

LOCALIZAÇÃO DE MAMÓGRAFOS: UM ESTUDO DE CASO PARA NOVOS INVESTIMENTOS EM RONDÔNIA¹

Jéssica Natália Miranda Paiva^a, Patrick Moreira Rosa^a, Puca Huachi Vaz Penna^{a*}, Janne Cavalcante Monteiro^b, Maillene Rodrigues Lisboa^b, Marcone Jamilson Freitas Souza^a

^a Departamento de Computação – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

^b Departamento de Medicina – Universidade Federal de Rondônia (UNIR)

Recebido 22/03/2022, aceito 19/01/2023

RESUMO

O acesso à mamografia é diretriz estruturante do cuidado às mulheres no diagnóstico precoce do câncer de mama, devendo estar acessível a 60 km, no máximo, no Brasil. No entanto, essa não é a realidade para parte da população brasileira. Neste trabalho, trata-se o problema de localização de mamógrafos no Sistema Público de Saúde do Estado de Rondônia. O objetivo foi desenvolver dois modelos logísticos de localização baseados no acesso para maximizar a cobertura de exames, minimizar o número de equipamentos a serem adquiridos e a distância do atendimento. Os modelos se diferem pelo atendimento parcial ou total de uma localidade. Foram analisados vários cenários e os resultados mostraram que, com os modelos propostos e a utilização das atuais microrregiões de saúde, as soluções obtidas possibilitam uma distribuição espacial dos mamógrafos mais equilibrada e acessível, com aumento quantitativo e geográfico da cobertura de exames.

Palavras-chave: Mamografia, Localização de facilidades, Câncer de mama, Pesquisa operacional.

ABSTRACT

Access to mammography is a structuring guideline for women's care in the early diagnosis of breast cancer and should be accessible within a maximum of 60 km, in Brazil. However, this is not the reality for part of the Brazilian population. This work addresses the mammography unit location problem in the Rondônia State Public Health System. The objective was to develop two access-based logistics location models to maximize the coverage of mammography screenings and minimize the number of units purchased and the distance to the service. The models differ by the partial or total service of a locality. Several scenarios were analyzed, and the results showed that, with the proposed models and the use of current health microregions, the obtained solutions allow a more balanced and accessible spatial distribution of mammography devices, with a quantitative and geographic increase in the coverage of screenings.

Keywords: Mammography screening, Facility location, Breast cancer, Operations research.

* Autor para correspondência. E-mail: puca@ufop.edu.br

DOI: 10.4322/PODes.2023.001

¹Todos os autores assumem a responsabilidade pelo conteúdo do artigo.

1. Introdução

Nos dias atuais, o câncer é considerado o principal problema de saúde pública no mundo. Ele está entre as principais causas de morte e foi responsável por 9,6 milhões de mortes no mundo em 2018 (OPAS, 2020). No Brasil, ele está entre as principais Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNT), com estimativa de 625.370 casos em 2020. Entre as mulheres, o câncer de mama é o segundo mais incidente, representando 21% dentre todos os tipos de cânceres que mais as atingem, com uma estimativa de 66.280 casos novos a cada ano para o triênio 2020-2022 (INCA, 2019).

De acordo com Rosa et al. (2020a), a situação epidemiológica das neoplasias mamárias no Brasil mostra que a idade média ao diagnóstico é de 53,9 anos e que apenas 34% dessas pacientes foram diagnosticadas por meio de exames de triagem. Ainda segundo esses autores, as pacientes oriundas do sistema público de saúde têm sua doença detectada mais frequentemente através de sintomas e não de exames de rastreamento; consequentemente, elas são diagnosticadas em fases mais avançadas da doença em relação às pacientes do sistema privado de saúde.

O exame de mamografia é considerado o padrão ouro na detecção precoce do câncer de mama e ele deve estar o mais acessível possível geograficamente das usuárias, pois o fator tempo determina um prognóstico mais ou menos favorável ao curso da doença. Neste sentido, a localização eficiente dos mamógrafos é um fator importante para diagnóstico precoce.

Os estudos sobre problemas de localização de facilidades buscam evitar os prejuízos causados por uma distribuição inadequada dos recursos disponíveis. A ideia principal é analisar e escolher, em um certo espaço geográfico, qual o melhor local para os equipamentos serem instalados com o intuito de suprir a demanda nesse espaço e também de diminuir a distância dos usuários a essas instalações. Esses estudos são apropriados tanto para indústrias quanto para unidades de saúde. Nesta esfera, as contribuições das análises de localização de facilidades vão além de custo e atendimento aos usuários, pois caso as instalações não sejam bem localizadas, o número de mortes e de pessoas doentes poderão aumentar consideravelmente (Daskin e Dean, 2005).

A garantia de acesso aos serviços de saúde quantitativa e qualitativamente é uma forma de operacionalizar os princípios doutrinários sobre os quais o Sistema Único de Saúde (SUS) está ancorado e propicia que mulheres possam usar serviços de saúde visando à detecção precoce de casos suspeitos de câncer de mama e realização de tratamento oportuno e menos mutilante para a sua cura (Brasil, 2011). A mamografia é um dos recursos tecnológicos essenciais para a resolubilidade, mas precisa estar acessível a todos, pois segundo Corrêa et al. (2018), a tecnologia em saúde avança no desenvolvimento de instrumentos com alto poder de eficiência, mas ao mesmo tempo, ainda se verifica que a logística para acesso é um dos principais desafios a serem vencidos.

Com intenção de melhorar o acesso no Brasil, vêm sendo emitidas diversas resoluções e normas técnicas para fortalecer e operacionalizar a Lei Orgânica da Saúde para garantir o atendimento qualificado às mulheres com câncer de mama no tempo oportuno e com infraestrutura adequada (Brasil, 2015b,a, 2017). Estabelecem-se, pelas normas atuais, 60 km como deslocamento máximo de uma usuária do SUS até o equipamento de mamografia e 6.758 exames/ano como sendo a produtividade desse equipamento (Brasil, 2017, p. 70).

Santana (2014) chama a atenção para a necessidade de uma estrutura territorial e organizacional da oferta e acesso dos cuidados em saúde, com o olhar voltado à geografia da saúde. A autora ressalta que a acessibilidade resulta tanto da localização dos bens como dos usuários, considerando os recursos destes, a disponibilidade de transporte, tempo e distância de viagem e custo, a fim de garantir uma oferta de qualidade baseada principalmente no componente “estrutura” dos serviços de saúde, entendido como recursos humanos, físicos e financeiros utilizados na provisão de cuidados de saúde (Mendes et al., 2019).

Considerado por Barbiani et al. (2014) como a “pedra de toque” do SUS, o acesso deixa de ter uma configuração meramente logística e ganha força como diretriz estruturante da oferta dos serviços de saúde, desfocando o modelo tradicional de atendimento e aproximando-se da atenção

ao usuário. Entretanto, os autores apontam para um modelo biomédico cristalizado, em diferentes graus, ainda com forte expressão na atenção às doenças ou às condições agudas, ao mesmo tempo que contempla eventos crônicos, o que ainda corrobora para uma alta demanda por consultas médicas baseadas em queixa-conduta e em procedimentos que visem o cuidado imediato, desvalorizando o cuidado contínuo sobre condições crônicas que devem ser acompanhadas ao longo prazo e necessitam de estruturação de serviços que apoiem essa longitudinalidade. Dessa forma, pensar o acesso importa considerar a organização dos serviços de saúde como uma resposta social intencional e qualificante para suprir as necessidades de saúde de populações específicas, que deve ser construída e articulada com as demandas de saúde, expressas por usuários do sistema que cada vez mais se apresentam com condições crônicas de saúde (Mendes, 2011), como é o caso do câncer de mama.

Amaral et al. (2017) observaram um baixo grau de utilização dos aparelhos de mamografia no Brasil. Segundo eles, o número de aparelhos existentes é suficiente para atendimento da demanda nacional. Apesar disso, essa demanda não é atendida, dada a falta de mão de obra especializada e a má distribuição geográfica dos aparelhos.

Com relação às propostas de distribuição geográfica dos aparelhos de mamografia no Brasil, percebe-se a existência de poucos trabalhos que apresentam modelos para distribuí-los baseados em técnicas de otimização. Em geral, os trabalhos concentram-se em apontar a má distribuição dos equipamentos, como é o caso dos estudos realizados por Rodrigues et al. (2019), Amaral et al. (2017) e Abreu e Silva (2015), entre outros. Nesses trabalhos, os autores analisam o número de equipamentos necessários a partir da divisão da demanda total por exames da região estudada pela capacidade de cada equipamento. Esse cálculo, entretanto, não leva em consideração a distância para o atendimento, que é um requisito essencial para uma distribuição mais adequada. Por exemplo, mesmo que haja um equipamento que suporte o atendimento da demanda de três localidades, ele não poderá atender a essas demandas se as localidades estiverem a mais de 60 km daquela escolhida para sediar o equipamento. Por outro lado, existem trabalhos com propostas de distribuição dos equipamentos, como é o caso, por exemplo, de Sá et al. (2019), Souza et al. (2019, 2020), Campos et al. (2020) e Rosa et al. (2020b). Esses trabalhos propõem formulações de programação matemática para alocar os equipamentos visando à maximização da cobertura de exames. No entanto, apesar de um deles considerar no modelo a existência de microrregiões de saúde (Rosa et al., 2020b), nenhum considera como objetivo indicar a melhor localização de equipamentos novos a serem adquiridos, de forma a maximizar a cobertura e minimizar tanto o número de equipamentos a serem adquiridos quanto a distância para o atendimento, motivo pelo qual se justifica este trabalho. Além disso, nenhum desses trabalhos inclui a imposição de uma taxa de utilização mínima dos equipamentos por localidade sede para justificar a aquisição dos equipamentos, seja economicamente ou socialmente.

