

Um algoritmo construtivo para o Problema de Roteamento de Unidades Móveis de Mamografia

Otávio Augusto Souza Rosa, Patrick Moreira Rosa, Puca Huachi Vaz Penna, Marcone Jamilson Freitas Souza

Departamento de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)
Campus Universitário, Morro do Cruzeiro, CEP 35400-000, Ouro Preto (MG) Brasil
{otavio.rosa, patrick.moreira}@aluno.ufop.edu.br
{puca, marccone}@ufop.edu.br

RESUMO

Este trabalho introduz o Problema de Roteamento de Unidades Móveis de Mamografia. Este problema consiste em roteirizar um conjunto de Unidades Móveis de Mamografia (MMU) para atender a demanda das localidades desprovidas de mamógrafos fixos ou em número insuficiente destes. O objetivo é maximizar a demanda atendida e minimizar a distância total percorrida pelas MMUs. Para gerar uma solução para o problema, foi desenvolvido um algoritmo construtivo. Para testá-lo, foi utilizada uma instância relativa a uma região do estado de Minas Gerais composta por 444 localidades. Considerando o cenário atual da distribuição dos equipamentos de mamografia em Minas Gerais, com a solução apresentada seria possível realizar 358131 exames a mais no Estado apenas na região estudada.

PALAVRAS CHAVE. Roteamento de Unidades Móveis de Mamografia, Roteamento de veículos multi-depósito, Logística na área de saúde.

Tópicos: PO na Área de Saúde, Meta-heurísticas

ABSTRACT

This work introduces the Mobile Mammography Units Routing Problem. This problem consists in defining routes for a set of Mobile Mammography Units (MMU) to cover the demand of locations without fixed mammography devices or with an insufficient number of them. The objective is to maximize the demand served and minimize the total distance traveled by the MMUs. We developed a constructive algorithm to generate a solution to the problem. To test it, we used an instance related to a Minas Gerais state region with 444 cities. Considering the current mammography equipment distribution scenario in Minas Gerais, it would be possible to perform 358131 more exams in the State only in the studied area with the presented solution.

KEYWORDS. Mobile Mammography Units Routing, Multi-depot Vehicle Routing, Logistics in Health Area.

Paper topics: OR in Health Area, Metaheuristics

1. Introdução

O câncer de mama é o tipo de câncer mais comum em mulheres e a maior causa de mortes por câncer nesse grupo. O Instituto Nacional do Câncer [INCA, 2019] constatou um aumento de 33,6% das taxas de mortalidade por câncer de mama, padronizadas por idade, entre 1980 e 2016. A taxa de mortalidade e a morbidade associada ao tratamento podem ser reduzidas pelo diagnóstico precoce da doença.

O exame de mamografia é um dos serviços gratuitos de diagnósticos ofertados pelo Sistema Único de Saúde (SUS). De acordo com Vieira et al. [2017], estima-se que o SUS seja responsável por 75% da saúde em nível nacional, sendo o sistema de saúde suplementar responsável pelo restante da população. A realização de exames periódicos em mulheres sem sintomas da doença é recomendada para a detecção precoce do câncer de mama.

As diretrizes brasileiras para o rastreamento do câncer de mama [INCA, 2015a] indicam que 60 quilômetros é a distância máxima permitida que um indivíduo deve se deslocar para realizar o exame de mamografia, respeitando-se os limites territoriais das regiões de saúde. Recomenda-se, ainda, que 20% das mulheres de 40 a 49 anos devem realizar exames anuais de mamografia, sendo 10% por indicação diagnóstica e 10% por outras indicações. Para todas as mulheres entre 50 a 69 anos é indicada a realização do exame bianualmente, com um adicional de 8,9% anual por indicação diagnóstica.

De acordo com Cunha et al. [2019], muitos fatores dificultam o acesso ao exame de mamografia, dentre eles podemos destacar: a qualidade dos equipamentos, a falta de especialistas para a solicitação de exames, as desigualdades socioeconômicas e a distância entre a localidade onde o mamógrafo está instalado e a localidade em que a mulher reside.

Os serviços de mamografia móvel tornam o rastreamento mamográfico acessível para a população que esteja distante dos centros onde os equipamentos de mamografia estão localizados. Além de reduzir a desigualdade geográfica, o mamógrafo móvel possibilita diminuir a desigualdade social na medida em que torna o exame acessível aos indivíduos em situação de carência [Mil et al., 2019].

