos de transporte, mas sem prejuízo para o entendimento e caracterização da metodologia.

#### 4. METODOLOGIA

Um dos principais aspectos relacionados à determinação do ponto ótimo para a localização de novas instalações (fábricas, hospitais etc.) é o cálculo das distâncias entre os diferentes pontos que compõem o universo demandante dos serviços ou produtos (e.g. centros consumidores, população), de modo que os custos globais sejam minimizados. Este aspecto enquadra-se nos problemas de p-Mediana descritos anteriormente.

RITZMAN e KRAJEWSKI (2004) descrevem o método do centro de gravidade, ou centróide, para a localização da posição ótima para a instalação de clínicas, plantas, entre outros, no entanto, os autores o fazem a partir da distância euclidiana (equação 4).

$$Dist_{ab} = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} \quad \text{Eq. 4}$$

Nesse trabalho, em função de se necessitar levar em conta os aspectos geométricos da Terra (circunferência da Terra) que influenciam as distâncias percorridas pelas aeronaves, o uso de

distâncias retilíneas torna-se inadequado. Assim, para o cálculo da distância entre dois pontos e a consequente consideração dos fatores *custo* e *demanda*, serão adotados os passos que seguem (equações 5 e 6) e, complementarmente, as equações da trigonometria esférica.

Passo 1 do algoritmo (cálculo de ponto inicial):

$$\bar{X} = \frac{\sum D_i C_i X_i}{\sum D_i C_i} \text{ e } \bar{Y} = \frac{\sum D_i C_i Y_i}{\sum D_i C_i} \quad \text{Eq. 5}$$

Demais passos do algoritmo (até se estabilizar a posição):

$$\bar{X} = \frac{\sum \left( \frac{D_i C_i X_i}{d_i} \right)}{\sum \left( \frac{D_i C_i}{d_i} \right)} \text{ e } \bar{Y} = \frac{\sum \left( \frac{D_i C_i Y_i}{d_i} \right)}{\sum \left( \frac{D_i C_i}{d_i} \right)} \quad \text{Eq. 6}$$

Nas equações 5 e 6, têm-se:

$D_i = \text{Demanda}$   
 $C_i = \text{Custo}$   
 $X_i = \text{Longitude (valor decimal)}$   
 $Y_i = \text{Latitude (valor decimal)}$   
 $d_i = \text{Distância}$

A distância ( $d_i$ ) é calculada conforme o *arco cosseno* dos pontos ABC, obtido a partir do resultado do *cosseno* de  $a$  (equação 7 e figura 2).

$$\cos(a) = \cos(b) \cdot \cos(c) + \sin(b) \cdot \sin(c) \cdot \cos(ABC) \quad \text{Eq. 7}$$

É importante salientar que, ao se deparar com a localização dos municípios, aeroportos etc. expressos em graus, minutos e segundos, há de se realizar a transformação dessas coordenadas geográficas (latitude e longitude) para decimal. Isso pode ser feito por meio da equação 8 a seguir:

$$\text{Valor decimal} = \text{graus} + (\text{minutos}/60) + (\text{segundos}/3600) \quad \text{Eq. 8}$$

Assim é que, em se tratando da posição do aeroporto de Brasília (latitude 15° 52' 12"), por exemplo, teríamos a seguinte transformação:  $\text{Valor Decimal}_{SBBR} = 15 + 52/60 + 12/3600 = 15,8704$ . No caso de se desejar calcular a distância entre os aeroportos de Porto Alegre (longitude 51,168 e latitude 28,985) e Guarulhos (longitude 46,533 e latitude 23,464) da figura 2, teríamos:

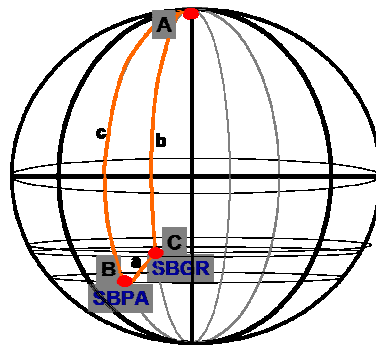


Figura 2 – Exemplificação de arcos considerados para o cálculo de distância entre dois pontos por meio da trigonometria esférica

SBPA: Arco AB (c) =  $90 + 28,985 = 118,985$   
 SBGR: Arco AC (b) =  $90 + 23,464 = 113,464$   
 SBPA-SBGR: Arco ABC (a) =  $51,168 - 46,533 = 4,635$

A aplicação da equação 7 (em radianos) resulta em:

$$\begin{aligned}\cos(a) &= \cos(113,464) \cdot \cos(118,985) + \sin(113,464) \cdot \sin(118,985) \cdot \cos(4,634) \\ \cos(a) &= -0,48458 \cdot -0,3981 + 0,87474 \cdot 0,9173 \cdot 0,9967 = 0,9927 \\ \text{arco cos seno}(0,9927) &= 0,1205 \text{ (que em graus corresponde a } 6,909\text{)}\end{aligned}$$

