

RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL POR MEIO DE MÉTODOS: DETERMINÍSTICO E PROBABILÍSTICO

SOLVING A PROBLEM OF INDUSTRIAL LOCATION BY METHODS: DETERMINISTIC AND PROBABILISTIC

Ana Letícia Mania Feijó¹
Graziely Dantas Matos¹
Jhelisson Lima Mendes¹
Márcia Marcondes Altimari Samed²

Resumo: Este artigo apresenta duas abordagens para o Problema de Localização de Facilidades. Primeiramente, apresenta-se a definição do problema e após sua modelagem matemática através do problema p -Medianas. Com base no modelo, propõe-se a implementação utilizando o software LINGO. Um Algoritmo Genético foi desenvolvido para obter a solução ótima desse problema. Para validar as abordagens propostas uma análise qualitativa foi realizada. Os resultados apresentam a potencialidade de ferramentas de apoio à tomada de decisões em problemas estratégicos como a localização industrial.

Palavras-Chave: Localização de Facilidades, Métodos Determinísticos, Métodos Probabilísticos, Software LINGO, Algoritmos Genéticos.

Abstract: This paper presents two approaches to solve the Facility Location Problem. First, it is presented a definition to the problem and after it is presented its model by the P -Median Problem. According to the model, the LINGO software is proposed to solve this problem. A Genetic Algorithm was developed to achieve the optimal solution. A qualitative analysis was promoted to validate these approaches. Results denote that these tools can be used in the decision making problems, as the industrial location.

Keywords: Facility location, Deterministic Methods, Probabilistic Methods, LINGO Software, Genetic Algorithms.

1 INTRODUÇÃO

O problema de localização de facilidades atinge ambos os sistemas interno e externo de uma empresa; faz parte da área de Logística, um elemento muito importante para o planejamento estratégico de uma organização. No problema do custo da localização de facilidades deve-se considerar os custos de instalação (obra civil, equipamentos, tecnologia, etc) e também os custos associados à cadeia formada por fornecedores e clientes.

Por um lado, pode-se considerar que o custo de instalação de uma facilidade é único, pois ocorre na etapa de implantação. Porém, os custos

¹ Acadêmicos do Curso de Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá.

analeticia.mania@gmail.com

grazielydm@hotmail.com

jhelisson_lm@msn.com

² Professora orientadora – Engenharia de Produção – Universidade Estadual de Maringá
mmasamed@uem.br

Universidade Estadual de Maringá

Avenida Colombo, 5790, Bloco 19/20, Sala 05

CEP: 97020-900, Maringá, Paraná.

logísticos e outros decorrentes destes são permanentes e irão ocorrer enquanto a organização estiver produzindo. Assim, uma decisão errada tomada na etapa do planejamento estratégico pode comprometer os custos da unidade produtiva em longo prazo.

Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho consiste na modelagem e implementação de um problema de localização de facilidades fazendo-se uso de um software de resolução determinística – software LINGO – e um algoritmo de resolução probabilística – Algoritmo Genético.

O problema a ser resolvido consiste na escolha ótima para a localização da instalação de uma indústria de embutidos dentre cinco cidades candidatas localizadas no estado do Paraná, considerando-se seus fornecedores e clientes. Os resultados demonstram a importância dessas ferramentas para auxiliar os gestores no processo de tomada de decisões estratégicas quanto à localização industrial.

1.1 O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES

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

O problema de localização de instalações, em geral, envolve um conjunto de clientes espacialmente distribuídos e um conjunto de facilidades para atender a demanda dos clientes. Além disso, as distâncias, tempos e custos entre os clientes e as instalações são medidos por uma determinada métrica (Melo *et al.*, 2009).

Em um problema discreto de localização de facilidades, a seleção dos pontos onde as novas facilidades serão estabelecidas é restrita a um conjunto finito de locais candidatos.

Dentre os vários problemas de localização de facilidades estáticos e determinísticos estudados, destacam-se os problemas de p -medianas, cobertura, p -centros, p -dispersão e problemas de localização de facilidades com designação de clientes envolvendo custo fixo e custo de atendimento da demanda dos clientes, tais como problemas de localização de facilidades sem restrições de capacidade, com restrições de capacidade, e com capacidade limitada e fonte única (Prado, 2007).