Por outro lado, roteirizar Unidades Móveis de Mamografia (MMU, da sigla em inglês *Mobile Mammography Unit*) não é uma tarefa trivial e exige algoritmos especializados. Para tanto, este trabalho introduz o Problema de Roteamento de Unidades Móveis de Mamografia (MMURP, da sigla em inglês *Mobile Mammography Unit Routing Problem*). No MMURP, pretende-se roteirizar um conjunto de MMUs disponíveis para atender a um conjunto de localidades desprovidas de equipamentos fixos ou em número insuficiente destes. O objetivo é maximizar a cobertura de exames e reduzir a distância total percorrida pelas MMUs. Para resolvê-lo, é desenvolvido um algoritmo heurístico, visto que o MMURP é um caso particular do problema de roteamento de veículos, o qual é NP-difícil [Lenstra e Rinnooy-Kan, 1981].

O restante deste trabalho está organizado como segue. Na Seção 2 é apresentada a revisão de literatura. A Seção 3 descreve o problema abordado. A Seção 4 introduz o algoritmo proposto para resolver o MMURP. Na Seção 5 são apresentados os experimentos computacionais e os resultados alcançados. Por fim, a Seção 6 conclui o trabalho e apresenta as perspectivas de trabalhos futuros.

2. Revisão de Literatura

Rodrigues et al. [2019] avaliaram o acesso às campanhas de rastreamento do câncer de mama realizadas pelo SUS no ano de 2016, e analisaram a rede de oferta de exames de mamografia. Os autores destacaram que a quantidade de mamógrafos é suficiente para atender a toda a demanda

por exames no Brasil. No entanto, o acesso ao exame é dificultado devido à localização inadequada dos mamógrafos, as desigualdades socioeconômicas e a qualidade dos recursos de saúde disponíveis. Conclusão similar foi obtida por Leung et al. [2014], os quais mostraram que as mulheres que residem distantes das áreas urbanas onde os mamógrafos normalmente estão instalados são menos propensas a realizarem o exame de mamografia.

Em vista disso, Mil et al. [2019] apontam o uso das MMUs como alternativa para tornar o exame de mamografia acessível para as mulheres que residem em áreas remotas ou carentes. Reuben et al. [2002] consideram que, dessa forma, é mais provável que as mulheres idosas e com baixa participação nas campanhas de rastreamento mamográfico realizem o exame. Assim, é importante o planejamento das rotas das MMUs para aumentar a quantidade de exames realizados.

Diversos estudos indicam que a triagem envolvendo as MMUs oferecem um ganho de efetividade maior do que somente com as campanhas de educação à saúde, na qual as mulheres são convidadas ao consultório de um especialista para fazer o exame de mamografia [Mil et al., 2019; Reuben et al., 2002; Fontenoy et al., 2013].

Devido às suas características, o MMURP é uma variante do Problema de Roteamento de Veículos com Frota Heterogênea e Múltiplos Depósitos (MDVFMP, da sigla em inglês *Multi-Depot Vehicle Fleet Mix Problem*). Uma breve revisão de alguns trabalhos relacionados ao MDVFMP é feita a seguir.

Com relação aos métodos de solução dessa classe de problemas, Salhi e Sari [1997] introduziram o MDVFMP com uma formulação de programação matemática e propuseram uma heurística de múltiplas fases para tratar o problema. Salhi et al. [2014] aperfeiçoaram esse trabalho com o desenvolvimento de um algoritmo baseado na meta-heurística VNS que inclui um método para tratar clientes no limite entre os dois depósitos mais próximos. Além disso, os autores aplicaram o algoritmo de Dijkstra para determinar o particionamento ideal das rotas, bem como, um procedimento para agregar e desagregar as rotas de diferentes depósitos, além de heurísticas para o refinamento e perturbação das rotas.

Vidal et al. [2012] propuseram uma meta-heurística baseada em Algoritmos Genéticos para resolver problemas de roteamento veículos com múltiplos depósitos e periódicos. Os autores apresentaram um novo método intitulado de mecanismo adaptativo de gerenciamento populacional, que aumenta a diversidade de indivíduos permitindo um acesso mais amplo à reprodução, enquanto preserva as características das melhores soluções encontradas. Assim, a avaliação de uma solução é feita com base nas medidas de custo e diversidade, isto é, na distância das demais soluções. Os testes demonstraram que esse método evita a convergência prematura da população e encontra soluções de qualidade em um tempo computacional reduzido, quando comparado as abordagens tradicionais.

