



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



DIEGO ANDRÉ MULELOS GONÇALVES

Problema de Localização para distribuição de Desfibriladores Externos
Automáticos em uma cidade do interior de Minas Gerais.

OURO PRETO - MG
2021

Diego André Mulelos Gonçalves

Problema de Localização para distribuição de Desfibriladores Externos Automáticos em uma cidade do interior de Minas Gerais.

Monografia apresentada ao Curso de Graduação de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção de Grau de Engenheiro de Produção.

Professor orientador: Aloísio de Castro Gomes Junior

**OURO PRETO – MG
2021**



FOLHA DE APROVAÇÃO

Diego André Mulelos Gonçalves

Problema de Localização para distribuição de Desfibriladores Externos Automáticos em uma cidade do interior de Minas Gerais

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovada em 10 de junho de 2021

Membros da banca

[Doutor] - Aloísio de Castro Gomes Júnior - Orientador(a) (UFOP)
[Doutor] - Helton Cristiano Gomes - (UFOP)
[Doutor] - Lásara Fabrícia Rodrigues- (UFMG)

Aloísio de Castro Gomes Júnior, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/06/2021.



Documento assinado eletronicamente por **Aloísio de Castro Gomes Junior, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/06/2021, às 19:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0180985** e o código CRC **A9ED978E**.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e avó Joana por cuidarem de mim, pelo incentivo e oportunidades.

Aos professores do curso de Engenharia de Produção por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

À turma de Produção 15.2 pelos bons momentos. Em especial Uber, Fogueteiro, Bia, Du e Otávio.

Aos meus amigos de Itabirito Zé, Bruno, Breno e Gustavo.

A vida republicana de Ouro Preto em especial a República Uai Mano.

A Projet pela experiência no mercado de trabalho e amizades duradouras.

Ao MEJ por me encorajar a perseguir meus sonhos.

Aos irmãos republicanos K-labreza, Solkent, Mute, Fogueteiro, Reveion, Pirulito, Kintasseri, JBL e Mia.

Aos colaboradores do CIS-URG Oeste SAMU 192, pela disposição dos dados e conversas. Principalmente, Arthur, Bruno, Dárcio, José Márcio, Larissa, Lobão e Thamara.

À cidade de Ouro Preto por me acolher de maneira tão rara e sincera.

Ventura

ven.tu.ra

sf (lat ventura, de venturu) 1 Fortuna boa ou má. 2 Sorte, acaso, destino. 3 Sorte feliz; felicidade. 4 Fortuna próspera. 5 Risco, perigo. Antôn (acepções 3 e 4): desventura. À ventura: ao acaso, à sorte, à toa. Por ventura: por acaso, talvez.

Resumo

Este trabalho trata o Problema de P-medianas envolvendo Desfibriladores Externos Automáticos, consistindo em definir um conjunto de setores onde os equipamentos serão instalados e projetar quais outros setores serão atendidos por eles. A projeção deve atender certos critérios de otimização, respeitando uma quantidade máxima de cidadãos atendidos pelos aparelhos dado um número predeterminado de unidades e, com estas condições, diminuindo a distância total de deslocamento.

Utilizaram-se duas formulações de programação linear inteira, tendo como objetivo principal minimizar a distância total percorrida pelos possíveis pacientes que necessitem da utilização dos equipamentos DEA.

Na primeira, a restrição quanto ao fluxo de atendimento impede que setores de menor população atendam setores de maior população; enquanto na segunda, esta restrição não está presente. O resultado é demonstrado por meio de grafos contidos em mapas da região estudada. Essas formulações foram aplicadas para resolver o problema de localização de aparelhos DEA no município de Carmo do Cajuru – MG e contribui com o planejamento de distribuição de operações logísticas no setor da saúde pública no Consórcio Intermunicipal de Saúde do Gerenciamento dos Serviços da Região Ampliada Oeste para os Serviços de Urgência. Com base nos resultados, pode-se visualizar como seria possível distribuir os equipamentos em um dos municípios consorciados e observar como o algoritmo aplicado se comporta.

Palavras chave: Saúde Pública; DEA; SAMU; P-mediana; Localização de Facilidades.

Abstract

This work deals with the P-median Problem involving Automated External Defibrillators, consisting in defining a set of sectors where the equipment will be installed and projecting which other sectors will be served by them. The projection must meet certain optimization criteria, respecting a maximum number of citizens served by the devices given a predetermined number of units and, with these conditions, reducing the total distance of displacement.

Two whole linear programming formulations were used, with the main objective of minimizing the total distance covered by possible patients who need the use of AED equipment.

In the first, the restriction on the flow of assistance prevents sectors with a smaller population from serving sectors with a larger population; while in the second, this restriction is not present. The result is demonstrated by means of graphs contained in maps of the studied region. These formulations were applied to solve the problem of locating AED devices in the municipality of Carmo do Cajuru - MG and contribute to the planning of distribution of logistical operations in the public health sector in the for the Management of Services in the Extended West Region Intermunicipal Health Consortium for Emergency Services. Based on the results, it is possible to visualize how it would be possible to distribute the equipment in one of the consortium municipalities and observe how the applied algorithm behaves.

Keywords: *Health Service; AED; EMS; P-median; Facility Location Problem.*

Lista de figuras

Figura 1: Etapas da tomada de decisão	7
Figura 2: Classificação das Ferramentas de PO	8
Figura 3: Sala da regulação médica.	22
Figura 4: Diagrama de Atendimento da Central de Regulação SAMU 192.	23
Figura 5: Mapa representando a macrorregião Oeste de Minas Gerais	25
Figura 6: Tempos de resposta ao atendimento por unidade.	27
Figura 7: Modelos de DEA	29
Figura 8: Agrupamento dos setores censitários.....	31
Figura 9: Mapa representativo do teste nº1. Fonte: Elaborado pelo Autor	34
Figura 10: Mapa representativo do teste nº2 Fonte: Elaborado pelo Autor	34
Figura 11: Mapa representativo do teste nº5. Fonte: Elaborado pelo Autor	36
Figura 12: Mapa representativo do teste nº6 Fonte: Elaborado pelo Autor	37

Lista de tabelas

Tabela 3.1: Conjuntos.....	20
Tabela 3.2: Parâmetros	20
Tabela 3.3: Variáveis.....	20
Tabela 4.1: Relação População/Recursos Humanos	24
Tabela 4.2: Agrupamento por densidade demográfica.....	27
Tabela 5.1: Distância entre setores censitários (em metros).	32
Tabela 5.2: Resultados dos testes CPLEX	33

Lista de abreviaturas e siglas

AHA	<i>American Heart Association</i>
DEA	Desfibrilador Externo Automático
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PLMC	Problema de Máxima Localização
PO	Pesquisa Operacional
RCP	Reanimação Cardiopulmonar Padrão
SAMU	Serviço de Atendimento Móvel de Urgência
SBC	Sociedade Brasileira de Cardiologia
SOBRAPO	Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional
USA	Unidade de Suporte Avançado
USB	Unidade de Suporte Básico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização do Problema	1
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Geral	3
1.2.2	Específicos.....	3
1.3	Justificativa.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Pesquisa Operacional.....	5
2.1.1	Tomada de decisão	5
2.1.2	Ferramentas da Pesquisa Operacional	7
2.2	Problemas de Localização	8
2.2.1	Introduzindo a localização.....	8
2.2.2	Métodos de localização de múltiplas facilidades	9
2.2.3	Problema da P-Mediana e Problema de Máxima Cobertura	10
2.3	Conceituação de Emergência e Urgência	12
2.3.1	Conceito Formal	12
2.3.2	Conceito ampliado.....	12
2.3.3	Avaliação Multifatorial do Grau de Urgência	12
2.3.4	Classificação das urgências em níveis.....	13
2.4	Doenças do coração, RCP e DEA	13
2.4.1	Fibrilação ventricular.....	13
2.4.2	Arritmia	14
2.4.3	Parada cardíaca.....	14
2.4.4	RCP e DEA.....	14
2.5	SAMU.....	15
2.6	Lei do Desfibrilador.....	16
3	METODOLOGIA.....	17
3.1	Levantamento dos dados	17
3.2	Considerações do Problema.....	19

3.3	Modelagem matemática.....	19
3.3.1	Modelo de Localização.....	20
4	OBJETOS DE ESTUDO.....	22
4.1	Regulação SAMU.....	22
4.1.1	Etapas da regulação médica.....	22
4.1.2	Recursos humanos necessários.....	24
4.2	Carmo do Cajuru	24
4.2.1	Números do SAMU na Região Oeste e Carmo do Cajuru	26
4.2.2	População nos setores.....	27
4.3	Equipamentos DEA	29
5	RESOLUÇÃO DO PROBLEMA E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	31
5.1	Agrupamento dos setores censitários	31
5.2	Distância entre setores	32
5.3	Compilação do modelo e Resultados.....	32
6	CONCLUSÕES.....	38
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

Cada segundo é importante quando se trata de situações de emergência. O tempo até alguém ligar para o serviço de emergência local, passar pela primeira triagem, pelo médico regulador, pelo rádio operador, a convocação e condução de uma unidade até o local e atendimento é um fator determinante para a sobrevivência de uma vítima. Quanto tempo leva para uma pessoa ser atendida, em média, na sua cidade? Enquanto todas estas operações ocorrem, o *tic-tac* do relógio não para.

1.1 Contextualização do Problema

Acidentes e emergências cardiovasculares podem acontecer em qualquer lugar e a qualquer momento. Segundo o Cardiômetro, indicador de número de mortes por doenças cardiovasculares no Brasil, criado pela Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC), doenças cardiovasculares são a principal causa de morte no país. Hoje, por volta de 1100 brasileiros virão a óbito por complicações cardiovasculares, segundo o SBC.

Segundo a AHA (*American Heart Association*), a maioria dessas paradas cardíacas ocorre devido fibrilação ventricular. Embora altamente reversível com a rápida aplicação de um desfibrilador, a fibrilação ventricular é fatal em poucos minutos, mesmo quando a ressuscitação cardiopulmonar é realizada imediatamente. Conforme dados publicados pela AHA, a taxa de sobrevivência a uma parada cardíaca em decorrência de fibrilação ventricular, em ambiente extra-hospitalar, em 2015, foi de 10,6% quando a vítima está sozinha e 31,4% na presença de uma testemunha.

Desenvolvimentos recentes nas tecnologias de desfibrilador externo automático (DEA) forneceram um meio de aumentar a taxa de desfibrilação imediata após uma parada cardíaca fora do hospital. Após um treinamento mínimo, o pessoal não médico (síndicos de prédios, representantes da comunidade, igrejas e trabalhadores) pode usar desfibriladores no local de trabalho, salvando vidas efetivamente.

No Brasil não existe a “Lei do Bom Samaritano”¹ ou semelhante, que protege as pessoas que prestam assistência de emergência voluntária às vítimas de qualquer tipo de acidente, proporcionando imunidade contra responsabilidades civis. A dada Omissão de Socorro (art.

¹ A Lei do Bom Samaritano, criada nos Estados Unidos da América, oferece proteção jurídica na forma de isenção de ações judiciais e de responsabilidade, atuando como salvaguarda de quem ajuda o outro em real situação de emergência, vida ou morte.

135, CP) prevê pena de detenção, de um a seis meses, ou multa para quem “deixar de prestar assistência, quando possível fazê-lo sem risco pessoal, à criança abandonada ou extraviada, ou à pessoa inválida ou ferida, ao desamparo ou em grave e iminente perigo; ou não pedir, nesses casos, o socorro da autoridade pública.”

A ideia do atendimento em ambiente extra-hospitalar, por meio de deslocamento de equipe e recursos materiais, tem sua origem no final do século XVIII, quando Dominique Larrey, cirurgião da Grande Armada de Napoleão observou que era capaz aumentar a chance de sobrevivência de um combatente se fosse capaz criar uma maneira de levar atendimento prévio ainda em campo de batalha. Criou-se, assim, a “ambulância”. No século XIX, em Nova Iorque, a estrutura de uso das ambulâncias para assistência médica extra-hospitalar tomou forma e retornou à Europa, onde foi acolhido pelos franceses e incorporado o conceito de regulação médica.²

Assim, surge o SAMU (do francês, *Service d'Aide Médicale d'Urgence*), idealizado na França em 1986 e normalizado no Brasil em 2004 de acordo com o Decreto da Presidência da República nº 5.055, de 27 de abril de 2004. O Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU 192) acolhe pedidos de ajuda médica de cidadãos acometidos por agravos agudos à sua saúde, de natureza clínica, psiquiátrica, cirúrgica, traumática, obstétrica e ginecológica, com acesso telefônico gratuito, pelo número nacional 192.

