Modelos biobjetivos para o problema de Localização de Mamógrafos

Rudivan Paixão Barbosa
Universidade Federal de Ouro Preto
Ouro Preto - MG
rudivanbarbosa@gmail.com

Marcone Jamilson Freitas Souza
Universidade Federal de Ouro Preto
Ouro Preto - MG
marcone@ufop.edu.br

Gilberto de Miranda Junior
Universidade Federal de Ouro Preto
João Monlevade - MG
gilbertomirandajr@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta dois modelos biobjetivos para o problema de Localização de Mamógrafos. São considerados duas instâncias de estados brasileiros. Para geração das Fronteiras Pareto, foram utilizados os métodos exatos da Soma Ponderada e do Épsilon - Restrito. O método do Épsilon - Restrito conseguiu gerar melhores fronteiras Pareto.

PALAVRAS CHAVE. Localização, Mamógrafos, Otimização Biobjetivo.

1. Introdução

O câncer de mama é o segundo tipo de câncer mais comum no Brasil, segundo o Instituto Nacional do Câncer (INCA). Foram vitimadas pelo câncer de mama, em 2018, 17572 mulheres. No ano de 2019, esse tipo de câncer foi a primeira causa de morte na população brasileira feminina. Em 2020 a taxa de incidência foi de 43,73 casos por 100 mil mulheres, conforme mostra o INCA [2021].

Quando o câncer de mama é diagnosticado nos estágios iniciais, 95% das mulheres acometidas sobrevivem, Witten e Parker Witten e Parker [2018]. Os autores Xavier et al Xavier et al. [2016] afirmam que a mamografia é a principal maneira para detecção no câncer de mama no estágio inicial. Dessa forma, o Ministério da Saúde recomenda que mulheres na faixa etária entre 50 e 59 anos devem realizar o exame duas vezes por ano. Também indica que 20% da população feminina entre 40 e 49 anos de idade devem realizar o exame uma vez por ano.

Miranda e Patrocinio [2018] e Amaral et al. Amaral et al. [2017] mostram que, embora a rede pública e privada brasileira tenham disponibilidade satisfatória de mamógrafos, os exames não estão acessíveis a todas as mulheres. A determinação do Ministério da Saúde (2015), que define a distância máxima aceitável entre o mamógrafo e a mulher como 60 KM, é um dos fatores apontados como causa. O trabalho de Amaral et al. Amaral et al. [2017] constata que existem municípios que concentram um excesso de oferta de exames, enquanto outros não dispõem de mamógrafos no raio de 60 KM. Embora existam outros fatores que contribuem para o desestímulo ou até mesmo inviabilização do exame, o estudo mostra que o deslocamento tem papel fundamental no acesso ao exame.

Como foi dito, o exame de mamografia é a maior ferramenta para detecção do câncer de mama. Assim, é necessário que a população feminina consiga ter acesso a esse tipo de exame, por meio particular (caso seja possível) e principalmente pelo Sistema Único de Saúde (SUS). A melhor alocação dos equipamentos de mamografias faz-se necessária. Este artigo apresenta diversos trabalhos que tem esse propósito.

Este artigo está divido da seguinte forma: Na Seção 2 é apresentada uma revisão bibliográfica dos principais artigos sobre os problemas de Localização de Mamógrafos e de Roteamento de Unidades Móveis de Mamografias. Na Seção 3 e 4 são apresentados os modelos biobjetivos e abordagem de solução propostas. Nas seções 5 e 6 são apresentados os procedimentos para a realização dos testes computacionais e seu ambiente de teste, por fim, na Seção 8 é apresentada a conclusão.

2. Revisão da literatura

Os autores Rosa et al. [2020b] introduzem o Problema de Roteamento de Unidades Móveis de Mamógrafos (MMURP). O problema consiste em maximar a demanda atendida e reduzir a distância total percorrida pelas unidades móveis de mamógrafos (MMU) no estado de Minas Gerais. Foi proposto um algoritmo meta-heurístico hierárquico, onde uma solução é considerada melhor quando atende uma demanda maior de mamografias. Caso duas soluções tenham mesma demanda atendida, é comparado a distância total percorrida e a escolhida é a que tem menor distância. O artigo conclui mostrando que podem-se atender quase 360 mil exames a mais de mamografias do que é atendido atualmente no Estado.