1.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

Um modelo é uma ferramenta para se chegar a uma visão bem estruturada da realidade, ou seja, ele é uma representação simplificada de situações reais. Segundo Morabito (2008) a modelagem na pesquisa operacional, em geral, é composta por dois processos. Primeiro, o sistema real, com grandes especificidades e um número elevado de variáveis, é abstraído num modelo conceitual, em que apenas uma fração dessas variáveis é considerada. Depois, esse modelo conceitual é abstraído num modelo matemático ou de simulação, que procura representar satisfatoriamente o sistema. A modelagem matemática pode ser considerada como a arte de transformar problemas reais em problemas matemáticos, resolvê-los e, então, interpretar suas soluções na linguagem do mundo real. Uma modelagem eficiente é capaz de fazer previsão, tomar decisões, explicar e entender os problemas do contexto real (Bassanezi, 1994).

Para Goldbarg e Luna (2000), um modelo não é igual à realidade, mas suficientemente similar para que as conclusões obtidas através da sua análise e/ou operação, possam ser estendidas à realidade.

1.3 O PROBLEMAS DE P -MEDIANAS

O problema de p -medianas, introduzido por Hakimi (1964), envolve a localização de p facilidades e designação de clientes a elas, de modo a minimizar a soma das distâncias entre clientes e facilidades. Na maioria das vezes, a distância ou o custo para atender uma facilidade são os principais fatores de um problema de localização.

De acordo com Prado (2007), o problema p -mediana pode ser descrito como segue.

Seja:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o cliente } j \text{ é designado à facilidade localizada em } i \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Tem-se o modelo de otimização:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

sujeito a

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \forall j \in J \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq y_i, \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} y_i = p \quad (4)$$

$$x \in B^{|I||J|}, y \in B^{|I|} \quad (5)$$

A função objetivo (1) minimiza o custo total de designação de clientes a facilidades. As restrições (2), levando-se em consideração (5), garantem que cada cliente j é atendido por uma única facilidade, enquanto que as restrições (3)

asseguram que cada cliente j só pode ser designado a uma facilidade aberta no local i. A restrição (4) indica que exatamente p facilidades são abertas, e a restrição (5) representa o tipo das variáveis.

1.4 ANÁLISE QUALITATIVA

Além da extrema importância dos custos e das distâncias referentes às facilidades em estudo, alguns autores dão enfoque a outros fatores que também influenciam consideravelmente na localização de uma indústria. De acordo com os resultados obtidos pelo trabalho realizado por Stamm et al. (2003), alguns dos fatores que assumiram grande repercussão em suas pesquisas foram: disponibilidade de mão de obra abundante ou qualificada; condições de acesso das vias em relação aos modais de transportes envolvidos; ser um ambiente atrativo com disponibilidade de serviços de apoios socioculturais; incentivos fiscais; condições de saúde; disponibilidade de água para o uso industrial; disponibilidade e continuidade no abastecimento de energia elétrica e o custo dos terrenos na região. Deste modo, para haver uma determinação ótima de um problema de localização, deve-se considerar os fatores de caráter quantitativo e qualitativo.

2 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Neste artigo, o modelo para o problema das p-medianas foi utilizado para a determinação do ponto ótimo a ser instalada uma agroindústria de embutidos por meio do problema da p-mediana, cuja implementação foi realizada com o auxílio do software LINGO. Em seguida, foi desenvolvido um Algoritmo Genético (AG), cujos resultados e desempenhos foram comparados aos anteriores.

No tópico seguinte serão apresentadas as considerações iniciais para os dois métodos de solução considerados e, na sequência, serão apresentadas as implementações no software LINGO e seus resultados, bem como o AG e seus resultados para o mesmo problema em consideração.

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O MODELO

Para a modelagem do problema de localização industrial de uma agroindústria de embutidos no estado do Paraná, considerou-se o modelo de localização de facilidades p-mediana. Esta determinação considera os custos relacionados aos serviços de transportes da indústria entre os clientes e fornecedores, custos fixos de instalações e algumas características qualitativas. Os fornecedores foram escolhidos

com base em um estudo sobre a cadeia de suprimentos de uma agroindústria de embutidos. Os clientes foram escolhidos por meio de um estudo sobre o mercado consumidor do produto final.

Uma análise sobre a disponibilidade dos fatores possibilitou a seleção da região noroeste do estado do Paraná para a aplicação do modelo aqui trabalhado. Sendo assim, os potenciais candidatos escolhidos para a localização da agroindústria no estado do Paraná foram: Londrina, Maringá, Apucarana, Araçongas e Cambé. Tendo como fornecedores: Palmas - PR e Rancheira - SP; e clientes: Rio de Janeiro - RJ e Juazeiro do Norte - RN.

Considerou-se que a agroindústria a ser localizada realiza apenas o processamento da carne e a fabricação dos embutidos. Logo, presume-se que o abatimento dos animais é realizado nos pontos fornecedores.

