

Ferramenta de apoio à decisão com base no Problema de p-medianas

Andreia Smiderle, Eberson Tibes

Depto de Sistemas de Informação, Faculdade MATER DEI,
85501-030, Pato Branco, PR

E-mail: andreiasmiderle@brturbo.com.br, eberson@vitnet.com.br

1. Introdução

Os Problemas de localização estão amplamente descritos na literatura por disponibilizarem aplicação dos métodos científicos a problemas reais encontrados nos sistemas de produção de bens e serviços, como ferramenta auxiliar para a tomada de decisões, em quaisquer setores e níveis da economia. De acordo com [2] estes problemas são do tipo NP-Hard, ou seja, o tempo para se conseguir uma solução ótima cresce exponencialmente à medida que aumentam os dados de entrada.

A partir de uma situação percebida em várias cidades de porte pequeno a médio, as quais não contam com um plano diretor para amparar o crescimento populacional e comercial, muitas vezes desenfreado, relaciona-se a localização e distribuição de pontos de facilidades nas mesmas. Neste trabalho, tendo como exemplo a cidade de Pato Branco e a rede farmacêutica, foi realizado um estudo de caso considerando a distribuição destes estabelecimentos dentro do perímetro urbano.

O processo de pesquisa, planejamento, análise e implantação ou re-alocação das farmácias deveria ser proposto por um plano diretor municipal, o qual tem a finalidade de amparar o crescimento de uma cidade de maneira ordenada. Neste processo são analisadas muitas variáveis, como por exemplo, população de bairros, taxa de crescimento, distância para recursos nas áreas de saúde, educação, habitação, para que as unidades possam estar bem localizadas, para satisfazer as necessidades da população e minimizar as dificuldades relacionadas às distâncias dos deslocamentos dos usuários.

2. Descrição do problema real

A cidade de Pato Branco, localizada no sudoeste do Estado do Paraná, é formada por 42 bairros, e conta com uma população 61.005 habitantes [3], e tem-se apresentado como um pólo na área de saúde e referência em vários setores para toda a região.

O município de Pato Branco tem passado por um período de grande desenvolvimento nos últimos

tempos, principalmente no que tange aos aspectos educacionais, saúde e industriais, com a implantação de novos centros de educação superior, implantação e renovação de hospitais, bem como o desenvolvimento de indústrias tecnológicas. Esse desenvolvimento traz muitos benefícios à população como: maior representatividade na esfera governamental, variedades de opções de cursos universitários e, disponibilizando uma gama cada vez maior de serviços de saúde, resulta na possibilidade de estudantes e cidadãos de permanecerem na própria cidade para que, além de facilitar o acesso a essas unidades possam também eles instalarem novos estabelecimentos. Da mesma forma, ressalta-se a atratividade a pessoas de outras localidades, trazendo com isso um maior movimento econômico ao município, principalmente, para o comércio.

Junta-se a esse contínuo desenvolvimento urbano, algumas conseqüências inevitáveis como o aumento dos níveis de procura por serviços de saúde bem como seus assemelhados. Nesse contexto, insere-se o crescente nicho empresarial, que tem necessidade de um serviço de fornecimento de medicamentos e serviços farmacêuticos competentes. Esses serviços são cada vez mais procurados pela população, visto que em muitos casos os órgãos públicos não tem como atender de maneira adequada toda a demanda exigida.

A cidade de Pato Branco conta com várias empresas ligadas ao setor de saúde, destaca-se a existência de 38 (trinta e oito) farmácias (dados de maio de 2004), as quais estão dispostas de maneira aglomerada no centro da cidade, onde se pode identificar uma distribuição espacial ineficiente, incapaz de atender adequadamente a população dos bairros, principalmente os mais distantes do centro.

Diante desta situação apresenta-se, neste estudo, a situação encontrada em Pato Branco-PR, e através da utilização das técnicas matemáticas abordadas neste trabalho, sugere-se uma nova re-alocação das unidades farmacêuticas existentes com base na disposição espacial. Em uma segunda proposta, utilizando uma matriz de pesos baseada na população dos bairros,

sugere-se uma solução para a descentralização das unidades existentes.

Objetiva-se com este estudo de caso, fomentar através de soluções propostas e apresentadas, a crescente necessidade dos municípios formularem e adotarem planos diretores, os quais venham amparar o crescimento municipal ordenado, tendo como principal finalidade a satisfação e a qualidade de vida da população.