No entanto, apesar de um deles considerar no modelo a existência de microrregiões de saúde (Rosa et al., 2020b), nenhum considera como objetivo indicar a melhor localização de equipamentos novos a serem adquiridos, de forma a maximizar a cobertura dos exames de mamografia e minimizar tanto o número de mamógrafos a serem adquiridos quanto o deslocamento para a realização do exame. Além disso, nenhum desses trabalhos inclui a imposição de uma taxa de utilização mínima dos equipamentos por localidade sede para justificar a sua aquisição, seja economicamente ou socialmente.

Assim, este trabalho procura cobrir essas lacunas, tendo como objetivo desenvolver um modelo logístico para a localização de mamógrafos em um Estado da federação brasileira e identificar, a partir da análise da distribuição atual, as localidades prioritárias para a alocação dos equipamentos. Espera-se com esta proposta, contribuir para o melhor acesso aos exames de mamografia e, assim, favorecer a detecção precoce do câncer de mama como forma de reduzir a mortalidade por essa doença. Os modelos aqui propostos foram testados em vários cenários relativos ao Estado de Rondônia, mas podem ser estendidos às outras unidades da federação brasileira. Nos cenários analisados, optou-se por não permitir a realocação dos equipamentos

já instalados visto que essa é uma tarefa complexa do ponto de vista político e operacional e não está no escopo deste trabalho.

O restante deste trabalho está organizado como segue. Na Seção 2 é feita uma revisão de literatura de aplicações de problemas de localização de facilidades na área de saúde. Na Seção 3 são descritas as características gerais do cenário de estudo, bem como a caracterização do problema objeto de estudo e as formulações de programação matemática propostas para representar o problema. Nas Seções 4 e 5 são apresentados e analisados, respectivamente, os resultados obtidos. A Seção 6 finaliza o trabalho e apresenta perspectivas para trabalhos futuros.

2. Revisão de Literatura

Na literatura é possível encontrar diversas aplicações da pesquisa operacional na área de saúde. Entre eles podemos destacar as revisões de Rais e Viana (2011) e Ahmadi-Javid et al. (2017). No primeiro trabalho os autores apresentam uma revisão da literatura sobre o tema e classificam as aplicações em quatro principais categorias: (i) Planejamento de sistemas de saúde (previsão de demanda, localização de centros de saúde e de veículos de emergência e planejamento de capacidade de atendimento); (ii) Gerenciamento, escalonamento e logística (agendamento de pacientes, alocação de equipes de enfermagem, alocação de salas de cirurgia, controle de estoque e distribuição de insumos e ferramentais); (iii) Diagnóstico e planejamento de tratamento (diagnóstico de doenças, predição de risco coronário e planejamento de terapia visando o bem estar do paciente); (iv) Assistência médica especializada e preventiva (compatibilidade na doação de órgãos, planejamento de vacinação para imunização de crianças, alocação de recursos para prevenção de doenças, controle de epidemias). Já Ahmadi-Javid et al. (2017) apresentaram uma metodologia para classificar problemas de localização de facilidades em sistemas de saúde. Os tipos de facilidades foram agrupados em dois grandes grupos: (i) não-emergenciais (localização de clínicas e hospitais, bancos de distribuição de sangue, centros de transplante de órgãos, centros de unidades móveis, centros de reabilitação, etc.); (ii) emergenciais (localização de centros de emergência e traumatologia, posicionamento de estações de ambulâncias e centros de atendimento temporário da população em caso de desastres ou de epidemias).

Como podemos observar pelas aplicações descritas, os problemas que envolvem serviço de saúde geralmente são do tipo cobertura, assim como o problema objeto de estudo neste trabalho. De acordo com Ahmadi-Javid et al. (2017), essa categoria é subdividida em localização de p -centros, localização de cobertura de um conjunto e localização de máxima cobertura (PLMC). O problema da localização de p -centros busca minimizar a distância do cliente mais afastado após identificar uma localização, como uma escola ou hospital (Hakimi, 1964). O problema de localização de cobertura de um conjunto tem como objetivo minimizar o número de instalações abertas, garantindo que todas as demandas sejam atendidas e assegurando um valor máximo de distância (ou tempo) entre qualquer cliente e a instalação que lhe atende (Toregas et al., 1971). Por último, o PLMC (Church e ReVelle, 1974) consiste em determinar a localização de p facilidades de forma a atender a maior quantidade de uma determinada população, dada uma distância (ou tempo) de serviço, sendo que uma demanda é considerada coberta caso ela esteja dentro da distância máxima de cobertura estipulada.

Os modelos baseados no PLMC são muito utilizados em diversas áreas da saúde, principalmente no setor público, no qual os recursos são escassos e há muitas restrições orçamentárias, e também por usar um limite fixo de facilidades nos modelos (Sathler et al., 2017).

Vários trabalhos abordam a localização das unidades de saúde preventiva (Verter e Lapierre, 2002; Zhang et al., 2009, 2010; Gu et al., 2010; Zhang et al., 2012; Davari et al., 2016; Dogan et al., 2020).

Verter e Lapierre (2002) elaboraram uma formulação de programação matemática a fim de determinar a configuração ideal de uma rede de unidades de saúde preventivas, com o objetivo de maximizar a participação das pessoas nos programas de prevenção, como a mamografia. Eles

consideraram que o nível de participação nos programas de saúde preventiva é extremamente importante para a eficiência deles. Para o desenvolvimento da formulação matemática, eles se basearam em três suposições: (i) cada indivíduo procuraria a instalação mais próxima; (ii) a probabilidade de participação de uma pessoa no programa de prevenção é reduzida quando a sua distância até a instalação aumenta; (iii) existe um número mínimo de participantes para uma instalação ser aberta. O modelo foi aplicado para a localização de centros de triagem de mamografia em Montreal, no Canadá.

Zhang et al. (2009) elaboraram uma metodologia para projetar uma rede de unidades de saúde preventivas a fim de maximizar a participação da população. Além de considerar o tempo ou a distância como o fator de acessibilidade à instalação, eles consideraram o tempo total gasto, que é formado pelo tempo de viagem, pelo tempo de espera para realizar o serviço e o próprio tempo de serviço. Os autores também adicionaram o conceito de congestionamento em seus estudos. Para resolução do problema, eles desenvolveram uma heurística de alocação e quatro heurísticas de localização. Já em Zhang et al. (2010), os autores consideraram a quantidade de serviços que cada instalação oferecerá para decidir se ela será aberta ou não. O problema foi tratado por meio de dois métodos de solução, sendo o primeiro uma formulação de programação não-linear de dois níveis e o segundo, um procedimento heurístico baseado em Busca Tabu.

Outro critério de acessibilidade foi apresentado em Gu et al. (2010), combinando a disponibilidade regional, a distância dos clientes às instalações e o número de clientes que cada instalação atrai. A probabilidade de um cliente ser atendido por uma instalação foi estimada pelo modelo competitivo de Huff (Huff, 1964). A capacidade de atendimento de cada instalação foi estimada somando-se o número de clientes atraídos por ela provenientes de todos os locais. Os autores apresentaram uma formulação de otimização linear com a soma ponderada de dois objetivos: cobertura e eficiência. A parcela que mensura a eficiência visa a maximização do bem-estar social, ao procurar um arranjo ideal dos serviços de saúde. A parcela de cobertura, por sua vez, visa ao atendimento de mais pessoas dentro de uma área alvo. Para resolver instâncias reais do problema, os autores aplicaram um algoritmo heurístico de busca local que explora o espaço de soluções do problema por meio de movimentos de realocação de uma facilidade. Em Zhang et al. (2012) os autores consideram a probabilidade de um cliente escolher uma instalação. Dois modelos foram desenvolvidos. O primeiro, nomeado modelo de escolha probabilística, considera que um cliente escolhe uma instalação com uma certa probabilidade que aumenta de acordo com o quão atrativa é a instalação. O segundo, nomeado modelo de escolha ideal, supõe que o cliente irá escolher a instalação mais atraente. Eles definiram que a atratividade aumenta de acordo com a proximidade de uma instalação ao cliente e desenvolveram um algoritmo genético e uma heurística baseada em busca probabilística.

Dogan et al. (2020) também focaram na localização de instalações de cuidados preventivos de saúde e desenvolveram um modelo multiobjetivo que busca minimizar três termos: (i) o desvio médio ponderado total entre a participação realizada e a máxima participação possível ocorrida durante o período de planejamento; (ii) o desvio total resultante do excesso de tempo de espera médio aceitável esperado nas instalações durante o período de planejamento; e (iii) o desvio resultante da superação do orçamento. O modelo foi aplicado para localizar centros de diagnóstico, triagem e tratamento de câncer em Istambul, na Turquia.

No Brasil, existem poucos trabalhos que visam a uma distribuição geográfica mais acessível dos mamógrafos na rede pública de saúde (Corrêa et al., 2018; Souza et al., 2019; de Sá et al., 2019; Souza et al., 2020; Campos et al., 2020; Rosa et al., 2020b).

Corrêa et al. (2018) analisaram a distribuição e alocação de mamógrafos em 12 regiões de saúde compostas por 142 localidades do Estado de Minas Gerais, Brasil. Quatro formulações de programação linear inteira baseadas no problema das p -medianas foram desenvolvidas, todas com o objetivo de minimizar a distância total entre as localidades atendidas e seus respectivos locais de atendimento. A primeira formulação possui uma restrição de distância máxima entre cada localidade e o local em que o equipamento está instalado. Na segunda, essa restrição de

distância pode ser violada, sendo essa violação minimizada na função objetivo. A terceira e quarta formulações são similares à primeira e à segunda, respectivamente; porém, a função objetivo delas inclui a quantidade de mulheres que se deslocam para realizar o exame. Apesar de na região analisada a distribuição existente de mamógrafos não ser suficiente para atender a toda a demanda, os autores concluíram que é possível cobrir a demanda da região com os equipamentos existentes desde que fosse permitida a redistribuição dos equipamentos existentes.