No processo de escolha do modelo matemático do problema considerou-se que o objetivo é determinar qual cidade candidata é a mais viável economicamente, ou seja, tendo por base características quantitativas de custos de transporte e distâncias até o mercado consumidor e a cadeia de abastecimento.

Os dados de entrada para as duas aplicações consistem em: uma descrição ou título do problema; as coordenadas dos pontos candidatos, de demanda e suprimento; volumes a serem transportados dos pontos de demanda e suprimento; taxas de transportes referentes a um ponto de demanda e suprimento; uma lista de instalações candidatas; custos fixos para as instalações candidatas; tipo de sistema de coordenadas utilizado e a escala de transformação deste sistema de coordenadas para o sistema real de quilometragem, esta escala é representada, geralmente, pelo coeficiente rodoviário.

As coordenadas dos clientes, fornecedores e das cidades candidatas, foram determinadas de modo linear sobre o plano cartesiano, para isso utilizou-se o software Google Earth desenvolvido pela empresa americana Google. Este software permite a visualização tridimensional do globo terrestre, podendo ser usado como gerador de mapas bidimensionais. Sua principal utilidade para o presente artigo é a capacidade de localizar pontos quaisquer e fornecer os dados de localização geográfica dos mesmos.

Inicialmente, foram identificados os pontos cartográficos dos clientes, fornecedores e das cidades candidatas; em seguida, definiu-se um ponto qualquer de modo convencional, como sendo o ponto de origem ou o ponto de referência para as coordenadas cartesianas, portanto, $x=0$ e $y=0$.

Com as coordenadas encontradas, calculou-se a diferença destas com relação às coordenadas do ponto de origem e, posteriormente, essa diferença foi multiplicada por um fator de transformação de distância cartográfica para distância cartesiana. Desse modo, as coordenadas em quilômetro encontradas de todos os pontos, sendo as candidatas, os fornecedores e os clientes, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Coordenadas cartesianas das cidades.

Cidades	Coord. x (km)	Coord. y (km)
Maringá	68,06	337,36
Londrina-PR	146,63	352,14
Apucarana-PR	117,14	323,62
Arapongas-PR	120,81	338,15
Cambé-PR	135,52	354,26
Rancharia-SP	175,62	468,87
Palmas-PR	43,90	0,00
Rio de Janeiro-RJ	963,67	395,29
Juazeiro do Norte-RN	1362,51	2124,89
Ponto de Origem: (26°15'55,34"S ; 52°49'16,52"O)		

A unidade utilizada nas distâncias do plano cartesiano foi o quilômetro (km). Este fator mencionado foi obtido fazendo-se uma relação entre variação cartográfica em graus e a variação real da distância em quilômetro.

O coeficiente rodoviário é um número que quando multiplicado pelo valor de uma distância linear, converte o valor dessa distância para uma melhor aproximação da distância rodoviária, ou seja, a distância passa a ser em relação às rodovias a serem percorridas entre as cidades. Este coeficiente é obtido através da razão de certa distância real entre dois pontos, pela distância em linha reta dos mesmos pontos. Para que o resultado do coeficiente rodoviário fosse mais preciso, escolheu-se uma cidade qualquer e calculou-se a distância desta cidade em relação a todas as outras de modo que fosse calculado o coeficiente rodoviário de cada trajetória e, posteriormente, determinado o coeficiente médio. Isso foi realizado com o objetivo de se englobar as características do modal rodoviário de todas as regiões em que se encontram as cidades em estudo.

A cidade escolhida aleatoriamente como referência foi Maringá. Sendo assim, primeiramente, obteve-se as distâncias reais utilizando a ferramenta Guia Quatro Rodas (2011). Após, as distâncias lineares foram obtidas por

meio da expressão matemática da distância entre dois pontos cartesianos quaisquer, conforme Equação 6.

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_{maringá})^2 + (y_i - y_{maringá})^2} \quad (6)$$

Considera-se que d_i é a distância entre uma cidade qualquer; i é a cidade escolhida como referência; x_i e y_i são as coordenadas da cidade i ; $x_{maringá}$ e $y_{maringá}$ são as coordenadas da cidade referência.

Desse modo, realizou-se o cálculo da distância de oito trechos distintos até Maringá tanto de modo real quanto linear, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2. Distâncias até a cidade referência.

	Distâncias em Relação à Maringá	
	Real	Linear
Londrina-PR	99 km	79,95 km
Apucarana-PR	65 km	50,96 km
Arapongas-PR	66 km	52,76 km
Cambé-PR	90 km	69,54 km
Rancharia-SP	219 km	169,89 km
Palmas-PR	515 km	338,22 km
Rio de Janeiro-RJ	1064 km	897,48 km
Juazeiro do Norte-RN	3039 km	2207,00 km

Fonte: Adaptado de Guia Quatro Rodas (2011).

