

Localização de mamógrafos: formulações e estudo preliminar de caso de Rondônia

**Marcone Jamilson Freitas Souza, Puca Huachi Vaz Penna,
Manoel Victor Stilpen Moreira de Sá, Patrick Moreira Rosa**

Departamento de Computação – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)
Campus Universitário, Morro do Cruzeiro, CEP 35.400-000, Ouro Preto (MG), Brasil
{marcone, puca}@ufop.edu.br,
{manoel.stilpen, patrick.moreira}@aluno.ufop.edu.br

Janne Cavalcante Monteiro, Maillene Rodrigues Lisboa

Departamento de Medicina – Universidade Federal de Rondônia (UNIR)
Campus BR 364, Km 9,5, CEP 76801-059, Porto Velho (RO), Brasil
{jannemonteiro, maillene}@unir.br

RESUMO

Este trabalho trata do problema de localização de mamógrafos. Neste problema há um conjunto de cidades com demanda por exames de mamografia de sua população feminina e um conjunto de mamógrafos a serem instalados em um subconjunto dessas cidades. O objetivo é decidir onde instalar os mamógrafos de forma a maximizar a demanda total de exames, satisfazendo às restrições de que uma mulher não pode deslocar mais do que 60 km para ser atendida e que nem todas as localidades são candidatas a sediarem um mamógrafo. É apresentada uma formulação de programação matemática para representar o problema, bem como sua relaxação linear parcial. As formulações foram testadas usando-se dados do Estado de Rondônia. Também foram analisados vários cenários, considerando a possibilidade de aquisição de mais mamógrafos do que os atualmente disponíveis.

PALAVRAS CHAVE. Localização de mamógrafos, Localização de facilidades, Programação Matemática.

Tópicos: PO na Área de Saúde

ABSTRACT

This work deals with the mammography unit location problem. In this problem there is a set of mammography units to be installed in cities with hospital infrastructure and a set of cities, each with a demand of mammography screenings. The goal is to decide where to install mammography units in order to maximize the total demand, satisfying the constraints that a woman can not travel more than 60 km to be attended and that not all cities are candidates to host a mammography unit. One mathematical programming formulation and its partial relaxation are presented. The formulations were tested using data from the State of Rondônia, Brazil. Several scenarios were also analyzed, considering the possibility of acquiring more mammography units than those currently available.

KEYWORDS. Mammography Unit Location, Facility Location, Mathematical Programming.

Paper topics: OR in Health Area

1. Introdução

Depois do câncer de pele não melanoma, o de mama é o tipo de câncer mais incidente na população feminina no mundo e no Brasil, e uma das principais causas de morte por câncer nos países desenvolvidos e em desenvolvimento [INCA, 2015b].

De acordo com Xavier et al. [2016], a redução do número de óbitos na população feminina devido ao câncer de mama está diretamente relacionada ao diagnóstico precoce desse mal. Por outro lado, o rastreamento dessa doença pelo exame de mamografia é o principal meio de detecção precoce do câncer de mama.

A recomendação atual do Ministério da Saúde é que seja ofertada mamografia a mulheres de 50 a 69 anos bienalmente, pois há evidência científica de que nessa faixa etária as mulheres se beneficiam mais do exame em termos de rastreadibilidade [INCA, 2015a, 2009]. Esses estudos ainda apontam um adicional de 8,9% anualmente por indicação diagnóstica para mulheres nessa faixa etária. Desta forma, para mulheres de 50 a 69 anos, a demanda estimada é de 58,9% da população feminina por ano. Além disso, segundo esses estudos há a necessidade de realização de exames anuais em 20% das mulheres de 40 a 49 anos, sendo 10% por indicação diagnóstica e 10% por outras indicações.

O exame de mamografia é um dos serviços diagnósticos ofertados pelo Sistema Único de Saúde (SUS), por meio do qual grande parte da população brasileira tem suas necessidades de saúde atendidas. De acordo com o Instituto Nacional do Câncer [INCA, 2015c], cada equipamento é capaz de realizar anualmente 5.069 exames. Pesquisas do Governo Federal apontam para um percentual de 70% de pessoas que têm o SUS como referência em atenção à saúde e que usam a Rede de Atenção à Saúde (RAS) para realizar os serviços de saúde no âmbito do SUS, dentre eles os serviços de apoio diagnóstico.

Mendes [2009], baseado em estudos da Organização Mundial de Saúde, discorre que as RASs combinam a concentração de certos serviços com a dispersão de outros, sendo que os de menor densidade tecnológica, como a atenção básica à saúde, devem estar mais dispersos, e os de maior densidade tecnológica, como hospitais, unidades de processamento de exames de patologia clínica e equipamentos de imagem, devem ser concentrados, ou seja, maior oferta de serviços primários ou básicos em saúde e menor oferta de serviços mais complexos tecnologicamente, pois através de serviços primários bem estruturados se resolveria aproximadamente 80% das necessidades de saúde da população.