Benslimane e Benadada [2013] apresentaram um modelo matemático e desenvolveram um algoritmo *Ant colony* para um problema de distribuição de produtos em larga escala partindo de múltiplos depósitos e com frota de diferentes capacidades. O objetivo é minimizar o custo total de distribuição, que consiste na soma dos custos relacionados ao deslocamento (combustível, por exemplo) e uso (aluguel, por exemplo) dos veículos.

Vidal et al. [2014] introduziram um procedimento de busca baseado em programação dinâmica, que explora um conjunto de vizinhanças de trocas e realocação para determinar a melhor posição para os depósitos e a melhor escolha de veículos. Além disso, os autores desenvolveram uma estratégia chamada de rotação para fazer a melhor escolha do primeiro cliente a ser visitado em cada rota. Esta abordagem foi aplicada em dois algoritmos baseados nas meta-heurísticas *Iterated Local Search* e Algoritmos Genéticos.

Bolaños et al. [2018] apresentaram um algoritmo baseado em Algoritmos Genéticos para

tratar o MDVFMP. O algoritmo possui um método híbrido para gerar a população inicial, que combina uma heurística para gerar grandes sequências de clientes, e um método exato baseado no algoritmo de caminho mais curto que divide essa sequência em rotas menores. Os autores também apresentaram dois métodos para a fase de recombinação e um processo de mutação que faz uso de oito estruturas de vizinhança na busca local. Os resultados mostraram que o algoritmo proposto é capaz de obter soluções comparáveis às das melhores soluções da literatura à época.

Penna et al. [2019] apresentaram uma abordagem unificada capaz de resolver uma ampla classe de problemas de roteamento de veículos que combinam frota heterogênea a outros atributos, como exemplo, múltiplos depósitos, *backhauls* e janelas de tempo. A abordagem é composta por um método *Iterated Local Search* para gerar um conjunto de rotas associadas a ótimos locais, e um modelo matemático para o problema *Set Partitioning* construído através desse conjunto de rotas. Os resultados sugeriram que apesar de sua generalidade, o algoritmo proposto é bastante competitivo quando comparado à algoritmos específicos do problema, em termos de qualidade da solução e tempo de computação.

3. Caracterização do Problema

Para modelar o MMURP, levou-se em consideração as informações sobre o funcionamento da MMU localizada no município de Patrocínio, Minas Gerais, fornecidas pelo Hospital do Câncer de Patrocínio Dr. José Figueiredo. Ele possui as seguintes características:

- (a) Existe um conjunto N de localidades que possuem uma demanda dem_j de mulheres na faixa de idade indicada para realizar o exame de mamografia;
- (b) Há um conjunto K de MMUs disponíveis para visitar as localidades candidatas;
- (c) Há um conjunto M de depósitos, cada qual com uma quantidade previamente conhecida de MMUs, e de onde as MMUs iniciam as suas rotas;
- (d) Cada MMU $k \in K$ possui uma capacidade cap_k definida por:
 $cap_k = \text{Quantidade de mamógrafos transportado pela MMU } k \times \text{capacidade do mamógrafo};$
- (e) Há uma distância d_{ij} entre as localidades i e j ;
- (f) Há uma distância máxima, dada por $distMax$, permitida para uma MMU realizar o percurso de uma localidade a outra. Apenas a viagem inicial partindo do depósito não tem limite de quilometragem;
- (g) Cada localidade deve ser visitada uma única vez e por apenas uma MMU. A demanda da localidade visitada deve ser totalmente atendida;
- (h) O roteamento é aberto, isto é, as MMUs não retornam aos depósitos de origem, elas seguem um percurso enquanto for possível atender as demandas por exames e finalizam a rota na última localidade visitada.

O objetivo é determinar a roteirização para uma frota de MMUs que possibilite maximizar a cobertura de atendimentos para a população feminina e minimizar a distância total percorrida pelas MMUs.