De acordo com McLay e Mayorga (2010), os serviços móveis de emergência são avaliados pela eficácia com que respondem e realizam cuidados para chamadas de parada cardíaca devido a disponibilidade de tratamento efetivo, o tratamento ser altamente dependente do tempo, ajuda da comunidade (via ressuscitação cardiopulmonar, desfibrilação, entre outros) para potencializar a chance de sobrevivência da vítima e se o sistema é capaz de suprir a demanda. Os mesmos elementos produzirão resultados para outras condições de vida ou morte, como lesão traumática grave ou acidente vascular cerebral (STIEL et al., 1999). McLay e Mayorga também atentam para a queda de eficiência nos atendimentos em zonas rurais ou locais afastados das bases de atendimento.

Com a sua central de atendimento em Divinópolis-MG, CIS-URG Oeste (Consórcio Intermunicipal de Saúde do Gerenciamento dos Serviços da Região Ampliada Oeste para os Serviços de Urgência), tendo como finalidade desenvolver, em conjunto, ações e serviços de

² Brasil. Ministério da Saúde. **Regulação médica das urgências**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005.

saúde no âmbito do Sistema único de Saúde (SUS), especialmente no que tange ao gerenciamento dos serviços de urgência e emergência da Região Ampliada Oeste constituída de 54 municípios consorciados. Com população estimada em aproximadamente 1,5 milhão de habitantes. O Consórcio conta com a aquisição de 31 ambulâncias (24 USBs e 7 USAs)³ distribuídas em 24 bases, conforme as especificações contidas na Portaria GM/MS n.º 2.657, de 16 de dezembro de 2004 (BRASIL, 2004a).

No período entre janeiro de 2018 e julho de 2020 foram registradas 605.633 ligações, das quais 144.319 (23,85%) resultaram em saídas das unidades para atendimento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

A partir de um modelo matemático baseado no Problema da P-mediana, determinar localizações ótimas para implementação de desfibriladores externos automáticos (DEA) em uma cidade no interior do estado de Minas Gerais.

1.2.2 Específicos

- Detalhar funções e obrigações do SAMU, principalmente, a regulação médica;
- Formular modelo matemático baseado no Problema da P-mediana;
- Identificar número de equipamentos necessários para atender a demanda municipal pelos equipamentos e realizar breve estudo de viabilidade econômica para aquisição dos equipamentos;
- Avaliar importância da inserção de novas ferramentas para o auxílio no suporte básico à vida.

1.3 Justificativa

Como veremos nos capítulos a seguir, nem sempre o socorro para atendimentos de urgência chega rápido. O tempo entre uma crise cardíaca e o tratamento apropriado pode definir se um paciente sobreviverá ou terá futuras sequelas.

³ Popularmente chamadas apenas de “Ambulância”, Unidade de Suporte Básico (USB) ou Unidade de Suporte Avançado (USA) são denominações para os veículos do SAMU em atendimento.

Pensando nisso, deve-se pensar em alternativas para otimizar os tratamentos em casos de fibrilação cardíaca. Aparelhos desfibriladores externos automáticos (DEA) são uma solução viável para atender casos de fibrilação cardíaca, principalmente em casos onde quem pode socorrer não possui muita instrução médica. Os aparelhos são projetados de forma intuitiva a ponto de praticamente qualquer um ser capaz de utilizá-los.

Outro ponto importante é a distribuição destes aparelhos. A ferramenta utilizada para calcular o posicionamento por meio das p-medianas pode potencializar a taxa de sobrevivência em casos de fibrilação cardíaca uma vez que os aparelhos estarão melhor dispostos para uso da população em casos de emergência.

1.4 Estrutura do Trabalho

A presente monografia é dividida da seguinte forma. O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura a respeito da Pesquisa Operacional, tal como suas ferramentas e processos de tomada de decisão e, também, introduz o conceito de localização e problemas de localização de instalações múltiplas como Máxima cobertura e P-medianas. Ainda no segundo capítulo, é apresentado o conceito de emergência, doenças do coração, métodos e aparelhos para auxílio em casos de fibrilação e o Samu. O objetivo principal deste capítulo é aprofundar os conceitos que serão discutidos e auxiliar a compreensão do leitor quanto o assunto abordado.

Já no terceiro capítulo, é apresentada a modelagem matemática, o levantamento dos dados e as considerações do problema que serão aplicados no objeto de estudo, ou ambiente de possível aplicação do trabalho, dados no capítulo 4.

O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos pela modelagem no capítulo 3 e as análises destes resultados. O sexto capítulo apresenta as conclusões do trabalho, reflexões sobre o tema e sugere caminhos futuros para novos estudos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pesquisa Operacional

A Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO) resume Pesquisa Operacional (PO) como a área de conhecimento que estuda, desenvolve e aplica métodos analíticos e matemáticos avançados para o auxílio na tomada de decisões. Ou seja, tem foco na resolução de problemas reais utilizando métodos de tomada de decisões baseados em modelos matemáticos lógicos.

Taha (2008), Andrade (2009) e Belfiore e Fávero (2013) comentam o surgimento da PO na Inglaterra durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945) para solução logística e táticas de estratégia em operações militares. A primeira atividade formal do estudo, assim, foi dada pela convocação de cientistas para resolução de problemas, envolvendo a aplicação dos recursos em manutenção e inspeção de veículos, táticas de bombardeio, dimensionamento de frota, entre outros.

O que antes era um estudo militar, hoje é de domínio na comunidade acadêmica e nas organizações. E os desenvolvimentos na área da PO nas últimas décadas foram potencializados pela difusão dos computadores com processadores mais potentes para desenvolver os cálculos de maior complexidade.

Hillier e Lieberman (2015) destacam dois principais pontos para o sucesso da PO e seu crescimento veloz nas últimas décadas: técnicas avançadas, como o método *simplex* para resolver problemas de programação linear, desenvolvido por George Dantzig em 1947; e outro ponto crucial foi a revolução computacional. A habilidade dos computadores, em realizar cálculos milhões de vezes mais rápidos e precisos que um ser humano, foi um grande avanço para a PO.

2.1.1 Tomada de decisão

Dado que a tomada de decisão é o ponto crucial dentro da Pesquisa Operacional, é necessário verificar diferentes posições acerca do tema. Peter Drucker (2002) define decisão como desenvolvimento do raciocínio com foco na escolha entre diferentes cursos de ação onde, raramente, existe o certo e o errado. Shimizu (2006) entende que não se pode pensar em apenas uma melhor decisão para o momento, mas, também conhecer demais alternativas. E Choo

(1998), destaca a busca das pessoas em encontrar resultados satisfatórios, no geral, e não o melhor resultado.

Liczbinski (2002) destaca fatores internos e externos ligados à tomada de decisão. Pode-se destacar, entre eles: ambiente; risco e incerteza; custo e qualidade requerida pelo produto ou serviço; agentes tomadores de decisão; cultura organizacional e o próprio mercado.

Ainda existem profissionais e executivos que tomam decisões sem qualquer embasamento teórico ou prático. A Pesquisa Operacional fornece um caminho prático e objetivo para buscar auxiliar ao máximo a tomada de decisões e, formular o problema da melhor maneira, é imprescindível.

2.1.1.1 Modelagem para a tomada de decisão

O processo de modelagem (ou modelo) surge a partir da representação de um sistema real simplificado considerando as principais variáveis que interferem no processo observado. Segundo Lisboa (2009), através de um modelo, pode-se reproduzir o sistema real a fins de análise e aumento da produtividade ou definir uma estrutura ideal para algum sistema futuro.

Belfiore e Fávero (2013) determinam que um modelo é composto por três elementos principais, sendo eles: as variáveis de decisão e parâmetros; função objetivo; e restrições.

As variáveis de decisão são valores a serem atribuídos para a solução do modelo. Elas podem ser contínuas, discretas ou binárias. Variáveis contínuas podem assumir qualquer valor em um intervalo de números reais. As discretas atribuem valores inteiros, como provenientes de qualquer contagem. As binárias podem assumir apenas dois valores possíveis, 1 (quando a característica está presente) ou 0 (caso contrário). Os parâmetros são valores fixos previamente conhecidos.

As funções objetivo são funções matemáticas que determinam o objetivo a se alcançar, podendo ser classificadas como maximização ou minimização.

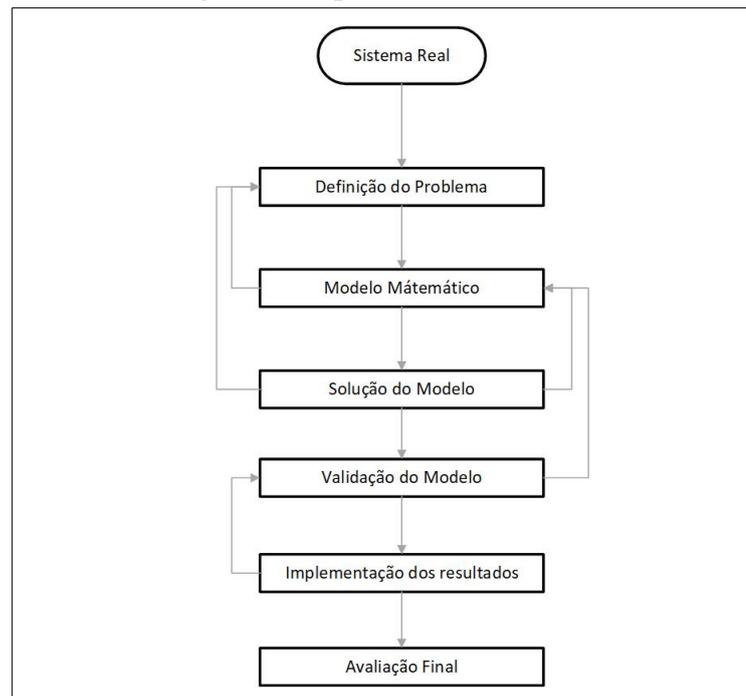
As restrições são um conjunto de equações que o modelo deve satisfazer. A função das restrições é limitar o espaço de possibilidades dentro de um modelo para obter resultados mais precisos.

2.1.1.2 Processo de modelagem e resolução de problemas

Belfiore e Fávero (2013) sequenciam as etapas da tomada de decisão conforme apresentado na Figura 1. Através dela, pode-se visualizar as etapas divididas em: definição do problema, onde são definidos os objetivos, possíveis caminhos e limitações; construção do

modelo matemático composto por um conjunto de equações e inequações que procuram otimizar o sistema; solução do modelo a partir da identificação do método mais adequado; validação do modelo a partir da análise dos resultados; implementação dos resultados; e avaliação final. Esta é a ordem natural do processo de tomada de decisão, porém ocorrem certos desvios caso alguma etapa não apresente os resultados esperados ou seja identificado algum problema, necessitando retroceder algum passo.