Ainda no mesmo problema, Souza et al. (2019) analisaram o problema de localização de mamógrafos no Estado de Rondônia, Brasil. Eles propuseram duas formulações de programação matemática, baseadas no problema de máxima cobertura, as quais buscam maximizar a demanda de mulheres atendidas respeitando-se a distância máxima que elas podem se deslocar para serem atendidas. A primeira formulação considera que uma localidade deve ser totalmente atendida ou não ser atendida. Na segunda, há uma relaxação linear parcial da primeira. Neste caso, uma localidade pode ser parcialmente atendida por um mamógrafo instalado em outra localidade. Nos testes realizados, os autores concluíram que se fosse viável redistribuir os mamógrafos disponíveis, a quantidade de mulheres atendidas aplicando-se as duas formulações propostas seria maior do que aquela atendida pela Secretaria de Estado de Saúde. Além disso, a cobertura seria maior se fosse usada a formulação com atendimento parcial.

Por sua vez, de Sá et al. (2019) aplicaram a primeira formulação de Souza et al. (2019) para tratar o problema de localização de mamógrafos no SUS para o Estado do Espírito Santo, Brasil. Os autores analisaram a aquisição gradativa de mamógrafos até suprir a demanda de todo o Estado e concluíram que se fosse possível fazer a redistribuição dos mamógrafos existentes, a quantidade de mulheres atendidas aumentaria significativamente comparando-se com o cenário atual.

Souza et al. (2020) apresentaram dois métodos de solução para tratar o problema de localização de mamógrafos no SUS. Ambos buscam maximizar a demanda de mulheres atendidas, sendo que o primeiro consistiu na aplicação da primeira formulação de programação matemática de Souza et al. (2019) e o segundo método no desenvolvimento de um algoritmo heurístico baseado na meta-heurística *Variable Neighborhood Search* (VNS) para tratar instâncias de dimensões maiores, dado que o problema em questão é NP-difícil (Garey e Johnson, 1979). Os dois métodos de solução foram testados com dados do Estado de Minas Gerais, Brasil. De acordo com os resultados do trabalho, tanto a formulação matemática quanto o algoritmo heurístico forneceram soluções melhores que aquela permitida pela distribuição existente dos equipamentos.

Rosa et al. (2020b) estenderam as duas formulações anteriores, acrescentando a restrição de que mulheres de uma localidade só podem ser atendidas por um mamógrafo que esteja instalado em uma localidade que esteja em sua microrregião de saúde. Os autores também adaptaram o algoritmo heurístico VNS de Souza et al. (2020) para permitir que a rede de assistência de uma localidade esteja vinculada à sua microrregião de saúde. Entre as análises feitas, os autores consideraram dois cenários relativos a uma instância do ano de 2020 do Estado de Minas Gerais. No primeiro deles, que impõe a vinculação de uma localidade à sua microrregião de saúde, obteve-se uma cobertura de 1587792 exames; enquanto que no segundo cenário, em que não se impõe tal restrição, obteve-se uma cobertura de 1633358 exames. Segundo os autores, esse resultado de cerca de 45 mil exames a menos é um indicativo de que a divisão atualmente existente das microrregiões de saúde em Minas Gerais pode não ser a ideal.

Campos et al. (2020) também estudaram se era possível uma solução com uma distribuição mais eficiente de mamógrafos existentes a fim de aumentar a cobertura de mulheres atendidas no SUS. No problema tratado admite-se que um equipamento atenda parcialmente a demanda de outra localidade. Assim, eles utilizaram a segunda formulação de programação matemática de Souza et al. (2019) e incluíram um conjunto de restrições para tratar o caso em que as realocações de equipamentos existentes não sejam permitidas. Eles também desenvolveram um algoritmo heurístico baseado em *Simulated Annealing* para obter soluções em instâncias maiores. No algoritmo heurístico foi utilizada uma solução inicial aleatória e o espaço de soluções do problema foi explorado por meio de movimentos de realocação de equipamentos

de mamografia. Os métodos foram testados em seis instâncias relativas ao Estado de Minas Gerais e duas do Estado de Rondônia. Os resultados mostraram que o algoritmo heurístico proposto foi capaz de gerar soluções de boa qualidade em tempo significativamente menor do que aquele requerido pelo resolvidor de programação matemática. Os autores também usaram uma instância do Estado de Minas Gerais para definir a quantidade de equipamentos de mamografia a serem adquiridos para se ter a maior cobertura possível. Adicionando um equipamento por vez, e não permitindo a realocação dos equipamentos existentes, eles concluíram que a maior cobertura possível seria de 99,97%, com uma taxa de utilização global dos equipamentos de 64,01%, alcançada com a aquisição de mais 78 equipamentos, considerando uma produtividade de 6758 exames/mamógrafo. Diferentemente desses autores, no presente trabalho não é necessário adicionar um equipamento por vez, pois a função objetivo aqui proposta inclui um termo que busca minimizar o número de equipamentos necessários para atender a demanda das localidades. Além disso, as formulações propostas permitem tratar a taxa de utilização dos equipamentos em cada localidade individualmente e não globalmente. Isto é, pode-se estabelecer taxas de utilização diferenciadas entre as localidades para justificar a aquisição de equipamentos sob o ponto de vista econômico ou social. As formulações propostas neste trabalho também buscam minimizar a distância de atendimento, o que não é feito em Campos et al. (2020) e, de nosso conhecimento, em nenhum outro trabalho para o caso brasileiro. Por fim, ao contrário de Campos et al. (2020), considera-se no presente trabalho também a existência de microrregiões de saúde tal como em Rosa et al. (2020b). Assim, a demanda de uma localidade só pode ser atendida por um mamógrafo de sua microrregião de saúde.

3. Metodologia

3.1. Cenário de Estudo

O Estado de Rondônia possui 52 municípios e uma projeção populacional de 1.815.278 habitantes para o ano de 2021 (IBGE, 2021). Ele é dividido em sete Regiões de Saúde, com seis Gerências Regionais de Saúde que visam prestar assistência aos municípios para operacionalização do sistema local de saúde, promover a integralização do planejamento ascendente entre os Municípios e Estado, a programação, pactuação e a atenção à saúde descentralizada, na sua área de abrangência (Rondônia, 2019, p. 88). O Estado apresenta característica demográfica importante para este estudo, com uma população predominantemente jovem, com o fenômeno “bônus demográfico”, quando há uma predominância de pessoas em idade aptas a trabalhar, ou seja, entre 15 a 64 (Rondônia, 2019, p. 19). Essa característica também é indicativa da presença de mulheres em idade suscetível ao desenvolvimento de câncer de mama, sendo este o mais prevalente nessa população, com um percentual de 20,28% (Rondônia, 2019, p. 64).

3.2. Caracterização do Problema

O Problema de Localização de Mamógrafos (PLM) aqui tratado possui as seguintes características:

1. Existe um conjunto N de n localidades candidatas a sediar mamógrafos;
2. Cada mamógrafo possui uma capacidade cap anual de realização de exames, sendo $cap = 6.758$ exames/ano (Brasil, 2017, p. 70);
3. Cada localidade j possui uma demanda anual dem_j de mulheres na faixa de idade indicada para realizar o rastreamento, ou seja, 58,9% de mulheres com idades entre 50 e 69 anos e 20% de mulheres entre 40 e 49 anos (Brasil, 2017, p. 70);

4. As mulheres devem se deslocar, no máximo, R km até os hospitais onde estão instalados os aparelhos de mamografia, sendo $R = 60$ km (Brasil, 2017, p. 70);
5. Apenas localidades com infraestrutura hospitalar são candidatas a sediar um equipamento de mamografia;
6. Cada localidade só pode ser atendida por outra que esteja em sua microrregião de saúde (Brasil, 2001, pp. 18-19);
7. Não é permitida a realocação dos equipamentos existentes;
8. Um local que sediar algum equipamento deve atender a sua própria demanda;
9. Para cada localidade i que sediar um mamógrafo, existe uma taxa de utilização mínima ($txMin_i$) requerida para justificar sua instalação;
10. Existe uma taxa de viabilidade ($txViab$) para justificar a aquisição de um novo equipamento;
11. Há duas formas de atender a uma localidade, sendo que cada uma delas dá origem a uma variante do problema:
 - (a) PLM binário: Uma localidade deve ser totalmente atendida ou não atendida;
 - (b) PLM contínuo: Uma localidade pode ser parcialmente atendida.

O objetivo é decidir onde instalar os equipamentos de mamografia para maximizar a cobertura de exames e minimizar tanto o número de equipamentos a serem adquiridos quanto a distância de atendimento.

3.3. Formulações de Programação Matemática Propostas

Tratamos o PLM como um problema de máxima cobertura (Church e ReVelle, 1974) com restrições adicionais. Esta classe de problemas consiste em determinar a localização de p facilidades de forma a atender a maior quantidade de pessoas de uma determinada população, dada uma distância de serviço, sendo que uma demanda é considerada coberta caso ela seja atendida dentro da distância máxima de cobertura estipulada.

Introduzimos duas formulações de programação matemática para tratar as duas variantes do PLM estabelecidas nos itens 11(a) e 11(b) da seção anterior. A primeira formulação, dita PLM binário, determina que uma localidade atendida tenha a demanda coberta em sua totalidade; a segunda, por sua vez, nomeada formulação do PLM contínuo, é uma relaxação parcial da primeira, que permite o atendimento parcial da demanda de uma localidade.

