

APLICAÇÃO DE ALGORITMO ESTOCÁSTICO NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DAS P-MEDIANAS PARA LOCALIZAÇÃO DE BASES DE RESGATE AÉREO

Maurício Rodrigues Silva - e-mail: dscmauricio@gmail.com

Universidade Federal Fluminense – UFF - Instituto do Noroeste Fluminense – INFES

Departamento de Ciências Exatas Biológicas e da Terra – PEB

Av. João Jasbick, Bairro Aeroporto, CEP 28470-000, Santo Antônio de Pádua, RJ, Brasil

RESUMO

Este artigo tem como objetivo principal apresentar um algoritmo estocástico para solução do problema das p-medianas na localização de centros de apoio à atividade de resgate aéreo. Para isso, o algoritmo possui dois níveis de localização de centros de facilidades, onde o primeiro abrange uma região menor, definida por um raio de operação para cobrir um conjunto de pontos a receberem os serviços, e o segundo nível, conecta os centros definidos no primeiro nível em um segundo conjunto de facilidades representadas por unidades de saúde. O número de pontos candidatos é definido principalmente pela demanda da região, sua dimensão geográfica, e o número de aeronaves disponíveis. Os trechos de segundo nível conectam as rotas menores utilizadas por unidades móveis terrestres, concentradas nos pontos de resgate, transportando os pacientes até a base localizada no ponto final, onde está localizada a unidade de atendimento de emergência. Dessa forma, o tempo de ação total é reduzido, devido à utilização do trecho aéreo entre os dois níveis, cuja escolha é determinada pela lógica do algoritmo estocástico, com base no problema das p-medianas, otimizando as operações de resgate para as unidades de atendimento, entre as bases e as extremidades das regiões mais remotas.

Palavras-chave: Otimização combinatória, Localização de facilidades, Transportes, P-medianas.

ABSTRACT

This paper aims to present a stochastic algorithm for solving the p-median problem in the location of air rescue support centers. For this, the algorithm has two levels of facility center location, where the first covers a smaller region, defined by an operating radius to cover a set of points to receive services, and the second level, connects the centers defined in first level into a second set of facilities represented by health facilities. The number of candidate points is mainly defined by the region's demand, its geographic size, and the number of aircraft available. Second-level sections connect the smaller routes used by ground mobile units, concentrated at rescue points, transporting patients to the base located at the end point, where the emergency care unit is located. Thus, the total action time is reduced due to the use of the air segment between the two levels, whose choice is determined by the logic of the stochastic algorithm, based on the p-median problem, optimizing the rescue operations for the units. between the bases and the ends of the most remote regions.

Keywords: Combinatorial optimization, Location of facilities, Transport, P-medians

1. INTRODUÇÃO

O algoritmo apresentado neste trabalho possui propriedade estocástica, que permite a escolha dos centros de facilidade de uma forma simplificada, caracterizando assim como um método heurístico, que apesar de sua simplicidade, garante bons resultados na determinação dos centros. Utilizando técnicas de otimização combinatória, um conjunto de pontos candidatos a centro de distribuição de facilidades é avaliado, quanto ao somatório das distâncias de suas coordenadas centrais em relação aos demais pontos, buscando o de menor valor. O conceito de heurística pode ser usado como perfil deste algoritmo, uma vez que são técnicas que produzem resultados bem próximos da solução ótima em problemas de otimização, alcançando na maioria das vezes seus objetivos, justificando assim a preferência por sua utilização. Este algoritmo possui também comportamento estocástico, pois utiliza técnicas de otimização combinatória, que trabalha com a exploração de diversas soluções na busca da melhor possível. Muitos outros problemas clássicos podem ser solucionados por otimização combinatória, como o problema do caixeiro viajante, o problema de roteamento de veículos, o problema da cobertura mínima por conjuntos (Goldbarg e Luna, 2000), assim como o problema das p-medianas utilizado na localização centros de facilidades, objeto deste estudo. O termo facilidade pode ser interpretado como fábricas, depósitos, escolas, postos de saúde, aeroportos, ou qualquer outro centro determinado a distribuir algum serviço ou bem estrategicamente localizado para atender determinada região ou população. O termo cliente pode ser interpretado como depósitos, unidades de vendas, consumidores, etc (Lorena, 2001). Pelo fato dos clientes serem alocados aos centros, esta classe de problemas pode ser também identificada como problemas de alocação ou problemas de localização, pois na maioria dos casos, buscam atender ao máximo possível suas demandas (Arakaki, R. G. I, 2003). Isto é, buscam alcançar soluções viáveis de forma a atender o número máximo de clientes, segundo as condições impostas, para minimização dos custos de oferta dos serviços oferecidos pelos centros. Tais custos, neste caso, podem ser associados diretamente às distâncias físicas entre o centro de distribuição e os clientes. Com base nestes princípios, este algoritmo foi escolhido para buscar as soluções do problema abordado, uma vez que possui uma boa resposta com problemas de cobertura de conjuntos e localização-alocação de facilidades. No entanto, foi introduzida uma novidade para que atendesse com mais afinidade e realidade a este caso.