A Figura 1 ilustra um exemplo de solução viável com 12 localidades, representadas pelo conjunto $N = \{1, 2, \dots, 12\}$, e dois depósitos, representados pelo conjunto $M = \{13, 14\}$. No depósito 13 há uma única MMU, enquanto no depósito 14 há duas MMUs. Cada localidade possui

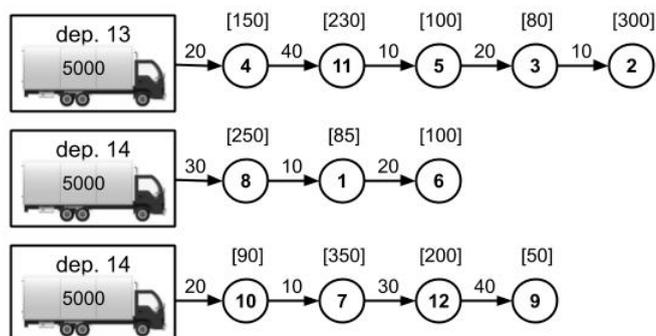


Figura 1: Exemplo de solução com doze localidades e dois depósitos

uma demanda a ser atendida que está representada pelo valor entre colchetes. Como pode ser observado no exemplo, a demanda da localidade 1 é indicada por $dem_1 = 85$ exames. A distância entre cada par de vértices é representada pelo valor acima dos arcos. No exemplo, a distância entre as localidades 1 e 6 é indicada por $d_{1,6} = 20$ unidades de distância. Na solução apresentada, as localidades 4, 11, 5, 3 e 2 são atendidas pela MMU que inicia sua rota no depósito 13, nesta mesma ordem de visita. No depósito 14, duas MMUs foram utilizadas: a primeira visita as localidades 8, 1 e 6, respectivamente, e já a segunda percorre as localidades 10, 7, 12 e 9. A demanda total coberta neste exemplo de solução foi de 1985 exames ($150 + 230 + 100 + 80 + 300 + 250 + 85 + 100 + 90 + 350 + 200 + 50$), e a distância total percorrida pelas MMUs foi de 260 unidades de distância ($20 + 40 + 10 + 20 + 10 + 20 + 10 + 30 + 40 + 30 + 10 + 20$).

4. Algoritmo Proposto

Esta seção apresenta os algoritmos desenvolvidos para resolver instâncias do MMURP, e está organizada como segue. A Subseção 4.1 mostra a representação de uma solução para o problema. A Subseção 4.2 descreve como a solução é avaliada. Na Subseção 4.3 o procedimento para gerar uma solução para o problema é apresentado.

4.1. Representação da Solução

Representa-se uma solução s do MMURP por meio de até $|K|$ vetores que armazenam em cada posição as localidades percorridas pelas MMUs na ordem em que aparecem. O número $|K|$ de vetores corresponde à quantidade de MMUs disponíveis. Os vetores podem ou não ter tamanhos iguais, dependendo apenas da quantidade de localidades visitadas por cada MMU.

A Figura 2 ilustra a representação computacional de uma solução s . Os índices de 1 a 6 representam as posições dos vetores, sendo que cada posição armazena a localidade visitada na ordem em que ela aparece. A primeira posição de cada vetor indica o depósito de onde as MMUs iniciam suas rotas. A MMU 1 deixa o depósito 13 e visita as localidades 4, 11, 5, 3 e 2, respectivamente. Já a MMU 2 inicia sua rota no depósito 14 e visita as localidades 8, 1 e 6. Por último, a MMU 3 que também inicia sua rota no depósito 14, percorre as localidades 10, 7, 12 e 9.

4.2. Avaliação da Solução

Uma solução s do MMURP é avaliada de modo hierárquico. A solução é avaliada inicialmente pela demanda total atendida, conforme é apresentado na Equação (1), e caso duas soluções obtiverem o mesmo valor nessa função, a melhor é aquela cuja soma das distâncias percorridas for a menor, como é apresentado na Equação (2):

	1	2	3	4	5	6
MMU 1	13	4	11	5	3	2
MMU 2	14	8	1	6		
MMU 3	14	10	7	12	9	

Figura 2: Representação de uma solução s do MMURP

$$f_1(s) = \sum_{(j,k) \in A_1} dem_j \quad (1)$$

$$f_2(s) = \sum_{(i,j) \in A_2} d_{ij} \quad (2)$$

em que A_1 é o conjunto das associações entre uma localidade j e uma MMU k que a atende na solução s , dem_j é a demanda da localidade j , A_2 é o conjunto das arestas ligando as localidades i e j atendidas por uma MMU, e d_{ij} é a distância entre as localidades i e j .