Dessa forma, os serviços de saúde estruturam-se numa rede de pontos de atenção à saúde, composta por equipamentos de diferentes densidades tecnológicas que devem ser distribuídos, especialmente, de forma ótima. A organização das RASs, para ser feita de forma efetiva, eficiente e com qualidade, tem de estruturar-se com base nos seguintes fundamentos: economia de escala, disponibilidade de recursos, qualidade e acesso; integração horizontal e vertical; processos de substituição; territórios sanitários; e níveis de atenção.

No que tange ao acesso aos serviços de saúde na RAS, Andrade et al. [2016] destacam que é fundamental realizar estudos para otimizar a distribuição dos mamógrafos, visto que a distância que a mulher precisa percorrer até o local onde está instalado o mamógrafo para atendê-la é o fator que mais contribui para que as mulheres deixem de realizar o exame. Isto é, muitas mulheres não realizam os exames de mama simplesmente porque os mamógrafos estão instalados em lugares distantes de onde elas residem.

A ineficiência do SUS em ofertar à população feminina brasileira o exame de mamografia é constatada em vários trabalhos, como em Amaral et al. [2017], Andrade et al. [2016] e Villar et al. [2015]. Esses autores verificaram que, considerando-se apenas a demanda por exames a serem realizados anualmente e a quantidade existente de mamógrafos, o número atual de equipamentos é suficiente. Entretanto, a distribuição desses equipamentos é inadequada, visto que algumas regiões são bem cobertas e outras não. Além disso, em muitas localidades há falta de mão de obra especializada para operar os aparelhos de mamografia.

Este trabalho contribui com o desenvolvimento de modelos de otimização para uma distribuição mais racional de equipamentos de mamografia, ao mesmo tempo em que faz um estudo preliminar de caso do Estado de Rondônia. É desenvolvida uma formulação de programação matemática, e uma relaxação parcial desta, ambas baseadas no problema de máxima cobertura (*Maximal Covering Location Problem*) [Church e Velle, 1974].

O restante deste trabalho está estruturado como segue. A Seção 2 faz uma breve revisão da literatura sobre o PLM e sobre os modelos de localização. A Seção 3 descreve o problema em detalhes. Em seguida, na Seção 4 são apresentadas duas formulações de programação matemática para representar o problema. Na Seção 5 são relatados os resultados computacionais encontrados pela aplicação das formulações a uma instância real do problema, relativa ao Estado de Rondônia. Na Seção 6 são apresentadas as conclusões deste trabalho e apontadas perspectivas de trabalhos futuros.

2. Revisão de Literatura

Andrade et al. [2016] analisaram a quantidade de mamógrafos existentes e a população feminina atendida por exames de mamografia no Estado de Minas Gerais no ano de 2012. Os autores concluíram que a distância e o tempo de deslocamento da mulher ao mamógrafo é um importante limitador ao acesso à realização do exame. Segundo eles, isso ocorre porque se o mamógrafo está distante da residência das mulheres, é muito provável que elas não se deslocarão para fazer o exame. Os autores enfatizam a importância de estudos para otimizar a alocação desses mamógrafos.

Segundo Amaral et al. [2017], diversos fatores podem criar obstáculos ao acesso aos serviços de saúde, como disponibilidade de convênios, nível educacional, *status* socioeconômico, custo de transporte, localização dos centros de saúde, etc. O conceito de acessibilidade não está relacionado apenas com a disponibilidade de recursos em dado período de tempo (Aday e Andersen [1974] *apud* Amaral et al. [2017]); na verdade está também relacionado com a capacidade dos indivíduos se apropriarem dos serviços ofertados. De acordo com Hamer [2004], não basta ser ofertado o serviço de saúde, é necessário, igualmente, que o paciente seja capaz de alcançar o centro aonde ele é ofertado em tempo e custos razoáveis. Em Amaral et al. [2017], os autores concluem que a oferta de mamógrafos no Brasil é suficiente para atender a toda a demanda de mulheres por exames. Contudo, quando adiciona-se a restrição de distância máxima no contexto, a distribuição dos mamógrafos é inadequada pois muitos deles não cobrem todas as regiões.