Esta novidade está na inclusão de um segundo nível de busca baseado no problema das p-medianas. Dessa forma, os pontos definidos como facilidades neste primeiro nível de busca, são considerados como pontos candidatos de uma segunda busca, resultando em outro subconjunto reduzido de pontos de centros de facilidades. Como o problema abordado se trata de busca de bases para conexão entre regiões remotas com destino às bases de resgate aéreo final, os dados foram abstraídos em uma rede logística com trechos terrestres e aéreos. Resumindo, são produzidos caminhos entre cada ponto de uma extremidade, definido como localidade remota, passando por um nó, definido como base de resgate, que conectará à outra extremidade, definida como base de destino final. Como motivação e aplicação deste algoritmo, este trabalho considerou hipoteticamente o problema de instalação de bases de resgate aéreo em uma região próxima a um grupo de comunidades de forma centralizada, através de rotas terrestres para conexão e embarque de pacientes por via aérea a uma unidade de saúde, como destino final do percurso. Então, um conjunto dos noventa e dois municípios do estado do Rio de Janeiro foi escolhido, definidos por suas coordenadas geográficas, candidatas a clientes ou centros de facilidades. Instâncias foram executadas com valores de parâmetros distintos, sendo primeiramente, o número de facilidades do primeiro nível representado por centros para instalação das bases de resgate, e em segundo nível, um número menor de facilidades, representando o número de aeronaves disponíveis para atendimento de toda a região do estado.

Uma observação importante está na natureza mista deste algoritmo em relação às propriedades de dois tipos de problemas, primeiramente o das P-medianas e em segundo o da cobertura, este segundo não obrigatoriamente uma cobertura total, e sim uma cobertura dos pontos alcançados por um raio pré-determinado, sujeito às condições importas pela soma mínima das P-medianas em relação ao ponto selecionado como centro de facilidade. Outro aspecto que deve ser observado é a inclusão de um segundo nível de busca por um conjunto de centro de facilidades conectado ao primeiro nível, cujo raio de alcance é maior, de forma a atender a solução do problema destacado. Independente da complexidade do problema em destaque, ele foi solucionado por uma heurística com o objetivo de testar este algoritmo que apresenta o segundo nível como diferencial. Em outras palavras, o modelo deste algoritmo foi desenvolvido de forma heurística propositalmente para solucionar esta classe de problemas. Em relação às soluções exatas, futuros trabalhos poderão ser desenvolvidos a partir de comparações entre este modelo e um modelo exato como testes de desempenho, eficiência e exatidão numérica, utilizando estas instâncias e outras semelhantes e/ou de maior complexidade. Portanto, o objetivo deste trabalho é propor uma nova alternativa de estudo na viabilização de rotas aéreas com pontos de conexão com rotas terrestres para atendimento às comunidades mais remotas. Esta nova alternativa se refere à utilização de um algoritmo estocástico com base no problema das p-medianas, acrescido de mais um nível de atuação, no caso, o segmento final representando o trecho base-unidade médica.

2. O PROBLEMA DAS P-MEDIANAS

Este problema foi inicialmente apresentado por Hakimi (1964, 1965), com o objetivo de localizar p facilidades onde a distância entre os “p” centros e os “n” pontos de demanda seja minimizada. Como resultado, este problema deve apresentar um subconjunto de p pontos de facilidades para atender os n pontos de demanda. Pereira (2005) classificou também este problema como um problema de localização-alocação, buscando o custo mínimo de instalação das facilidades. Pois os dados do problema das p-medianas podem ser representados por um número finito de pontos de demanda, o número finito de candidatos à instalação dos centros de facilidades, a distância entre os pontos de demanda e o número p de facilidades a serem instaladas. Christofides (1975) formulou o modelo para a localização de p-medianas da seguinte forma;

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_i d_{ij} x_{ij}$$

$$\text{sujeito a} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1; \quad j \in N \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = p \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj}; \quad i, j \in N \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; \quad i, j \in N \quad (4)$$

Fonte: Pizzolato, 2004

onde:

N é o conjunto de vértices da rede, $N = \{1, \dots, n\}$;

D = $[d_{ij}]$ nxn é a matriz simétrica de distâncias, com $d_{ii} = 0, i \in N$;

p é o número de medianas a serem localizadas;

q_i representa os clientes relacionados ao vértice i;

x_{ij} são as variáveis de decisão, com $x_{ij} = 1$ se o vértice i está alocado ao vértice j , e $x_{ij} = 0$ caso contrário, e $x_{jj} = 1$ se o vértice j é uma mediana e $x_{jj} = 0$, no caso contrário, para $i, j \in N$.