Tendo C_i como o coeficiente rodoviário de cada região em que está situada a cidade i e n como a quantidade de rotas calculadas para o coeficiente, ou seja, $n = 8$; pode-se calcular o coeficiente geral médio. As expressões geradoras de cada coeficiente C_i e do coeficiente médio C_M são apresentadas nas Equações 7 e 8:

$$C_i = \frac{d_{i_real}}{d_{i_linear}} \quad (7)$$

$$C_M = \frac{\left(\sum_{i=1}^n C_i \right)}{n} \quad (8)$$

Após realizar o cálculo do coeficiente de cada região e, posteriormente, o coeficiente médio para o presente problema, obteve-se o valor de $C_M = 1,30415$.

Para a determinação do custo de transporte, realizou-se uma pesquisa sobre os valores de fretes embasados no site do Sistema de Informações de Fretes (Sifreca) do Departamento de Economia, Administração e Sociologia; da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). Neste site, foi possível obter e analisar alguns valores. Além disso, realizou-se uma pesquisa sobre os valores dos custos com uma empresa transportadora.

Com base nos dados obtidos com as pesquisas, foi possível estimar o custo do transporte para diferentes distâncias. Sabe-se que para maiores distâncias, menor será o custo unitário de transporte, ou seja, menor será o R\$/t.km. Isso ocorre pelo motivo de que em distâncias maiores há um melhor aproveitamento dos recursos proporcionalmente envolvidos com o processo. Neste estudo considerou-se que o transporte é realizado através de caminhões de 3 eixos com a capacidade de 12,5 t.

Tabela 3. Custos de transporte para diferentes distâncias.

Distância (km)	Frete (R\$/t.km)
< - 499	0,2229
500 - 1499	0,2100
1500	0,19
- >	32

Em relação ao custo de instalação da agroindústria, optou-se por considerar um custo real, ou seja, um custo que já foi aplicado. Este custo foi determinado a partir de um Relatório Anual da Perdigão equivalente ao ano de 2006. Neste relatório, são apresentados os investimentos da empresa referentes a uma nova instalação de um complexo agroindustrial no estado de Goiás.

Segundo o relatório citado, o investimento disponibilizado pela companhia para a nova instalação foi de 130,7 milhões de reais. Estima-se que esse valor corresponda a uma instalação de grande capacidade produtiva.

Para a determinação do volume de produção a ser considerado para fins de implementação do problema e em seguida de análise, considerou-se outro Relatório Anual da Perdigão que apresentava em um de seus tópicos o volume de produção de um determinado complexo agroindustrial localizado no estado de Goiás.

Segundo este relatório, a capacidade produtiva do complexo citado era de 260 mil toneladas por ano, o que certamente corresponde a uma indústria de grande porte podendo ser

equiparada a capacidade produtiva considerada anteriormente.

2.2 A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES PELO SOFTWARE LINGO

O problema de localização de facilidades descrito no modelo de otimização pelas Equações 1 a 5, pode ser definido como um problema de programação linear inteira. Para solução ótima dessa categoria de problema há uma vasta gama de softwares ou ferramentas disponíveis que podem ser empregados na busca da solução ótima. Estas ferramentas possuem características próprias no que diz respeito à interface com o usuário, método de busca e modo de apresentação da solução. Para a categoria de problema de localização proposta neste estudo, podem ser empregados os softwares MPL, LINGO, GAMS, LOGWARE, entre outros.

Neste artigo serão apresentados os resultados obtidos pelo software LINGO. Este requer apenas descrever se o objetivo da função é minimizar ou maximizar e suas respectivas restrições. O relatório final apresenta o valor da função objetivo, o valor de cada variável e o número de iterações, resumidamente.

A Figura 1 apresenta o relatório que contém os valores das variáveis e da função objetivo, além de outras informações não menos importantes para a análise de sensibilidade da resolução.

```

Global optimal solution found.
Objective value:                0.2358989E+09
Objective bound:                0.2358989E+09
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:          0
Total solver iterations:        0

Variable      Value      Reduced Cost
X1            0.000000    0.2468860E+09
X2            1.000000    0.2358989E+09
X3            0.000000    0.2408649E+09
X4            0.000000    0.2396182E+09
X5            0.000000    0.2369983E+09

Row    Slack or Surplus    Dual Price
1      0.2358989E+09      -1.000000
2      0.000000           0.000000

```

Figura 1. Relatório do Software LINGO.