3. Implementação Computacional e Obtenção dos Resultados

Para atender o processo de descentralização da rede farmacêutica, define-se que deva ocorrer uma descentralização das unidades existentes e sugestão de implantação de um número menor de unidades.

Deste modo, o presente trabalho faz um estudo de caso onde se sugerem duas propostas: na primeira propõe-se a localização de p-farmácias, analisando a descentralização das 38 unidades existentes e sugere-se a localização de apenas 25 unidades. Já a segunda difere da anterior pela construção de uma matriz de pesos, que será determinada utilizando a densidade populacional dos bairros.

3.1 Implementação computacional

Para determinar a solução do problema das p-medianas serão aplicados os algoritmos conhecidos: o Algoritmo Genético aplicado ao problema das p-medianas e o Algoritmo de Teitz e Bart.

Em [1] o algoritmos genético foi aplicado com sucesso para a determinação de p-facilidades, e em [5] este algoritmo foi combinado com o algoritmo de Teitz e Bart [6], produzindo, a partir da solução inicial do algoritmo genético um refinamento expressivo na solução final.

Desta forma, foi adotada a metodologia de divisão do trabalho em três fases. A primeira foi a do cadastramento dos dados, a segunda a implementação computacional dos algoritmos e a terceira fase compreende a execução das propostas 1 e 2 para a localização das farmácias.

a) Cadastramento dos dados (Fase I)

Nesta fase, efetuou-se o cadastramento dos 35 bairros (apesar do município possuir 42, considerou-se apenas 35 pontos centrais) e das 38 unidades farmacêuticas, totalizando 73 pontos. Esses pontos foram inseridos no mapa digitalizado do município, que forneceu as coordenadas geográficas (x,y) para cada ponto e, assim, tornou-se possível o cálculo das distâncias euclidianas entre estes pontos.

b) Implementação dos algoritmos (Fase II)

Para implementar os algoritmos propostos utilizou-se a ferramenta de desenvolvimento Delphi 7.0, a qual teve os dados das coordenadas geográficas disponibilizados pela ferramenta AutoCad-2002, possibilitando assim os cálculos computacionais dos algoritmos.

O programa foi organizado em quatro telas através das quais qualquer usuário poderá obter dados de uma imagem, ou apenas carregar os dados de uma outra origem (arquivo com extensão TXT), após isso é possível executar o cálculo do Algoritmo Genético, com as opções de se definir os pontos que serão medianas inicialmente ou sortear aleatoriamente os vértices, bem como definir pesos para o cálculo das medianas.

c) Execução das propostas para a localização de farmácias (Fase III)

Na terceira fase, executaram-se as duas propostas para a localização das farmácias. Primeiramente, foi analisada a situação atual, onde considerou-se a localização das 38 farmácias e calculou-se a soma total das mínimas distâncias de cada bairro até estas unidades (valor de transmissão), que está apresentado na Tabela 1.

| Considerando-se | Valor Transmissão (metros) |
|---|----------------------------|
| Apenas a coordenada do centro dos bairros | 12.076,05 |
| A população de cada um dos bairros | 80.002,72 |

Tabela 1 – Resultados numéricos da situação atual

O valor de transmissão foi obtido a partir da execução de uma iteração do algoritmo de Teitz e Bart descrito a seguir [6], sendo que como solução inicial, e única, foram consideradas as unidades de farmácias como medianas. Para a descrição dos dois algoritmos, algumas definições preliminares se fazem necessário, as quais são apresentadas a seguir:

Seja um grafo $G(V, A)$ não direcionado onde V são os vértices e A as arestas. Seja v_i um vértice qualquer pertencente a V . Chama-se número de transmissão (σ) à soma das menores distâncias existentes entre o vértice v_i e todos os outros vértices do grafo. Sendo n o número total de vértices do grafo, o número de transmissão é dado por:

$$\sigma(v_i) = \sum_{j=1}^n w_j d(v_i, v_j), v_i, v_j \in V, \text{ onde } d(v_i, v_j) \text{ é}$$

a menor distância entre v_i e v_j e w_j é um peso associado ao vértice v_j . Assim, v_m é uma mediana se, entre todos os vértices do grafo, é aquele que produz a menor soma total das distâncias desde si próprio até cada um dos

vértices do grafo. Deste modo, forma-se um conjunto V_p , sendo que $V_p \subset V$, contendo um conjunto de p vértices que é a solução ótima para o problema das p -medianas, ou seja, um conjunto para o qual o número de transmissão é mínimo. Assim, descrevem-se os procedimentos básicos dos algoritmos adotados neste trabalho [4] e [5].