Após o cálculo do *arco cosseno*, procede-se à regra de três para a determinação, em quilômetros, da distância entre os aeroportos. Desse modo, e sabendo-se que o raio da Terra é de 6.371 km, o arco completo será dado por:  $\text{Arco}_T = 2 \cdot \pi \cdot \text{raio da Terra} = 40.030 \text{ km}$ . Logo, teremos:

$$\begin{aligned}360 \text{ graus} &\rightarrow 40.030 \text{ km} \\ 6,909 \text{ graus} &\rightarrow x \text{ Km}\end{aligned}$$

Como decorrência, a distância entre os aeroportos de Guarulhos e Porto Alegre será de 768,26 km.

## 5. APLICAÇÃO E RESULTADOS

A aplicação do algoritmo leva em conta os dados da tabela 1 que resume o problema. Desenvolve-se o *passo 1* (equação 5) para a determinação da localização inicial, obtendo-se assim as coordenadas geográficas que se tornarão o ponto de partida para o próximo passo do algoritmo.

A tabela 2 que segue tem como intuito facilitar a visualização dos procedimentos de cálculo.

Tabela 2 - Resultados Iniciais (Passo 1) do Algoritmo

<i>Município</i>	<i>Demanda (t/mês)</i>	<i>Custo de Transporte (R\$/Km)</i>	$\bar{x}_i$	$\bar{y}_i$	<i>DC</i>	<i>DCX</i>	<i>DCY</i>
Brasília	850	0,44	47,92	15,8704	374	17.922,82	5.935,54
Rio de Janeiro	1450	0,36	43,24	22,81	522	22.573,84	11.906,82
Rio Grande do Sul	1200	0,42	51,17	28,99	504	25.788,47	14.608,55
Salvador	900	0,37	38,51	12,97	333	12.824,56	4.319,57
São Paulo	1700	0,36	46,53	23,46	612	28.478,40	14.360,20
<b>Soma →</b>					<b>2.345</b>	<b>107.588,09</b>	<b>51.130,66</b>

Com o emprego da equação 5 aos dados da tabela 2, as coordenadas iniciais, dadas por  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$ , serão, respectivamente: 45,880 (longitude) e 21,804 (latitude).

A etapa seguinte tem como dados de entrada os valores iniciais de latitude e longitude encontrados no passo 1 (45,880 e 21,804). Os resultados da primeira iteração podem ser visualizados na tabela 3 que segue:



Tabela 3 - Resultados da Aplicação do Algoritmo - Primeira Iteração (Passo 2)

<i>Município</i>	<b>Dist.</b>	<b>DC/d</b>	<b>DCX/d</b>	<b>DCY/d</b>	<b>Custo (R\$)</b>
Salvador	1.254,64	0,30	11,48	3,87	469.236,02
Brasília	693,88	0,75	36,05	11,94	362.202,96
Rio de Janeiro	293,22	1,72	74,33	39,21	147.782,93
São Paulo	196,42	1,70	78,89	39,78	65.406,92
Rio Grande do Sul	958,68	0,64	32,66	18,50	586.714,83
<b>Soma →</b>		<b>5,10</b>	<b>233,42</b>	<b>113,30</b>	<b>1.631.343,66</b>

Como pode ser notado, o custo global da operação, ou seja, de atendimento às demandas de Salvador, Brasília, Rio de Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul a partir da localização definida na etapa 1 (45,880 e 21,804) é de R\$ 1.613.343,66. Já o custo de atendimento às demandas de Porto Alegre (1200 toneladas/mês) é de R\$ 586.714,83.

A partir dos dados da tabela 3, é possível determinar as coordenadas geográficas correspondentes à próxima iteração: 45,720 (longitude) e 22,390 (latitude).

A estabilização dos valores de  $\bar{x}$  (45,792) e  $\bar{y}$  (22,547) é alcançada após a 12ª. iteração e os resultados podem ser visualizados por meio da tabela 4 que segue:

Tabela 4 - Resultados da Aplicação do Algoritmo – 13ª. Iteração

<i>Município</i>	<b>Dist.</b>	<b>DC/d</b>	<b>DCX/d</b>	<b>DCY/d</b>	<b>Custo (R\$)</b>
Salvador	1.309,44	0,29	11,00	3,70	489.730,09
Brasília	772,18	0,68	32,40	10,73	403.075,85
Rio de Janeiro	260,53	1,93	83,66	44,13	131.305,36
São Paulo	129,80	2,57	119,38	60,20	43.224,98
Rio Grande do Sul	898,07	0,68	34,87	19,75	549.620,15
<b>Soma →</b>		<b>6,14</b>	<b>281,30</b>	<b>138,51</b>	<b>1.616.956,43</b>