A função objetivo deve minimizar o somatório das distâncias entre o centro e cada vértice mais próximo; as restrições (1) e (3) impõem que cada vértice i seja alocado a um único vértice j , o qual deve ser uma mediana. A restrição (2) determina o exato número p de medianas a serem localizadas e (4) indica as condições de integralidade (Pizzolato, 2004).

3. O ALGORITMO ESTOCÁSTICO

O algoritmo foi desenvolvido utilizando conceitos de otimização combinatória, onde são avaliadas as condições de cada combinação entre cada ponto candidato a centro de facilidade em função das medianas neles centradas e os demais pontos. Uma planilha é utilizada como base de dados, com duas colunas contendo as coordenadas de latitude e longitude das localidades. Para definição dos dois níveis de facilidades, o algoritmo executa uma rotina de cálculo das p -medianas duas vezes, sendo que a primeira execução resulta na definição das facilidades de primeiro nível. Uma segunda execução da rotina considera o conjunto de pontos candidatos inicial igual ao conjunto das facilidades resultantes da primeira execução, ou seja, as facilidades do primeiro nível serão candidatas às facilidades do segundo nível. Em termos de dimensões, um conjunto inicial de n pontos resulta em um subconjunto $M < N$, definido como facilidades de primeiro nível, que utilizado como entrada de uma segunda execução da rotina resulta em outro subconjunto $P < M$ de facilidades de segundo nível.

3.1. ROTINA PARA CÁLCULO DAS P-MEDIANAS

Para isso, a rotina utilizada para determinar cada nível do conjunto das p -medianas recebe como entrada o conjunto das n coordenadas geográficas dos pontos candidatos, o número P de facilidades desejadas e seu raio de cobertura R . Considere inicialmente um grafo $G(V,E)$ completo, onde $V = \{1,2,...,n\}$ é o conjunto dos vértices que representam os pontos candidatos à instalação dos centros das P facilidades de primeiro nível, sendo P um subconjunto de V , e E o conjunto das arestas representando todas as distâncias d_{ij} entre um vértice i e outro vértice j . Uma matriz de dimensão $n \times n$ $D = [d_{ij}]$ é criada a partir de todas as distâncias entre os pares de pontos $i-j$. Porém, como existe um raio de alcance para as facilidades, as distâncias maiores que o raio devem ser eliminadas da matriz D , ou seja, cada elemento deve atender à condição $d_{ij} \leq R$. Então, o algoritmo aplica um teste condicional eliminando os valores das distâncias maiores que R , ou seja, se $d_{ij} > R$, faz-se $d_{ij} = 0$. Assim, a matriz D é atualizada, contendo somente valores menores que R , onde cada linha possui todas as distâncias entre um ponto i e dos demais pontos j . A Figura 1 mostra uma matriz distância gerada a partir de um conjunto de 10 pontos antes da aplicação da condição de alcance do raio.

0.	27.597628	38.758514	30.879463	42.418441	43.894521	11.959403	23.362205	35.296246	27.855889
27.597628	0.	66.355514	58.066519	66.910792	71.491508	16.238378	50.817505	54.664779	38.770601
38.758514	66.355514	0.	11.590497	25.046407	5.1866174	50.471371	16.119808	37.303236	48.430958
30.879463	58.066519	11.590497	0.	17.745	15.493461	41.85801	7.8757	26.260288	36.908658
42.418441	66.910792	25.046407	17.745	0.	25.689619	51.08107	23.896902	18.017217	35.508789
43.894521	71.491508	5.1866174	15.493461	25.689619	0.	55.560877	21.024398	39.866828	52.308235
11.959403	16.238378	50.471371	41.85801	51.08107	55.560877	0.	34.718342	40.338726	27.3
23.362205	50.817505	16.119808	7.8757	23.896902	21.024398	34.718342	0.	27.526226	34.000874
35.296246	54.664779	37.303236	26.260288	18.017217	39.866828	40.338726	27.526226	0.	18.582627
27.855889	38.770601	48.430958	36.908658	35.508789	52.308235	27.3	34.000874	18.582627	0.

Figura 1 – Matriz distâncias entre dez pontos candidatos

A Figura 2 mostra a matriz D depois da aplicação da condição para $R < 30$, incluindo o vetor soma das colunas, com o menor valor destacado. A partir dessa matriz, os somatórios dos valores dos elementos de cada coluna são armazenados em um vetor coluna de dimensão n . Os elementos deste vetor representam os valores das p-medianas de cada ponto i para os demais pontos j . Uma busca é realizada neste vetor, onde o menor valor equivale ao custo total mínimo de cobertura (soma das distâncias).