Essas formulações propostas representam adaptações de formulações da literatura relativas aos trabalhos de Souza et al. (2019), de Sá et al. (2019), Souza et al. (2020), Rosa et al. (2020b) e Campos et al. (2020). Conforme mencionado na revisão de literatura, essas formulações buscam apenas maximizar a cobertura de exames. Aqui, ao contrário, busca-se, além de maximizar a cobertura de exames, também minimizar o número de equipamentos a serem adquiridos e a distância para o atendimento. Desta forma, o número de equipamentos deixa de ser um parâmetro de entrada da formulação, passando a ser uma variável de decisão. Ao procurar minimizar a distância de atendimento, a formulação aqui proposta favorece a escolha de localidades mais próximas daquelas aonde as usuárias residem, ainda que elas estejam dentro da distância máxima permitida de R km, conforme exigência estabelecida no item 4 da Seção 3.2. As formulações propostas também incorporam aos trabalhos mencionados a exigência de uma taxa de utilização mínima individualizada dos equipamentos instalados em uma localidade. Ao estabelecer essas taxas de utilização mínimas, permite-se impor condições diferenciadas para justificar a instalação de equipamentos em cada localidade sob o ponto de vista econômico ou social. Tal como em Rosa

et al. (2020b), inclui-se também a exigência de que uma localidade só seja atendida por outra que esteja em sua microrregião de saúde, de forma a favorecer a utilização da rede de assistência existente. Por fim, as formulações propostas incluem as restrições estabelecidas em Campos et al. (2020) para garantir que os equipamentos já instalados em uma localidade não sejam realocados.

A Tabela 1 introduz a notação para apresentar as formulações.

Tabela 1: Parâmetros e variáveis de decisão.

Parâmetros de entrada	
N	Conjunto de localidades
d_{ij}	Distância entre as localidades i e j , em km
dem_i	Demanda anual por exames de mamografia da localidade $i \in N$
cap	Capacidade anual de realização de exames de um mamógrafo
$pMax$	Número máximo de mamógrafos disponíveis para alocação
R	Distância máxima para atendimento, em km
$infra_i$	Parâmetro que assume o valor 1 se a localidade $i \in N$ possui infraestrutura para sediar mamógrafos, e 0 caso contrário
$micro_i$	Microrregião de saúde à qual pertence a localidade $i \in N$
S_i	Conjunto das localidades que estão na mesma microrregião de saúde da localidade $i \in N$ e que distam R km dela, isto é: $S_i = \{j \in N \mid d_{ij} \leq R, d_{ji} \leq R \text{ e } micro_j = micro_i\}$
$demReg_i$	Demanda anual por exames de mamografia das localidades que distam R km da localidade $i \in N$
$txMin_i$	Taxa de utilização mínima requerida para instalação de um mamógrafo na localidade $i \in N$ para atender as localidades que distam R km dela, em %
$txViab$	Taxa de viabilidade que justifica a aquisição de um novo equipamento, em %
$nEquipExist_i$	Número de equipamentos existentes na localidade $i \in N$
$bigM$	Número inteiro positivo que assume no máximo o valor R , em km
Variáveis de decisão	
y_i	Variável inteira que representa o número de equipamentos instalados no local i
p	Variável inteira que indica a quantidade total de mamógrafos a serem instalados
z_i	Variável binária que assume o valor 1 se a localidade i sedia algum equipamento de mamografia, e valor 0, caso contrário
Formulação do PLM binário:	
x_{ij}	Variável binária que assume o valor 1 se as mulheres do local j são atendidas por algum mamógrafo instalado no local i , e valor 0, caso contrário
Formulação do PLM contínuo:	
x_{ij}	Variável contínua que assume um valor no intervalo $[0, 1]$, que indica o percentual de atendimento ao local j por algum mamógrafo instalado no local i
t_{ij}	Variável binária que assume o valor 1 se as mulheres do local j são atendidas por algum aparelho instalado no local i , e valor 0, caso contrário

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.3.1. Formulação do PLM Binário

As equações (1)-(14) representam a formulação de programação linear inteira relativa ao PLM binário.

$$\max \sum_{i \in N} \sum_{j \in S_i} (dem_j \cdot x_{ij}) - (p \cdot cap \cdot txViab) - \left(\frac{\sum_{i \in N} \sum_{j \in S_i} d_{ij} \cdot x_{ij}}{|N| \cdot bigM} \right) \quad (1)$$

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

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

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

$$y_i \geq nEquipExist_i \quad \forall i \in N \quad (5)$$

$$y_i \geq 1 \quad \forall i \in N \mid infra_i = 1 \text{ e } demReg_i \geq txMin_i \cdot cap \quad (6)$$

$$y_i = 0 \quad \forall i \in N \mid infra_i \neq 1 \quad (7)$$

$$z_i \geq y_i / pMax \quad \forall i \in N \quad (8)$$

$$x_{ii} = z_i \quad \forall i \in N \quad (9)$$

$$z_i \geq x_{ij} \quad \forall i, j \in N \quad (10)$$

$$y_i \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in N \quad (11)$$

$$z_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N \quad (12)$$

$$p \in \mathbb{Z}^+ \quad (13)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N \quad (14)$$

A função objetivo (1) é composta por três parcelas. A primeira visa a maximização da cobertura de exames. A segunda busca minimizar o número de equipamentos a serem adquiridos, penalizando a aquisição de equipamentos que não atendam a uma taxa mínima de utilização que justifique economicamente, ou mesmo socialmente, a sua instalação. Finalmente, a última parcela busca minimizar a distância total entre os locais indicados a sediar mamógrafos e os que são atendidos por esses equipamentos. Observe que a terceira parcela gera um número no intervalo real $[0, 1]$, sendo usada apenas para diferenciar soluções de mesma cobertura que tenham distâncias diferentes entre as localidades sedes e as por elas atendidas. As restrições (2) determinam que cada local seja atendido por no máximo um mamógrafo instalado em sua microrregião. A restrição (3) define a alocação de p equipamentos. As restrições (4) garantem que a capacidade de atendimento dos mamógrafos instalados em cada localidade i não pode ser violada. As restrições (5) estabelecem que cada localidade deve manter, pelo menos, o número atual de equipamentos instalados, ou seja, não é permitida a realocação dos equipamentos existentes. Entretanto, se o parâmetro de entrada $nEquipExist_i$ for setado no valor 0 para toda localidade i , a formulação passa a considerar que os equipamentos existentes podem ser realocados. As restrições (6) impõem a instalação de um ou mais mamógrafos em todo local i que possua infraestrutura e cuja taxa de utilização do equipamento em sua microrregião seja igual ou superior a uma taxa de utilização mínima previamente definida. As restrições (7) impedem que localidades sem infraestrutura hospitalar sejam indicadas a sediar mamógrafos. As restrições (8) forçam a variável binária z a assumir o valor 1 nos locais que sediam mamógrafos. As restrições (9) impõem que um local que sediar algum equipamento atenda a sua própria demanda. As restrições (10) garantem que um local atenda outro somente se ele sediar algum mamógrafo. Finalmente, as restrições (11) a (14) estabelecem o domínio das variáveis de decisão.

Em relação à literatura, mais especificamente, aos trabalhos de Souza et al. (2019), de Sá et al. (2019), Souza et al. (2020) e Rosa et al. (2020b), esta formulação proposta apresenta as seguintes adaptações: (i) o valor de p , relativo à quantidade de equipamentos, o qual era um dado de entrada nesses trabalhos, passa a ser uma variável de decisão definida pela restrição (13); (ii) a inclusão de duas novas parcelas na função objetivo das formulações desses autores; (iii) a inclusão do conjunto de restrições (6), que impõe a necessidade de instalar equipamentos de mamografia em cidades com infraestrutura hospitalar e cuja demanda da microrregião seja maior do que a taxa mínima previamente definida para utilização de cada equipamento; (iv) a substituição, no conjunto de restrições (8), de p por $pMax$ como o número máximo de equipamentos disponíveis para alocação.

3.3.2. Formulação do PLM Contínuo

Ao contrário da formulação anterior, nesta formulação, uma localidade pode ser parcialmente atendida por um mamógrafo. Dessa forma, é necessário alterar o domínio das variáveis x relaxando

sua integralidade. Para isso, basta redefinir seu domínio conforme mostrado nas restrições (16). Adicionalmente, é necessário acrescentar uma nova variável binária, no caso, t_{ij} , para indicar se uma localidade é ou não atendida por um equipamento instalado noutra localidade. Para tanto, adicionamos a variável t conforme as restrições (17). Essa variável também substitui a variável x na terceira parcela da função objetivo (1), gerando uma nova função objetivo (15).

A formulação de programação linear inteira mista que representa o PLM contínuo é, então, dada pelas equações (15), (2) – (13), (16) e (17).

$$\max \sum_{i \in N} \sum_{j \in S_i} (dem_j \cdot x_{ij}) - (p \cdot cap \cdot txViab) - \left(\frac{\sum_{i \in N} \sum_{j \in S_i} d_{ij} \cdot t_{ij}}{|N| \cdot bigM} \right) \quad (15)$$

s. a: (2) – (13)

$$x_{ij} \in [0, 1] \quad \forall i, j \in N \quad (16)$$

$$t_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N \quad (17)$$

Em relação aos trabalhos de Souza et al. (2019) e Campos et al. (2020), que trabalharam com formulações do PLM contínuo, além das adequações apresentadas no último parágrafo da seção anterior, esta formulação inclui as variáveis binárias t_{ij} , definidas pelo conjunto de restrições (17), nas formulações desses autores.

4. Resultados

Os modelos de programação matemática apresentados na Seção 3.3 foram implementados utilizando o resolvidor Gurobi, versão 9.0.1, com as configurações padrões, exceto pelo parâmetro *MIPGap*, definido no valor 10^{-6} . Esse ajuste foi necessário para adequar a ordem de grandeza dos valores da função objetivo com a execução do modelo. Os testes foram realizados em um computador Intel Core i5-8265U@ 1.6 GHz, com 8 GB de memória RAM sob o sistema operacional Ubuntu, versão 18.04.