A partir dos dados da última iteração, onde se definira a localização ótima para o aeroporto que serviria de base para essa operação (longitude 45,792 e latitude 22,547), é possível analisar os custos globais da operação (R\$ 1.616.956,43) e os custos de atendimento às demandas de cada cidade. Assim é que Salvador apresenta um custo de transporte de R\$ 489.730, enquanto que cidades, como Brasília, Rio de Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul, apresentam, respectivamente, os seguintes custos de atendimento: R\$ 403.075,85, R\$ 131.305,36, R\$ 43.224,98 e R\$ 549.620,15. É bastante evidente também que os custos globais a partir do estado de São Paulo acarretam a diminuição com os custos aeroportuários, já que eliminaria ainda a rubrica de R\$ 43.224,98, reduzindo, consequentemente, os custos globais para 1.573.731,45 (R\$ 1.616.956,43 - R\$ 43.224,98).

Apenas considerando os resultados do algoritmo, essa nova localização traria uma redução de R\$ 14.387,23 se comparada com a alternativa primeira (R\$ 1.631.343,66 – R\$ 1.616.956,43), porém, o que deve ser lembrado é que a posição final não deve ser definida tão somente com base na posição geográfica encontrada, já que essa é, em verdade, a melhor posição para um aeroporto (que funcionaria como um centro de distribuição).

O fato é que a construção de um aeródromo e mesmo dotá-lo de toda infraestrutura necessária as suas operações não é investimento que se devesse considerar nesse caso, já que a ordem de

grandeza dos investimentos no projeto extrapolaria em muito os benefícios que se desejava alcançar. Para contornar essa situação e sabendo que o aeroporto de Guarulhos, distante apenas 129,8 km conforme os dados da tabela 4, é um forte candidato para concentrar as operações, procurou-se ainda verificar aeroportos de infraestrutura adequada para os intentos da empresa e que fossem localizados próximos a essa posição (longitude 45,792 e latitude 22,547).

Desse modo, os procedimentos de cálculo dos custos logísticos de distribuição levaram em consideração quatro importantes aeroportos: Campinas, Congonhas, Guarulhos e São José dos Campos. Para incorporar essa nova simulação no algoritmo, bastou que se utilizassem as coordenadas geográficas de cada aeroporto candidato como dados de entrada para o passo 2 do método (não é necessário realizar novas iterações, já que não se está buscando uma nova posição). Esse procedimento fez com que os valores convergissem para uma nova solução (tabela 5).

Tabela 5 - Resultados da Consideração de Aeroportos Candidatos

<i>Aeroporto</i>	<i>ICAO</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Custos Globais (R\$)</i>
Campinas	SBKP	22,86	47,11	1.626.131,91
Congonhas	SBSP	23,63	46,66	1.640.876,58
Guarulhos	SBGR	23,46	46,53	1.629.693,53
São José dos Campos	SBSJ	23,23	45,87	1.603.064,67

Os resultados dos testes aparecem conforme tabela 5 e indicam o aeroporto de São José dos Campos como o de posição mais adequada para a distribuição dos produtos, já que seu custo global, dentre os demais, apresenta-se como o mais favorável, R\$ 1.603.064,67.

## 6. CONCLUSÕES

Os procedimentos adotados para a localização da nova planta levam em consideração os aspectos logísticos e as funções de custo e demanda.

Conquanto a posição ótima indicada pelo algoritmo tenha sido a de longitude 45,792 e latitude 22,547, a construção de novo aeródromo nessa posição foi algo descartado e não considerado no escopo do projeto por conta dos altos investimentos necessários e os possíveis óbices quanto à legislação vigente que deveriam ser contornados. Assim, procedendo-se os testes, avaliou-se a operação a partir de aeroportos próximos a essa posição e que fossem dotados de infraestrutura adequada ao suprimento das necessidades logísticas da empresa e de minimização dos custos globais de operação.