0.	27.597628	0.	0.	0.	0.	11.959403	23.362205	0.	27.855889
27.597628	0.	0.	0.	0.	0.	16.238378	0.	0.	0.
0.	0.	0.	11.590497	25.046407	5.1866174	0.	16.119808	0.	0.
0.	0.	11.590497	0.	17.745	15.493461	0.	7.8757	26.260288	0.
0.	0.	25.046407	17.745	0.	25.689619	0.	23.896902	18.017217	0.
0.	0.	5.1866174	15.493461	25.689619	0.	0.	21.024398	0.	0.
11.959403	16.238378	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	27.3
23.362205	0.	16.119808	7.8757	23.896902	21.024398	0.	0.	27.526226	0.
0.	0.	0.	26.260288	18.017217	0.	0.	27.526226	0.	18.582627
27.855889	0.	0.	0.	0.	0.	27.3	0.	18.582627	0.
90.775124	43.836006	57.94333	78.964946	110.39514	67.394095	55.497781	119.80524	90.386358	73.738515

Figura 2 – Matriz distâncias entre dez pontos candidatos com alcances menores que trinta e vetor da soma das distâncias.

Nesse momento está definido o primeiro centro de facilidade, que é a primeira p-mediana encontrada. A matriz D é atualizada, eliminando-se os valores dos pontos já atendidos pelo primeiro centro de facilidade. Este procedimento é executado até que sejam determinados todos os P centros de facilidades desejados. Em termos de formulação, a matriz D contém em suas linhas todas as distâncias menores que o raio, sendo que o somatório de cada linha representa o somatório as distâncias de cada ponto i para os demais pontos j . Logo, o somatório de todas as linhas, depois de atendido o critério das menores somas das p medianas, representa o valor da função objetivo minimizada. A restrição (1) é atendida quando o algoritmo elimina os valores referentes aos pontos já cobertos pela primeira facilidade definida. Este procedimento é feito zerando os valores referentes aos índices dos pontos já definidos na matriz D. Isto faz com um ponto pertença a uma, e somente uma facilidade, forçando a restrição (1). Como forma de isolar um centro recém-definido, para evitar redundância, penaliza-se o valor deste centro de facilidades no vetor soma das colunas da matriz D, para um valor muito maior que o raio R após cada escolha de uma facilidade, descartando assim, uma segunda escolha deste centro. A restrição (2) é definida no início do algoritmo onde um laço externo repete P vezes até que todas as P buscas na matriz D sejam realizadas e assim, determinadas as P facilidades. Como saída a rotina fornece uma matriz $F[p,2]$ contendo as coordenadas das P facilidades, um vetor contendo a soma das distâncias concentradas em cada centro de facilidade, e o valor da função objetivo. Na Figura 3 a seguir é mostrado o pseudocódigo da rotina que executa o cálculo de cada um dos dois níveis dos centros de facilidades.

1. Ler raio R e o n° de facilidades P
2. Ler matriz $C[n,2]$ das coordenadas x,y dos pontos candidatos
3. Definir a matriz $D[n \times n]$ das distâncias (d_{ij}) entre todos os n pontos e $F[p,2]$
4. Definir o vetor $S[n]$ dos somatórios das distâncias (s_j) das colunas de $D[n \times n]$
5. Enquanto não alcançar o número P de facilidades, faça;
6. Buscar menor elemento do vetor $S[n]$
7. Eliminar linha e coluna de $D[n \times n]$ do índice do centro j escolhido
8. Eliminar linhas e colunas de $D[n \times n]$ de todos os pontos i cobertos
9. Penalizar vetor $S[n]$ do índice j escolhido com valor muito alto
10. Atualizar matriz $F[p,2]$ das coordenadas x,y das facilidades
11. Fim enquanto
12. Exibir $F[p,2]$, $S[n]$ e Função Objetivo

Figura 3 – Pseudocódigo da rotina cálculo das p-medianas

3.2. O ALGORITMO DE DOIS NÍVEIS

A princípio, a rotina apresentada no item anterior foi desenvolvida como estrutura principal de um algoritmo para solução do problema das p-medianas. Porém, na busca de soluções de problemas onde é necessária a determinação de centros de facilidade que também podem ser utilizados como ponto de demanda, esta rotina foi utilizada duas vezes consecutivas na estrutura deste algoritmo. Assim, os resultados da primeira execução são utilizados como entradas na segunda etapa. Além deste detalhe, na entrada dos dados iniciais são introduzidas as informações dos dois níveis das P facilidades. Para maiores detalhes a figura 4 exibe o pseudocódigo do algoritmo.