Algoritmo de Teitz e Bart

Passo 0. Selecione, aleatoriamente, um conjunto $V_p \subset V$, com $|V_p| = p$ para formar uma solução inicial para o problema;

Passo 1. Rotule todos os vértices $v_i \in \{V - V_p\}$ como "não analisados";

Passo 2. Enquanto existirem vértices não analisados em $\{V - V_p\}$ faça o seguinte:

Selecione um vértice não analisado $v_i \in \{V - V_p\}$, e calcule a redução Δ_{ij} do número de transmissão, para todos os vértices v_j pertencentes a V_p , ou seja:

$$\Delta_{ij} = \sigma(V_p) - \sigma(V_p \cup \{v_i\} - \{v_j\}), \forall v_j \in V_p.$$

Faça $\Delta_{ij_m\acute{a}x} = \text{m\acute{a}ximo} [\Delta_{ij}]$, para todo Δ_{ij} calculado anteriormente.

Se $\Delta_{ij_m\acute{a}x} > 0$ então:

Faça $V_p = (V_p \cup \{v_i\} - \{v_j\})$ e insira v_j em $\{V - V_p\}$.

Rotule v_j como "analisado".

Caso contrário continue;

Passo 3. Se durante a execução do Passo 2, houver alguma modificação no conjunto V_p , então:

Volte ao Passo 1 e continue a execução do algoritmo.

Caso contrário, PARE e apresente o conjunto V_p como uma solução aproximada para o problema das p -medianas.

Fim.

Algoritmo Genético para o Problema das P-Medianas

Passo 1. Construção da População Inicial

• Gere uma lista $R = (r_1, r_2, \dots, r_m)$, com m cromossomos viáveis de p elementos cada, sorteados entre os v vértices do grafo;

• Calcule $C_i = \text{fitness}(r_i)$, $\forall r_i \in R$;

• Ordene a lista R de modo que $C_1 \leq C_2 \leq \dots \leq C_m$;

• Faça $k = 0$ e defina o erro e o número máximo de iterações $k_{m\acute{a}x}$;

Passo 2. Teste

• Se $C_m - C_1 \leq \epsilon$ ou $k \geq k_{m\acute{a}x}$, então PARE e apresente o cromossomo r_j ;

Passo 3. Seleção

• Selecione dois cromossomos, $r_i = \text{Select}(R)$ e $r_j = \text{Select}(R)$, com $r_i \neq r_j$;

$$\text{Select}(R) = \left\{ r_j \in R / j = m + 1 - \left\lfloor \frac{-1 + \sqrt{1 + 4 \cdot \text{md} (m^2 + m)}}{2} \right\rfloor \right\}$$

onde R é uma lista (r_1, r_2, \dots, r_m) com m cromossomos viáveis de p elementos cada, sorteados entre os v vértices do grafo, $\text{md} \in (0, 1)$ é um número aleatório uniformemente distribuído e $\lceil b \rceil$ é o menor inteiro maior do que b .

Passo 4. Crossover

• Faça a reprodução de um ponto: $\text{Crossover}(r_i, r_j) = \{r_x, r_y\}$;

Passo 5. Se r_x e r_y forem cromossomos viáveis, faça:

$$\begin{cases} r_t = r_x, & \text{se } \text{fitness}(r_x) \leq \text{fitness}(r_y) \\ r_t = r_y, & \text{caso contrário} \end{cases}$$
, e vá ao

passo 7.

ou então, se apenas um entre r_x e r_y é viável, faça:

$r_t = r_x$ ou r_y (viável), e vá ao Passo 7.

Passo 6. Mutação (no caso de r_x e r_y serem não viáveis)

• Escolha aleatoriamente r_x ou r_y ;

• Faça a mutação no cromossomo escolhido, produzindo r_i ;

Passo 7. Se $\text{fitness}(r_t) < \text{fitness}(r_m)$, faça:

• Elimine r_m (o pior cromossomo) da lista R ;

• Insira r_t na lista R , mantendo a ordem crescente dos fitness;

• Faça $k = k + 1$ e volte ao Passo 2.

3.2 Obtenção dos resultados

a) Implementação da Proposta I

Partindo da proposta de encontrar 38 pontos (facilidades) de tal forma, que a soma das distâncias de cada vértice do grafo (coordenada do bairro) à facilidade (farmácia) mais próxima seja mínima, buscou-se a melhor localização das 38 farmácias existentes.