Em Assis et al. [2021] é apresentado o problema de localização de mamógrafos. O objetivo é decidir em quais cidades devem-se alocar mamógrafos, a fim de maximizar o atendimento de exames das cidades vizinhas. Para uma cidade ser candidata a receber um mamógrafo, é necessário que a própria tenha uma demanda mínima. As cidades vizinhas só poderão ser atendidas por esse mamógrafo se estiveram até uma distância máxima da cidade escolhida para alocação. O método escolhido para resolução do problema foi uma meta-heurística *Iterated Greedy Search* (IGS) com busca local *Variable Neighborhood Descent*. Os resultados obtidos pelo IGS foram comparados com o algoritmo *Simulated Annealing* (SA) proposto por Campos [2020]. O algoritmo SA obteve resultados ligeiramente melhores que o IGS, o que indica que é preciso melhorar o IGS.

Os autores Correa et al. [2020] apresentam quatro formulações para o problema de localização de mamógrafos. Os modelos são baseados no problema clássico de p-medianas. O segundo difere do primeiro pois permite violação da distância máxima que um mamógrafo pode ser designado para atender uma localidade, já o primeiro modelo impõe restrição de distância. Nos últimos modelos é levado em consideração a quantidade de mulheres que se deslocam para ser atendidas, sendo que no último a restrição de distância máxima é relaxada. As formulações que impõem distância máxima não encontraram soluções factíveis no tempo estabelecido de processamento, uma das razões disso é que as diversas regiões do Estado de Minas Gerais possuem municípios que a distância entre eles é maior do que a permitida para a locomoção das mulheres. Ainda é necessário expandir o estudo para os 853 municípios de Minas Gerais.

No artigo Rosa et al. [2020a] é apresentado um modelo de programação matemática para o problema de localização de mamógrafos (PLM). A principal característica que difere esse problema dos demais da literatura é restrição de que as mulheres só podem ser atendidas por cidades dentro da mesma microrregião. Também é considerada a aquisição gradativa de novos equipamentos. Os autores fazem comparação da abordagem exata executada pelo solver Gurobi com o método meta-heurístico Variable Neighborhood Search (VNS). Os cenários sem a restrição de atendimento de que as mulheres podem apenas ser atendidas na mesma microrregião possibilitou melhor atendimento da demanda com menos mamógrafos. De modo geral, o VNS teve melhor desempenho do que o Gurobi.

Rosa et al. [2021] abordaram o problema de roteamento de unidades móveis de mamografia. O objetivo é maximizar a demanda atendida de exames e minimizar a distância total. Se duas soluções atenderem a mesma quantidade de exames, a distância total percorrida é o critério de desempate. Para resolução do problema, os autores propõem um algoritmo baseado na meta-heurística *Iterated Greedy* (IG), Smart IG. Para refinar a solução é executado o procedimento *Randomized Variable Neighborhood Descent* (RVND). Dos 853 municípios do Estado de Minas Gerais, 579 foram analisados. Os resultados apresentados são superiores aos apresentados pelo algoritmo construtivo em Rosa et al. [2020b].

Souza et al. [2021] abordam o problema localização de mamógrafos considerando o Estado de Rondônia. São apresentados dois modelos de programação matemática baseados no problema de p-medianas. O primeiro modelo considera que um mamógrafo só pode atender uma cidade de atender a demanda de uma cidade se atender integralmente. O segundo modelo relaxa a restrição sobre atendimento integral da demanda. Foi observado que segunda formulação faz melhor uso da capacidade de realização de exames dos mamógrafos. Os autores sugerem considerar o uso de carretas para levar mamógrafos para as cidades não atendidas por mamógrafos fixos.

Souza et al. [2019] apresentam o Problema de Localização de Mamógrafos e utilizam uma heurística baseada em VNS para encontrar soluções. A formulação matemática do problema de Localização de Mamógrafos apresentada é a seguinte:

<u>Parâmetros</u>:

N = conjunto das localidades
d_{ij} = distância do local i ao local j

dem_j = demanda por exames de mamografia no local j
cap = capacidade de atendimento de exames do mamógrafo
p = número de mamógrafos a serem alocados
R = distância máxima para atendimento
$demMin$ = Demanda mínima de exames que um local deve possuir para justificar a instalação de um mamógrafo
$S_i = \{j \in N|d_{ij} \leq \ e\ d_{ij} \leq R\}$, isto é, o conjunto das localidades que distam R km da localidade i

<u>Variáveis de decisão</u>:

$x_{ij} = 1$, se as mulheres do local j são atendidas por um mamógrafo instalado no local i. 0, caso contrário.

y_i variável inteira que representa o número de mamógrafos alocados na cidade i.