Para testar as formulações propostas foi utilizada a base de dados do Estado de Rondônia relativa ao mês de agosto de 2020. De acordo com sua Coordenação Estadual de Rede de Doenças Crônicas da Secretária de Saúde do Estado de Rondônia (SESAU-RO), nesse mês existiam 13 mamógrafos disponíveis pelo SUS, alocados nos municípios de Ariquemes, Jaru, Ji-Paraná (2), Pimenta Bueno, Porto Velho (5), Rolim de Moura e Vilhena (2). As distâncias entre as cidades foram obtidas pelo Google Maps, considerando deslocamento por carro. A capacidade de cada mamógrafo foi fixada em 6.758 exames anuais (Brasil, 2017, p. 70). A informação das cidades com infraestrutura para sediar mamógrafos foi fornecida pela SESAU-RO. As demandas por exames anuais e as informações sobre a constituição das microrregiões de saúde foram extraídas no site do DATASUS (Brasil, 2020). As demandas de cada município foram obtidas pelo DATASUS no censo do IBGE do ano de 2010, e assim foram projetadas para o ano de 2020, totalizando 120.636 exames.

Além dos parâmetros de demanda e distância, foram utilizadas as seguintes configurações para os parâmetros dos modelos: $cap = 6.758$ exames anuais, $pMax = 30$ mamógrafos, $txViab = 0,60$ e $txMin_i = 0,60$ para toda localidade i , exceto para a cidade de Vilhena. O parâmetro $pMax$ é o um limite superior para o número máximo de mamógrafos a serem instalados. O parâmetro $txViab$ representa o percentual de atendimento que justifica economicamente a aquisição de um novo mamógrafo. Já $txMin_i$ representa a taxa mínima indicada para utilização de um equipamento em uma dada microrregião. Como havia dois equipamentos instalados em Vilhena na data deste estudo e nesta proposta não é permitido realocar equipamentos, essa taxa foi fixada em 46% nessa cidade, que é o valor para o qual toda a sua demanda é atendida. O parâmetro R foi testado nos valores 60, 90 e 120 km. Finalmente, o parâmetro $bigM$ foi fixado no valor R .

Para determinar a cobertura atual dos mamógrafos utilizados pelo SUS em Rondônia, a SESAU-RO forneceu a relação das 13 cidades que sediavam os equipamentos existentes e as por elas atendidas. Considerando as demandas projetadas para o ano de 2020, chegou-se à cobertura de 75.521 exames anuais. Para obter esse valor, o atendimento foi limitado à capacidade máxima de cada mamógrafo, uma vez que na solução da SESAU-RO havia equipamento alocado para atender a um número maior do que sua capacidade

anual. Por outro lado, manteve-se a rede de atendimento, mesmo sabendo-se que a distância máxima de atendimento não era respeitada, isto é, que o valor R preconizado pelo Ministério da Saúde era superior aos 60 km estabelecidos em Brasil (2017, p. 70). Também foram aplicadas as duas formulações propostas na Subseção 3.3 fixando-se as localidades sedes e o número de equipamentos nelas alocados. Os resultados dessas formulações mostraram que, com os 13 equipamentos disponíveis e fixando-se R em 60 km, é possível atender a 77.225 exames anuais aplicando-se a formulação do PLM binário e a 80.525 com a formulação do PLM contínuo. Observa-se, assim, que com as formulações propostas é possível aumentar a cobertura do Estado apenas pela alteração das relações de atendimento entre as localidades sedes e as localidades por elas atendidas.

Por outro lado, caso fosse permitida a realocação dos equipamentos existentes, as formulações poderiam ser aplicadas fixando-se os parâmetros $nEquipExist_i$ no valor 0 para todas as localidades. Nesta situação, os resultados mostraram que, com os 13 equipamentos disponíveis, a cidade de Vilhena deixaria de sediar um dos dois equipamentos lá instalados em agosto de 2020, sendo ele remanejado para Pimenta Bueno, o que permitiria aumentar a cobertura para 83843 exames anuais aplicando-se a formulação do PLM binário e para 86163 com a formulação do PLM contínuo.

A Tabela 2 mostra as características dos cenários criados para testar os modelos desenvolvidos. Nessa tabela, os cenários diferem entre si pela utilização ou não da restrição de microrregião de saúde e pela distância máxima R entre o local do mamógrafo e o local de atendimento. O sinal \checkmark indica a característica presente no cenário.

Tabela 2: Características dos cenários.

Cenário	Microrregiões de saúde	Distância		
		60	90	120
c1-CMic-60	\checkmark	\checkmark		
c2-CMic-90	\checkmark		\checkmark	
c3-CMic-120	\checkmark			\checkmark
c4-SMic-60		\checkmark		
c5-SMic-90			\checkmark	
c6-SMic-120				\checkmark

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nas Tabelas 3 e 4 são mostrados os resultados retornados pela aplicação das formulações do PLM binário e contínuo em cada um dos cenários descritos na Tabela 2. Todos os resultados foram obtidos em menos de um segundo de processamento pelo resolvidor Gurobi.

Tabela 3: Resultados da aplicação da formulação do PLM binário.

Cenário	# Equip. instalados	Taxa de utiliz. (%)	Demanda coberta	Cobertura (%)	# Locais atendidos	Distância total (km)
c1-CMic-60	16	82,9	89691	74,3	22	514
c2-CMic-90	18	84,5	102760	85,2	36	1449
c3-CMic-120	18	87,7	106681	88,4	41	1989
c4-SMic-60	16	82,9	89691	74,3	22	514
c5-SMic-90	18	85,2	103658	85,9	37	1439
c6-SMic-120	18	89,9	109398	90,7	43	2543

Fonte: Elaborada pelos autores.

De acordo com as Tabelas 3 e 4, verifica-se que à medida que a distância máxima para atendimento aumenta, a demanda coberta e a quantidade de locais atendidos também aumentam. Como esperado, a distância total de atendimento também aumenta, já que é possível atender locais que se encontram mais distantes dos locais de instalação dos equipamentos. Observa-se, também, um aumento na quantidade de equipamentos instalados. Esse aumento ocorre porque há uma taxa de utilização maior dos mamógrafos, decorrente da ampliação da distância de atendimento. Comparando-se os resultados das duas formulações, observa-se que a formulação do PLM contínuo sempre retorna melhores resultados em todos os indicadores. Por exemplo, nos cenários c1-CMic-60 e c4-SMic-60 a formulação do PLM contínuo retorna uma solução com cobertura de 76,4% da demanda total, que é 2,1 pontos percentuais maior do que aquela

Tabela 4: Resultados da aplicação da formulação do PLM contínuo.

Cenário	# Equip. instalados	Taxa de utiliz. (%)	Demanda coberta	Cobertura (%)	# Locais atendidos	Distância total (km)
c1-CMic-60	16	85,2	92151	76,4	23	578
c2-CMic-90	18	85,1	103481	85,8	36	1360
c3-CMic-120	18	87,8	106803	88,5	40	1796
c4-SMic-60	16	85,2	92151	76,4	23	578
c5-SMic-90	18	86,0	104602	86,7	37	1477
c6-SMic-120	18	90,6	110164	91,3	43	2339

Fonte: Elaborada pelos autores.

retornada pela formulação do PLM binário. Este fato ocorre porque na formulação do PLM contínuo uma localidade pode ser parcialmente atendida, possibilitando um maior aproveitamento dos mamógrafos.

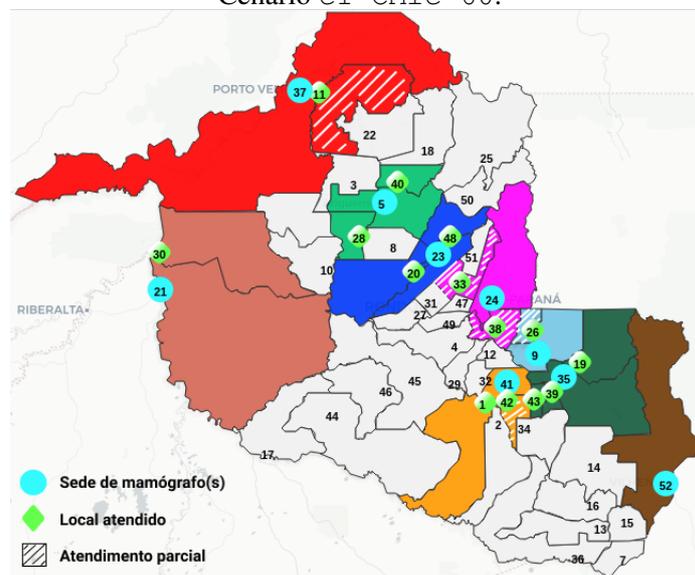
Comparando-se os cenários na formulação do PLM contínuo na Tabela 4 em relação à característica de considerar ou não a microrregião de saúde, é possível perceber que não há aumento de cobertura quando a distância de atendimento é limitada a 60 km. Por outro lado, quando a distância máxima é de 90 km e 120 km, há um acréscimo de 0,9% e 2,8% de cobertura, respectivamente. Esses acréscimos são pouco significativos se for considerada a perda da rede de atendimento já existente entre as localidades que pertencem a uma mesma região de saúde. Com relação à cobertura em função da distância, percebe-se que ao fixar a distância máxima de atendimento para 90 km há um acréscimo expressivo de 9,4 pontos percentuais na cobertura. Por outro lado, quando a distância máxima é limitada a 120 km, o acréscimo da cobertura em relação ao cenário anterior é de apenas 2,7 pontos percentuais. Isso mostra que o aumento expressivo da distância, de 60 para 120 km, não justifica o pequeno aumento da demanda coberta. Em função dessa análise, o foco deste trabalho restringir-se-á à formulação do PLM contínuo usando cenários que respeitem as restrições de microrregiões de saúde e limitadas a 90 km de raio de atendimento.