Sathler et al. [2017] focaram no atendimento das demandas por especialidades médicas da saúde pública no Estado de Minas Gerais. O objeto de pesquisa foi a localização de 51 Centros de Especialidades Médicas (CEMs) em 853 municípios do Estado, e em cinco especialidades: cardiologia, pediatria, mastologia, ginecologia e endocrinologia, escolhidas pelo critério de maior demanda por atendimento no Estado e por horas médicas de atendimento. Os autores propuseram

um modelo matemático de otimização inteira mista, baseado no problema de Máxima Cobertura (MCLP, das iniciais em inglês de *Maximal Covering Location Problem*), não capacitado, e consideraram três cenários para definir um conjunto de municípios candidatos a receber um CEM. No primeiro cenário foram considerados 853 municípios candidatos, no segundo 372 e no terceiro, 98. O parâmetro distância máxima foi variado nos valores 400, 300, 200 e 100 quilômetros (km), a fim de identificar a configuração que fornece a maior cobertura e a menor distância média de deslocamento. A distância entre os municípios foi obtida pelo cálculo da distância entre dois pontos de acordo com a lei esférica dos cossenos, atualizada por um fator de correção. Os autores verificaram que as variações adotadas mostraram uma melhor distribuição geográfica dos 51 CEMs para menores distâncias de cobertura máxima, em todos os cenários. Além disso, tendo em vista a crise econômica por que passa o Estado de Minas Gerais, sugeriram adotar o terceiro cenário, visto a possibilidade de diminuição de custos na medida em que o número de CEMs a serem instalados é reduzido, sem perda na cobertura da demanda.

Corrêa et al. [2018] analisaram a localização de mamógrafos em um conjunto de 12 regiões de saúde do Estado de Minas Gerais, envolvendo 151 cidades. Os autores desenvolveram quatro formulações de programação matemática, todas baseadas no problema das p -medianas. Na primeira delas o objetivo é minimizar a distância total percorrida pelas mulheres ao se deslocarem para realizar o exame. Na segunda formulação a restrição de distância máxima de deslocamento é relaxada e essa distância que supera a distância máxima é penalizada na função objetivo. As duas últimas formulações diferem das duas anteriores por considerarem na função objetivo, além da distância, também a demanda de mulheres a serem atendidas. Mais precisamente, a função objetivo é dada pelo produto entre a distância a ser percorrida até o local de instalação do mamógrafo e a demanda de mulheres que se deslocam. O objetivo dessas duas últimas formulações é incentivar a instalação de mamógrafos em cidades com mais mulheres na faixa de atendimento. Assim como observado por Amaral et al. [2017], os autores concluíram que há mais mamógrafos na região analisada do que o efetivamente necessário, e que a localização atual dos mamógrafos é inadequada, por não cumprir as regras preconizadas pelo Ministério da Saúde.

3. Caracterização do Problema

O problema de Localização de Mamógrafos (PLM) objeto deste trabalho possui as seguintes características:

- (a) existe um conjunto N de n localidades candidatas a receber mamógrafos, e um conjunto de p mamógrafos disponíveis, com $p < n$;
- (b) cada mamógrafo possui uma capacidade cap anual de realização de exames de mamografia;
- (c) cada localidade j possui uma demanda dem_j anual de exames de mulheres na faixa de idade indicada para realizá-los;
- (d) as mulheres que residem na localidade j devem se deslocar, no máximo, R quilômetros (km) até os postos de atendimento onde estão instalados os aparelhos de mamografia. Aqui consideramos que a distância máxima R deve ser respeitada tanto na ida quanto na volta do atendimento;
- (e) apenas localidades com infraestrutura hospitalar são candidatas a sediar um equipamento de mamografia. Neste trabalho consideramos que uma localidade é candidata a sediar um equipamento de mamografia se ela tiver, pelo menos, a demanda de dem_{Min} exames de mulheres na faixa de idade indicada para realizar o exame.

O objetivo é decidir onde alocar os mamógrafos de forma a atender ao maior número possível de exames de mulheres na faixa de idade indicada para a realização do exame pelo SUS.

A Figura 1 ilustra uma alocação de $p = 2$ mamógrafos em um conjunto de $n = 8$ cidades. Nesse exemplo, as cidades 1 e 6 sediam mamógrafos. A cidade 1 atende, além dela própria, também as cidades 2 e 3, enquanto a cidade 6 atende a ela própria e a cidade 8. Já as cidades 4, 5 e 7 não são atendidas por nenhum mamógrafo.