$z_i = 1$, se local i sediar a instalação de algum mamógrafo. 0, caso contrário.

$$max \quad \sum_{j \in N} \sum_{j \in S_i} dem_j \cdot x_{ij} \tag{1}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in S_i} x_{ij} \leq 1 \qquad \forall j \in N \tag{2}$$

$$\sum_{j \in N} y_j = p \tag{3}$$

$$\sum_{j \in S_i} dem_j \cdot x_{ij} \leq cap \cdot y_i \qquad \forall i \in N \tag{4}$$

$$z_i \geq \frac{y_i}{p} \qquad \forall i \in N \tag{5}$$

$$z_i \geq x_{ij} \qquad \forall i, j \in N \tag{6}$$

$$x_{ii} = z_i \qquad \forall i \in N \tag{7}$$

$$y_i = 0 \qquad \forall i \in N \mid dem_i \leq demMin \tag{8}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \qquad \forall i \in N \tag{9}$$

$$y_i \in \mathbf{Z}^+ \qquad \forall i \in N \tag{10}$$

$$z_i \in \{0, 1\} \qquad \forall i \in N \tag{11}$$

A função objetivo (1) visa a maximização da demanda total por exames de mamografia. As restrições (2) indicam que cada cidade j precisa ser atendida por um único mamógrafo instalado na cidade i, ou não ser atendido. As restrições (3) determinam que todos os p equipamentos devem ser alocados, e que uma cidade pode receber mais do que um equipamento. As restrições (4) garantem que a capacidade de cada equipamento precisa ser respeitada. As restrições (5) asseguram que se pelo menos um equipamento for instalado na cidade i então a variável z_i assume o valor 1. As restrições (6) asseguram que uma cidade j somente pode ser atendida por uma cidade i se houver um equipamento instalado nela. As restrições (7) garantem que a demanda da cidade i seja atendida pelo equipamento instalado nela própria. As restrições (8) impedem que locais i com demanda por atendimentos menor que $demMin$ sejam candidatos a sediar mamógrafos, para justificar economicamente sua instalação. Finalmente, as restrições (9), (10) e (11) impõem o domínio das variáveis de decisão.

Campos et al. [2020] também apresentam o modelo de programação inteira mista de Souza et al. [2019] com uma pequena diferença. No modelo de Campos et al. [2020] é considerado uma variável t_i que indica se a cidade i teve toda sua demanda atendida por algum mamógrafo. Os autores usam o *Solver Cplex* como métodos de solução e uma meta-heurística baseada no *Simulated Annealing*.

Não foi encontrado na literatura algum trabalho que abordasse o problema de Localização de Mamógrafos de forma biobjetiva.

3. Modelo Biobjetivo 1

Aqui apresentamos um modelo Biobjetivo inspirado no trabalho de Souza et al. [2019]. Consideramos a quantidade total de mamógrafos alocados como a nova função objetivo. Assim, desejamos otimizar as novas funções abaixo:

$$max \quad \sum_{j \in N} \sum_{j \in S_i} dem_j \cdot x_{ij}$$

$$min \quad \sum_{j \in N} y_i$$

A primeira função maximiza a demanda atendida. A segunda função minimiza total de mamógrafos alocados. Removemos as restrições (3) e (5) do modelo de Souza et al. [2019].

Como método de solução, consideramos o método da Soma Ponderada, dessa forma, temos

$$max \quad \lambda \sum_{j \in N} \sum_{j \in S_i} dem_j \cdot x_{ij} - (1 - \lambda) \sum_{j \in N} y_i$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in S_i} x_{ij} \leq 1 \qquad \forall j \in N$$

$$\sum_{j \in S_i} dem_j \cdot x_{ij} \leq cap \cdot y_i \qquad \forall i \in N$$

$$z_i \geq x_{ij} \qquad \forall i, j \in N$$

$$x_{ii} = z_i \qquad \forall i \in N$$

$$y_i = 0 \qquad \forall i \in N \mid dem_i \leq demMin$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \qquad \forall i \in N$$

$$y_i \in \mathbf{Z}^+ \qquad \forall i \in N$$

$$z_i \in \{0, 1\} \qquad \forall i \in N$$

$$0 \leq \lambda \leq 1$$

4. Modelo Biobjetivo 2

No segundo modelo proposto, consideramos uma nova função objetivo e matemos a função que maximiza a demanda atendida. Essa nova função objetivo minimiza a quantidade total de mamógrafos alocados.