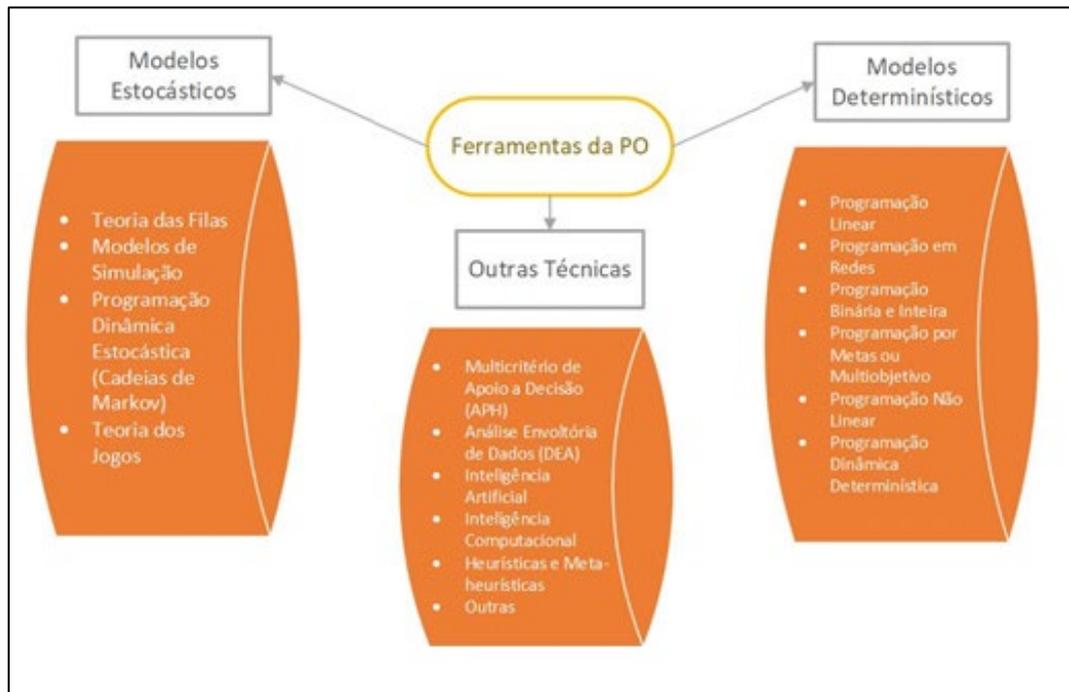
Figura 1: Etapas da tomada de decisão



Fonte: Belfiore e Fávero, 2013

2.1.2 Ferramentas da Pesquisa Operacional

Ferramentas foram desenvolvidas para que seja possível realizar estudos na área da Pesquisa operacional já que é um campo de estudo onde vários temas diferentes podem ser abordados e, por consequência são muitas as peculiaridades e níveis de complexidade de cada um. Eom e Kim (2006), propuseram uma classificação das ferramentas de PO conforme a Figura 2. São classificados como modelos determinísticos aqueles em que das variáveis envolvidas na formulação são constantes e conhecidas, resultando em uma única solução exata. Os modelos estocásticos utilizam uma ou mais variáveis aleatórias e buscam analisar possíveis cenários a partir de uma gama de soluções. Além destes modelos, existem outras novas técnicas advindas do desenvolvimento computacional.

Figura 2: Classificação das Ferramentas de PO

Fonte: Eom e Kim, 2006. Elaborado pelo autor.

2.2 Problemas de Localização

2.2.1 Introduzindo a localização

Haddad (2005) comenta que autores como Weber (1909), Hotelling (1929) e Moses (1958) foram pioneiros no assunto referente a problemas de localização. Em resumo, a proposta de Weber se atenta à vantagem geográfica como principal fator para otimização do lucro para uma empresa e, assim, a empresa mais próxima do mercado teria maior lucro. Em paralelo a esta afirmação, pode-se relacionar o lucro à diminuição de sequelas ou óbitos e empresas com unidades de saúde.

O modelo de Moses considera, em adição, o processo produtivo de uma firma como uma variável adicional para a maximização do lucro. Para Haddad (2005), a principal diferença entre os três autores clássicos está no fato de Hotelling se atentar à localização da produção dos bens com peso maior que os outros dois autores, que focaram mais nos parâmetros do mercado e distância do consumidor como maior fator competitivo.

Revelle et al. (1970), distingue os objetivos dos setores público e privado ao se tratar de problemas de localização. O setor público se preocupa em garantir o benefício à sociedade ou

diminuir os custos dos serviços oferecidos, enquanto o setor privado prioriza a maximização dos lucros e minimização dos gastos. Dado o setor público, Brown (1994) percebe uma associação positiva entre o tempo de deslocamento de uma ambulância e proporções de casos graves. Com base neste exemplo do serviço de saúde, é possível destacar o fator “acessibilidade” como variável de maior peso ao analisar um problema de localização pautado em serviços públicos.

O termo “problema de localização” se refere à modelagem, formulação, e solução de uma classe de problemas que pode melhor ser descrito como posicionamento de facilidades em dado espaço. Seguindo esta linha, Farahani e Hetmatfar (2009) fundamentam quatro componentes que descrevem os problemas de localização: consumidores já localizados em determinados pontos ou rotas, facilidades a serem alocadas, espaço onde os dois agentes mencionados ocupam, e uma métrica para indicar distancia ou tempo entre os dois primeiros.

Hoje, as formas de avaliar a localização de facilidades mudou drasticamente. A popularização dos computadores e da matemática aplicada tornaram as abordagens mais matemáticas que conceituais. (Ballou, 2006).

2.2.2 Métodos de localização de múltiplas facilidades

Conforme Belfiore e Fávero (2013), os problemas de localização são exemplos de programação binária mista que podem ser modelados, também, como problemas de programação em redes; tendo como objetivo determinar o número de localidades, selecionar os lugares ótimos dentro de um conjunto de locais e a melhor disposição deles para atender demandas com o menor gasto em recursos possível. As subseções seguintes trarão conteúdos breves a respeito de métodos exatos, de simulação e heurísticos.

2.2.2.1 Métodos exatos

Os modelos matemáticos exatos buscam garantir uma solução ótima para problemas de localização. No entanto, exigem tempos de processamento longos e memória da máquina para realização dos cálculos (BALLOU, 2006). A abordagem de múltiplo centro de gravidade é considerada um método exato e pode ser usado no sistema de saúde para definir localidades das bases descentralizadas SAMU 192 pelos consórcios intermunicipais.

A abordagem de múltiplo centro de gravidade é um modelo exato baseado em cálculo que encontra a solução do custo mínimo de transporte para uma instalação intermediária localizada entre os pontos de origem e destino (BALLOU, 2006). O método consiste em

atribuir, aos pontos de origem e destino, localizações arbitrárias. Em virtude disso, são gerados conglomerados de pontos e um novo centro de gravidade é formado para cada conglomerado. Depois de encontrados os novos locais de centro de gravidade, os pontos são reatribuídos a tais localizações e, conseqüentemente, novos conglomerados surgem. O processo se repete até que não seja preciso realizar novas mudanças, porém o método se mostra impraticável em termos computacionais para situações reais por exigir processamento de cálculos combinatórios em proporções impraticáveis. Métodos que utilizam a programação linear inteira combinada como, por exemplo, uma adaptação da *P-mediana* é mais usual para resolver problemas de localização onde o número de facilidades pretendidas é especificado antes da solução.

2.2.2.2 Métodos de Simulação

Segundo Ballou (2006), os modelos de simulação são representações matemáticas de um sistema logístico via teoremas algébricos manipulados em um computador. A probabilidade de sucesso depende da disposição das variáveis pré-definidas, em que o modelo buscará a melhor rede a partir dos resultados das repetições da aplicação do mesmo, dadas diferentes possibilidades de valores em cada variável.

Em outras palavras, a simulação é uma maneira de estudar o comportamento dos sistemas a partir de um modelo a fim de comparação e análise de resultados para tomadas de decisão. Portanto, para problemas de maior complexidade, e, dificuldade de resolução analítica, a simulação é bastante utilizada. (Belfiore e Fávero, 2013).

2.2.2.3 Métodos Heurísticos

Diferente dos métodos exatos, os métodos heurísticos não garantem uma única solução ótima para os problemas, sejam eles de localização, alocação de recursos e outros. A principal vantagem de um método heurístico está em tempos de processamento dos algoritmos menores e a necessidade de memória no computador. A aplicação da solução do problema depende do quão satisfatória ela foi para quem a programou (BALLOU, 2006). Belfiore e Fávero (2013) definem heurística como “procedimento de busca guiada pela intuição, por regras e ideias, visando encontrar uma boa solução”.

2.2.3 Problema da P-Mediana e Problema de Máxima Cobertura

Ainda dentro do universo dos problemas de localização, podemos destacar os problemas das *p*-medianas como um dos problemas clássicos de localização. O objetivo maior das *p*-medianas é determinar os locais de *p* facilidades (medianas) em uma rede de *n* nós e, assim,

minimizar a soma das distancias entre cada n e p mais próxima. (SENNE, 2003). É observada a importância do problema das p -medianas na resolução de problemas práticos como instalação de antenas em uma cidade (LORENA; PEREIRA, 2002), centros de saúde (DASKIN et al., 2005), localização de mamógrafos (CORRÊA et al., 2018) e patrulha policial (WHEELER, 2019).

A formulação mais utilizada para este tipo de problema foi proposta por ReVelle e Swain, em 1974. As variáveis de decisão são definidas da seguinte forma:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o cliente } i \text{ é atendido pela facilidade localizada em } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{se a facilidade é aberta no local } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A seguir, a formulação:

$$\min \sum_{i \in U} \sum_{j \in F} d_{ij} x_{ij} \quad (2.1)$$

Sujeito a

$$\sum_{j \in F} x_{ij} = 1, \forall i \in U \quad (2.2)$$

$$y_j - x_{ij} \geq 0, \forall i \in U, \forall j \in F \quad (2.3)$$

$$\sum_{j \in F} y_j = p \quad (2.4)$$

$$x_{ij} y_j \in \{0,1\}, \forall i \in U, \forall j \in F \quad (2.5)$$

O Problema de Localização de Máxima Cobertura (PLMC) proposto por Church e ReVelle (1974) propõe a solução em determinar a localização de p facilidades em uma rede para cobrir determinada demanda populacional dada uma distância de atendimento. Quando um vértice da rede estiver em uma distância menor ou igual à distância de atendimento (ou serviço), ele é classificado como coberto, e a população associada ao vértice é dada como atendida.

Para simplificar a solução dos problemas do tipo PLMC, em virtude de qualidade dos resultados e tempo de processamento dos computadores, são propostas heurísticas baseadas em técnicas de relaxação. Merecem destaque as técnicas de relaxação lagrangiana, *surrogate*, e também propostas por Church e ReVelle (1970).

2.3 Conceituação de Emergência e Urgência

2.3.1 Conceito Formal

É comum que haja confusão entre os termos “urgência” e “emergência”, quando se trata da saúde. Conforme o Conselho Federal de Medicina (1995), é considerada urgência qualquer evento imprevisto de risco à saúde, cujo acometido necessite assistência médica imediata. Emergência como a constatação médica de condições de risco à saúde que impliquem em risco iminente de vida ou sofrimento intenso, exigindo, assim, atendimento médico imediato.

2.3.2 Conceito ampliado

Segundo Ministério da Saúde (2015), o conceito de urgência pode variar em função de quem a percebe. Para usuários e familiares, pode estar associada a morte iminente e a urgência surge do inesperado. Para o médico, a noção de urgência surge em função do tempo. E para as instituições, a urgência corresponde ao que não pode ser previsto, ou como uma perturbação na organização.

Conforme descrita no dicionário Aurélio (2013), a palavra “emergência” é classificada como “situação crítica; acontecimento perigoso ou fortuito; incidente; situação mórbida inesperada, e que requer tratamento imediato”.

Devido ao número de incertezas e dúvida quanto aos termos, o sistema de saúde passou a utilizar apenas a palavra “urgência” para todos os casos que necessitem cuidados agudos e passou a defini-la em chamados graus de urgência.

2.3.3 Avaliação Multifatorial do Grau de Urgência

Uma fórmula é usada para avaliar o grau de urgência nos serviços de saúde. Onde o grau de urgência é diretamente proporcional à gravidade, quantidade de recursos necessários para tratamento e à pressão social presente na cena e inversamente proporcional ao tempo necessário para iniciar o tratamento. (MINISTERIO DA SAÚDE, 2015)

$$U = \frac{G * A * V}{T} \quad (2.1)$$

Gravidade: definida por meio de perguntas diretas ao paciente ou ao solicitante (até mesmo via telefone).

Atenção: definida pela quantidade de recursos envolvidos no tratamento e é o subfator mais influente em casos de transferências de pacientes.

Valor Social: a pressão social no momento do atendimento pode aumentar o grau de urgência. Possivelmente, a comoção pública pode interferir neste quesito.

Tempo: intervalos de tempo aceitáveis entre o início dos sintomas e o início do tratamento. Quanto menor o tempo exigido, maior a urgência.

2.3.4 Classificação das urgências em níveis

O Ministério da Saúde (2015), a fim de facilitar a comunicação e estabelecimento de prioridades nos atendimentos da rede pública, determinou um sistema de cores onde cada uma corresponde a um nível.

Nível 1 (Vermelho): Indica uma emergência ou urgência de prioridade absoluta. Em casos onde o risco de vida ou perda funcional grave é imediato.

Nível 2 (Amarelo): Urgência de prioridade média. Quando o atendimento médico é necessário, não imediatamente, mas em poucas horas.

Nível 3 (Verde): Urgência de baixa prioridade. Casos onde a urgência é baixíssima e o tratamento pode aguardar várias horas.

Nível 4 (Azul ou preto): Urgência sem prioridade alguma. Por exemplo, quando o médico regulador é capaz de orientar sobre cuidados, medicamentos ou outros procedimentos ainda via telefone.