Para a implementação, primeiramente utilizou-se o algoritmo genético de acordo com [5], fixando-se o número máximo de iteração $k_{max} = 1000$ e uma população variando entre 50 e 125 indivíduos. O algoritmo foi desenvolvido de modo que realize a parada quando atingir o número máximo de iterações, ou quando a diferença dos valores de transmissão entre o melhor e o pior cromossomo, ou seja, o erro fosse menor que 2.000 metros.

Com observância no aspecto probabilístico dos algoritmo genético, efetuaram-se 5 simulações. Em cada uma dessas simulações, a partir da solução obtida pelo algoritmo genético, utilizou-se o algoritmo de Teitz e Bart, com a finalidade de refinar a solução encontrada pelo algoritmo genético através da substituição de vértices [5]. O critério de parada deste segundo algoritmo está baseado no fato de que não haverá mais melhoramento da solução com novas substituições de vértices.

Desta forma, são apresentados os resultados da

implementação dos dois algoritmos na tabela 2, onde os valores de transmissão são dados em metros.

| Simulação | Algoritmo Genético | | | Algoritmo de Teitz e Bart | |
|-----------|--------------------|-----------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| | Iterações | População | Valor trans. (metros) | Transmissões | Valor trans. (metros) |
| 1 | 24 | 50 | 4451,66 | 17 | 2248,81 |
| 2 | 58 | 100 | 4391,14 | 16 | 2248,81 |
| 3 | 402 | 125 | 3724,46 | 15 | 2292,08 |
| 4 | 34 | 60 | 4353,43 | 16 | 2257,97 |
| 5 | 96 | 90 | 4222,16 | 18 | 2248,811 |

Tabela 2 – Resultados numéricos das simulações de re-alocação das 38 medianas (Farmácias)

Das cinco simulações realizadas, a solução que interessa é a que produz o menor valor de transmissão após a execução do Algoritmo de Teitz e Bart. Percebe-se que existem três soluções com mesmo valor de transmissão, porém os vértices considerados medianas não são os mesmos nas três simulações.

Quanto à aplicação do Algoritmo de Teitz e Bart na solução final do Algoritmo Genético, constata-se uma melhoria média de 46%. Ainda ressalta-se que o Algoritmo de Teitz e Bart convergiu com um número médio de 16 iterações, com tempo computacional reduzido e produziu uma boa melhoria na solução do Algoritmo Genético, o que reflete a boa combinação destes dois algoritmos de otimização.

Realizou-se também uma simulação com cinco iterações, considerando a redução do número de unidades farmacêuticas de 38 para 25 unidades, sugerindo a melhor localização espacial das mesmas dentro do perímetro urbano.

Na tabela 3 pode-se observar os resultados obtidos após a execução dos dois algoritmos.

| Simulação | Algoritmo Genético | | | Algoritmo de Teitz e Bart | |
|-----------|--------------------|------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| | Iterações | População | Valor Trans. (metros) | Transmissões | Valor Trans. (metros) |
| 1 | 52 | 50 | 7765,96 | 14 | 5148,32 |
| 2 | 199 | 100 | 7066,18 | 12 | 5108,27 |
| 3 | 535 | 125 | 6832,62 | 16 | 5088,53 |
| 4 | 115 | 60 | 7026,65 | 16 | 5128,59 |
| 5 | 571 | 90 | 6793,29 | 11 | 5128,59 |

Tabela 3 – Resultados Numéricos das simulações para o Problema das 25 medianas (farmácias).

Com a aplicação do Algoritmo de Teitz e Bart, refinando a solução final do Algoritmo Genético, verifica-se uma melhoria média de 27%. Percebe-se que o algoritmo de Teitz e Bart contribuiu consideravelmente para o refinamento da solução final do Algoritmo Genético com tempo computacional reduzido, firmado a contribuição dos dois algoritmos.

b) Implementação da Proposta II

A implementação da Proposta II deu-se de maneira semelhante à Proposta I em seu desenvolvimento, passando pela simulação realizada no algoritmo genético para após aplicar-se o Algoritmo de Teitz e Bart para realizar um refinamento da solução, apresentada pelo primeiro. Apenas diferenciando-se na execução dos cálculos pela utilização da matriz de pesos, que considera a população existente em cada bairro.

A matriz de pesos foi construída tendo como base o bairro menos populoso do município de Pato Branco, onde obteve-se o “peso” de cada bairro pela razão entre a sua população e a população do bairro São Luiz, que é de 181 habitantes.