Como é possível verificar, a Figura 1 apresenta como ponto ótimo a cidade de Londrina (X2), além de expressar o valor assumido pela função objetivo como sendo igual a 0.2358989 x 10⁹ ou equivalentemente em reais, R\$ 235.898.900,00. Este total é composto pelo custo total de um ano de transporte (R\$ 105.198.900,00) e pelo custo fixo de instalação da agroindústria (R\$ 130.700.000,00).

2.3 A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES POR UM ALGORITMO GENÉTICO

Alguns métodos probabilísticos com base em heurísticas são comumente empregados na busca da solução de problemas de localização. Segundo Tonetto et al. (2006), heurísticas são regras gerais de influência utilizadas pelo decisor para simplificar seus julgamentos em tarefas decisórias de incerteza. Plous (1993) conceitua as heurísticas como regras gerais de influência utilizadas pelos sujeitos para chegar aos seus julgamentos em tarefas decisórias de incerteza e cita, como vantagens de utilização, a redução do tempo e dos esforços empreendidos para que sejam feitos julgamentos razoavelmente bons. Para Arroyo (2002), algoritmos heurísticos (ou simplesmente heurísticas) de otimização são métodos que obtêm soluções aproximadas para problemas de otimização. Os métodos heurísticos podem ser divididos em três classes que diferem basicamente na forma como exploram o espaço de soluções dos problemas. A primeira classe de heurísticas são as chamadas de construtivas. Essas heurísticas são especializadas para um dado problema e constroem uma solução pela adição de componentes da mesma através de regras específicas associadas com a estrutura do problema. A segunda classe de heurísticas são as chamadas de busca local ou busca em vizinhança. Estas heurísticas iniciam com uma solução completa do problema, e constroem uma vizinhança dessa solução que contém todas as soluções alcançáveis através de uma regra de movimento que modifica a solução inicial. Dessa vizinhança, escolhe-se uma solução que possua uma avaliação melhor do que a solução inicial. A solução escolhida torna-se a nova solução inicial e o processo continua até encontrar um ótimo local. A terceira classe consiste em metaheurísticas, que são métodos inteligentes flexíveis, pois possuem uma estrutura com componentes genéricos que são adaptados ao problema que se quer resolver.

Algoritmos Genéticos (AGs) são considerados metaheurísticas, pois constituem uma família de métodos computacionais inspirados na evolução natural das espécies. Os AGs são métodos flexíveis e têm a capacidade de produzir soluções de boa qualidade para problemas de otimização, em tempo computacional viável (Michalewicz, 1999).

O algoritmo desenvolvido pode ser dividido em procedimentos para melhor compreensão. Esta divisão pode ser feita da seguinte maneira: inicialização da população, avaliação do fitness de cada indivíduo (solução), seleção, crossover (cruzamento), mutação, criação da nova geração,

verificação dos critérios de parada e apresentação dos resultados após o fim das iterações.

De um modo geral, o funcionamento e a estrutura do algoritmo podem ser representados por um fluxograma, cujo mesmo está exposto na Figura 2.

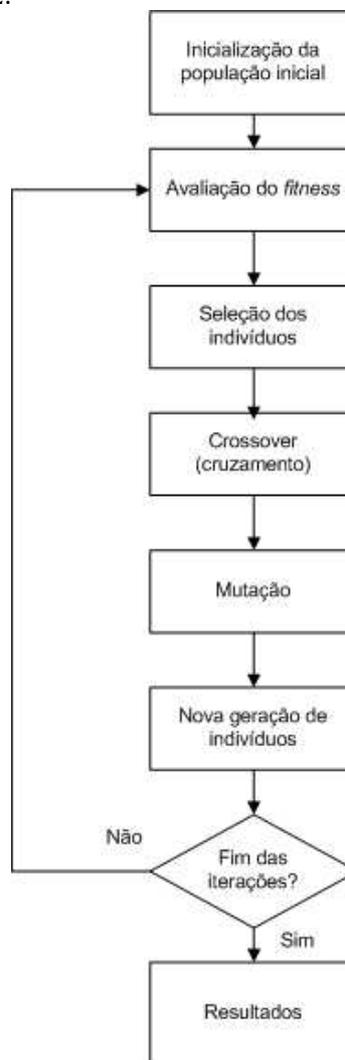


Figura 2. Fluxograma representativo do algoritmo desenvolvido.

Na inicialização da população, uma quantidade de indivíduos, indicada pelo implementador, é criada com valores randomicamente escolhidos do conjunto binário {0,1} onde cada indivíduo, ou solução inicial, é constituído de uma sequência destes números com um tamanho de cinco bits. Os bits correspondem às cinco cidades candidatas, onde o valor 1 representa a escolhida. Neste procedimento há uma restrição quanto a não geração de um indivíduo que possua todos os valores 0, já que obviamente esta seria a solução mais viável por ter custo zero.