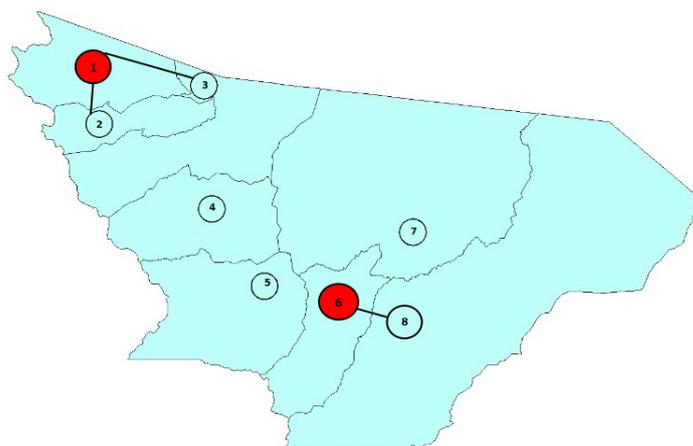


Figura 1: Mapa de uma solução com $n = 8$ e $p = 2$

4. Métodos de Solução

Nesta Seção é apresentada uma formulação de programação matemática para o PLM e uma relaxação parcial dela (Subseções 4.1 e 4.2, respectivamente). Em todas as formulações considera-se que o problema é de máxima cobertura capacitado, conforme descrito na Seção 3.

Para a aplicação dessas formulações pressupõe-se que a demanda por exames de cada localidade seja menor que a capacidade de um mamógrafo. Quando isso não ocorre, basta alocar um mamógrafo a cada localidade que tenha mais demanda do que a capacidade de exames do equipamento e repetir esse procedimento até que os mamógrafos sejam utilizados em sua capacidade máxima. Desta forma, a demanda atendida com esse pré-processamento é máxima.

4.1. Primeira formulação

Nesta formulação considera-se que cada localidade ou é totalmente atendida ou não é atendida. Para apresentá-la, sejam os parâmetros de entrada e as variáveis de decisão, conforme definidos a seguir.

Parâmetros:

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

$S_i = \{j \in N \mid d_{ij} \leq R \text{ e } d_{ji} \leq R\}$, isto é, o conjunto das localidades que distam R km da localidade i

Variáveis de decisão:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se as mulheres do local } j \text{ são atendidas por um mamógrafo instalado no local } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

y_i = quantidade de equipamentos a serem instalados no local i .

$$z_i = \begin{cases} 1, & \text{se o local } i \text{ sediar a instalação de algum mamógrafo} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A primeira formulação do PLM é dada pelas Equações (1) a (11):

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

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i \in S_j} x_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} y_i = p \quad (3)$$

$$\sum_{j \in S_i} dem_j \cdot x_{ij} \leq cap \cdot y_i \quad \forall i \in N \quad (4)$$

$$z_i \geq y_i/p \quad \forall i \in N \quad (5)$$

$$z_i \geq x_{ij} \quad \forall i, j \in N \quad (6)$$

$$x_{ii} = z_i \quad \forall i \in N \quad (7)$$

$$y_i = 0 \quad \forall i \in N \mid dem_i < demMin \quad (8)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N \quad (9)$$

$$y_i \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in N \quad (10)$$

$$z_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N \quad (11)$$

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.

4.2. Segunda formulação

Esta formulação consiste numa relaxação parcial da anterior. Ao contrário da formulação anterior, nesta formulação uma localidade pode ser parcialmente atendida por um mamógrafo. A alteração consiste em relaxar a integralidade das variáveis x_{ij} , isto é, impor $0 \leq x_{ij} \leq 1$. Assim, basta substituir as restrições (9) da formulação da Subseção 4.1 por:

$$x_{ij} \in [0, 1] \quad (12)$$

Para exemplificar, se ao aplicar essa formulação forem retornados os valores $x_{i1} = 0,4$ e $x_{i2} = 0,25$, então isso significa que 40% da demanda por exames da cidade 1 e 25% da cidade 2 devem ser realizados pelo mamógrafo instalado na cidade i .

5. Experimentos Computacionais

Os modelos de programação matemática apresentados nas Seções 4.1 e 4.2 foram implementados no resolvidor GLPK, versão 4.65. Todos os métodos foram testados em um computador Intel Core i5 @ 2.5 GHz, 8 GB de memória RAM, sob o sistema operacional Ubuntu.