Na tabela 4 abaixo, apresenta-se a população dos bairros e seus respectivos pesos.

| Bairro | População | Peso | Bairro | População | Peso |
|--------------|-----------|-------|--------------|-----------|-------|
| S. Cristovão | 3287 | 18,16 | Amadori | 344 | 1,90 |
| Gralha Azul | 764 | 4,22 | J. Américas | 386 | 2,13 |
| Alvorada | 2676 | 14,78 | Baixada | 526 | 2,90 |
| S. Roque | 863 | 4,76 | S. Vicente | 1163 | 6,42 |
| S. Antonio | 922 | 5,09 | Industrial | 2421 | 13,37 |
| Morumbi | 1321 | 7,29 | La Salle | 2642 | 14,59 |
| Sudoeste | 996 | 5,50 | Centro | 8190 | 45,24 |
| N. Horizonte | 2149 | 11,87 | Sambugaro | 734 | 4,05 |
| Cristo Rei | 1527 | 8,43 | Anchieta | 679 | 3,75 |
| Pinheirinho | 1674 | 9,24 | V. Esperança | 785 | 4,33 |
| J. Floresta | 1463 | 8,08 | Bortot | 992 | 5,48 |
| S. Terezinha | 1772 | 9,79 | V. Isabel | 1164 | 6,43 |
| M. Deus | 1555 | 8,59 | São Luiz | 181 | 1 |
| Bela Vista | 905 | 5 | Brasília | 1294 | 7,14 |
| Planalto | 4132 | 22,82 | Bancários | 700 | 3,86 |
| Aeroporto | 494 | 2,72 | Pinheiros | 303 | 1,67 |
| Fרון | 1053 | 5,81 | Parzianello | 894 | 4,93 |
| J. Primavera | 971 | 5,36 | | | |

Tabela 4 – Bairros, população e seus respectivos pesos.

A partir da tabela de pesos dos bairros, novamente realizou-se a implementação dos dois algoritmos. Assim, na tabela 5 visualizam-se os melhores resultados encontrados nos algoritmo genético e de Teitz e Bart.

| Algoritmo Genético | | | | Algoritmo de Teitz e Bart | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| Simulação | Iterações | População | Valor Trans. (metros) | Transmissões | Valor Trans. (metros) |
| 1 | 257 | 50 | 5982,90 | 15 | 2466,16 |
| 2 | 1000 | 100 | 6094,37 | 19 | 2466,16 |
| 3 | 1000 | 125 | 5891,25 | 18 | 2466,16 |
| 4 | 994 | 60 | 5845,18 | 20 | 2466,16 |
| 5 | 1000 | 90 | 5832,42 | 17 | 2466,16 |

Tabela 5 – Resultados Numéricos das simulações para o Problema das 38 medianas (farmácias) analisando os pesos da população por bairros

O melhoramento médio da solução que o algoritmo de Teitz e Bart realiza na solução do algoritmo genético é de 58%, considerando a matriz de pesos.

Levando em consideração a população dos bairros realizou-se também 5 simulações, considerando a redução no número de unidades farmacêuticas existentes para 25, sugerindo a melhor localização espacial das mesmas dentro do perímetro urbano. Na tabela 6 pode-se observar os resultados obtidos:

| Algoritmo Genético | | | | Algoritmo de Teitz e Bart | |
|--------------------|-----------|-----------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| Simulação | Iterações | População | Valor Trans.(metros) | Transmissões | Valor Trans.(metros) |
| 1 | 319 | 50 | 10144,57 | 16 | 6262,70 |
| 2 | 1000 | 100 | 9538,45 | 20 | 6284,70 |
| 3 | 1000 | 125 | 9326,76 | 17 | 6285,63 |
| 4 | 1000 | 60 | 8623,38 | 14 | 6284,70 |
| 5 | 713 | 90 | 10102,70 | 17 | 6303,50 |

Tabela 6 – Resultados Numéricos das simulações para o Problema das 25 medianas (farmácias) analisando os pesos da população por bairros

A aplicação do Algoritmo de Teitz e Bart, conforme já constatado refina a solução final do algoritmo genético, neste caso em quase 34%.

4. Análise dos resultados

Com base em artigos e trabalhos pesquisados sobre o tema abordado neste estudo, o problema das p-medianas, optou-se pelas técnicas do algoritmo genético e do Algoritmo de Teitz e Bart, pois os mesmos apresentaram-se como boas técnicas de solução do mesmo, indicando desta forma onde estão as melhores localizações para implantar ou re-alocar as facilidades (unidades farmacêuticas). O principal benefício à população é que o acesso à

farmácia seja facilitado, reduzindo a distância a ser percorrida, conseqüentemente reduzindo custos de deslocamento e tempo.