Após a inicialização, cada indivíduo é decodificado para uma representação do tipo real, ou seja, é calculado o valor da função objetivo para cada indivíduo separadamente. A função

objetivo citada para cada indivíduo, pode ser representada pela Equação 9.

$$FO_i = R V \sum_j D_{ij} F_{ij} + C \quad (9)$$

onde R é o coeficiente rodoviário, V é o volume a ser produzido e transportado, D é a distância da cidade candidata i até a cidade cliente ou fornecedora j, F é o custo de transporte da cidade candidata i até a cidade cliente ou fornecedora j e C é o custo de instalação.

Para facilitar a análise dos indivíduos mais aptos, deduziu-se uma equação capaz de calcular uma porcentagem para cada indivíduo em relação aos demais, sendo esta a função fitness. Nesta função mede-se a aptidão de cada indivíduo considerando que o intuito da implementação é a minimização. Esta função está representada pela Equação 10.

$$P_i = \frac{1}{N_{ind}} \left(2 - \frac{N_{ind} FO_i}{\sum_k FO_k} \right) \quad (10)$$

Considerando que N_{ind} é a quantidade de indivíduos indicada pelo implementador, FO como o valor da função objetivo do indivíduo i e P como o “valor” da aptidão de cada indivíduo referente à função objetivo.

Na seleção dos indivíduos, a expressão apresentada anteriormente foi utilizada como a porcentagem de chance de o indivíduo ser ou não selecionado. Por meio de um sorteio aleatório e considerando as porcentagens de chance, selecionam-se dois indivíduos pais.

Após a escolha de dois indivíduos pais, os mesmo são submetidos a um sorteio com probabilidade de 70% de se cruzarem e gerarem um novo indivíduo para a próxima geração; caso não ocorra o cruzamento (30%), o indivíduo sobrevivente será um dos pais. Novamente é imposta uma condição para que ao haver cruzamento, o algoritmo não gere um indivíduo nulo, com todos os seus bits igual a 0. Posteriormente, utiliza-se o segundo operador genético, a mutação. A mutação ocorre com uma probabilidade de 5%, caso não ocorra, o indivíduo segue normalmente seu caminho sem sofrer modificações. A nova população é gerada quando o algoritmo executa N_{ind} vezes desde a seleção até a aplicação dos operadores genéticos.

A quantidade de iterações, ou gerações, do algoritmo é também determinada pelo programador. Em cada iteração é aplicado a opção do elitismo, que segundo Michalewicz (1999) é a

preservação da melhor solução encontrada. Esta solução é preservada sem necessariamente que ela continue nas iterações, isso quem escolhe é o algoritmo.

Sendo assim, o algoritmo executa até o instante em que o mesmo atinja sua condição de parada, que é o máximo de iterações indicadas.

Para possibilitar a análise dos resultados, foram realizadas diversas execuções do algoritmo variando-se dois parâmetros de extrema importância para a convergência das soluções: a quantidade de indivíduos em cada iteração e a quantidade de iterações ou gerações.

Os parâmetros utilizados para a análise das execuções foram: 10 iterações e um intervalo de variação de 4 a 10 indivíduos. Com estes valores foi possível compreender melhor o comportamento das soluções quanto a sua convergência para o ótimo.

Obteve-se graficamente, durante as execuções do algoritmo, a variação da média das soluções em cada geração ou iteração. A média das soluções é obtida realizando-se o cálculo da função objetivo de todos os indivíduos, somando-se todos e dividindo pela quantidade de indivíduos presentes naquela geração. Fazendo-se isso para oito execuções diferentes, foi possível analisá-las de modo a visualizar sua convergência, conforme Figura 3.

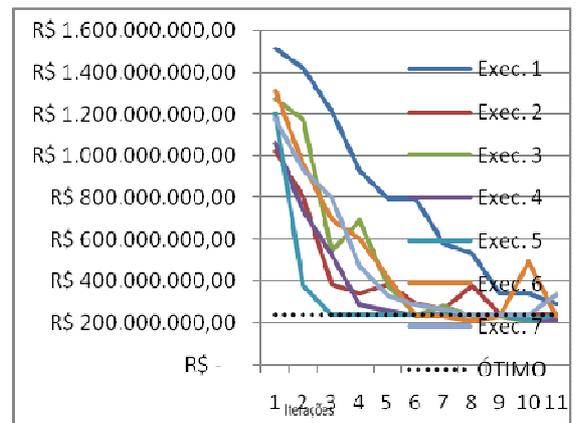


Figura 3. Representação gráfica da convergência da média das soluções.