2.4 Doenças do coração, RCP e DEA

2.4.1 Fibrilação ventricular

A fibrilação ventricular é considerada como o mais sério distúrbio rítmico cardíaco. A desordem elétrica causa tremores (fibrilações) nos ventrículos e impede o coração de bater propriamente. Tal evento impede o coração de bombear sangue, causando parada cardíaca e colapso. Remédios para controle de ritmo cardíaco ou marcapasso reduzem o risco de fibrilação ventricular. (AHA, 2016)

2.4.2 Arritmia

A arritmia ocorre quando há alterações na frequência e no ritmo cardíaco. Pode ser causada por hipertensão, diabetes, colesterol alterado, tabagismo e sedentarismo. Os sintomas envolvem palpitações, desmaios e tonturas. O tratamento imediato pode envolver o uso de um desfibrilador. A arritmia pode provocar uma parada cardíaca, interrompendo o processo de circulação do sangue e levando o paciente a óbito (SBC, 2016)

O termo “arritmia” se refere a qualquer mudança na sequência normal de impulsos elétricos. Os tipos de arritmia incluem fibrilação atrial ou ventricular, braquicardia, contração prematura, taquicardia, além de outras desordens. Um episódio de arritmia pode ocorrer quando o marcapasso natural do coração desenvolve uma frequência ou ritmo anormal, a via de condução normal é interrompida ou outra parte do coração assume o papel de marca-passo (AHA, 2016)

2.4.3 Parada cardíaca

Muitas vezes, a parada cardíaca é confundida com ataque cardíaco (ou infarto). Em termos gerais, o infarto ocorre em decorrência da morte do tecido muscular devido a insuficiência de suprimento sanguíneo, enquanto uma parada cardíaca é diagnosticada por uma perda funcional cardíaca súbita. A parada cardíaca é um problema “elétrico”. Portanto, o tratamento imediato envolvendo o uso de DEA e prática da RCP potencializa a chance de sobrevivência consideravelmente (AHA, 2017).

2.4.4 RCP e DEA

A Reanimação Cardiopulmonar Padrão (RCP) é um procedimento com objetivo em estabilizar o sistema cardiopulmonar de uma pessoa através de compressões no tórax. Por ser de fácil execução, a técnica pode ser facilmente aprendida por leigos e garantir maior probabilidade de sobrevivência das vítimas assistidas (SBC, 2019).

Comumente encontrado em locais públicos de alta circulação, o Desfibrilador Externo Automático (DEA) é responsável por reanimar pessoas em casos de desfibrilação ventricular. O aparelho detecta arritmias e fornece um choque elétrico para corrigir o ritmo cardíaco. Pode ser crucial para garantir a sobrevivência.

O uso de DEAs e prática da RCP devem ser exercidos por pessoas qualificadas. A *American Heart Association* (AHA) e a Cruz Vermelha são órgãos capacitados para disponibilizar cursos aos socorristas.

2.5 SAMU

O serviço de atendimento móvel de urgência (SAMU) é um serviço de saúde brasileiro, subordinado ao ministério da saúde, destinado ao atendimento e resgate de pacientes em situações de urgência e emergência. Portanto, é imprescindível o estudo de como uma unidade ou consórcio SAMU 192 opera. A seguir, será apresentado um panorama geral sobre o SAMU 192.

Conforme contido nos arts. 1º e 2º do Decreto nº.5.055 de 27 de abril de 2004, é decretado que:

Fica instituído, em Municípios e regiões do território nacional, o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência - SAMU, visando a implementação de ações com maior grau de eficácia e efetividade na prestação de serviço de atendimento à saúde de caráter emergencial e urgente. (BRASIL, 2004c, Art. 1)

Para fins do atendimento pelo SAMU, fica estabelecido o acesso nacional pelo número telefônico único – 192, que será disponibilizado pela ANATEL exclusivamente às centrais de regulação médica vinculadas ao referido Sistema. (BRASIL, 2004c, Art.2)

Após identificação e recebimento das chamadas, um médico regulador é responsável por classificar o nível da urgência e define quais serão os recursos alocados para o atendimento da emergência. Após a chegada na cena, o enfermo é conduzido a uma unidade de serviço mais qualificada, caso necessário, ou não, mas sempre garantindo a continuidade do atendimento previamente prestado pelo SAMU.

São atributos gerais do serviço de urgência a regulação médica do sistema de urgência, a cobertura de eventos de risco ou acidentes com múltiplas vítimas, capacitação de recursos humanos através de oficinas e treinamentos, e ações educativas para a comunidade que podem auxiliar na prevenção de riscos.

Para garantir o funcionamento da unidade, a equipe de regulação é formada por médicos reguladores para orientar as operações socorristas, telefonistas auxiliares de regulação médica para atender as solicitações e, após feita a primeira triagem e identificação dos dados, passar a ligação para o médico regulador de maneira mais detalhada possível. O rádio operador é responsável por manter a comunicação entre as Centrais de Regulação e as equipes e frotas. A frota é composta por vários tipos de ambulâncias, mas neste trabalho somente são necessárias

as Unidades de Suporte Básico (USB) e Unidades de Suporte Avançado (USA) diferidas pelos equipamentos contidos em cada viatura e equipe. Uma USB conta com dois tripulantes, sendo um condutor socorrista e um técnico ou auxiliar de enfermagem, enquanto uma USA contém três profissionais, sendo um condutor socorrista, um enfermeiro e um médico.

Conforme descrito pelo Ministério da Saúde (2005), as centrais SAMU – 192 contém uma sala de regulação médica, demais dependências como sala de equipamentos, vestiários, refeitório e cozinha, área administrativa, estoque de medicamentos, área para esterilização de materiais, garagem para viaturas, área para escoamento da água utilizada no tratamento de desinfecção dos materiais, alojamento para repouso das equipes e expurgo. Também contam com as Bases Descentralizadas que são de suma importância para garantir tempos de respostas mais ágeis e maior qualidade no serviço em regiões de maior extensão territorial.

2.6 Lei do Desfibrilador

O projeto de lei PL 4050/2004 dispõe sobre a obrigatoriedade de equipar desfibriladores cardíacos em locais e veículos de alta circulação. São dados como obrigatórios em estações ferroviárias e rodoviárias, aeroportos, portos, centros comerciais, estádios e ginásios esportivos, hotéis, e outros locais com aglomeração ou circulação superior a duas mil pessoas. Além disso, sede de eventos de qualquer natureza com circulação ou concentração acima de duas mil pessoas também estão sujeitos à lei. (SENADO FEDERAL, 2004).

3 METODOLOGIA

Vergara (2007), classifica os tipos de pesquisa quanto aos fins a que se destina e quanto aos meios de investigação. Seguindo esta classificação a presente monografia enquadra-se quanto aos fins a que se destina como do tipo descritiva e intervencionista. Descritiva por expor características claras e bem delineadas de determinada população ou fenômeno (novos tipos de serviço e quem está sujeito às novas mudanças), para isso envolve técnicas padronizadas e bem estruturadas de coletas de seus dados. E intervencionista por não se satisfazer apenas com a explicação do que se está sendo estudado, mas pretende interferir de alguma forma na realidade, no dia-a-dia do objeto de pesquisa, auxiliando em salvar vidas.

Dada a investigação empírica de possíveis cenários de alocação dos materiais e localização, com auxílio bibliográfico, o presente estudo tem como meio de investigação a experimentação.

A metodologia desta pesquisa consiste, basicamente, em: primeiro, determinar informações necessárias para a construção do modelo matemático, levantamento e tratamento dos dados, definir a abrangência ou área de aplicação do estudo e, em conclusão, colocar em prática o modelo matemático proposto para a solução do problema.

O CIS-URG Oeste é responsável por atender 54 municípios consorciados, divididos em 6 microrregiões, atendendo aproximadamente 1,5 milhão de habitantes. O consórcio disponibiliza 31 viaturas para atendimento na região, mas nem sempre existe uma ambulância disponível próxima a uma ocorrência. A ideia de alocar DEAs em determinadas localidades, e em municípios menores, pode ser uma saída para minimizar parte do problema relacionado à falta ou demora do suporte básico à vida.

3.1 Levantamento dos dados

A etapa de levantamento dos dados consiste em coletar e organizar dados selecionados para realizar a modelagem do problema. Além dos dados municipais coletados a partir do portal online do IBGE, foi consultado o manual da regulação médica disponibilizado pelo ministério da Saúde em 2004.

A respeito do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU), na região pesquisada, foram levantados os seguintes dados:

- Número de atendimentos;
- Classificação das ocorrências médicas;

- Tempos de atendimento, resposta e locomoção das viaturas;
- Atribuições de uma Central de Regulação,

O número de atendimentos destinados ao município de Carmo do Cajuru, tal como informações a respeito da classificação das ocorrências e tempos, foi coletado presencialmente na Central de Regulação do CIS-URG Oeste SAMU 192, em Divinópolis – MG. Os dados foram disponibilizados por funcionários administrativos a partir do sistema operacional de controle do órgão. Após coleta, os dados foram tabelados em uma planilha de Excel para montar tabelas e gráficos destinados a análise dos dados. As atribuições de uma Central de Regulação baseiam-se na Portaria 2.657, de 16 de dezembro de 2004, do Ministério da Saúde. Em acréscimo a tais dados, foram levantadas as seguintes informações a respeito da região de estudo:

- População;
- Quantidade de setores populacionais;
- Área territorial de cada setor censitário;
- Cálculo de densidade demográfica;
- Elaboração do mapa do município;
- Agrupamento de setores em regiões setoriais;
- Distâncias entre os setores censitários;

Os dados da população foram estimados para o ano de 2020 com base no último censo do IBGE de 2010. E, com auxílio da plataforma QGIS®, versão 3.14.16 para elaboração do mapa dinâmico, também foi possível determinar as distâncias entre os setores censitários. Para cálculo de densidade demográfica (hab/ha). Os setores foram agrupados utilizando critério qualitativo com base quantitativa a respeito da densidade demográfica, proximidade e se é um setor classificado como urbano ou rural. Sobre os desfibriladores externos automáticos (DEA), foram levantados os seguintes dados:

- Quantidade de DEAs;
- Obrigatoriedade;
- Tipo de equipamento;
- Valor de unitário;

Não foram obtidas exigências municipais a respeito da quantidade ou necessidade de DEA, nos municípios, pelo DATASUS. No entanto, o PL 4050/2004 explicita a obrigatoriedade de DEA's em ambientes de circulação diária acima de 2.000 pessoas, além de veículos de

transporte com capacidade superior a 100 passageiros. Também são listados locais onde a implementação de DEAs é obrigatória.

Foi estimado, a partir da lei mencionada, no mínimo, um equipamento para abranger cada 2000 habitantes. Assim sendo, seguindo a Fórmula (3.1), a estimativa é que seriam necessários cerca de onze equipamentos. Onde n_{DEA} corresponde ao número necessário de equipamentos dada a população.

$$n_{DEA} = \frac{Pop.}{2000} \quad (3.1)$$

O equipamento utilizado como modelo para os cálculos é o mesmo utilizado hoje pelo SAMU, estimado em R\$ 11.500,00. Assim sendo, o investimento (inv) é dado pelo número de aparelhos pelo custo c_{DEA} de cada um.

$$inv. = n_{DEA} * c_{DEA} \quad (3.2)$$

3.2 Considerações do Problema

Os setores alocados para instalação dos equipamentos devem atender ao movimento quantitativo mínimo estabelecido pelo PL 4050/2004. Assim, o atendimento e prontidão do equipamento deve priorizar a população do local onde está instalado.

O modelo deve considerar o tamanho da população de cada setor, onde uma zona “provedora” tem população maior que as que atende. Um setor sempre aloca seu DEA para outros setores menos populosos e o contrário não se aplica. Não existe um indicador mínimo para definir se um setor pode ser candidato, ou não, para alocação dos equipamentos.

3.3 Modelagem matemática

As localizações ótimas para garantir a cobertura dos equipamentos devem considerar as distâncias entre os setores e o tamanho da população em cada um. Não foi estabelecida uma distância máxima de equipamentos dado que o município é composto por muitas vias rurais de difícil medição e 74,66% da população viver na região central do município.

A alocação dos desfibriladores deve ser baseada em número de habitantes, sempre acima de 2000. As tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 apresentam os conjuntos, parâmetros e variáveis utilizados na formulação do problema.