Durante o processo de implementação da ferramenta apresentada neste trabalho, percebeu-se que as ferramentas de desenvolvimento Delphi e AutoCad, mostraram-se poderosas em suas áreas, disponibilizando um curto espaço computacional para desenvolvimento e obtenção de resultados.

Ao analisar-se a atual distribuição das unidades farmacêuticas no município de Pato Branco, constatou-se uma concentração excessiva das mesmas no centro. Verificando-se a soma das distâncias mínimas de cada bairro à farmácia mais próxima, obteve-se o valor de 12.076,05 metros, o que representa um valor elevado se comparado a proposta de re-alocação das 38 unidades de farmácias existentes, onde obteve-se uma soma de 2.248,81 metros. Isto representaria uma redução de 81,38% na soma total da mínimas distâncias de cada bairro até a unidade farmacêutica mais próxima.

Sugerindo-se uma redução no número de unidades existentes para 25 farmácias, obteve-se o total de 5.088,53 metros, ou seja, ainda haveria uma redução de 57,86% no total das mínimas distâncias de cada bairro até a farmácia mais próxima.

Ao executar a proposta 2, onde considerou-se a população de cada bairro, os valores são ainda mais expressivos. A distribuição atual das unidades farmacêuticas resulta num total de 80.002,72 metros como soma das mínimas distâncias de cada bairro até a unidade de farmácia mais próxima. Apenas re-allocando as 38 unidades existentes este valor seria reduzido para 2.466,16 metros, ou seja, reduziria-se em torno de 96,92% o total das mínimas distancias de cada bairro a unidade mais próxima. Da mesma forma que na proposta 1, foi sugerido a redução no número de farmácias para 25, o que totaliza 6.262,70 metros. A melhoria seria de 92,17% considerando o peso da população nos bairros.

Quanto a execução dos algoritmos propostos, constatou-se a interessante combinação entre o algoritmo genético e o algoritmo de Teitz e Bart, onde a melhoria na solução final do algoritmo genético foi em média de 40%. Isto é muito importante principalmente considerando-se o baixo tempo computacional e o reduzido número de iterações.

5. Conclusão

Conclui-se ao finalizar este trabalho, que o estudo aqui apresentado é acadêmico, porém poderia ser aplicado na prática e servir como ferramenta de apoio à formulação de planos diretores com o intuito de obter-se amparo ao crescimento municipal ordenado, adequado às necessidades da população.

Com o desenvolvimento da ferramenta para auxiliar nas técnicas matemáticas de localização de facilidades, obteve-se um sistema capaz de atender as necessidades da população e da rede farmacêutica, pois facilitando o

acesso da população, conseqüentemente haverá uma maior movimentação de vendas nas unidades de farmácia. Este sistema também mostra-se interessante por considerar a restrição da população de cada bairro. Estes são fatores que servem de requisitos para o processo de planejamento espacial.

Percebe-se a utilidade e versatilidade da ferramenta desenvolvida quando são analisadas outras situações onde sejam envolvidos problemas de acesso a facilidades, como a implantação de hospitais, postos policiais, bombeiros, mercados, postos de saúde. Assim, ressalta-se o aspecto comercial do mesmo, priorizando de forma especial a utilização das técnicas matemáticas para otimizar a localização de facilidades, implementadas numa linguagem acessível, e, principalmente por ter um caráter de aplicabilidade muito grande.

Referências

- [1] H. J.C. BARBOSA, Introdução aos Algoritmos Genéticos. In: XX Congresso Nacional de Matemática Aplicada: SBMAC, Gramado. 50p (1997).
- [2] M. GAREY, & D. JOHNSON, D. *Computer and intractability: A guide to the Theory of NP Completeness*. Freeman, San Francisco (1979).
- [3] IBGE - www.ibge.gov.br, (2002).
- [4] S. F. MAYERLE, Um algoritmo genético para solução do problema do caixeiro viajante. Artigo de circulação interna do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da UFSC. Florianópolis, (1994).
- [5] A. SMIDERLE, Técnicas da Pesquisa Operacional aplicadas a um problema de cobertura de arcos. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos Aplicados a Engenharia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- [6] M.B. TEITZ, & P. BART, *Heuristics methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph*. *Operations Research*, (1968), v.16, p.955-961.