Como é possível observar, houve uma boa convergência em todas as execuções realizadas, isso, de maneira geral, se deve ao fato de que o algoritmo está constantemente procurando por soluções melhores que as já existentes, percebendo é claro, alguns desvios em relação ao ponto ótimo, pelo motivo de ser um algoritmo heurístico que contém variáveis de decisão aleatórias. Visualmente, a execução que convergiu mais rapidamente para o ótimo e se manteve, corresponde a “Exec. 5”, nesta execução fez-se o

uso de 10 indivíduos e de um total de 10 gerações, o que possibilitou o resultado esperado.

Para complementar as informações retiradas do gráfico anterior, foi possível também analisar a convergência da melhor solução encontrada de cada iteração do algoritmo. Isso foi realizado para cinco execuções distintas e colocado na forma gráfica, conforme representado na Figura 4.

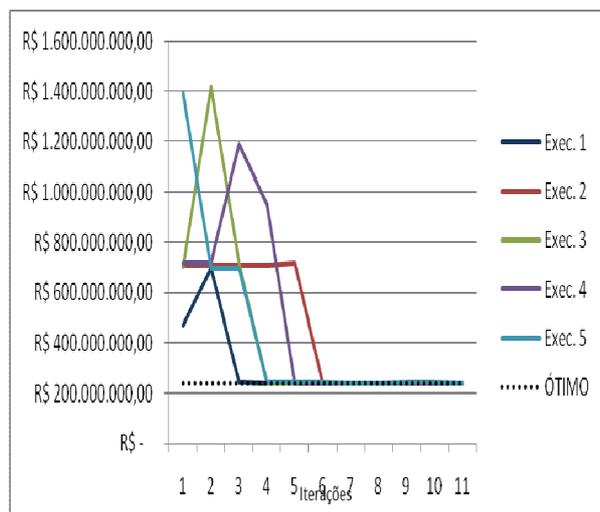


Figura 4. Representação gráfica da convergência da melhor solução de cada iteração.

A Figura 4 expõe graficamente o comportamento das melhores soluções encontradas em uma geração, de 5 execuções diferentes. A melhor solução de cada geração é obtida fazendo-se comparações com todos os indivíduos e, assim, selecionando-se o melhor de cada iteração e expondo-o, graficamente. Visualmente, algumas execuções começam com alguns imprevistos, e após algumas iterações todas convergem com valores diferentes para o ótimo. Isso não necessariamente permanecerá assim por um período grande de tempo (muitas iterações) de execução.

Desse modo, foi possível observar uma convergência aceitável das soluções para o mínimo em ambos os casos. Conforme a indicação do algoritmo quanto a melhor solução encontrada, obteve-se Londrina como a melhor cidade para a localização da agroindústria de embutidos possuindo um custo total de transporte de R\$ 235.898.563,75. Considerando o custo de instalação como sendo R\$ 130.700.000,00, tem-se o custo total referente a transportes de R\$ 105.198.563,75.

Estes resultados são muito coerentes com aqueles obtidos pelo LINGO. Logo, pode-se validar este algoritmo como uma ferramenta de grande utilidade para a resolução desse e de outros problemas, pois seu resultado final teve uma boa

equivalência com a resolução determinística utilizando-se um software amplamente conhecido.

2.4 ANÁLISE QUALITATIVA

Para o processo de tomada de decisão não foram considerados apenas os resultados quantitativos provindos do modelo matemático do problema, mas também de uma análise qualitativa sobre os fatores representativos. Estes foram escolhidos com base na literatura e foram readequados para este caso, contemplando da melhor maneira possível as cidades candidatas. Para tanto, elaborou-se um questionário, que foi respondido pelos gestores da indústria que pretende abrir uma nova unidade no estado do Paraná. Os fatores representativos na determinação da localização industrial considerados para a análise qualitativa do problema foram: disponibilidade de mão de obra, disponibilidade de redes elétricas, disponibilidade de redes de telecomunicações, disponibilidade de água, legislação ambiental, incentivos fiscais e condições de acesso a modais rodoviários. Os fatores representativos foram ponderados por grau de importância.

Com base nas respostas obtidas dos questionários referentes aos fatores citados, obteve-se as notas de todos os fatores, seguidos do total para cada cidade candidata, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados Qualitativos das Cidades Candidatas.