Tabela 3.1: Conjuntos

Conjuntos	
J	: Setores a serem atendidos
I	: Setores candidatos a receber equipamento

Tabela 3.2: Parâmetros

Parâmetros		Unid.
N	: Número total de setores a serem atendidos	(escalar)
M	: Número de setores candidatos a receber o equipamento	(escalar)
P	: Número de equipamentos a serem instalados	(escalar)
C_{ij}	: Distância para equipamento i atender setor j	(km)
Q_{ij}	: População do setor j	(pessoas)
Q_i	: Capacidade mínima instalada de atendimento do equipamento i	(pessoas)

Tabela 3.3: Variáveis

Variáveis		Unid.
x_{ij}	: 1, se o setor j é atendido pelo equipamento i	(binário)
y_{ij}	: 1, se o equipamento é instalado no setor i	(binário)

3.3.1 Modelo de Localização

O modelo de localização utilizado, desenvolvido por ReVelle et al., tem como objetivo determinar os setores onde os DEAs deverão ser alocados minimizando a distância de deslocamento dos equipamentos em função de um número pré-determinado de equipamentos disponíveis.

A função objetivo (3.3) minimiza a distância de deslocamento entre os setores do município com base na alocação de um determinado número p de aparelhos.

$$\text{Min} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} * x_{ij} \quad (3.3)$$

Garantia de alocação A restrição (3.4) determina o número de aparelhos alocados com base no parâmetro pré-determinado, indicando o número exato de equipamentos a serem alocados.

$$\sum_{i \in I} y_i = p \quad (3.4)$$

Garantia de atendimento As equações (3.5) e (3.6) garantem que cada setor é atendido por apenas um equipamento e asseguram que cada setor só pode ser designado a um equipamento e a capacidade do equipamento deve ser respeitada.

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (3.5)$$

$$\sum_{j \in J} q_j * x_{ij} \leq Q_i * y_i \quad \forall i \in I \quad (3.6)$$

Fluxo de atendimento A restrição (3.7) garante que o atendimento ocorra a partir do setor mais populoso, indo em direção aos de população menor.

$$q_i * x_{ij} \geq q_j * x_{ij} \quad \forall i \in I, \quad j \in J \quad (3.7)$$

Domínio das variáveis As restrições (3.8) e (3.9) apresentam o domínio das variáveis do modelo.

$$x \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \quad j \in J \quad (3.8)$$

$$y \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (3.9)$$

4 OBJETOS DE ESTUDO

4.1 Regulação SAMU

Para ter maior profundidade na compreensão dos serviços prestados pelas plataformas, antes, é necessário compreender como funciona uma central de regulação SAMU 192. A central de regulação é o principal elo entre a vítima e a plataforma, pois, através dela, o sinal será emitido para que alguém nas proximidades do evento possa ser notificado e preste socorro.

A Regulação Médica das Urgências é o processo em que um médico regulador acolhe os pedidos de socorro recebidos pela central, estabelece uma estimativa inicial do grau de urgência do caso, identifica a solução mais viável para o atendimento, monitora a urgência até o fim do tratamento assegurando a disponibilidade dos recursos necessários para o atendimento efetivo. Em outras palavras, a central de regulação é responsável por receber o chamado, identificar as necessidades da vítima e alocar e disponibilizar os recursos necessários para o tratamento.

A Figura 3 apresenta a disposição panorâmica da sala da central de regulação médica do CIS-URG Oeste SAMU 192 em Divinópolis-MG. É possível notar, à esquerda, a tela de monitoramento de frotas, onde é possível visualizar em tempo real o posicionamento e situação de cada viatura. Ao centro, os auxiliares técnicos e, no canto direito, a presença dos médicos reguladores.

Figura 3: Sala da regulação médica.

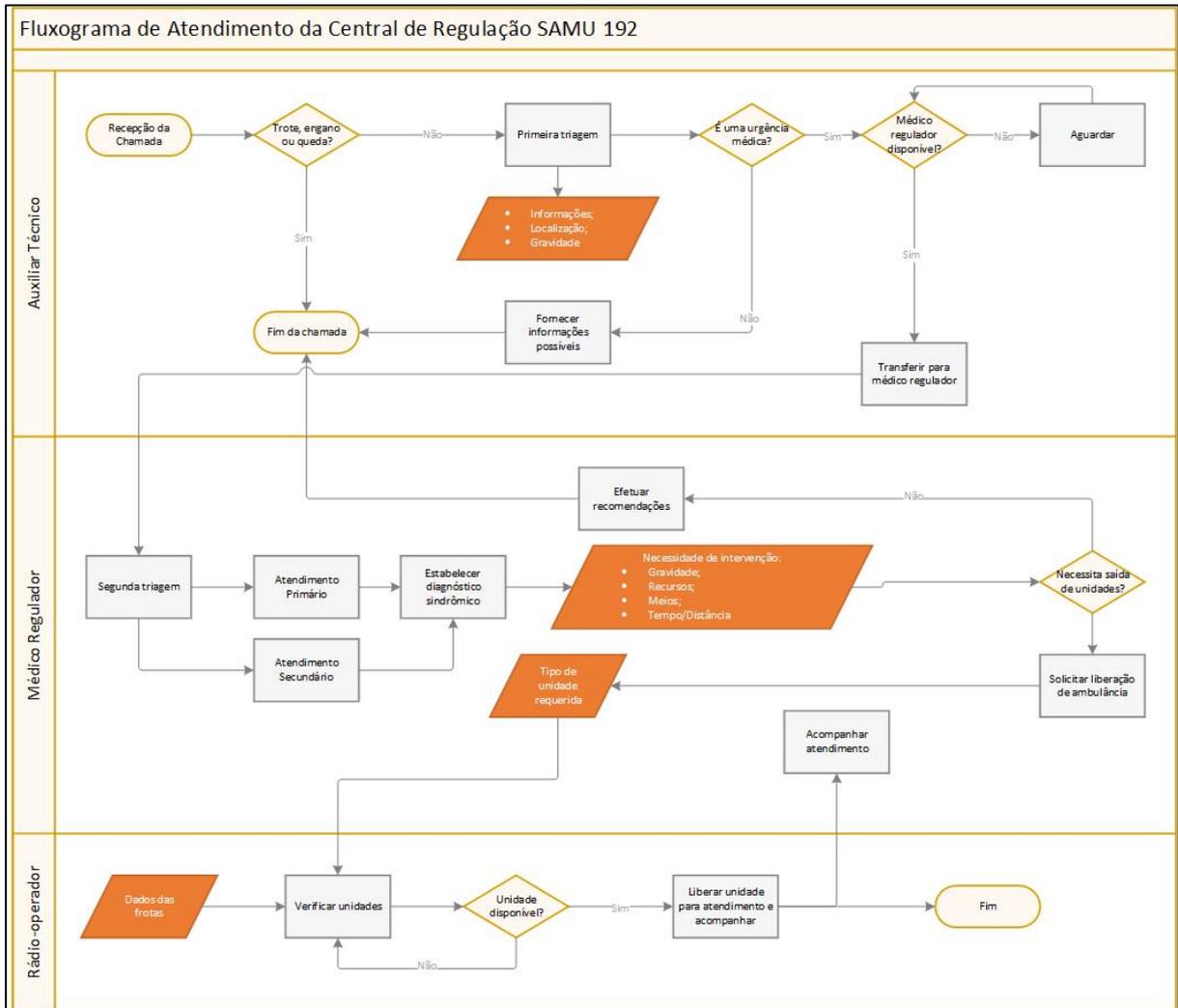


Fonte: Autor

4.1.1 Etapas da regulação médica

O diagrama ilustrado na Figura 4 abaixo ilustra as etapas da regulação médica.

Figura 4: Diagrama de Atendimento da Central de Regulação SAMU 192.



Fonte: Elaborado pelo autor em Bizagi™

A primeira etapa é a recepção do chamado, consistindo nas orientações gerais para o recebimento das chamadas. Primeiro, é necessário que o auxiliar técnico, ao receber a chamada, realize a recepção inicial coletando dados a respeito da localização do solicitante, natureza do evento e identifique a gravidade do agravo. Após a primeira triagem, a informação deve ser encaminhada para o médico regulador. Em casos de trote, engano, queda de linha ou urgências não médicas, a solicitação é encerrada e a ligação termina sem participação do médico regulador.

A segunda etapa é a abordagem do caso. O médico regulador, ao receber a chamada, realiza a segunda triagem. O médico regulador conduz o interrogatório (preenchimento do relatório sintrômico, em atendimento primário) e julga as informações dadas pelo solicitante. Pode receber, também chamadas de suporte ou transferências por outros médicos (chamado de

atendimento secundário). Após avaliar e ordenar necessidades e melhores recursos disponíveis, o médico regulador entra em contato com o rádio-operador.

A terceira etapa consiste na decisão e acompanhamento da solicitação. Após o pedido do médico regulador, o rádio-operador é responsável por liberar as unidades de socorro. Realiza o controle das frotas e informa ao condutor o melhor itinerário para atender a urgência. Todas as operações levam em consideração fatores como tipo de viatura de urgência, necessidade de atendimento médico *in loco*, possíveis orientações para as equipes de atendimento, condutas, etc. É imprescindível a utilização de ferramentas como mapas do município ou região, protocolos de regulação, entre outros.

4.1.2 Recursos humanos necessários

As Centrais de Regulação Médica de Urgência contam com Médicos Reguladores (MR), Telefonistas Auxiliares de Regulação Médica (TARM) e Rádio-Operadores (RO). A seguir, está presente uma tabela apresentada no Manual de Regulação Médica de Urgências (2004), contendo uma estimativa da quantidade de cada Posto de Trabalho (PT) em função da população atendida.

Tabela 4.1: Relação População/Recursos Humanos

População	MR/dia	MR/noite	TARM/dia	TARM/noite	RO/dia	RO/noite	PT
Até 350.000	1	1	2	1	1	1	4
De 350.001 a 700.000	2	1	3	1	1	1	6
De 700.001 a 1.500.000	3	1	5	2	1	1	9
De 1.500.001 a 2.500.000	4	2	6	3	2	1	12
De 2.500.001 a 3.500.000	5	2	10	3	3	2	18
De 3.500.001 a 5.000.000	6	2	12	3	4	2	22
De 5.000.001 a 6.500.000	7	3	14	4	5	3	26
De 6.500.000 a 8.000.000	8	3	16	4	6	3	30

Fonte: Elaborada pelo autor com base no Manual de Regulação Médica de Urgências, 2004.

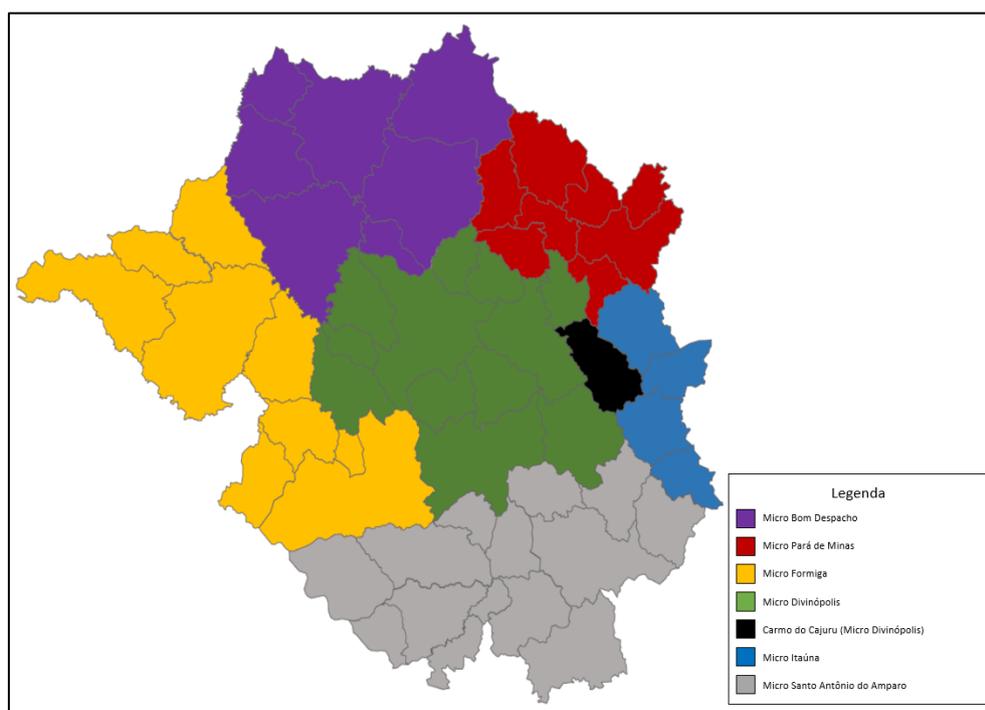
4.2 Carmo do Cajuru

O CIS-URG Oeste é responsável por atender 54 municípios consorciados, divididos em 6 microrregiões, atendendo aproximadamente 1,5 milhão de habitantes. O consórcio

disponibiliza 31 viaturas para atendimento na região, 24 USBs e 7 USAs. O município de Carmo do Cajuru está situado na microrregião de Divinópolis, junto de Araújos, Arcos, Cláudio, Divinópolis, Itapeçerica, Japaraíba, Lagoa da Prata, Pedra do Indaiá, Perdigoão, Santo Antônio do Monte, São Gonçalo do Pará e São Sebastião do Oeste. A microrregião citada, composta por 13 municípios, tem população estimada em 475.351 habitantes (Atlas Brasil, 2015). O consórcio funciona em um sistema de bases descentralizadas. Ou seja, nem todos os municípios possuem viaturas fixas e o serviço sai de outra cidade; Carmo do Cajuru não possui base com viaturas.