4.3. Construção da Solução

A construção de uma solução para o MMURP é definida pelos passos seguintes:

Passo 1 - Ordenação: Seja LC a lista de localidades candidatas a serem visitadas pelas MMUs, ordene-a decrescentemente de acordo com a demanda de cada localidade;

Passo 2 - Clusterização: Para cada localidade i da LC ordenada, aloque a localidade i ao depósito mais próximo e elimine-a de LC. Passe para a próxima localidade da lista. Ao final desse passo tem-se uma lista de localidades candidatas para cada depósito.

Passo 3 - Heurística do vizinho mais próximo: Para cada depósito, enquanto houver MMU disponível e localidades ainda não visitadas da lista de candidatas do depósito:

- 3.1: Inicie a rota de uma nova MMU com a localidade onde se encontra o depósito;
- 3.2: Atenda a demanda do depósito e atualize a capacidade da MMU que foi utilizada para atender a essa demanda.
- 3.3: Determine a localidade mais próxima da última localidade inserida na rota da MMU que ainda não foi visitada;
- 3.4: Verifique se é possível atender a demanda da localidade mais próxima:
 - (a) Se a demanda da localidade mais próxima for menor ou igual à capacidade da MMU e a distância até a localidade mais próxima for menor ou igual a $distMax$, atenda-a e insira-a na rota da MMU. Atualize a capacidade da MMU e remova a localidade atendida da lista de candidatas do depósito. Volte ao item 3 do Passo 3;
 - (b) Caso contrário, finalize a rota da MMU na última localidade por ela visitada;
- 3.5: Se houver MMU disponível, retorne ao item 1 do Passo 3; caso contrário, encerre o método e retorne as rotas feitas pelas MMUs.

5. Experimentos Computacionais

O algoritmo proposto foi desenvolvido na linguagem Python, versão 3.6.9. Todos os testes foram realizados em um computador com processador Intel Core i3-4005U, CPU @1.70GHz×4, com 12 GB de memória RAM sob o sistema operacional Ubuntu, versão 18.04.

Para a execução dos testes foram utilizadas as informações relativas a 853 localidades que compõem o estado de Minas Gerais. As demandas de cada localidade foram obtidas por meio do Departamento de Informática do SUS (DATASUS), e esses dados são relativos ao censo de 2010 realizado pelo IBGE, projetado para o ano de 2020. Nessa projeção, a demanda total em MG foi de 1727487 exames de mamografia. As distâncias entre cada par de localidades foram obtidas por meio da API Google Maps, considerando-se o deslocamento por carro.

O modelo de programação matemática desenvolvido em Souza et al. [2020] foi aplicado em uma primeira etapa para simular a atual distribuição dos mamógrafos no estado e identificar localidades desprovidas de mamógrafos fixos ou em número insuficiente para atendê-las. De acordo com as informações obtidas pelo DATASUS, em Setembro de 2019, Minas Gerais possuía 326 mamógrafos. Com essa quantidade de mamógrafos disponíveis no estado, 274 localidades tiveram a sua demanda atendida por eles. Essa demanda representa um total de 1146490 exames. Um total de 579 localidades não foram atendidas pelos mamógrafos fixos. A demanda total das localidades não atendidas é de 580997 exames, o que representa 33,6% da demanda total.

Dentre as 579 localidades com uma demanda ainda a ser atendida, verifica-se que 13 delas possuem a demanda superior à capacidade de um mamógrafo de realizar 5069 exames anuais [INCA, 2015b]. Sendo assim, consideramos instalar nessas localidades quantos mamógrafos fixos forem necessários para que a sua demanda restante fosse menor do que a capacidade de um mamógrafo. Esse pré-processamento é feito para que as localidades candidatas a serem atendidas pelas MMUs possuam pouca demanda, pois não justifica usar uma MMU para deixá-la fixa em uma localidade. Por exemplo, uma localidade que possuir a demanda de 6069 exames e que não foi atendida por algum mamógrafo fixo, receberia a instalação de um mamógrafo e sua demanda residual seria de 1000 exames possíveis de ser atendidos por uma MMU.