Para fins de ilustração, são apresentados os mapas e as tabelas que mostram as características das soluções retornadas pelo otimizador nos cenários c1-CMic-60 e c2-CMic-90 com a formulação do PLM contínuo. Para cada mapa, há uma tabela associada que detalha as características da solução.

Os mapas das Figuras 1 e 2 ilustram a localização de cada equipamento com um círculo azul e sua rede de atendimento com um losango verde. As localidades que estão na mesma cor representam a mesma região e são atendidas pelo mesmo equipamento. Os nomes de cada município estão descritos nas Tabelas 5 e 6, respectivamente, de acordo com seu número de identificação. Esses mapas detalham o resultado da alocação e relação de atendimento fornecido pela formulação do PLM contínuo. Desta forma, o atendimento de uma cidade à outra pode ser parcial. Nesta situação, as cidades atendidas parcialmente são hachuradas nas figuras. Para conhecer qual a demanda parcialmente atendida, deve-se recorrer à tabela associada.

A Figura 1 e a Tabela 5 mostram a localização e a rede de atendimento dos municípios sedes de mamógrafos da solução retornada pela formulação do PLM contínuo para o cenário c1-CMic-60, enquanto a Figura 2 e a Tabela 6 se referem aos resultados relativos ao cenário c2-CMic-90.

Figura 1: Mapa de Rondônia com aplicação da formulação do PLM contínuo ao Cenário $c1-CM_{ic}-60$.



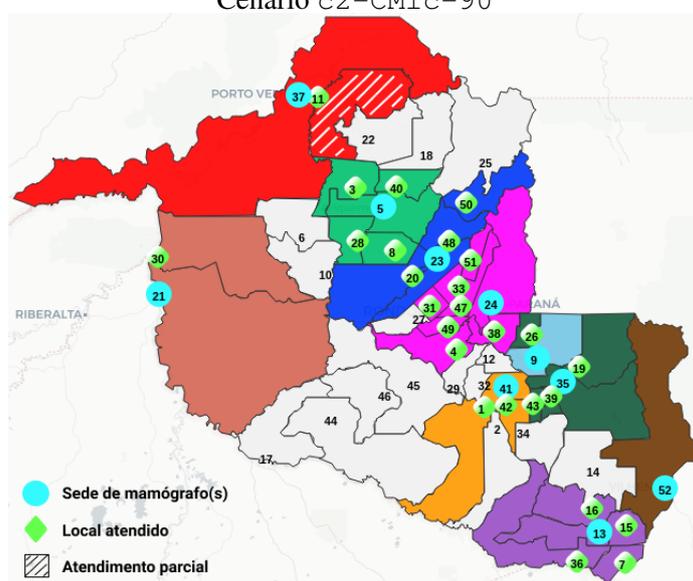
Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 5: Legenda do mapa da Figura 1 relativa ao Cenário $c1-CM_{ic}-60$.

#Equip.	Taxa de utiliz. (%)	Locais sedes	Locais atendidos	Dem. cob.	Cob. (%)	Dist. (km)
2	60	5. Ariquemes	5. Ariquemes	6941	100	0
			28. Monte Negro	994	100	56
			40. Rio Crespo	241	100	51
1	100	9. Cacoal	9. Cacoal	6618	100	0
			26. Ministro Andreazza	140	19	50
1	66	21. Guajará-Mirim	21. Guajará-Mirim	2928	100	0
			30. Nova Mamoré	1502	100	48
1	100	23. Jaru	20. Governador Jorge Teixeira	787	100	27
			23. Jaru	3983	100	0
			33. Ouro Preto do Oeste	1204	38	46
			48. Theobroma	784	100	34
2	100	24. Ji-Paraná	24. Ji-Paraná	9730	100	0
			33. Ouro Preto do Oeste	1958	62	36
			38. Presidente Médici	1828	94	36
1	85	35. Pimenta Bueno	19. Espigão D'Oeste	2210	100	31
			35. Pimenta Bueno	2787	100	0
			39. Primavera de Rondônia	288	100	26
			43. São Felipe D'Oeste	493	100	58
5	100	37. Porto Velho	11. Candeias do Jamari	715	54	26
			37. Porto Velho	33075	100	0
1	100	41. Rolim de Moura	1. Alta Floresta D'Oeste	1887	100	39
			41. Rolim de Moura	4117	100	0
			42. Santa Luzia D'Oeste	754	99	14
2	46	52. Vilhena	52. Vilhena	6187	100	0
16	85,2	9	23	92151		578

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 2: Mapa de Rondônia com aplicação da formulação do PLM contínuo ao Cenário c2-CM_ic-90



Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 6: Legenda do mapa da Figura 2 relativa à instância c2-CMi c-90.

#Equip.	Taxa de utiliz. (%)	Locais sedes	Locais atendidos	Dem. cob.	Cob. (%)	Dist. (km)
2	73	5. Ariquemes	3. Alto Paraíso	1224	100	62
			5. Ariquemes	6941	100	0
			8. Cacaulândia	425	100	60
			28. Monte Negro	994	100	56
			40. Rio Crespo	241	100	51
1	98	9. Cacoal	9. Cacoal	6618	100	0
1	65	13. Cerejeiras	7. Cabixi	541	100	69
			13. Cerejeiras	1439	100	0
			15. Colorado do Oeste	1577	100	39
			16. Corumbiara	657	100	36
			36. Pimenteiras do Oeste	169	100	53
1	66	21. Guajará-Mirim	21. Guajará-Mirim	2928	100	0
			30. Nova Mamoré	1502	100	48
1	92	23. Jaru	20. Governador Jorge Teixeira	787	100	27
			23. Jaru	3983	100	0
			48. Theobroma	784	100	34
			50. Vale do Anari	677	100	89
3	92	24. Ji-Paraná	4. Alvorada D'Oeste	1345	100	77
			24. Ji-Paraná	9730	100	0
			31. Nova União	542	100	88
			33. Ouro Preto do Oeste	3162	100	36
			38. Presidente Médici	1935	100	36
			47. Teixeiraópolis	380	100	53
			49. Urupá	1000	100	88
			51. Vale do Paraíso	640	100	75
1	97	35. Pimenta Bueno	19. Espigão D'Oeste	2210	100	31
			26. Ministro Andreazza	747	100	89
			35. Pimenta Bueno	2787	100	0
			39. Primavera de Rondônia	288	100	26
			43. São Felipe D'Oeste	493	100	58
5	100	37. Porto Velho	11. Candeias do Jamari	715	54	26
			37. Porto Velho	33075	100	0
1	100	41. Rolim de Moura	1. Alta Floresta D'Oeste	1887	100	39
			41. Rolim de Moura	4117	100	0
			42. Santa Luzia D'Oeste	763	100	14
2	46	52. Vilhena	52. Vilhena	6187	100	0
18	85,1	10	36	103481		1360

Fonte: Elaborada pelos autores.

5. Discussão dos Resultados

Dada a extensão do território do Estado de Rondônia, das vias de acesso e da quantidade de equipamentos disponíveis, foram analisados cenários com 60, 90 e 120 km, como distância máxima de atendimento para o serviço de mamografia. Essa análise se justifica dado que, se forem considerados apenas os equipamentos disponíveis para o SUS, 17% dos exames esperados não seriam realizados por falta de mamógrafos num raio de 60 km do município de residência da usuária (Amaral et al., 2017). Essa situação ocorre porque há uma considerável concentração de equipamentos em algumas regiões enquanto que em outras, são insuficientes, ocasionando uma desigualdade no acesso, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, onde há maior quantidade de municípios cuja demanda de mamografia não pode ser atendida num raio de 60 km (Amaral et al., 2017). Neste contexto, considera-se a dimensão “disponibilidade” do acesso, o que representa a existência ou não do serviço de saúde no local apropriado e no momento em que é necessário, bem como a qualidade e quantidade da oferta (Sanchez e Ciconelli, 2012).

Partindo de um ideal de oferta dos serviços, e respeitando os parâmetros de deslocamento máximo por usuária, verifica-se que o modelo que mais se adequa é o da formulação do PLM contínuo, visto que geralmente há um aumento de pouco mais de dois pontos percentuais na cobertura entre as formulações (vide Tabelas 3 e 4). Além disso, esse modelo possibilita o estabelecimento de parcerias entre os municípios sede. Ainda, na formulação do PLM contínuo observa-se que o cenário com microrregiões (CMiC) seria o mais adequado, pois obedece ao critério das regiões de saúde com uma descentralização organizada dos serviços de saúde, prevista na Lei 8080/90 (Brasil, 2011). Por isso, ela é mais aderente ao SUS, visto que proporciona uma gestão compartilhada dos serviços pelos entes municipais, considerando que a governança dos serviços de saúde deve se basear na regionalização dos serviços, uma vez que esta diretriz propõe *instrumentalizar a melhor disposição e distribuição técnica e espacial dos serviços, visando cobertura e acesso da população às ações de saúde, com máxima eficiência institucional e social* (CONASEMS, 2019).

Em relação aos cenários, observa-se que a cobertura é maior no cenário c2-CMiC-90, pois nele a maioria das usuárias dos municípios atendidos (36) não chega a se deslocar 60 km e, em apenas oito municípios (22% dos 36 atendidos) o deslocamento ultrapassa os 60 km. Em comparação com o cenário atual, no qual os equipamentos fixos se concentram em apenas sete municípios, mesmo com a necessidade de deslocamento maior que 60 km da usuária em seis municípios, a distribuição de equipamentos estaria mais acessível, pois o modelo utiliza a regionalização como critério de alocação.