	Lond	Marin	Apuca	Arapon	Cam
	548	488	375	384	384

Como pode ser visto na Tabela 4, o resultado da análise qualitativas das cidades candidatas aponta que a cidade de Londrina apresenta a maior pontuação. Este resultado concorda com aquele obtido pelo LINGO e pelo AG. Deste modo, é possível concluir que ao considerar os dois resultados, quantitativo e qualitativo, a melhor cidade para se localizar a nova instalação de uma indústria de embutidos no estado do Paraná é a cidade de Londrina. Caso não fosse obtida a concordância entre as análises quantitativa e qualitativa, dever-se-ia realizar uma nova análise qualitativa, atribuindo novas ponderação para os fatores representativos.

3 CONCLUSÕES

Uma das vantagens da utilização do software LINGO é que o operador não precisa especificar ou carregar um solver separadamente,

porque ele lê sua formulação e seleciona automaticamente o mais apropriado entre seu vasto conjunto de solvers, o que garante que o software tem uma maior capacidade de resolução de problemas variados. O LINGO possui uma interface de fácil acesso com o usuário e a linguagem utilizada não requer conhecimento avançado de informática. Considerando-se os resultados do Software LINGO, foi possível utilizá-los como parâmetro para comparação dos resultados obtidos pelo AG.

A implementação do AG possibilitou abstrair e simular alguns dos mecanismos evolutivos à resolução de problemas que requerem adaptação, busca e otimização. Observou-se graficamente a convergência da média das soluções do algoritmo para o resultado base disponibilizado pelo LINGO. Os resultados do AG possibilitam um menor resultado no custo total. Deste modo, foi possível validar o AG utilizado para futuras aplicações em problemas diversos de maior complexidade.

O resultado da análise qualitativa contribuiu para provar a veracidade dos resultados quantitativos.

Deste modo, os resultados demonstram a importância de métodos determinísticos e probabilísticos para auxiliar os gestores no processo de tomada de decisões estratégicas quanto à localização industrial.

Como continuidade desse trabalho, sugere-se a inserção de incertezas futuras (modelo dinâmico), para a garantia de resultados de planejamento mais duradouros, levando-se em conta não só a evolução da demanda, mas também expansões e realocações. Pretende-se ainda implementar o problema de localização utilizando diferentes metaheurísticas, tais como Simulated Annealing, Ant Colony, Particle Swarm, entre outros, e com isso, alcançar melhores soluções possíveis.

REFERÊNCIAS

ARROYO, J. E. C. Heurísticas e Metaheurísticas para Otimização Combinatória Multiobjetivo. Tese. Doutorado. UNICAMP, 2002.

BASSANEZI, R. Modelagem Matemática. Unicamp – IMECC. Depto. de Matemática, 1994.

BEZERRA, S. N.; VITOR, J. F. A.; SOUZA, S. R. Localização de Facilidades Utilizando Algoritmos Evolutivos Paralelos: Via Problema da P-mediana. Anais do SPOLM. Rio de Janeiro - RJ, 2008.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. L. Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos. Rio de Janeiro: Campus, 2000. 641 p.

GOOGLE EARTH. Google Earth 6.0. Disponível em: <<http://www.google.com/earth/index.html>>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2011.

GUIA QUATRO RODAS. Disponível em: <<http://viajeaqui.abril.com.br/guia4rodas/>>. Acesso em: 23 de fevereiro, 2011.

HAKIMI, L. Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. Operations Research, 12, pp. 450-459, 1964.

MELO, M. T.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA, F. Facility Location and Supply Chain Management – A Review. European Journal of Operational Research, 2009.

MICHALEWICZ, Z. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. 3rd ed. The United States of America: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999.

MORABITO, R. Introdução a Engenharia de Produção. Campus – ABEPRO, 2008.

PERDIGÃO. Relatório Anual: Desempenho Operacional/Produção. São Paulo - SP, 2003. Disponível em: www.perdigao.com.br, Acesso em: março de 2011.

PERDIGÃO. Relatório Anual: Estratégias Desempenho e Perspectivas/Investimentos. São Paulo - SP, 2006. Disponível em: www.perdigao.com.br. Acesso em: março de 2011.

PLOUS, S. The psychology of judgment and decision making. New York: McGraw-Hill, 1993.

PRADO, D. F. M. Busca Tabu Aplicada ao Problema de Localização de Facilidades com Restrições de Capacidade e Fonte Única. Dissertação. Mestrado em Engenharia Elétrica. UNICAMP, 2007.

TONETTO, L. M.; KALIL L. L.; MELO, W. V.; SCHNEIDER, D. G.; STEIN, L.M. O papel das heurísticas no julgamento e na tomada de decisão sob incerteza. Estudos de Psicologia. Campinas – SP, 2006.