Além de possuir uma demanda capaz de ser atendida por um mamógrafo, para que uma localidade seja candidata a ser visitada por uma MMU, ela deve estar localizada a uma distância de até 500 km de um depósito. Esse raio de abrangência foi considerado de acordo com as informações obtidas pelo Hospital do Câncer de Patrocínio Dr. José Figueiredo. Para tratar o MMURP definimos dois depósitos: Patrocínio e Belo Horizonte. Das localidades que restaram e que possuem a demanda inferior à capacidade de um mamógrafo, identificamos 84 localidades que distam até 500 km de Patrocínio e 360 localidades de Belo Horizonte. Portanto, foram selecionadas 444 localidades como candidatas a compor uma solução do MMURP com uma demanda total de 358131 exames.

As Tabelas 1 e 2 mostram as soluções retornadas pela aplicação do algoritmo proposto. Consideramos a aquisição gradativa de MMUs de 8 em 8 para simular os cenários a fim de obter a cobertura máxima de atendimentos com o menor número de MMUs utilizadas. As colunas das tabelas são descritas da seguinte forma: *MMUs* mostra o número de MMUs disponíveis em cada depósito (como exemplo, *MMUs* = 1 representa uma MMU disponível em Patrocínio e uma disponível em Belo Horizonte); *MMUs Usadas* mostra a quantidade de MMUs usadas em cada depósito (como exemplo, 1 / 1 indica que 1 MMU do depósito de Patrocínio foi usada e 1 do depósito de Belo Horizonte); *Dem. Atend.* mostra a demanda total atendida pelas MMUs de ambos os depósitos; *% Cob.* equivale ao percentual de cobertura em relação à demanda inicial de 358131 exames; *Loc. Atend.* apresenta a quantidade de localidades atendidas pelas MMUs de cada depósito

e, por fim, *Dist.* (km) é a distância total percorrida pelas MMUs de ambos os depósitos.

Foram definidos dois cenários para testar o algoritmo. No primeiro, definimos o parâmetro *distMax* = 180 km. Este parâmetro impõe a distância máxima permitida para que uma MMU se desloque de uma localidade até outra, exceto no caso em que a localidade de origem for o depósito. Neste caso, é permitido que a MMU percorra a distância de até 500 km para atender a uma localidade candidata. No segundo cenário, o parâmetro *distMax* foi desconsiderado, o que significa que uma MMU pode percorrer a distância necessária para atender qualquer localidade candidata. O tempo de execução do algoritmo em todos os cenários foi inferior a 0,5 segundo.

Tabela 1: Resultados obtidos com MMU de cap = 5069

MMUs	<i>distMax</i> = 180					Sem <i>distMax</i>				
	MMUs Usadas	Loc. Atend.	Dem. Atend.	% Cob.	Dist. (km)	MMUs Usadas	Loc. Atend.	Dem. Atend.	% Cob.	Dist. (km)
1	1 / 1	6 / 4	8201	2,29	199	1 / 1	6 / 4	8201	2,29	199
8	8 / 8	46 / 34	70786	19,77	2749	8 / 8	46 / 34	70786	19,77	2749
16	15 / 16	84 / 89	131909	36,83	8020	14 / 16	84 / 89	131909	36,83	8473
24	15 / 24	84 / 136	167578	46,79	10738	14 / 24	84 / 136	167578	46,79	11191
32	15 / 32	84 / 182	204066	56,98	13779	14 / 32	84 / 182	204066	56,98	14232
40	15 / 40	84 / 223	237537	66,33	17244	14 / 40	84 / 223	237537	66,33	17697
48	15 / 48	84 / 258	268875	75,08	20564	14 / 48	84 / 258	268875	75,08	21017
56	15 / 56	84 / 294	305861	85,40	24958	14 / 56	84 / 294	305861	85,40	25411
64	15 / 64	84 / 338	338132	94,42	29731	14 / 64	84 / 342	341469	95,35	30426
72	15 / 70	84 / 360	358131	100,00	33001	14 / 68	84 / 360	358131	100,00	33912

Na Tabela 1 comparamos os resultados obtidos entre os dois cenários considerando que cada MMU possui um único mamógrafo instalado de capacidade 5069. No cenário com *distMax* foram necessárias 85 MMUs para atender toda a demanda das 444 localidades candidatas, e a distância total percorrida por todas as MMUs foi de 33001 km. Por outro lado, sem considerar *distMax* foram necessárias 82 MMUs para cobrir 100% da demanda, e a distância total percorrida foi de 33912 km. Ao analisarmos ambos os cenários, verifica-se que com a restrição de *distMax*, para atender a demanda máxima, as MMUs percorreram 911 km a menos do que no cenário que não considera essa restrição. No entanto, no primeiro cenário foram necessárias mais MMUs para atender toda a demanda.