A atual distribuição dos 13 mamógrafos não contempla todas as regiões de saúde, deixando de fora as Regiões da Zona da Mata e do Vale do Guaporé. Na proposta apresentada, além de o modelo indicar a alocação de mais mamógrafos por Região (Madeira-Mamoré, Central, Café e Cone-Sul) no cenário c2-CMiC-90 da formulação do PLM contínuo, ele ainda sugere a cobertura da Região da Zona da Mata que antes não recebia equipamentos. Entretanto, ainda persiste a inexistência de equipamento fixo na Região do Vale do Guaporé, só que agora com mais alocações de equipamentos em Regiões de sua proximidade (Pimenta Bueno, Cacoal, Rolim de Moura, Ji-Paraná e Jaru). Desse modo, infere-se que o fluxo das demandas ao redor da Região do Vale do Guaporé seja contemplado por unidades móveis de mamografia, as chamadas carretas de mamografia. Nesse sentido, pode-se aplicar a metodologia proposta em Rosa et al. (2021) para roteirizar as unidades móveis, de forma a cobrir as localidades não atendidas por equipamentos fixos retornados pelo modelo aqui proposto.

Como visto, no cenário c2-CMiC-90 é indicada a alocação de mais cinco mamógrafos para além dos 13 já instalados em Rondônia, o que proporciona uma distribuição espacial mais equitativa no território, visto que há vazios assistenciais desses serviços no Estado. Esse acréscimo de mamógrafos proporciona um ganho de cobertura expressa geográfica e numericamente, uma vez que com os 13 aparelhos existentes o modelo aponta que é possível atender a 77.225 exames anuais aplicando-se a formulação do PLM binário e a 80.525 com a formulação do PLM contínuo. Com a alocação de mais cinco mamógrafos nos locais indicados na Tabela 6 pela formulação, a cobertura alcança 103481 exames anuais, com garantia de praticamente 100% da demanda em todos os municípios cobertos.

Neste contexto, também haveria ganhos quanto à distribuição geográfica dos equipamentos, uma vez que dez municípios receberiam mamógrafos, ampliando a alocação para além dos municípios atualmente sedes de regionais, o que impactaria no melhor acesso. Lima et al. (2019), em estudo sobre arranjos regionais dos serviços no SUS, apontam que no Brasil, na assistência ambulatorial e média complexidade, predomina uma elevada concentração espacial de alguns tipos de serviços de apoio diagnóstico e terapêutico que não são ofertados em grande parte das regiões de saúde. Por isso, quanto maior o número de regiões de saúde que dividem o quantitativo da produção de serviços, maior é a desconcentração com menor desigualdade na distribuição espacial da provisão dos serviços, com melhores respostas às demandas de saúde e especificidades regionais.

Considerando que a garantia do acesso integraliza a tríade universalidade, integralidade e equidade no SUS, o custo-efetividade de se alocar mais equipamentos demandará um esforço e maior capacidade de planejamento regional para atender demandas de fluxos de saúde e fluxos geográficos regionais, envolvendo distâncias entre os locais de moradia e os locais de oferta de serviços, ambientes e acessos geográficos, cultura e fatores econômicos e outros marcadores da identidade regional, pois há evidências de que os usuários tendem a construir seus próprios percursos, desrespeitando as pactuações estabelecidas em planejamentos que não atendam suas especificidades (Viana et al., 2018). Nesse sentido, na distribuição espacial de ofertas deve ser considerada também a capacidade dos indivíduos se apropriarem dos serviços oferecidos além do provisionamento de recursos humanos e administrativos suficientes para suprir a demanda.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho tratou o problema de localização de mamógrafos no Estado de Rondônia. O objetivo deste estudo foi o de apresentar uma proposta para maximizar o acesso aos serviços de rastreio e seguimento de câncer de mama em um estado da região norte do Brasil marcado pelas longas distâncias entre os municípios, com forte migração de outros estados, características multiculturais e polilinguísticas, dada a existência de quase 13 mil índios e ainda com áreas fronteiriças nacionais e internacionais presentes no seu território.

Observou-se que os trabalhos encontrados na literatura, particularmente para o caso brasileiro, procuram apenas analisar a ineficiência da alocação dos equipamentos de mamografia existentes. Nos poucos trabalhos que apresentam formulações de programação matemática para alocar os equipamentos, alguns descartam a rede de assistência já existente entre as localidades ao não exigir a alocação dos equipamentos em suas microrregiões de saúde. Por outro lado, apenas um trabalho propõe uma formulação que considera, simultaneamente, a manutenção da alocação atual dos equipamentos e a existência de microrregiões de saúde. No entanto, ele não apresenta uma proposta para novos investimentos que leve em consideração um aspecto operacional importante, o de impor uma taxa mínima de utilização dos equipamentos instalados em uma localidade para justificar economicamente e/ou socialmente seus usos no atendimento da microrregião a que essa localidade pertence. Além disso, esse trabalho busca apenas maximizar a cobertura de exames.

Para cobrir essas lacunas, foram propostas duas formulações de programação matemática que visam a maximização da cobertura de exames do Estado, a minimização do número de equipamentos a serem adquiridos e da distância entre as cidades sedes e as atendidas. Essas formulações levam em consideração os aspectos operacionais apontados acima e não tratados simultaneamente em outros trabalhos da literatura. As formulações aqui propostas podem auxiliar os gestores de saúde na tomada de decisão com relação à aquisição de novos equipamentos. Se eles quiserem conhecer a melhor proposta de distribuição dos equipamentos existentes sob o ponto de vista de otimização apresentado, basta manipular o valor de $nEquipExist_i$, que é um parâmetro de entrada das duas formulações e que informa a quantidade de equipamentos existentes em cada localidade i . Impondo-se o valor nulo desse parâmetro para todas as localidades, então isto significa que todos os equipamentos existentes podem ser realocados. Com o resultado das formulações com essa configuração, os gestores podem saber se a atual distribuição dos equipamentos está adequada ou não sob o ponto de vista das formulações propostas. Se for viável, os gestores podem, então, indicar as realocações propostas e solicitar a aquisição de novos equipamentos e instalação nas localidades sugeridas pelas formulações. Neste sentido, este trabalho analisou, inicialmente, o cenário do ano de 2020, com os 13 equipamentos existentes, e mostrou que com as formulações propostas e permitindo-se a realocação dos equipamentos, é possível aumentar a cobertura de exames pelo remanejamento de um equipamento da cidade de Vilhena. No entanto, optou-se neste estudo por não permitir a realocação dos equipamentos por entender que esta decisão não está no escopo deste trabalho.

As formulações propostas foram testadas em três cenários de uma base de dados do Estado de Rondônia relativa ao ano de 2020. Esses cenários diferem entre si com relação à distância máxima de atendimento, a qual variou entre 60, 90 e 120 km, e com relação à observância ou não da inclusão de microrregiões de saúde.

Ao analisar os resultados, observa-se, como esperado, que ao aumentar a distância máxima de atendimento, a cobertura de exames também aumenta, bem como a quantidade de localidades atendidas. Em particular, ao aumentar a distância máxima de atendimento para 90 km, há um acréscimo expressivo na cobertura de exames, sendo que apenas 22% das localidades atendidas superam os 60 km, o que pode justificar sua adoção como limite de distância neste Estado. Observa-se, também, uma distribuição espacial dos mamógrafos mais equilibrada no Estado.

Ainda em relação aos resultados das formulações propostas, verifica-se que com a formulação do PLM contínuo a cobertura é maior. No entanto, em todos os cenários analisados, não foi possível atender a toda a demanda planejada do Estado de Rondônia, de 120.636 exames anuais para o ano de 2020. Essa limitação se deve ao fato de que algumas cidades não possuem infraestrutura para sediar um mamógrafo e estão muito distantes das cidades sedes.

Como trabalhos futuros para sanar esses vazios operacionais, indica-se o estudo da roteirização de unidades móveis de mamografia a fim de atender a esses municípios desassistidos e, como consequência, aumentar a cobertura do Estado e garantir o acesso e a oferta do serviço centrada no usuário. É importante destacar, ainda, a necessidade de também desenvolver um algoritmo meta-heurístico para tratar instâncias maiores do problema, dado que ele é da classe NP-difícil. Por fim, também sugere-se o tratamento multiobjetivo do problema. Uma possibilidade é a inclusão de objetivos como uma cobertura socialmente mais justa de exames por região. Ou seja, haveria um estudo de compromisso entre a maximização da cobertura global e a minimização da diferença entre as coberturas regionais de exames.

Agradecimentos. Os autores agradecem à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Universidade Federal de Rondônia (UNIR), 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 CEX 676/17), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processos 428817/2018-1 e 303266/2019-8) e à Coordenação da Secretaria de Estado da Saúde de Rondônia (SESAU/RO) pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho. Os autores também registram seus agradecimentos aos revisores anônimos pelas sugestões e críticas construtivas que muito contribuíram para melhorar este trabalho.