-
1. *Início Algoritmo*
 2. *Ler raio R_1 e o n° de facilidades p_1 do primeiro nível*
 3. *Ler raio R_2 e o n° de facilidades p_2 do segundo nível*
 4. *Executar Rotina cálculo P medianas do primeiro nível*
 5. *Fazer $C_2[p_1,2] = F_1[p_1,2]$ (o n° de candidatos é igual ao de facilidades do 1º nível)*
 6. *Executar Rotina cálculo P medianas do segundo nível*
 7. *Exibir matrizes $F_1[p_1,2]$, $F_2[p_2,2]$ das facilidades de 1º e 2º níveis*
 8. *Plotar gráfico*
 9. *Fim Algoritmo*
-

Figura 4 – Pseudocódigo do algoritmo heurístico de dois níveis

Como mostra o pseudocódigo, nas linhas 2 e 3, são introduzidos os dados iniciais informando a raio de alcance das facilidades de primeiro nível, assim como seu número. O mesmo é informado em relação ao segundo nível. Quanto aos dados das coordenadas dos n pontos candidatos, a rotina faz a leitura (linha 2 da Figura 3), através da matriz $C_1[n,2]$. Na linha 4 o algoritmo executa a rotina das P medianas a partir da matriz inicial $C_1[n,2]$, resultando na matriz das facilidades de primeiro nível F_1 . A linha 5 atribui as coordenadas destas facilidades à matriz $C_2[n_2,2]$ como entrada dos pontos candidatos para outra execução novamente da rotina e resulta na matriz $F_2[p_2,2]$, que corresponde ao conjunto das coordenadas das facilidades de segundo nível. Por fim o algoritmo exibe um relatório das coordenadas das facilidades de primeiro e segundo níveis, assim como uma interface gráfica com a região plana plotando todos os pontos, centros de facilidades e suas conexões. A Figura 5 mostra um exemplo desta interface com um exemplo de 20 pontos em uma região plana.

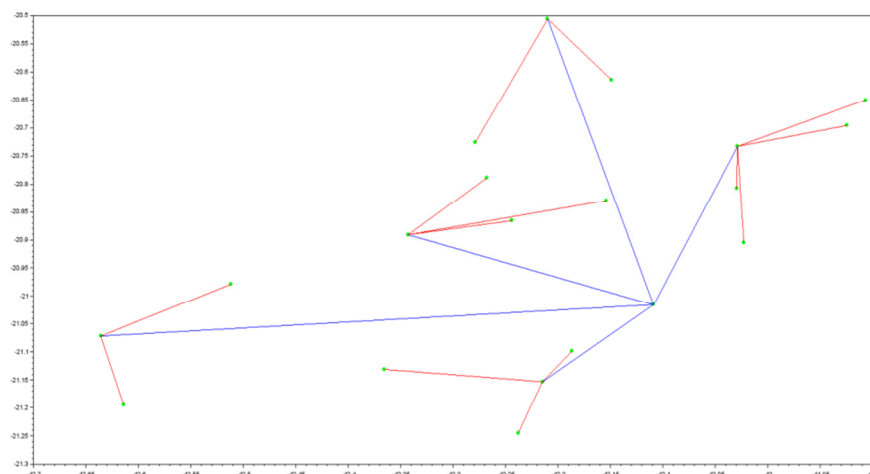


Figura 5 – Cinco centros de primeiro nível conectados a um centro de segundo nível

4. TESTES

Para testar o algoritmo, foram utilizadas instâncias hipotéticas envolvendo localidades do estado do Rio de Janeiro, onde todos os pontos são candidatos a facilidades ou clientes, através de uma lista de coordenadas geográficas dos 92 municípios deste estado. Estas instâncias representam uma situação hipotética onde se deseja a instalação de bases para pouso e decolagem de aeronaves, no caso, helicópteros, pois muitas localidades não possuem aeroporto, mas sempre apresentam locais alternativos e seguros, como campos de futebol, estacionamentos, unidades médicas com espaço suficiente, ou com previsão para construção. Como o número de aeronaves é reduzido, os centros de facilidades de segundo nível são poucos, porém, cobrem uma distância maior, enquanto as distâncias dos centros de primeiro nível são mais curtas. A média das distâncias entre um extremo e outro é da ordem de 200 km aproximadamente, que varia proporcionalmente com o número de aeronaves disponíveis. Os limites dos valores dos trechos terrestres considerados neste estudo foram de 50 e 80 km. As instâncias 1, 2 e 3 simulam situações hipotéticas, porém bem próximas da realidade. O algoritmo foi desenvolvido no software Scilab, versão 6.0.1 para Windows 64 bits, e rodado em um PC com processador Intel Core i5, 3.10 Ghz e 4.0 Gb de memória Ram, Windows 7.0 Ultimate.