Tabela 2: Resultados obtidos com MMU de cap = 10138

MMUs	<i>distMax</i> = 180					Sem <i>distMax</i>				
	MMUs Usadas	Loc. Atend.	Dem. Atend.	% Cob.	Dist. (km)	MMUs Usadas	Loc. Atend.	Dem. Atend.	% Cob.	Dist. (km)
1	1 / 1	7 / 7	19019	5,31	316	1 / 1	7 / 7	19019	5,31	316
8	8 / 8	83 / 91	136790	38,20	6670	7 / 8	84 / 91	137049	38,27	7389
16	9 / 16	84 / 194	212899	59,45	11833	7 / 16	84 / 194	212899	59,45	12139
24	9 / 24	84 / 275	285811	79,81	16733	7 / 24	84 / 275	285811	79,81	17039
32	9 / 32	84 / 345	344532	96,20	22195	7 / 32	84 / 360	358131	100,00	24454
40	9 / 34	84 / 360	358131	100,00	23562	–	–	–	–	–

Na Tabela 2 novamente comparamos os resultados obtidos entre ambos os cenários, mas desta vez ampliamos a capacidade de cada MMU para 10138 exames, que equivale à produção de dois mamógrafos instalados. No cenário em que a restrição *distMax* foi imposta, foram necessárias 43 MMUs para obter a cobertura total de exames dessa região, com um total de 23562 km percorridos. Quando a restrição *distMax* não é imposta, o número de MMUs usadas para cobrir 100% dessa

demanda reduziu para 39 e a distância total percorrida foi de 24454 km. Assim como apresentado na Tabela 1, no cenário sem considerar *distMax* foram necessárias menos MMUs para cobrir 100% da demanda; porém, como esperado, a distância total percorrida foi maior. Como a capacidade das MMUs dobrou, a quantidade necessária de MMUs para atender a todas as localidades candidatas foi reduzida quase pela metade nos dois cenários.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho introduziu o Problema de Roteamento de Unidades Móveis de Mamografia (MMURP). Inicialmente, utilizamos as informações obtidas pelo Hospital do Câncer de Patrocínio Dr. José Figueiredo para definir as características do MMURP. Para gerar uma solução para o problema, foi desenvolvido um algoritmo construtivo que foi testado em uma instância de Minas Gerais envolvendo 444 localidades candidatas.

Os resultados obtidos mostraram que ao restringir a distância máxima que uma MMU pode percorrer de uma localidade para outra, o número necessário de veículos para atender a toda a demanda de exames foi maior do que no cenário que não impõe restrição de deslocamento à MMU. Como esperado, nos casos em que as MMUs possuem a capacidade de um único mamógrafo instalado, o deslocamento total também foi maior em relação às MMUs que possuem dois mamógrafos. Considerando o cenário atual da distribuição dos equipamentos de mamografia em Minas Gerais, com a solução apresentada seria possível realizar 358131 exames a mais no Estado apenas na região estudada. Esse atendimento ocorre em localidades que não são atualmente atendidas por mamógrafos fixos e que estão em um raio de até 500 km dos depósitos considerados, Patrocínio e Belo Horizonte.

Como trabalhos futuros, propõe-se a continuidade da revisão de literatura a fim de identificar outras características que possam ser introduzidas no MMURP, tais como os custos de manutenção das MMUs e da equipe que opera os equipamentos de mamografia. Além disso, pretende-se desenvolver métodos de buscas locais, e uma meta-heurística para melhorar a qualidade das soluções obtidas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, código de financiamento 001), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG, processo PPM CEX 0676/17), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processos 428817/2018-1 e 303266/2019-8) e a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) o apoio ao desenvolvimento desse trabalho.