Para testá-lo foram analisados vários cenários de uma instância relativa ao Estado de Rondônia, relativa ao último censo, de 2010. As distâncias entre as cidades foram obtidas pela *GraphHopper Directions API*, escolhendo-se a opção de deslocamento por carro. O Estado possui 52 cidades e, conforme consta na página do setor de estatísticas da Secretaria Estadual de Saúde (SESAU/RO), há 8 mamógrafos em todo o Estado. Entretanto, em visita *in loco*, verificou-se que há apenas 5 mamógrafos em operação, mas 3 deles estão sob gestão municipal (no caso, um em Ariquemes, com demanda de 4103 exames, outro em Ji-Paraná, com demanda por 5978 exames e o terceiro, em Porto Velho, com demanda de 19292 exames). Portanto, esses equipamentos atendem apenas aos municípios que os têm. Apenas 2 mamógrafos estão sob gestão estadual e atualmente estão instalados em Porto Velho e em Vilhena, este último município tem uma demanda de 3736 exames e não há municípios que distam dele em um raio de 60 km. Assim, na alocação atual dos 5 equipamentos do Estado de Rondônia é possível realizar 23046 exames, o que equivale a 90,9% da capacidade deles, se a restrição de distância de deslocamento for respeitada.

A SESAU/RO conta, também, com duas carretas de mamografia, as quais cumprem uma programação para atender as mulheres, principalmente de municípios não cobertos pelos equipamentos fixos de mamografia. Os exames realizados por meio desses veículos não foram, no entanto, objeto do presente estudo. Essa programação será estudada posteriormente, quando se prevê apresentar roteiros para esses veículos no atendimento das cidades não cobertas pela atual alocação dos equipamentos.

Neste contexto, considerando que devem ser mantidas as alocações atuais dos equipamentos, tanto sob gestão municipal quanto estadual, analisamos 4 cenários. Nos três primeiros cenários consideramos a possibilidade de aquisição de novos equipamentos, sendo que no cenário 1 supõe-se a aquisição de mais um equipamento, no cenário 2 de dois equipamentos e no cenário 3, de três equipamentos. No quarto e último cenário, consideramos a alocação de 8 equipamentos, sem fixar nenhum previamente. Em todos os cenários ignoramos o agrupamento dos municípios em regiões de saúde. A Tabela 1 resume essas informações.

Tabela 1: Características dos cenários

Cenário	Quant. mamógrafos fixos	Quant. a alocar	Quant. total
1	5	1	6
2	5	2	7
3	5	3	8
4	0	8	8

Em cada cenário consideramos o pré-processamento estabelecido na Seção 4. Observa-se que há apenas duas cidades no Estado que requerem mais de 5069 exames, no caso, Porto Velho (19292) e Ji-Paraná (5978). Como nessas duas cidades os municípios têm um mamógrafo próprio, e na cidade de Porto Velho também há um mamógrafo instalado sob gestão estadual, então o valor da capacidade de um mamógrafo foi abatido da demanda existente, resultando que apenas Porto Velho continuou com uma demanda residual superior à capacidade de um mamógrafo, no caso de 9154 exames. Assim, tendo em vista as alocações já existentes e o pré-processamento, Porto Velho comportaria mais um mamógrafo, e teria ainda uma demanda residual de 4085 exames. Em outras palavras, no cenário 1, que consiste em alocar um único equipamento, este deveria ser instalado em Porto Velho para que a capacidade dos mamógrafos fosse totalmente utilizada. Portanto, na prática, as formulações e o algoritmo apresentados na Seção 4 só seriam aplicados aos cenários 2, 3 e 4, sendo que o número de mamógrafos a alocar nos cenários 2, 3 e 4 seriam 1, 2 e 8, respectivamente, visto a alocação de um equipamento no pré-processamento.

Para estabelecer a lista de municípios candidatos a sediar mamógrafos, estabelecemos $demMin=2000$ nos modelos, visto que este valor também está associado a cidades que têm infraestrutura hospitalar no Estado de Rondônia.

A Tabela 2 mostra o resultado da aplicação das formulações das Seções 4.1 e 4.2, aqui nomeadas F1 e F2 nos cenários 2 a 5. Nessa tabela, para cada cenário são apresentados os resultados dos métodos F1 e F2. Na primeira linha de resultados aparecem o número de exames realizados pelas alocações fixadas em função da gestão municipal (Ariquemes, Ji-Paraná e Porto Velho) e estadual (Porto Velho e Vilhena). Na segunda linha é mostrada a quantidade de exames retornada pelo método, incluindo o pré-processamento, enquanto na terceira linha é totalizada a quantidade de exames do cenário. Na quarta linha calcula-se o percentual de aproveitamento da capacidade dos mamógrafos alocados pelo método (excluindo aqueles já fixados), enquanto na última linha esse percentual é calculado tendo em vista a capacidade de todos os mamógrafos daquele cenário.