$$max \quad \sum_{j \in N} \sum_{j \in S_i} dem_j \cdot x_{ij}$$

$$min \quad \sum_{i \in N} y_i$$

Utilizamos o método do Épsilon - restrito para gerar a Fronteira Pareto. Consideramos a função de maximização sendo a mais importante, assim a função de minimização transforma-se em uma restrição do modelo. As outras restrições do modelo são idênticas as do modelo de Souza et al. [2019].

$$\sum_{i \in N} y_i \leq p$$

5. Testes Computacionais

Para geração da fronteira Pareto no Modelo Biobjetivo 1, executamos o modelo 100 vezes alterando o valor de λ em 0.01 em cada execução. Para geração da fronteira Pareto no Modelo Biobjetivo 2, executamos o modelo 100 vezes para as instâncias do Espírito Santo e Rondônia, alterando o valor de p em uma unidade em cada execução. Consideramos duas instâncias no total, uma do Espírito Santo e uma de Rondônia, ambas com os dados obtidos através do site do governo brasileiro DATASUS [2021] e da API Google Maps. Consideramos as execuções até o gap de 1%.

6. Ambiente de teste

O software AMPL com Cplex 20.1.0.0 foi utilizado para obtenção dos resultados. Os dois modelos propostos nesse trabalho foram executados em um computador equipado com 1 processador Intel(R) Core(TM) i7-10750H CPU @ 2.60GHz (12 threads, utilizadas em sua totalidade), 16 GB de memória RAM e sistema Windows 11 Home.

7. Resultados

Nas Figura 1 e Figura 2 do lado esquerdo são apresentadas as fronteiras Pareto do Modelo Biobjetivo 1, onde os eixos horizontais representam a quantidade de mamógrafos alocados e os eixos verticais representam as demandas totais atendidas. Nas Figura 1 e Figura 2 do lado direito são apresentadas as fronteiras Pareto do Modelo Biobjetivo 2.