4.1. INSTÂNCIA 1

Nesta instância, foram determinados 4 centros de facilidades de segundo nível com raio de alcance máximo de 120 km, para conectar 16 centros de facilidades de primeiro nível com alcance máximo de 50 km, resultando em uma cobertura quase total. A Figura 6 ilustra esta instância a partir do gráfico gerado pelo algoritmo, onde os trechos maiores (azul) são as rotas aéreas, e os trechos menores (vermelho), são trechos terrestres que ligam as cidades por rodovias até a base de resgate. Observe que 17 municípios conectam diretamente aos 4 centros de segundo nível por trechos rodoviários, não necessitando de resgate aéreo. Isto porque estes pontos eram considerados centros de primeiro nível antes de executar o segundo nível do algoritmo, passando então a pertencer à cobertura do segundo nível. A tabela 1 exibe os dados dos centros de localização de cada base, suas coordenadas, municípios e totais em quilômetros referentes aos somatórios das distâncias (p-medianas).

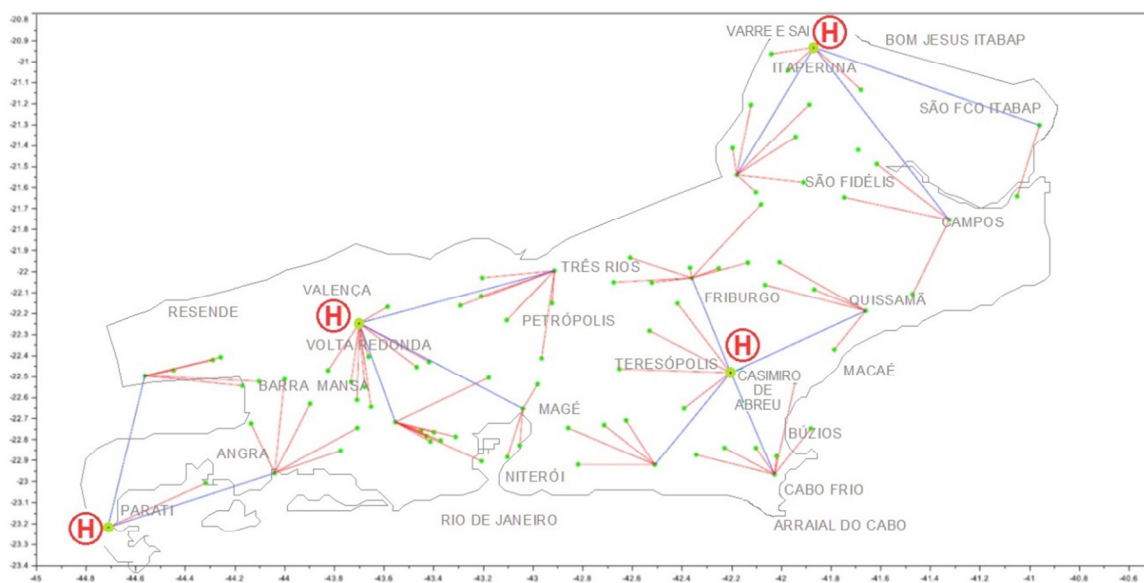


Figura 6 – Quanto centros de segundo nível conectados a dezesseis centros de primeiro nível

Tabela 1 – Informações das Facilidades de segundo nível da Instância 1.

Base nº	Latitude	Longitude	Município	Somatório (km)
1	-23,218	-44,713	Parati	153,01
2	-22,246	-43,700	Valença	219,61
3	-22,481	-42,204	Casimiro de Abreu	225,40
4	-20,931	-41,869	Varre e Sai	278,34

4.2. INSTÂNCIA 2

Para esta instância, foram definidos 3 centros de facilidades definindo 3 localidades para instalação de bases de resgate. Conforme descrito anteriormente, essas bases podem ser consideradas como centro de atendimento de emergência, e no final do trecho aéreo de cada segmento, está localizada a base final para conexão dos trechos terrestres. Nesta instância, os trechos foram localizados no extremo sul, centro e extremo norte do estado, nos municípios de Parati, Maricá e São Francisco do Itabapoana respectivamente. O alcance de primeiro nível foi fixo em 80 km, e o de segundo nível em 160 km, resultando numa cobertura total do estado para os 92 municípios considerados nesta instância. Um ajuste final pode ser considerado como em qualquer solução viável em problemas de pesquisa operacional através de uma análise de sensibilidade. Por exemplo, os extremos sul e norte podem ser realocados para municípios vizinhos, como por exemplo, substituir São Francisco do Itabapoana por Campos dos Goitacazes, caso haja uma melhora na viabilidade da nova solução.