Abaixo está representada a macrorregião oeste contendo suas 6 microrregiões e o Município de Carmo do Cajuru destacado em preto.

Figura 5: Mapa representando a macrorregião Oeste de Minas Gerais



Fonte: Elaborado pelo Autor

O município de 455mil m² tem população estimada em 22.257 habitantes (2018), 4,68% da população da microrregião de Divinópolis. Conforme o Censo de 2010, o IDH municipal é 0,710 e está abaixo da média mineira e brasileira. 7,84% da população do Município possui idade acima dos 65 anos e a expectativa de vida é estimada acima das médias mineira e brasileira, 76,2 anos (Atlas Brasil, 2013).

4.2.1 Números do SAMU na Região Oeste e Carmo do Cajuru

Entre janeiro de 2018 e julho de 2020, foram notificadas 605.633 ligações pela central de regulação médica. Dessas, 9,11% (55.181) foram consideradas trotes, 14,91% das ligações caíram (90.314) e 40,05% (242.539) resultaram em orientações não médicas. 12,08% dos chamados resultaram em orientações médicas (73.177) e 144.422 vezes (23,85% dos casos) foi necessário o despacho de unidades (USB ou USA) para atendimento e, deste número, cerca de 10% das saídas não resultam em atendimento. Ou seja, em 64,07% das ocorrências não são resultam em casos de urgência médica ou atendimento médico.

Dentre as causas de saídas de unidades das bases, são destacadas: causas pediátricas (1,71%); obstétricas (3,38%); psiquiátricas (4,07%); traumáticas (21,65%); e clínicas (69,19%). Além disso, 35,98% das ocorrências atenderam pessoas com idade superior a 60 anos.

Dos dados específicos a respeito de Carmo do Cajuru, foram registrados 1.170 casos de atendimento médico referentes ao município, sendo em 471 deles, necessária a saída de viaturas para atendimento médico de urgência. De acordo com a classificação de urgência, 4% foram classificadas como “verde” e 67%, “amarelo”. 29% das ocorrências foram classificadas como “vermelho”, ou seja, urgências de prioridade absoluta, em casos onde o risco de vida ou perda funcional grave é imediato.

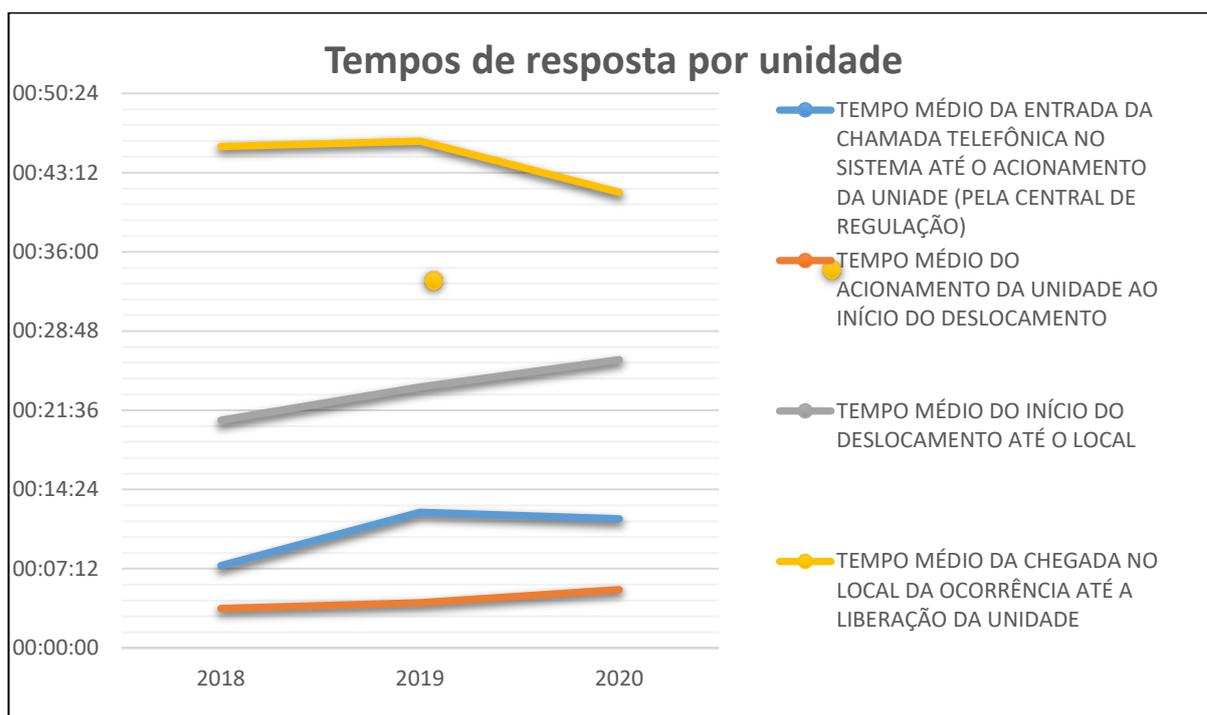
No mesmo período foram registradas 314 ocorrências decorrentes de causas clínicas. 80 delas, relativas a urgências relacionadas a fenômenos cardíacos, onde a utilização de Desfibriladores Externos Automáticos (DEAs) ou aplicação da Reanimação Cardiopulmonar Padrão (RCP).

Caffrey et al. (2002) destacaram a utilidade pública dos desfibriladores externos automáticos em três aeroportos de Chicago-IL. A pesquisa, com duração de dois anos, contou com a instalação de DEAs a uma distância de “30 a 60 segundos de caminhada rápida” um do outro. O estudo concluiu que os desfibriladores foram bem dispostos e apontados e, por isso, capazes de desempenhar sua função com sucesso quando solicitados. Além disso, nos casos onde a vítima sobreviveu, a maioria dos procedimentos foram realizados por pessoas sem treinamento prévio dos dispositivos.

A respeito dos tempos de resposta por unidade, conforme o gráfico presente na Figura 6, o tempo médio que uma unidade levou, entre o primeiro contato com a regulação até chegada definitiva ao local de atendimento, para atendimento da vítima foi de, aproximadamente, 31 minutos em 2018, 40 minutos em 2019 e 43 minutos em 2020. Vale ressaltar que o Consórcio

opera com base no sistema de bases descentralizadas e Carmo do Cajuru é um município que não possui unidades de atendimento do tipo USA ou USB.

Figura 6: Tempos de resposta ao atendimento por unidade.



Fonte: Central de Regulação CIS-URG Oeste SAMU 192

4.2.2 População nos setores

Para a definição dos possíveis locais onde podem ser instalados os DEAs, a Figura 8 e Tabela 4.2 a seguir ilustram a região do município com o número de habitantes em cada setor e a separação utilizada para a resolução dos cálculos de p-medianas.

Tabela 4.2: Agrupamento por densidade demográfica

Class	Densidade demográfica (hab./km ²)		Cod. Setor	População	Rural / Urb
	Limite inferior	Limite Superior			
1	46,64	86,727	1	708	URB
			2	556	URB
			3	561	URB
			4	602	URB
			5	541	URB
			6	549	URB

			8	587	URB
			22	389	URB
			25	616	URB
2	24,287	46,64	7	306	URB
			10	980	URB
			13	741	URB
			14	963	URB
			24	428	URB
			26	462	URB
			27	671	URB
			29	628	URB
3	12,538	24,287	9	638	URB
			11	478	URB
			19	1061	URB
			23	368	URB
			32	380	URB
			38	561	URB
			39	418	URB
			42	531	URB
4	0,069	12,538	12	718	URB
			16	670	URB
			28	655	URB
			30	157	RURAL
			31	426	RURAL
			33	340	RURAL
			34	227	URB
			41	270	URB
5	0,006	0,069	15	175	RURAL
			17	130	RURAL
			18	90	RURAL
			20	186	RURAL
			21	389	RURAL
			35	308	RURAL
			36	7	RURAL
			37	8	RURAL
			40	446	URB

4.3 Equipamentos DEA

O que diferencia um DEA de um desfibrilador comum é a sua mobilidade. Existem diferentes modelos no mercado com variados preços. O importante é eleger o equipamento mais adequado para a situação. Em virtude disso, é necessário analisar o preço e a necessidade de troca de aparelhos já que as pás podem ser descartáveis, ou não.

Por exemplo, utilizado nos aeroportos de Chicago IL, o Modelo E (ForeRunner, Heartstream) oferece uma forma de onda desfibrilatória exponencial bifásica truncada e cerca de 150 joules com cada choque. Um canal único de cristal líquido traçado eletrocardiográfico é exibido em toda a superfície do desfibrilador. (Caffrey et.al, 2002).

Diversas marcas disponibilizam modelos diferentes de DEA. Foram observados três modelos de DEA que poderiam ser implementados no município de Carmo do Cajuru: TOTH Lifecare® 5700 (R\$ 7.500,00), CMOS DRAKE® Life 400 Futura (R\$ 9.500,00) e Heartsine™ Samaritan PAD 350P (R\$ 11.000,00). A Figura 4.5, a seguir, apresenta os 3 modelos, em ordem.

Figura 7: Modelos de DEA



Fontes: <https://pt.heartsine.com/product/p/rest-of-world/350p/>;
<https://www.tothlifecare.com.br/desfibrilador-easyshock>; <https://cmosdrake.com.br/produto/dea-desfibrilador-externo-automatgico-futura/>

Uma vantagem do DEA é ser o mais intuitivo possível para que possa garantir a sobrevivência da vítima e o suporte possa ser prestado por diversos grupos. Até mesmo crianças de cerca de 12 anos são capazes de atender uma vítima de fibrilação cardíaca, com auxílio de um DEA, mesmo sem uma tutoria prévia de uso (Gundry, 1999).

Em vista da facilidade em atender diversos locais públicos, apresentar maior intuitividade por meio de imagens e iluminação, além do preço, o DEA TOTH Lifecare 5700 é

o maior destaque. Porém, o CIS-URG Oeste 192 utiliza o terceiro modelo dentre os apresentados e é selecionado para servir como exemplo.