Referências

- Benslimane, M. T. e Benadada, Y. (2013). Ant colony algorithm for the multi-depot vehicle routing problem in large quantities by a heterogeneous fleet of vehicles. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 51(1):31–40.
- Bolaños, R., Escobar, J., e Echeverri, M. (2018). A metaheuristic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem with heterogeneous fleet. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9(4):461–478.
- Cunha, G. N. d., Vianna, C. M. d. M., Mosegui, G. B. G., Silva, M. P. R. d., e Jardim, F. N. (2019). Rastreamento do câncer de mama: modelo de melhoria do acesso pelo uso de mamógrafos móveis. *Rev Panam Salud Publica*, 43:e19. PMC6459392.
- Fontenoy, A.-M., Langlois, A., Chang, S.-L., Daigle, J.-M., Pelletier, É., Guertin, M.-H., Théberge, I., e Brisson, J. (2013). Contribution and performance of mobile units in an organized mammography screening program. *Canadian Journal of Public Health*, 104(3):e193–e199.

- INCA (2015a). Diretrizes para a detecção precoce do câncer de mama no brasil. Instituto Nacional do Câncer. Disponível em <http://twixar.me/LQrT>. Acessado em 12/05/2020.
- INCA (2015b). Revisão do parâmetro para cálculo da capacidade de produção do mamógrafo simples. Instituto Nacional do Câncer. Disponível em <http://twixar.me/bLfm>. Acessado em 12/05/2020.
- INCA (2019). A situação do câncer de mama no brasil: síntese de dados dos sistemas de informação. Instituto Nacional do Câncer. Disponível em <http://twixar.me/FQrT>. Acessado em 12/05/2020.
- Lenstra, J. K. e Rinnooy-Kan, A. H. G. (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, 11:221–227.
- Leung, J., McKenzie, S., Martin, J., e McLaughlin, D. (2014). Effect of rurality on screening for breast cancer: a systematic review and meta-analysis comparing mammography. *Rural & Remote Health*, 14(2):2730. PMID 24953122.
- Mil, R. D., Guillaume, E., Launay, L., Guittet, L., Dejardin, O., Bouvier, V., Notari, A., Launoy, G., e Berchi, C. (2019). Cost-effectiveness analysis of a mobile mammography unit for breast cancer screening to reduce geographic and social health inequalities. *Value in Health*, 22(10): 1111 – 1118.
- Penna, P. H. V., Subramanian, A., Ochi, L. S., Vidal, T., e Prins, C. (2019). A hybrid heuristic for a broad class of vehicle routing problems with heterogeneous fleet. *Annals of Operations Research*, 273(1-2):5–74.
- Reuben, D. B., Bassett, L. W., Hirsch, S. H., Jackson, C. A., e Bastani, R. (2002). A randomized clinical trial to assess the benefit of offering on-site mobile mammography in addition to health education for older women. *American Journal of Roentgenology*, 179(6):1509–1514.
- Rodrigues, D. C. N., Freitas-Junior, R., Rahal, R. M. S., Correa, R. d. S., Peixoto, J. E., Ribeiro, N. V., Ferreira, N. C., e Soares, L. R. (2019). Difficult access and poor productivity: Mammography screening in brazil. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 20(6):1857–1864.
- Salhi, S., Imran, A., e Wassen, N. A. (2014). The multi-depot vehicle routing problem with heterogeneous vehicle fleet: Formulation and a variable neighborhood search implementation. *Computers & Operations Research*, 52(Part B):315–325.
- Salhi, S. e Sari, M. (1997). A multi-level composite heuristic for the multi-depot vehicle fleet mix problem. *European Journal of Operational Research*, 103(1):95–112.
- Souza, M. J. F., Penna, P. H. V., Moreira de Sá, M. V. S., e Rosa, P. M. (2020). A vns-based algorithm for the mammography unit location problem. In Benmansour, R., Sifaleras, A., e Mladenović, N., editors, *Variable Neighborhood Search: 7th International Conference, ICVNS 2019, Rabat, Morocco, October 3–5, 2019, Revised Selected Papers*, volume 12010 of *Lecture Notes in Computer Science*, chapter 3, p. 37–52. Springer, Cham, Switzerland.
- Vidal, T., Crainic, T. G., Gendreau, M., Lahrichi, N., e Rei, W. (2012). A hybrid genetic algorithm for multidepot and periodic vehicle routing problems. *Operations Research*, 60(3):611–624.

Vidal, T., Crainic, T. G., Gendreau, M., e Prins, C. (2014). Implicit depot assignments and rotations in vehicle routing heuristics. *European Journal of Operational Research*, 237(1):15–28.

Vieira, R. A. C., Formenton, A., e Bertolini, S. R. (2017). Breast cancer screening in brazil. barriers related to the health system. *Revista da Associação Médica Brasileira*, 63(5):466–474.