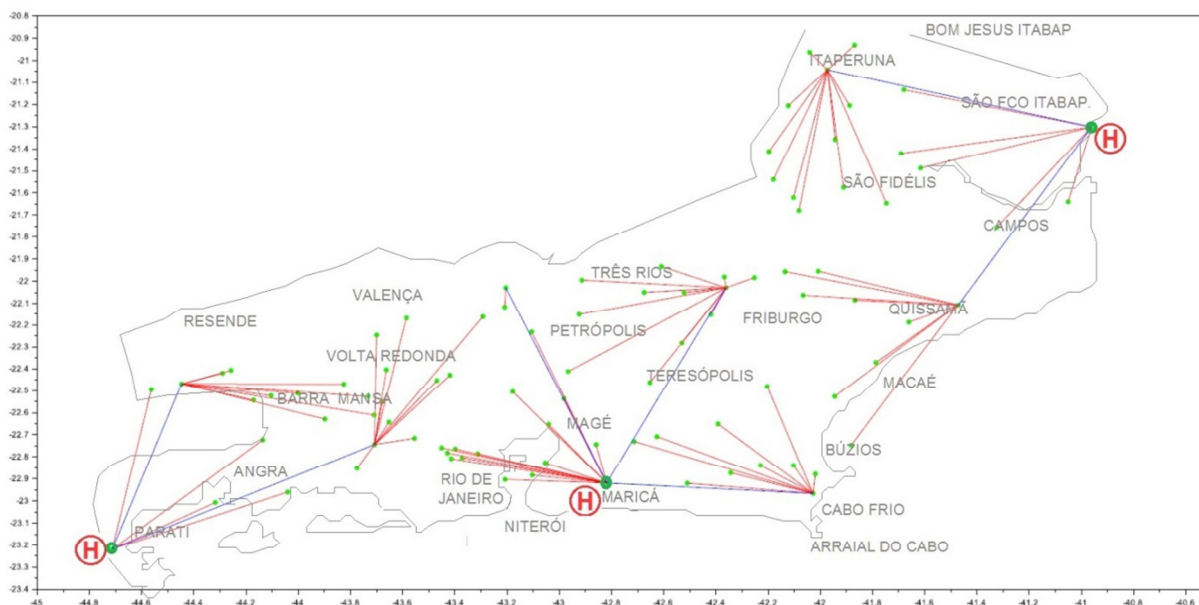


Figura 7 – Três centros de segundo nível conectados a dez centros de primeiro nível

Tabela 2 – Informações das Facilidades de segundo nível da Instância 2

Base nº	Latitude	Longitude	Município	Somatório (Km)
1	-23,218	-44,713	Parati	200,13
2	-21,302	-40,961	São F. do Itabapoana	209,83
3	-22,919	-42,819	Maricá	290,16

Outro aspecto que pode ser considerado fundamental são ajustes nos valores dos parâmetros do algoritmo, para avaliar os resultados em novas execuções. Por exemplo, uma variação no valor do raio do segundo ou primeiro nível, pode resultar na transferência de um ponto interno de um centro para outro centro próximo. Testes permitem viabilizar uma solução através destes ajustes, pois este algoritmo por sua simplicidade estrutural consome um tempo muito curto, motivando testes diversos até que se encontre uma solução ideal.

4.3. INSTÂNCIA 3

Esta última instância foi criada para utilização de apenas duas aeronaves disponíveis ao sistema de resgate a atender todo o estado. Para isso, foi dimensionado um raio de alcance maior para o segundo nível de 250 km, e para os trechos rodoviários referentes ao primeiro nível, um raio de 90 km. Desta forma, o algoritmo localizou os dois centros de resgate no sul do estado, no município de Parati, e ao norte fluminense, no município de Quissamã. Como foi registrado no caso anterior, cabe uma análise de sensibilidade alterando parâmetros, caso a solução viável fornecida possa ser melhorada satisfazendo a situação real. Execuções com valores de parâmetros podem ser também alterados, como alcances reduzidos, aumento no número de centros de primeiro nível, etc. O interessante deste algoritmo é que, além dos resultados numéricos, a interface gráfica auxilia na disposição real das alocações, pois em problemas desta natureza são necessárias avaliações visuais através de mapas e diagramas de rede.