Tabela 2: Resultados dos métodos nos 4 cenários

Cenário	1		2		3		4	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
Q.fixa	23046	23046	23046	23046	23046	23046	0	0
Q.Aloc.	5069	5069	10106	10138	15022	15207	40172	40552
Q.Total	28115	28115	33152	33184	38068	38253	40172	40552
% Cap. Aloc.	100,0	100,0	99,7	100,0	98,9	100,0	99,0	100,0
% Cap. total	100,0	100,0	93,4	93,5	93,9	94,3	99,0	100,0

Como pode ser observado na Tabela 2, a formulação F2 sempre produziu resultados me-

lhores que os da formulação F1, com um aproveitamento integral da capacidade dos mamógrafos alocados. Comparando-se os cenários 3 e 4, observa-se, claramente, como a pré-fixação dos 5 mamógrafos influenciou negativamente na alocação dos equipamentos. De fato, podendo-se decidir aonde alocar os mamógrafos, é possível aumentar em até 2299 a quantidade de exames, que é o resultado da comparação usando-se a formulação F2. Em relação ao tempo de processamento, o resolvidor GLPK demandou 3 segundos no máximo.

Na Figura 2 são mostradas as alocações relativas às formulações F1 e F2 no cenário 3. Na Figura 2(a) é ilustrada a alocação do modelo F1 e na Figura 2(b) a alocação no modelo F2. Nessas figuras, um círculo na cor vermelha indica que o equipamento foi previamente fixado naquela cidade, seja por gestão municipal ou estadual. Um círculo na cor verde, por sua vez, indica que o equipamento foi alocado como resultado da respectiva formulação ou pelo pré-processamento. Um quadrado na cor vermelha indica a quantidade de mamógrafos fixados e um na cor verde indica a quantidade de mamógrafos instalados naquela cidade por indicação do modelo.

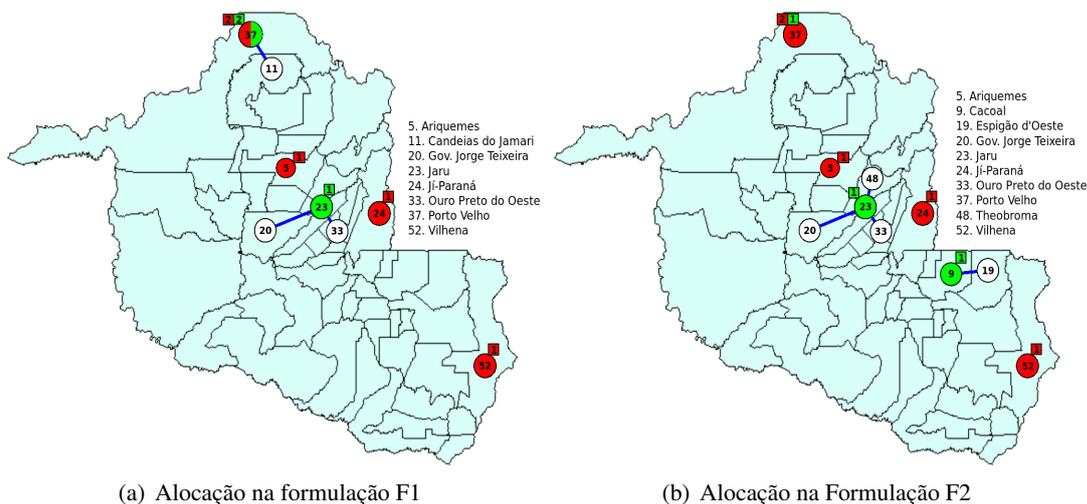


Figura 2: Resultados das alocações das formulações F1 e F2 no cenário 3

Como pode ser observado na Figura 2(a), o modelo F1 indica a instalação de dois mamógrafos na cidade de Porto Velho (sendo um pelo pré-processamento) e um em Jaru. Esses equipamentos se somam aos cinco previamente fixados, sendo dois em Porto Velho (um de gestão municipal e outro de gestão estadual), um em Ji-Paraná, um em Ariquemes (de gestão municipal, atendendo a uma demanda de 4103 exames), e um em Vilhena (de gestão estadual, atendendo a 3736 exames). Em relação aos atendimentos, verifica-se que Porto Velho atende a si próprio (19292) e Candeias do Jamari (831), enquanto Jaru atende também a sua própria demanda (2479) e as das cidades Governador Jorge Teixeira (521) e Ouro Preto do Oeste (2037). Somando-se aos atendimentos das pré-fixações, na formulação F1 a demanda total atendida é de 38068 exames. Conforme é mostrado na Figura 2(b) três cidades são indicadas para sediar um equipamento. O pré-processamento indica a alocação de um mamógrafo a Porto Velho, enquanto a formulação F2 designa um equipamento para ser instalado em Cacoal, atendendo integralmente sua demanda e

70% da de Espigão d'Oeste, que corresponde a 983 exames. Além disso, o modelo F2 indica a alocação de um equipamento em Jaru, o qual atende integralmente sua própria demanda (2479), as de Governador Jorge Teixeira (521) e Ouro Preto do Oeste (2037) e 60% da demanda de Theobroma (311). Com a formulação F2 é possível atender a demanda de 38253 exames, um acréscimo de 185 exames em relação ao da formulação F1. Observe que, ao contrário da formulação F1, na formulação F2 nem todas as cidades têm 100% de sua demanda atendida pelo modelo. É importante destacar que na formulação F2, apesar de em uma mesma região algumas cidades serem atendidas integralmente e outras não, é possível redistribuir os exames de forma proporcional à demanda de cada cidade.