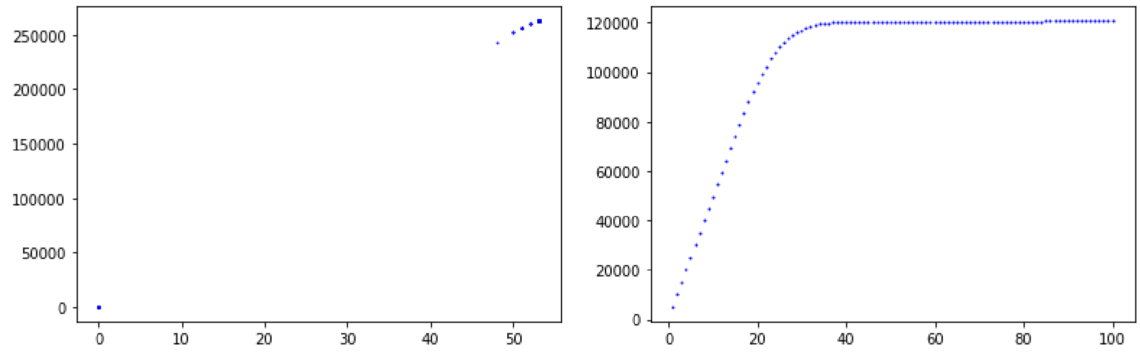

Figura 1: Fronteira Pareto para instância do Espírito Santo

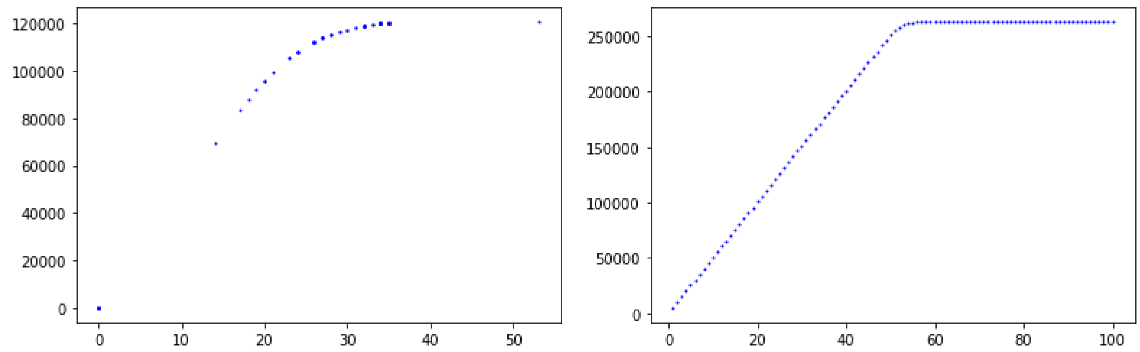

Figura 2: Fronteira Pareto para instância de Rondônia

Observa-se que a partir de uma quantidade p de mamógrafos, não vale mais a pena aumentar p, pois mesmo que a demanda total do estado não seja atendida, as restrições de 60 KM de locomoção e de demanda minima para uma cidade sediar um mamógrafo impedem que a demanda atendida seja maior, mesmo considerando mais mamógrafos.

8. Conclusão

Neste trabalho foram apresentados os métodos de Soma Ponderada e Épsilon - Restrito para resolução de modelos biobjetivos de Localização de Mamógrafos. Foi observado que o método do Épsilon - Restrito fornece fronteiras Pareto melhores do que o método da Soma Ponderada. Para trabalhos futuros pode-se explorar outros métodos exatos, como o método do épsilon-restrito híbrido, além de resolver instâncias de outros estados brasileiros. Também pode-se considerar métodos heurísticos, como a meta-heurística *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II).

Referências

Amaral, P., Luz, L., Cardoso, F., e Freitas, R. (2017). Distribuição espacial de equipamentos de mamografia no brasil. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais (RBEUR)*, 19(2):326–341.

Assis, R., Campos, M., Souza, M., Silva, S., M.A.L., E.C., e Souza, S. (2021). Um algoritmo iterated greedy search para o problema de localização de mamografos com atendimento parcial. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO).*

Campos, M. (2020). Formulações de programação matematica e um algoritmo heuristico para o problema de localizacao de mamografos. Master's thesis, Centro Federal de Educacao Tecnologica de Minas Gerais.

Campos, M., Moreira de Sá, M., Rosa, P., Penna, P., Souza, S., e Souza, M. (2020). A mixed linear integer programming formulation and a simulated annealing algorithm for the mammography unit location problem. *ICEIS*.

Correa, V., Lima, B., Souza, P., Penna, P., e Souza, M. (2020). Localização de mamógrafos: Um estudo de caso na rede publica de saúde. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO).*

DATASUS (2021). URL `https://datasus.saude.gov.br/`.

INCA (2021). Conceito e magnitude do câncer de mama. instituto nacional do câncer. URL `https://www.inca.gov.br/controle-do-cancer-de-mama/conceito-e-magnitude`.

Miranda, S. e Patrocinio, A. (2018). Distribuição de mamografos por macrorregião do brasil. *V Congresso Brasileiro de Eletromiografia e Cinesiologia e X Simpósio de Engenharia Biomédica*, p. 433–436.

Rosa, O., Rosa, P., Paiva, J., Penna, P., e Souza, M. (2021). Um algoritmo baseado em iterated greedy para o problema de roteamento de unidades moveis de mamografia. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO).*

Rosa, P., Moreira de Sá, M., Paiva, J., Penna, P., e Souza, M. (2020a). Análise da localização de mamógrafos em minas gerais. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO).*

Rosa, R., O.A.S., P.M., Penna, P., e Souza, M. (2020b). Um algoritmo construtivo para o problema de roteamento de unidades móveis de mamografia. *Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO).*

Souza, M., Penna, P., Moreira de Sá, M., e Rosa, P. (2019). A vns-based algorithm for the mammography unit location problem. *ICVNS 2019: Variable Neighborhood Search*, p. 37–52.

Souza, M., Penna, P., Moreira de Sá, M., e Rosa, P. (2021). Localização de mamógrafos: formulações e estudo preliminar de caso de rondônia. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO).*

Witten, M. e Parker, C. C. (2018). Screening mammography recommendations and controversies. *Surgical Clinics of North America*, 98(4):667–675.

Xavier, D. R., Oliveira, R., Matos, V., e Viacava, F. (2016). Cobertura de mamografias, alocação e uso de equipamentos nas regiões de saude. *Saúde em debate*, 40(110):20–35.