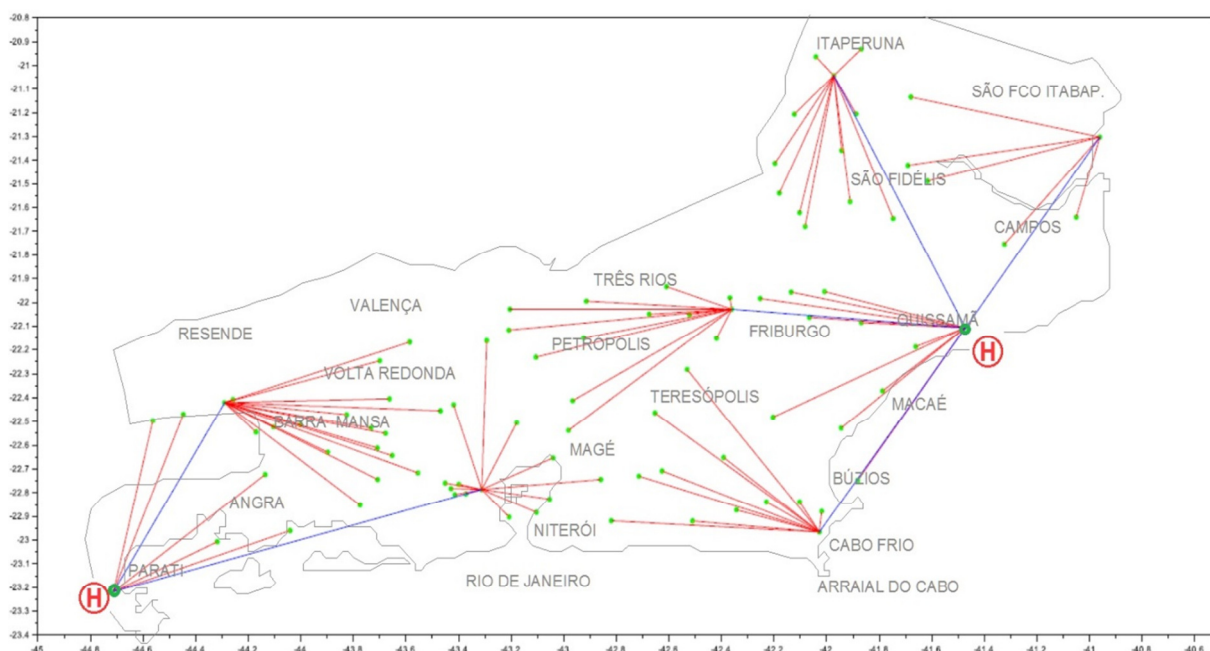


Figura 8 – Dois centros de segundo nível conectados a oito centros de primeiro nível

Tabela 3 – Informações das Facilidades de segundo nível da Instância 3.

Base nº	Latitude	Longitude	Município	Somatório (Km)
1	-23,218	-44,713	Parati	248,77
2	-22,107	-41,472	Quissamã	424,84

4. CONCLUSOES

Através deste trabalho pode se concluir alguns pontos importantes a respeito deste algoritmo. O primeiro se destaca devido à simplicidade que a rotina responsável pelo cálculo das p-medianas possui, pois com uma lógica de fácil entendimento, com a condição de impor um valor do raio de alcance incorporado na matriz distância, acelera o processo de geração das colunas dos somatórios das distâncias facilitando a busca pelo menor custo. Outro ponto importante é a nova proposta de introdução de um segundo nível de facilidades, gerando uma estrutura de busca avançada em relação à rotina simples, originada do algoritmo estocástico para cálculo da p-medianas. Conclui-se então que este algoritmo, apesar de apresentar uma facilidade de modelagem e funcionamento, alcançou bons resultados quando aplicado a problemas reais importantes, como o da localização-alocação de facilidades a dois níveis.

A partir destes resultados, futuros trabalhos envolvendo este algoritmo já estão sendo modelados com a adição de outros níveis, compondo uma estrutura em árvore multinível para busca aplicada a outras classes de problemas envolvendo conjunto de pontos. Com a adição de parâmetros associados a cada coordenada geométrica, este algoritmo poderá ser aplicado em problemas de tomada de decisão, onde além das distâncias das p-medianas, outros fatores serão utilizados como critérios na tomada de decisão, incluindo índices locais como, população, violência, fatores de risco, incidência de raios, índice pluviométrico, além de outros relacionados ao meio ambiente ou característicos da população de uma dada região. Portanto, com estas considerações associadas a este algoritmo, será possível desenvolver novas soluções aplicadas nas diversas áreas exatas, da engenharia e outras relacionadas à segurança pública, mobilidade urbana e outros serviços dedicados à sociedade acadêmica, militar e civil.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Arakaki, R. G. I. (2003) *Heurística de localização-alocação para problemas de localização de facilidades*. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) São José dos Campos: INPE.
- [2] Christofides, N. *Graph Theory – An Algorithmic Approach*. New York: Academic Press, 1975.
- [4] Goldbarg, M. C., Luna, H. P. L. (2000), *Otimização Combinatória e Programação Linear, Modelos e Algoritmos*, Rio de Janeiro, Campus.
- [5] Hakimi, S.L.: Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research*, vol. 12, No. 3, junho de 1964
- [6] Hakimi, S.L.: Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. *Operations Research*, 13, p. 462-475, 1965.
- [7] Lorena, L. A. N.; Senne, E. L. F.; Paiva, J. A. C.; Marcondes, S. P. B. Integração de modelos de localização a sistemas de informações geográficas. In: *Revista do Departamento de Engenharia de Produção*. São Paulo: Universidade Federal de São Carlos, v.8, n.2, agosto de 2001.
- [8] Pereira, M. A. Um método Branch-and-Price para problemas de localização de p-medianas. Tese de Doutorado. INPE, São José dos Campos, 2005.
- [10] Pizzolato, B, Barcelos & Canen – Localização de escolas públicas: síntese de algumas linhas de experiências no Brasil. *Pesquisa Operacional*, v.24, n.1, p.111-131, Janeiro a