5 RESOLUÇÃO DO PROBLEMA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

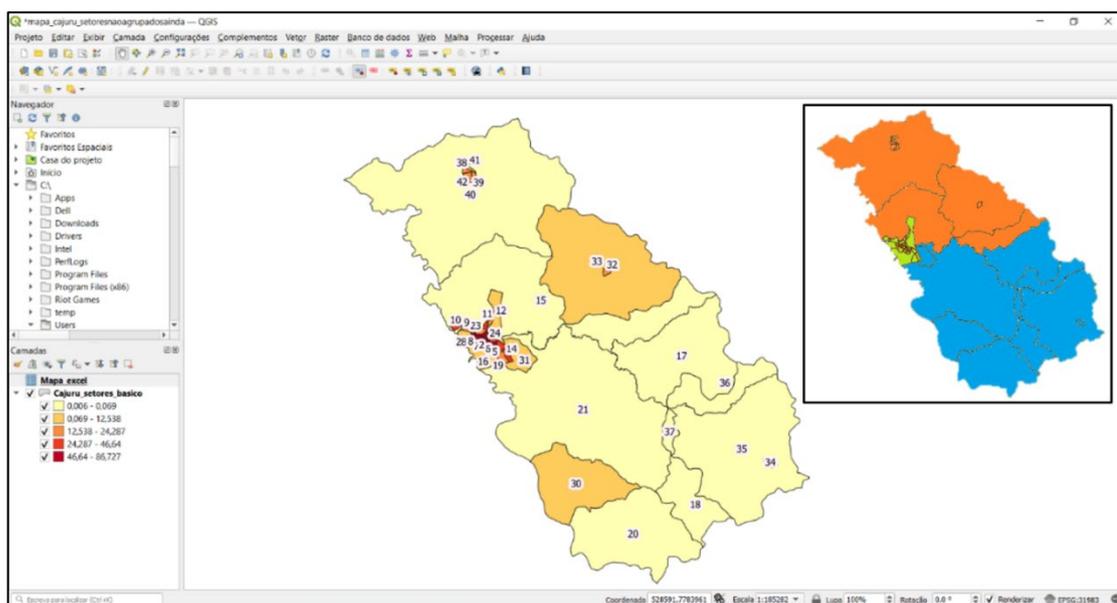
O modelo matemático apresentado foi implementado utilizando a linguagem matemática AMPL™ (AMPL IDE versão 3.6.4) e o solver CPLEX® versão 12.10.0 para a resolução do problema. A execução dos *softwares* necessários para a realização do presente trabalho foi realizada em um computador equipado com processador Intel® Core™ i7-9750H 4.50Ghz, 6 núcleos (12 *threads*), 16 *gigabytes* de memória RAM (DDR4) e sistema operacional Windows™ 10 64 bits.

5.1 Agrupamento dos setores censitários

Com base nos dados tratados a partir do Censo 2010 (IBGE, 2010) extraídos na internet através do portal <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>, foi possível, com auxílio do Programa QGIS™ (versão 3.14.16), separar os setores do município de Carmo do Cajuru em função da densidade demográfica (hab./ha) em 5 grupos. A separação também foi feita aproximando as áreas rurais distantes do centro e outros “polos urbanos” da cidade. Com base nessas aproximações, os setores foram agrupados em 3 regiões.

- Região Azul (1928 habitantes): setores 17; 18; 20; 21; 30; 31; 34; 35; 36; 37.
- Região Laranja (3121 habitantes): setores 15; 32; 33; 38; 39; 40; 41; 42.
- Região Verde (14876 habitantes): 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 16; 19; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29.

Figura 8: Agrupamento dos setores censitários



Fonte: Elaborado pelo autor em QGIS™

O setor 15, por apresentar uma forma irregular, sendo separado em dois e, com o setor 12 praticamente o separando, foram adicionados os setores imaginários 151 e 152 (43 e 44 no modelo) e a população foi dividida igualmente entre eles.

5.2 Distância entre setores

Foram adicionados pontos nos setores do mapa para realizar o cálculo entre suas distâncias e, sem seguida, as distâncias entre os pontos foram exportadas para o Microsoft Office Excel® conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Distância entre setores censitários (em metros).

Table with 51 columns and 51 rows of numerical data representing distances between sectors.

5.3 Compilação do modelo e Resultados

O modelo matemático do solver CPLEX foi inserido no AMPL IDE a fim de verificar quais setores seriam utilizados para instalação dos equipamentos, para qual setor cada um se disponibilizaria e a distância ótima de atendimento.

Esta seção aborda os resultados obtidos para o modelo de localização e instalação de DEAs aplicado para o problema proposto. Foram realizadas variações dos testes alterando a quantidade de equipamentos e a restrição de fluxo, que serão comparadas. Para cada teste foi estipulado um tempo limite de 3600 segundos. A Tabela 5.2 apresenta os resultados de dois cenários obtidos a partir do solver CPLEX, na linguagem AMPL, contendo, ou não, a restrição (3.7).

Tabela 5.2: Resultados dos testes CPLEX

Teste	Restrição	p	n	M	Dist. (m)	gap (%)	tempo (s)
1	c/ restrição	10	44	44	123624	0	102,5
2	s/ restrição	10	44	44	118902	5,17	3600
3	c/ restrição	11	44	44	83619	0	0,55
4	s/ restrição	11	44	44	79935	0	3,25
5	c/ restrição	12	44	44	71650	0	0,44
6	s/ restrição	12	44	44	65487	0	0,92

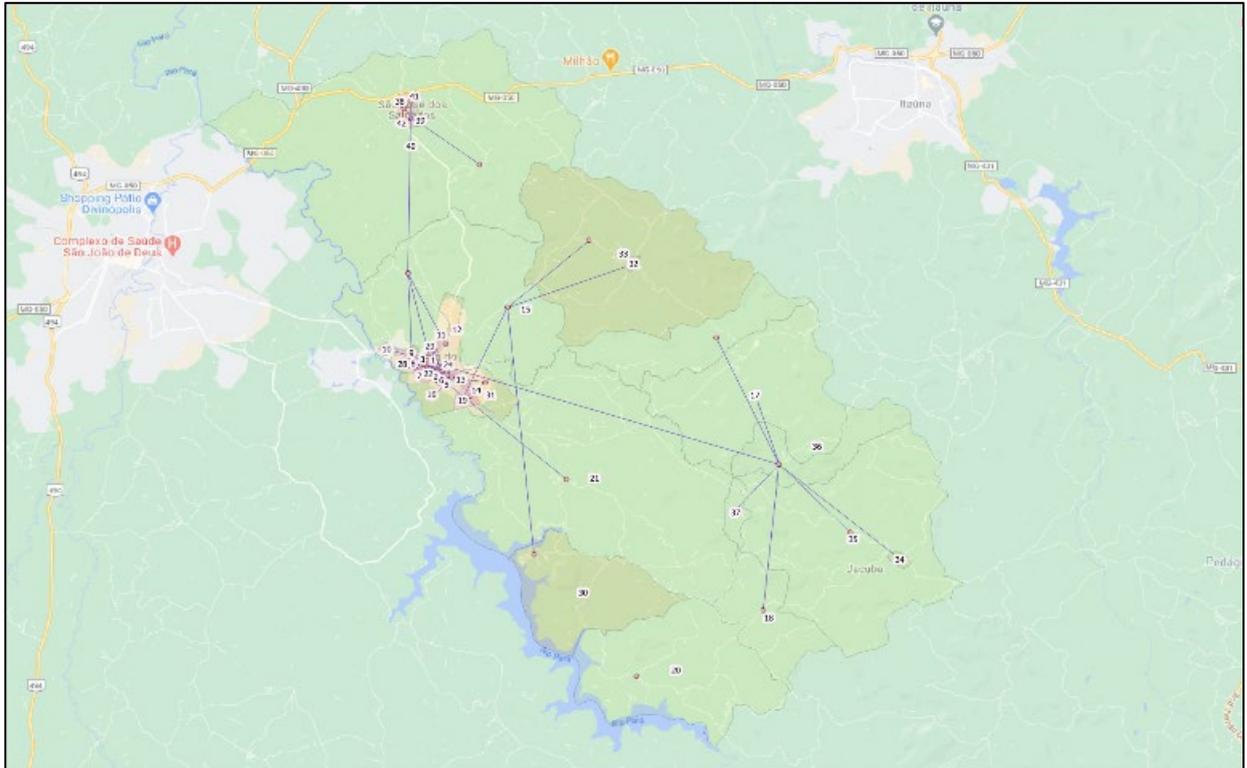
O modelo encontrou respostas apenas para cenários que apresentavam $p \geq 10$. Abaixo desse valor, não encontrou solução ótima (com aplicação da restrição (3.7), ou não).

Pode-se perceber que a distância total de deslocamento entre os setores diminui conforme o aumento de setores a receber um desfibrilador. É possível perceber, também que a restrição (3.7) não minimiza custos, já que são vistas distâncias menores necessárias para suprir as demandas dos setores.

Foi percebido que retirar a restrição (3.7) aumenta a complexidade do cálculo. Para 10 localidades, a lacuna de precisão do método foi de 5,17% em 3600 segundos de processamento. Durante um dos testes com os mesmos parâmetros, o menor *gap* notificado foi de 4,89% em 5.087 segundos e terminou após esgotar a memória disponível no momento (16.315,22 Mb).

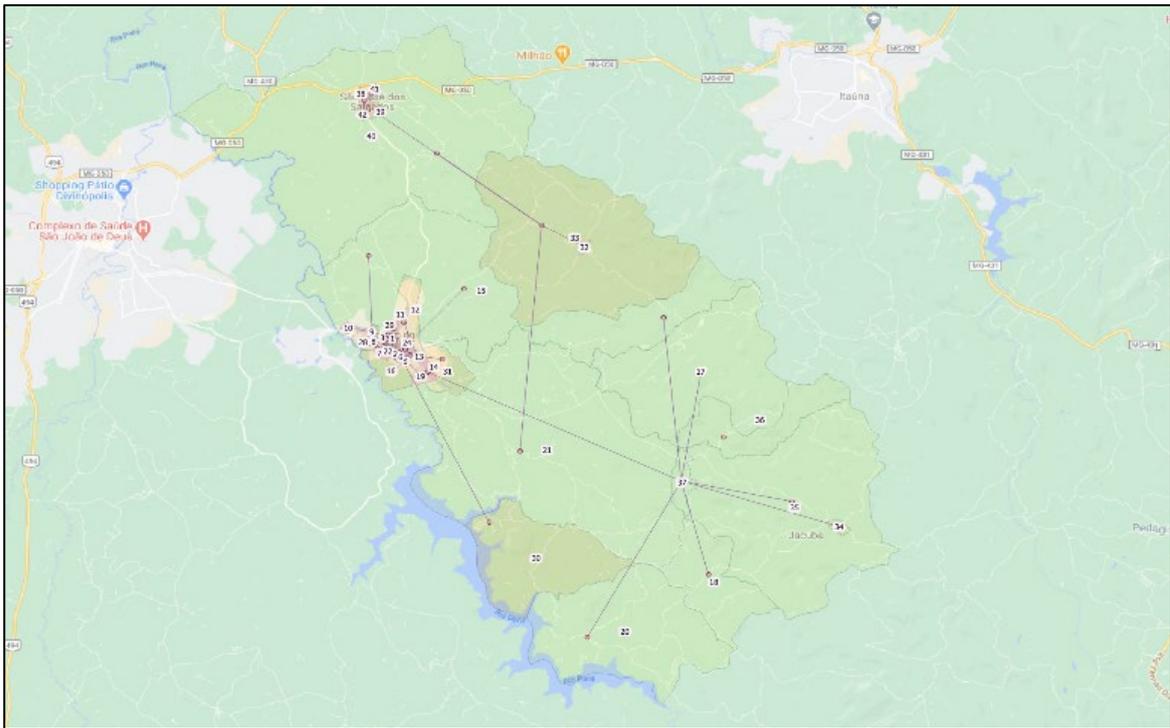
Com base nos dados obtidos, foi possível formar mapas da região representando a configuração da distribuição dos desfibriladores e os vínculos entre setores. Cada setor (y) atende a si e outros setores (x). As Figuras 9-12 ilustram os resultados.