Na Figura 3 são ilustradas as alocações referentes ao cenário 4. Ao se comparar as alocações geradas pela formulação F2 nos cenários 3 e 4, observa-se que a prefixação de um mamógrafo em Vilhena, por indicação da gestão estadual, não é adequada, visto que é possível aumentar em 2299 ($= 40552 - 38253$) o número de exames realizados ao se instalar um equipamento em Jaru.

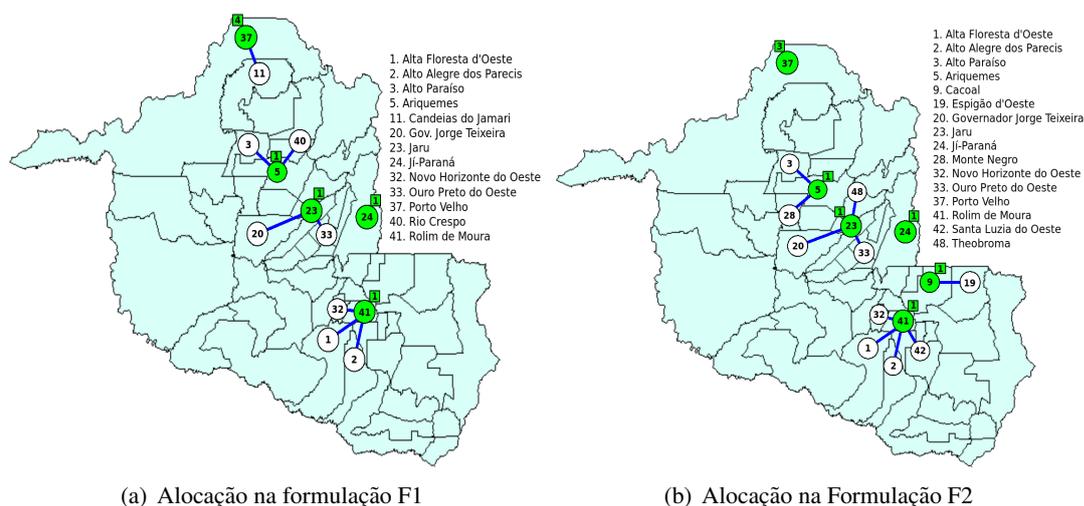


Figura 3: Resultados das alocações das formulações F1 e F2 no cenário 4

6. Conclusões e trabalhos futuros

Esta pesquisa tratou o problema de localização de mamógrafos (PLM). Para resolvê-lo, foi desenvolvida uma formulação de programação matemática e uma relaxação parcial desta.

As formulações de programação matemática diferem entre si apenas com relação à possibilidade de atendimento integral ou não da demanda de uma cidade. Na primeira formulação considera-se que uma cidade, se atendida, tem sua demanda por exames totalmente atendida. Na segunda formulação, por sua vez, considera-se que uma cidade pode ser parcialmente atendida.

Os métodos de solução foram aplicados em quatro cenários relativos a uma instância do Estado de Rondônia. Os três primeiros cenários consideraram a alocação de até 3 mamógrafos a mais do que os 5 atualmente em operação. O quarto cenário considera a alocação de 8 equipamentos sem considerar a alocação atualmente existente.

Os resultados mostraram que se fosse possível redistribuir os equipamentos atualmente existentes, mais exames poderiam ser realizados. Além disso, foram indicadas as localizações mais adequadas para a aquisição de novos mamógrafos a partir da alocação existente. É interessante observar que a proposta da segunda formulação contempla a alocação dos mamógrafos dentro das regiões de saúde nas quais o Estado está atualmente dividido, o que está em acordo com a gestão de serviços de saúde que organiza a oferta dos serviços para melhor acesso dos usuários. A segunda formulação também tem a vantagem de fazer um melhor aproveitamento da capacidade de realização de exames dos equipamentos de mamografia; contudo, exige gestão para escolher quais as mulheres de uma cidade serão atendidas.