É importante salientar que a indicação de posições geográficas geradas pelo algoritmo não corresponde exatamente ao posicionamento definitivo de uma nova instalação. Já que o algoritmo não incorpora elementos naturais como rios, montanhas ou mesmo a indisponibilidade de terrenos ou sítios (aeroportuários), há de se considerar como aproximada a localização apontada pela metodologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALUMURA, Sibel e KARA, Bahar Y. (2008). *Network hub location problems: The state of the art 2007*. In: European Journal of Operational Research, Volume 190, Issue 1, 1 October 2008, Pages 1-21.
- ARAKAKI, Reinaldo Gen Ichiro e LORENA, Luiz Antonio Nogueira (2006). *Uma heurística de localização-alocação (HLA) para problemas de localização de facilidades*. In: Revista Produção, v. 16, n. 2, p. 319-328, Maio/Ago.
- ARAKAKI, Reinaldo Gen Ichiro (2002). *Heurística de localização-alocação para problemas de localização de facilidades*. 79f. Tese de Doutorado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos.
- BALLOU, Ronald H. (2001). *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. 4ª ed. Bookman, Porto Alegre.
- BARREYRO, Gladys Beatriz Mapa do Ensino Superior Privado 2008, Ministério da Educação – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 77 p. ISSN 0140-6551, Brasília.
- BEZERRA, Oneida Barros (1995). *Localização de postos de coleta para apoio ao escoamento de produtos extrativistas-um estudo de caso aplicado ao babaçu*. 97f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis.
- BEZERRA, Sinaide Nunes; ALMEIDA VITOR, João Francisco de; SOUZA, Sérgio Ricardo de (2008). *Localização de Facilidades Usando Algoritmos Evolutivos Paralelos: Um Estudo Via Problema das P-Mediana*. In: XI Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha – SPOLM, ISSN 1806-3632
- BRYAN, Deborah L. e O'KELLY, Morton E. (2002). *Hub-and-Spoke Networks*. In: Air Transportation: An Analytical Review 1999 In: Journal of Regional Science Volume 39 Issue 2/2002, Pages 275 – 295.
- CORRÊA, Francisco de Assis (2008) *Relaxações e Método de Decomposição para Alguns Problemas de Localização de Facilidades Modelados em Grafos*. Tese Doutorado em Computação Aplicada – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos.
- CORRÊA, Francisco de Assis; LORENA, Luiz Antonio Nogueira e SENNE, Edson Luiz França (2006). *Método de Geração de Colunas Aplicado ao Problema de Localização de Facilidades Não-Capacitado*, In: XXXVIII SBPO – Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, Goiânia.
- CORRÊA, Geraldo Cezar (2003). *Otimização da Locação de Subestações para o Planejamento da Expansão da Rede Elétrica de Distribuição*. Dissertação de Mestrado – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET-PR, Curitiba.
- CORTES, Jacqueline Magalhães Rangel e PAULA JÚNIOR, Geraldo Galdino de (2001). *Uma Abordagem Estratégica para Localização de Facilidade*. In: XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Salvador.
- DUBKE, Alessandra Fraga (2006). *Modelo de Localização de Terminais Especializados: Um Estudo de Caso em Corredores de Exportação da Soja*. Tese de Doutorado - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO, Rio de Janeiro.
- ELHEDHLI, Samir e HU, Frank Xiaolong (2005). *Hub-and-spoke network design with congestion*. In: Computers & Operations Research, Volume 32, Issue 6, June, Pages 1615-1632
- FORMIGONI, Emerson Eduardo (2005). *Resolução de Problemas de Roteamento de Veículos na Entrega de Produtos da Indústria Avícola*. Dissertação de Mestrado - Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- GALVAO, Roberto Diéguez (2004). *Uncapacitated facility location problems: contributions*. In: *Pesquisa Operacional* [online]. 2004, vol.24, n.1 pp. 7-38 . ISSN 0101-7438.
- HIDAKA, Kazuyoshi e OKANO, Hiroyuki (2006). *Practical approach to a facility location problem for large-scale logistics*. In: *Lecture Notes in Computer Science* [online], Volume 1350, p. 12-21 / April 2006, ISSN 1611-3349
- LOPES, Ricardo Luis e CAIXETA FILHO, José Vicente (2000). *Suinocultura no Estado de Goiás: aplicação de um modelo de localização*. In: *Pesquisa Operacional* [online]. Vol.20, n.2, pp. 213-232. ISSN 0101-7438.
- LORENA, Luiz Antonio Nogueira (1997) *Análise de Redes*. Projeto de Pesquisa. LAC - Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- MONTICONE, Leone C. e FUNK, George (2002). *Application of the facility location problem to the problem of locating concentrators on an FAA microwave system*. In: *Annals of Operations Research* [online] Volume 50, Number 1 / December 1994, ISSN 1572-9338
- RITZMAN, Larry P; KRAJEWSKI, Lee J (2004). *Administração da produção e operações*. São Paulo: Prentice Hall.

---

**Endereço dos autores:**

Vladimir Lima da Silva - vladimir01rj@yahoo.com.br  
Graduação Tecnológica em Logística - Universidade Unigranrio  
R. Professor José de Souza Herdy 1160 – Duque de Caxias - RJ

Marcelo Prado Sucena - msucena@central.rj.gov.br  
Secretaria de Transportes do Estado do Rio de Janeiro  
Av. N. S. Copacabana, 493 – sl. 1.001 – Rio de Janeiro - RJ