Figura 9: Mapa representativo do teste nº1.
Fonte: Elaborado pelo Autor



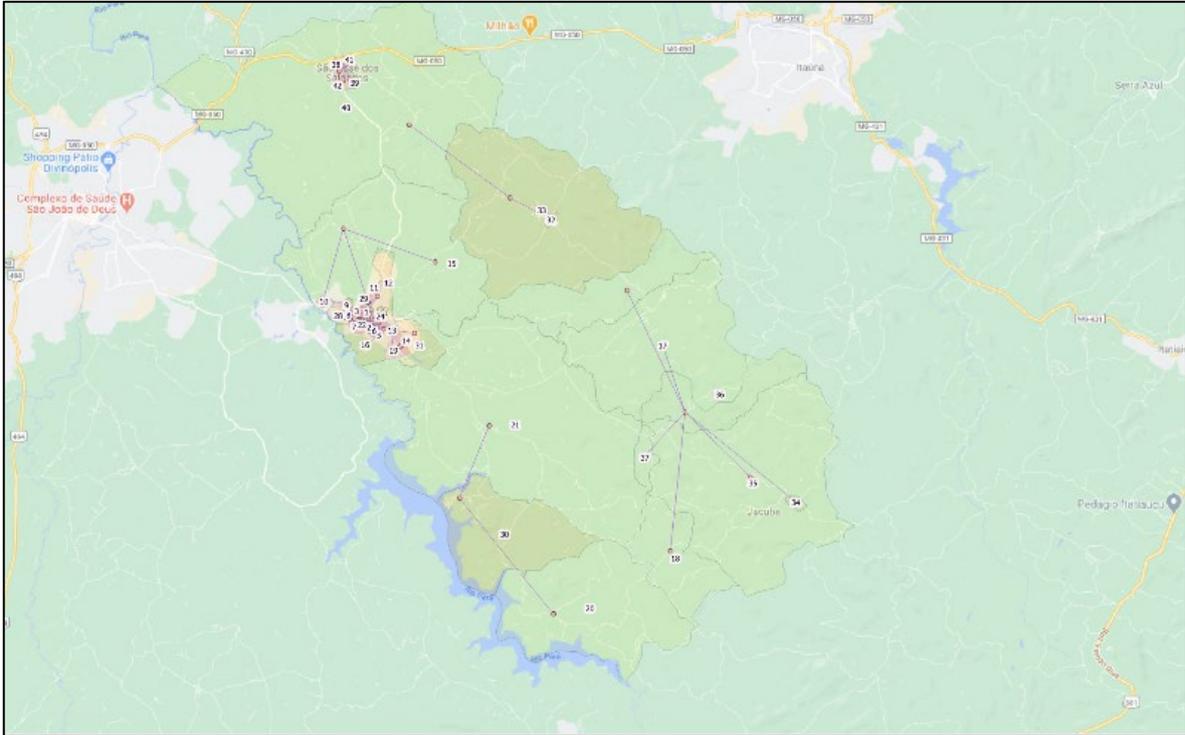
Setor (y)	Setores (x)
5	5;12;13
7	7;23;27;28
15	15;19;30;32;33
22	8;21;22;29
24	3;6;24;26
25	1;16;25
31	4;14;31
36	10;17;18;20;34;35;36;37;43
39	38;39;40;42
44	2;9;11;41;44

Figura 10: Mapa representativo do teste nº2
Fonte: Elaborado pelo Autor



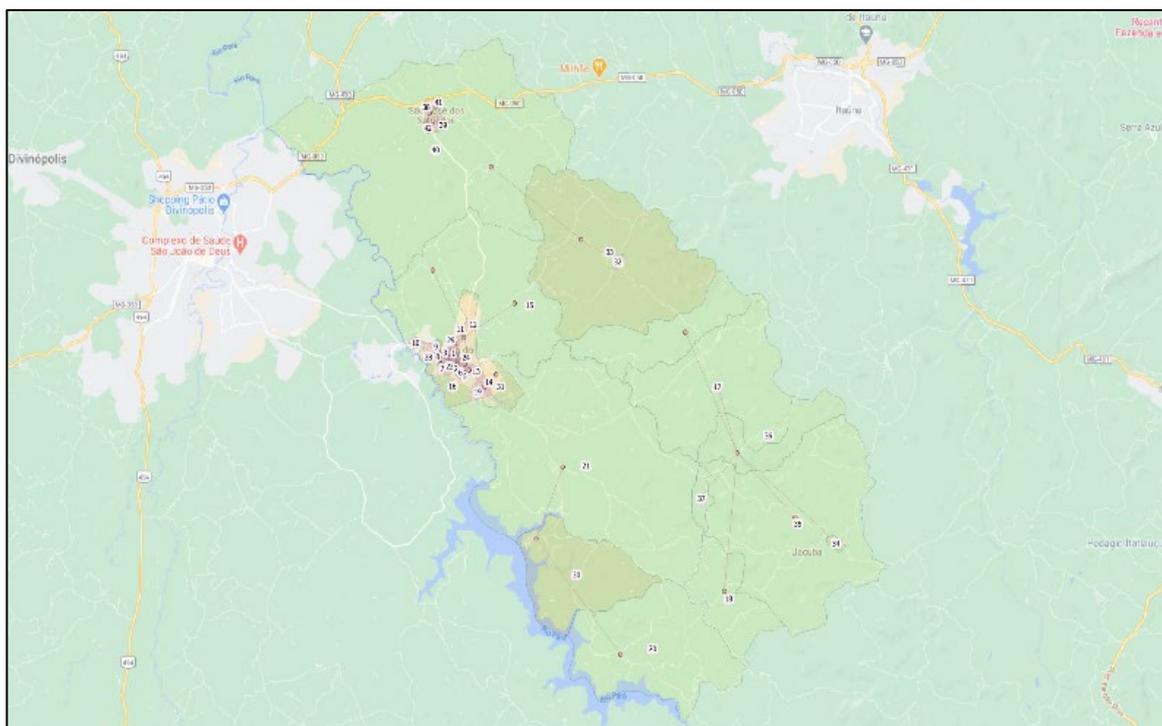
Setor (y)	Setores (x)
4	4;5;24;31
6	6;19;22
9	8;9;10;44
12	11;12;13;15
23	1;23;28;29
25	2;16;25;30
27	3;7;26;27
33	21;32;33;39;40
37	14;17;18;20;34;35;36;37;43
42	38;41;42

Figura 11: Mapa representativo do teste nº5.
 Fonte: Elaborado pelo Autor



Setor (y)	Setores (x)
2	1;2;12
7	7;9;22;28
13	13;19
23	3;8;11;23
24	5;6;24;26
25	16;25;27
30	20;21;30
31	4;14;31
33	32;33;40
36	17;18;34;35;36;37;43
41	38;39;41;42
44	10;15;29;44

Figura 12: Mapa representativo do teste n°6
 Fonte: Elaborado pelo Autor



Setor (y)	Setores (x)
6	2;6;24;26
8	1;8;9
11	11;12;15;29;44
13	13;19
14	4;14;31
22	3;22;23;27
25	5;16;25
28	7;10;28
30	20;21;30
33	32;33;40
36	17;18;34;35;36;37;43
38	38;39;41;42

A partir dos mapas apresentados, pode-se observar como que o algoritmo tende a orientar os polos de distribuição de maneira próxima à figura 8 e a Tabela 4.2 à medida que o número de aparelhos aumenta e a restrição (3.7) é aplicada.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho teve foco no problema de localização de Desfibriladores Automáticos Externos (DEA's). Para resolvê-lo foi necessário tratá-lo como um problema de p -medianas com adição de restrições impondo limites para a demanda populacional de atendimento por cada equipamento e onde seriam instalados. Além dessas restrições, foi acrescida uma que limitasse o algoritmo a encontrar soluções ótimas onde o deslocamento ocorresse apenas em direção aos setores de maior população em relação a seus “atendidos”.

A fim de obter um resultado próximo da realidade, foram utilizadas instâncias reais envolvendo os setores censitários da cidade de Carmo do Cajuru, na região Oeste de Minas Gerais. O portal de estatísticas do IBGE, junto ao Datapedia™, auxiliou bastante na busca sobre valores do município, porém as informações censitárias têm um *gap* de 7 anos da última medição pelo Atlas.

Os resultados mostram que é possível criar um modelo eficiente para a distribuição dos DEA. Inclusive, os mapas resultados dos testes apresentam uma tendência de divisão do município em áreas conforme a Figura 8. A fim de uma pesquisa completa, seria necessário maior estudo a respeito da movimentação de pessoas em estabelecimentos, escolas, hospitais, meios de transporte coletivo, entre outros.

Acredita-se que a implementação dos desfibriladores em locais estratégicos diminuiria o tempo médio de atendimentos por fibrilação cardíaca e, por consequência, diminuiria o índice de mortalidade por falta de suporte básico à vida. Através da pesquisa em bibliografia pode-se pensar que imensa parte da população é capaz de utilizar um DEA e campanhas públicas de capacitação seriam de imensa importância para a difusão da cultura de uso e conscientização.

Os resultados obtidos neste estudo são de grande importância para os gestores públicos pensarem em como organizar a distribuição dos equipamentos, porém a formalização da lei dos desfibriladores e padronização dos parâmetros é imprescindível para garantir bom aproveitamento da iniciativa. No momento a iniciativa parte da diretoria do CIS-URG SAMU Oeste 192.

Assim como nas tendências que moldarão as próximas décadas (INTUIT, 2010), dominar a tecnologia para aplicação no contexto público social é o que pode garantir a sobrevivência de um mercado (e humana). Aplicativos como o SAMU Fácil, inspirado no *PulsePoint*®, buscam a integração entre voluntários e tecnologia para auxiliar na questão de suporte básico à vida com uso de DEA.

Trabalhos futuros considerando novos parâmetros e novas formulações, são necessários para resultados mais precisos. Um exemplo seria o número de pessoas a serem capacitadas para atender a demanda. O trabalho pode ser estendido para todo o consórcio intermunicipal da rede SAMU Oeste e, futuramente, o movimento pode se expandir por Minas Gerais, que conta com 853 municípios. Não deve haver limite para a vida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfred Weber, *Über den Standort der Industrien* (Mohr, Tübingen, 1909), traduzido para o inglês por Carl J. Friedrich como *Alfred Weber's Theory of the Location of Industries* (Chicago: University of Chicago Press, 1929).

ANDRADE, E. L. *Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões*. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

BALLOU, Ronald H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial [recurso eletrônico] / Ronald H. Ballou; tradução Raul Rubenich. – 5. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre: Bookman, 2007.*

BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. *Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia*. Elsevier Brasil, 2013.

BROWN, D.B. (1994) - Proxy Measures in Accident Countermeasure Evaluation: a Study of Emergency Medical Services. *Journal of Safety research*. Vol. 11, p.37-41

Caffrey SL, Willoughby PJ, Pepe PE, et al. Public use of automated external defibrillators, *N Engl J Med*, 2002, vol. 347 (pg. 1242-7).

CHOO, C. W. *The Knowing Organization: How Organizations Use Information for Construct Meaning, Create Knowledge and Make Decisions*. Nova York: Oxford Press, 1998.

CHURCH, R., REVELLE, C. The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association* **32**, 101–118 (1974).

CORRÊA, V. H. V., LIMA, B. J. C., SILVA-E-SOUZA, P. H., PENNA, P. H. V., e SOUZA, M. J. F. (2018). Localização de mamógrafos: um estudo de caso na rede pública de saúde. In *Anais do L Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – L SBPO*, Rio de Janeiro.

DASKIN, M. S., & DEAN, L. K. (n.d.). *Location of Health Care Facilities. International Series in Operations Research & Management Sciencei*, 43–76. doi:10.1007/1-4020-8066-2_3, 2005.

EOM, S.; KIM, E. A survey of decision support system applications (1995-2001). *Journal of the Operational Research Society*, v. 57, p. 1264-1278, 2006.

Farahani, R. Z. e Hekmatfar, M. (2009). *Facility location: concepts, models, algorithms and case studies*. Springer.

HADDAD, Eduardo A. Notas Sobre a Teoria da Localização, 2005. FEA-USP. Disponível em: http://www.usp.br/nereus/wp-content/uploads/Notas_Localiza%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 10 de janeiro de 2021.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introduction to operations research*. 10. ed. New York: McGraw-Hill, 2015.

LICZBINSKI, C. R. Modelo de informações para o gerenciamento das atividades das pequenas indústrias de produtos alimentares do Rio Grande do Sul. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LISBOA, E. F. A. Pesquisa operacional. Disponível em: <<http://www.ericolisboa.eng.br>>. Acesso em: 28 de setembro de 2019.

LORENA, L. A. N.; PEREIRA, M. A. (2002). *A Lagrangean/surrogate heuristic for the maximal covering location problem using Hillsman's edition, International Journal of Industrial Engineering*, 9(1), 57-67

MCLAY, L.A., MAYORGA, M.E. Evaluating emergency medical service performance measures. *Health Care Manag Sci* **13**, 124–136 (2010).

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Manual de Regulação Médica de Urgências. Em fase de publicação. Outubro de 2005.

TAHA, H. A. Pesquisa operacional. Tradução de Arlete S. Marques; Revisão técnica de Rodrigo A. Scarpel, 8. ed. São Paulo: Person/Prentice Hall, 2008. 359p.

TIBES, C. M. S.; DIAS, J. D.; ZEM-MASCARENHAS, S. H. Aplicativos móveis desenvolvidos para a área da saúde no Brasil: revisão integrativa de literatura. *Rev Min Enferm.*, v. 18, n. 2, p. 471-478, abr./jun. 2014.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

WHEELER, A.P. (2019), "Creating optimal patrol areas using the P-median model", *Policing: An International Journal*, Vol. 42 No. 3, pp. 318-333. <https://doi.org/10.1108/PIJPSM-02-2018-0027>