Como trabalhos futuros, propõe-se analisar a legislação que prevê o deslocamento no raio de 60 km dentro da perspectiva da logística de cada Estado. Por exemplo, a cidade de Guajará-Mirim, cuja população é de 46.230 habitantes, faz parte da regional de Porto Velho, mas fica a 330 km de Porto Velho. Além disso, propõe-se o desenvolvimento de uma proposta de solução para o restante das cidades não atendidas, a partir da utilização de carretas de mamografia, como as que atualmente operam no Estado de Rondônia. Além disso, propõe-se o desenvolvimento de um algoritmo baseado em uma metaheurística, para resolver instâncias maiores do PLM, como as do Estado de Minas Gerais, que é o maior da Federação Brasileira, com 853 municípios.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG (processo PPM-CEX 676/17), CNPq (processos 428817/2018-1 e 428817/2018-1), CAPES (Código de financiamento 001), SESAU/RO, Universidade Federal de Ouro Preto e Universidade Federal de Rondônia pelo apoio ao desenvolvimento da presente pesquisa.

Bibliografia

- Aday, L. A. e Andersen, R. (1974). A framework for the study of access to medical care. *Health Services Research*, 9(3):208–220.
- 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*, 19(2):326–341.
- Andrade, M. V., de Souza Noronha, K. M., do Amaral, P. V. M., Barbosa, A. C. Q., de Carvalho, L. R., Calazans, J. A., Souza, M. N., de Souza, A., Rocha, T. A. H., e da Silva, N. C. (2016). Distribuição espacial dos mamógrafos em minas gerais e o efeito na probabilidade da realização do exame. In *Anais do XX Encontro Nacional de Estudos Populacionais*, p. 1–21. Associação Brasileira de Estudos Populacionais (ABEP). Disponível em <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/2506/2450>. Acesso em 10/09/2018.
- Church, R. e Velle, C. R. (1974). The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, 32:101–118.

- Corrêa, V. H. V., Lima, B. J. C., Silva-e-Souza, P. H., Penna, P. H. V., e Souza, M. J. F. (2018). Localização de mamógrafos: um estudo de caso na rede pública de saúde. In *Anais do L Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – L SBPO*, Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/Publicacoes/SBPO2018-Mamografos.pdf>. Acesso em 01/12/2018.
- Hamer, L. *Improving patient access to health services: A National Review and Case Studies of Current Approaches*. Health Development Agency, Londres, 2004.
- INCA (2009). Parâmetros para o rastreamento do câncer de mama: recomendações para gestores estaduais e municipais. INCA. Disponível em http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/parametros_rastreamento_cancer_mama.pdf. Acesso em 01/09/2018.
- INCA (2015a). Diretrizes para a detecção precoce do câncer de mama no Brasil. INCA. Disponível em http://www.saude.pr.gov.br/arquivos/File/Deteccao_precoce_CANCER_MAMA_INCA.pdf. Acesso em 04/09/2018.
- INCA (2015b). Inca estima que haverá 596.070 novos casos de câncer em 2016. INCA. Disponível em <https://www.inca.gov.br/noticias/inca-estima-que-havera-596070-novos-casos-cancer-em-2016>. Acesso em 01/03/2019.
- INCA (2015c). Revisão do parâmetro para cálculo da capacidade de produção do mamógrafo simples - 2015. INCA. Disponível em https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document/nota-revisao-capacidade-dos-mamografos-2015_0.pdf. Acesso em 10/09/2018.
- Mendes, E. V. (2009). Agora mais do que nunca – uma revisão bibliográfica sobre atenção primária à saúde. In *Oficinas de Planificação da Atenção Primária à Saúde nos Estados*, Brasília. Conselho Nacional de Secretários de Saúde. Disponível em http://www.conass.org.br/bibliotecav3/pdfs/caderno_oficina_aps.pdf. Acesso em 01/09/2018.
- Sathler, T. M., Conceição, S. V., Almeida, J. F., Pinto, L. R., de Campos, F. C. C., e Miranda Júnior, G. (2017). Problema de localização e alocação de centros de especialidades médicas no estado de Minas Gerais. In *Anais do XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – XLIX SBPO*, p. 2988 – 2999, Blumenau.
- Villar, V. C. F. L., de Souza, C. T. V., Delamarque, E. V., e de Seta, M. H. (2015). Distribuição dos mamógrafos e dos exames mamográficos no estado do Rio de Janeiro, 2012 e 2013. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 24:105–114.
- Xavier, D. R., de Oliveira, R. A. D., de Matos, V. P., Viacava, F., e de Campos Carvalho, C. (2016). Cobertura de mamografias, alocação e uso de equipamentos nas regiões de saúde. *Saúde em debate*, 40(110):20–35.