Referências

- Abreu, G. R. F. e Silva, S. A. L. S. Distribuição geográfica e acesso ao mamógrafo no Estado da Bahia. *Revista Baiana de Saúde Pública*, v. 39, n. 1, p. 88–104, 2015.
- Ahmadi-Javid, A., Seyedi, P. e Syam, S. S. A survey of healthcare facility location. *Computers & Operations Research*, v. 79, p. 223–263, 2017.
- Amaral, P., Luz, L., Cardoso, F. e Freitas, R. Distribuição espacial de equipamentos de mamografia no Brasil. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais (RBEUR)*, v. 19, n. 2, p. 326–341, 2017.
- Barbiani, R., Junges, J. R., Nora, C. R. D. e Asquidamini, F. A produção científica sobre acesso no âmbito do Sistema Único de Saúde no Brasil: avanços, limites e desafios. *Saúde e Sociedade*, v. 23, p. 855–868, 2014.
- Brasil. *Portaria MS/GM nº 95, de 26 de janeiro de 2001, Norma Operacional da Assistência à Saúde – NOAS-SUS 01/01. Dispõe sobre a Regionalização da Assistência à Saúde*, 2001. Departamento de Descentralização da Gestão da Assistência, Secretaria de Assistência à Saúde, Ministério da Saúde. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/regionalizacao_assist_saude.pdf. Acesso em: 14/03/2021.
- Brasil. *Decreto nº 7.508, de 28 de junho de 2011. Regulamenta a lei no 8.080, de 19 de setembro de 1990, que dispõe sobre a organização do Sistema Único de Saúde - SUS, o planejamento da saúde, a assistência à saúde e a articulação interfederativa, e dá outras providências*, 2011. Diário Oficial da União. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/decreto/d7508.htm. Acesso em: 14/03/2021.
- Brasil. *Diretrizes para a detecção precoce do câncer de mama no Brasil*, 2015a. Instituto Nacional do Câncer. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document//diretrizes-deteccao-precoce-cancer-mama-brasil.pdf>. Acesso em: 14/03/2021.
- Brasil. *Portaria nº 1.631 de 1º de outubro de 2015. Aprova critérios e parâmetros para o planejamento e programação de ações e serviços de saúde no âmbito do SUS*, 2015b. Instituto Nacional do Câncer.

Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvsmis/saudelegis/gm/2015/prt1631_01_10_2015.html. Acesso em: 14/03/2021.

Brasil. *Critérios e parâmetros assistenciais para o planejamento e programação de ações e serviços de saúde no âmbito do Sistema Único de Saúde*, 2017. Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Regulação, Avaliação e Controle de Sistemas. Disponível em: <https://bit.ly/3KSHSDB>. Acesso em: 11/03/2022.

Brasil. *Tabnet win32 3.0: CNES - Recursos Físicos - Equipamentos - Rondônia*, 2020. Ministério da Saúde. Disponível em: <https://bit.ly/3u8rS9p>. Acesso em: 21/02/2022.

Campos, M. V., de Sá, M. V. S. M., Rosa, P. M., Penna, P. H. V., de Souza, S. R. e Souza, M. J. F. A mixed linear integer programming formulation and a simulated annealing algorithm for the mammography unit location problem. In: *Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems*. Online Streaming. Scitepress Digital Library: Setúbal, Portugal, 2020. p. 428–439.

Church, R. e ReVelle, C. The maximal covering location problem. *Papers in Regional Science*, v. 32, n. 1, p. 101–118, 1974.

CONASEMS. *Regionalização da saúde: posicionamentos e orientações*, 2019. Conselho Nacional de Secretarias Municipais de Saúde. Disponível em: <https://bit.ly/360JrQB>. Acesso em: 14/03/2021.

Corrêa, V. H. V., Lima, B. J. C., Silva e Souza, P. H., Penna, P. H. V. e Souza, M. J. F. Localização de mamógrafos: um estudo de caso na rede pública de saúde. In: *Anais do L Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro, Brasil. Galoá: Campinas, 2018.

Daskin, M. S. e Dean, L. K. Location of health care facilities. In: Brandeau, M. L., Sainfort, F. e Pierskalla, W. P. (ed.), *Operations Research and Health Care* volume 70 of *International Series in Operations Research & Management Science*, cap. 3, p. 43–76. Boston, MA: Springer, 2005.

Davari, S., Kilic, K. e Naderi, S. A heuristic approach to solve the preventive health care problem with budget and congestion constraints. *Applied Mathematics and Computation*, v. 276, p. 442–453, 2016.

de Sá, M. V. S. M., Rosa, P. M., Paiva, J. N. M., Penna, P. H. e Souza, M. J. F. Localização de mamógrafos: um estudo de caso do Estado do Espírito Santo. In: *Anais do XXVI Simpósio de Engenharia de Produção*. Bauru, Brasil. UNESP: Bauru, 2019.

Dogan, K., Karatas, M. e Yakici, E. A model for locating preventive health care facilities. *Central European Journal of Operations Research*, v. 28, p. 1091–1121, 2020.

Garey, M. R. e Johnson, D. S. *A Guide to the Theory of NP-Completeness*. New York: W. H. Freeman, 1979.

Gu, W., Wang, X. e McGregor, S. E. Optimization of preventive health care facility locations. *International Journal of Health Geographics*, v. 9, n. 1, 2010. PMID: 20298608.

Hakimi, S. L. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research*, v. 12, n. 3, p. 450–459, 1964.

Huff, D. L. Defining and estimating a trading area. *Journal of Marketing*, v. 28, n. 3, p. 34–38, 1964.

IBGE. *Rondônia*, 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 29/06/2021.

INCA. *Estimativa 2020: incidência de câncer no Brasil*, 2019. Instituto Nacional do Câncer. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/publicacoes/livros/estimativa-2020-incidencia-de-cancer-no-brasil>. Acesso em: 14/03/2021.

Lima, L. D., Albuquerque, M. V., Scatena, J. H. G., Melo, E. C. P., Oliveira, E. X. G., Carvalho, M. S. et al. Arranjos regionais de governança do Sistema Único de Saúde: diversidade de prestadores e desigualdade espacial na provisão de serviços. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 35, n. Suppl. 2, p. e00094618, 2019.

Mendes, E. V. *As Redes de Atenção à Saúde*. Brasília (DF): Organização Pan-Americana da Saúde. ISBN 978-85-7967-075-6, 2011.

Mendes, E. V., de Matos, M. A. B., Evangelista, M. J. O. e Barra, R. P. *A Construção Social da Atenção Primária à Saúde, 2ª edição*. Brasília (DF): Conselho Nacional de Secretários de Saúde. ISBN 978-85-8071-063-2, 2019.

OPAS. *Folha informativa – câncer*, 2020. Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS). Disponível em: <https://www.paho.org/pt/topicos/cancer>. Acesso em: 27/04/2021.

Rais, A. e Viana, A. Operations research in healthcare: a survey. *International Transactions in Operational Research*, v. 18, n. 1, p. 1–31, 2011.

Rodrigues, D. C. N., Freitas-Junior, R., Rahal, R. M. S., da Silveira Corrêa, R., Peixoto, J. E., Ribeiro, N. V. et al. Difficult access and poor productivity: Mammography screening in Brazil. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, v. 20, n. 6, p. 1857–1864, 2019.

Rondônia. *Plano estadual de saúde de rondônia 2020-2023*, 2019. Secretaria de Estado da Saúde de Rondônia. Disponível em: <https://www.conass.org.br/wp-content/uploads/2020/11/RO.pdf>. Acesso em: 11/07/2021.

Rosa, D. D., Bines, J., Werutsky, G., Barrios, C. H., Cronemberger, E., Queiroz, G. S. et al. The impact of sociodemographic factors and health insurance coverage in the diagnosis and clinicopathological characteristics of breast cancer in Brazil: AMAZONA III study (GBECAM 0115). *Breast Cancer Research and Treatment*, v. 183, n. 3, p. 749–757, 2020a.

Rosa, P. M., de Sá, M. V. M., Paiva, J. N. M., Penna, P. H. V. e Souza, M. J. F. Análise da localização de mamógrafos em Minas Gerais. In: *Anais do LII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. João Pessoa, Brasil. Galoá: Campinas, 2020b. p. 127627.

Rosa, O. A. S., Rosa, P. M., Paiva, J. N. M., Penna, P. H. V. e Souza, M. J. F. Um algoritmo heurístico baseado em iterated greedy para o problema de roteamento de unidades móveis de mamografia. In: *Anais do LIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. João Pessoa, Brasil. Galoá: Campinas, 2021. p. 139491.

Sanchez, R. M. e Ciconelli, R. M. Conceitos de acesso. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 31, n. 3, p. 260–268, 2012.

Santana, P. *Introdução à Geografia da Saúde: Território, Saúde e Bem-Estar*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra. ISBN 978-989-26-0727-6, 2014.

Sathler, T. M., Conceição, S. V., Almeida, J. F., Pinto, L. R., de Campos, F. C. C. e Miranda Júnior, G. 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*. Blumenau, Brasil. SOBRAPO, 2017. p. 2988–2999.

Souza, M. J. F., Penna, P. H. V., Stilpen, M., Rosa, P. M., Monteiro, J. C. e Lisboa, M. R. Localização de mamógrafos: formulações e estudo preliminar de caso de Rondônia. In: *Anais do LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Limeira, Brasil. Galoá: Campinas, 2019. p. 107698.

Souza, M. J. F., Penna, P. H. V., Moreira de Sá, M. V. S. e Rosa, P. M. A vns-based algorithm for the mammography unit location problem. In: Benmansour, R., Sifaleras, A., e Mladenović, N. (ee.), *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*, cap. 3, p. 37–52. Cham, Switzerland: Springer, 2020.

Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. e Bergman, L. The location of emergency service facilities. *Operations Research*, v. 19, n. 6, p. 1363–1373, 1971.

Verter, V. e Lapierre, S. D. Location of preventive health care facilities. *Annals of Operations Research*, v. 110, n. 1, p. 123–132, 2002.

Viana, A. L. A., Bousquat, A., Melo, G. A., de Negri Filho, A. e Medina, M. G. Regionalização e redes de saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 23, n. 6, p. 1791–1798, 2018.

Zhang, Y., Berman, O. e Verter, V. Incorporating congestion in preventive healthcare facility network design. *European Journal of Operational Research*, v. 198, n. 3, p. 922–935, 2009.

Zhang, Y., Berman, O., Marcotte, P. e Verter, V. A bilevel model for preventive healthcare facility network design with congestion. *IIE Transactions*, v. 42, n. 12, p. 865–880, 2010.

Zhang, Y., Berman, O. e Verter, V. The impact of client choice on preventive healthcare facility network design. *OR Spectrum*, v. 34, n. 2, p. 349–370, 2012.