

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

Matheus Emílio Mazera

**LOCALIZAÇÃO OTIMIZADA E CARTOGRÁFICA DOS CENTROS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ITENS HUMANITÁRIOS: ESTUDO DE CASO BASEADO EM
DESASTRES NATURAIS DO ESTADO DE SANTA CATARINA**

Florianópolis - SC

2022

Matheus Emílio Mazera

**LOCALIZAÇÃO OTIMIZADA E CARTOGRÁFICA DOS CENTROS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ITENS HUMANITÁRIOS: ESTUDO DE CASO BASEADO EM
DESASTRES NATURAIS DO ESTADO DE SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título em Engenharia Mecânica, habilitação Produção Mecânica. Orientador: Prof. Ricardo Villarroel Dávalos, Dr.

Florianópolis - SC

2022

Ficha de identificação da obra

Mazera, Matheus Emílio

Localização Otimizada e Cartográfica dos Centros de Distribuição de Itens Humanitários: Estudo de Caso Baseado em Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina / Matheus Emílio Mazera ; orientador, Ricardo Villarroel Dávalos, 2022.

71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Mecânica, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Mecânica. 2. Pesquisa Operacional. 3. Logística Humanitária. 4. P-Mediana. 5. SIG. I. Dávalos, Ricardo Villarroel . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Mecânica. III. Título.

Matheus Emílio Mazera

**LOCALIZAÇÃO OTIMIZADA E CARTOGRÁFICA DOS CENTROS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ITENS HUMANITÁRIOS: ESTUDO DE CASO BASEADO EM
DESASTRES NATURAIS DO ESTADO DE SANTA CATARINA**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Mecânico e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 12 de Dezembro de 2022.

Prof.^a Mônica Maria Mendes Luna, Dr.^a.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Ricardo Villarroel Dávalos, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Fabiana Santos Lima, Dr.^a
Avaliadora

Prof. Oscar Ciro Lopez Vaca, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, e a todos aqueles, que de alguma forma, me apoiaram e contribuíram para eu seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças, sabedoria e discernimento para seguir em frente.

Aos meus pais, Adenir Mazera e Avanir Gomes Mazera, por sempre me apoiarem, e não medirem esforços para que eu pudesse continuar meus estudos na Universidade Federal de Santa Catarina, proporcionarem oportunidades que eles não tiveram, e acima de tudo pelo exemplo que são.

Gostaria de agradecer também ao professor Dr. Ricardo Villarroel Dávalos, por me apresentar o campo da Pesquisa Operacional na graduação, e por toda a paciência e disposição na orientação do trabalho para que eu pudesse concluí-lo.

À minha namorada, Luani, pela paciência, apoio e companheirismo durante a realização deste trabalho.

E finalmente, à Universidade Federal de Santa Catarina, por todo o conhecimento aprendido, em especial, aos professores do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas e do Departamento de Engenharia Mecânica, onde tive a honra de conhecer pessoas extraordinárias.

“Quanto mais aumenta o nosso conhecimento, mais a nossa ignorância se evidencia.”

John F. Kennedy

RESUMO

A localização estratégica de centros de distribuição de itens de primeira necessidade é fundamental para a eficácia da resposta em situações de desastres naturais, visando o alívio do sofrimento humano em decorrência de fenômenos da natureza. Dado as constantes ocorrências de eventos no Estado Santa Catarina, em detrimento de fatores ligados à geografia do estado, condições socioeconômicas da população e às mudanças climáticas, que acarretam em operações envolvendo Logística Humanitária, torna-se necessário a eficácia e eficiência das ações. Observando a complexidade destes problemas, este trabalho busca implementar, por meio de métodos de Pesquisa Operacional, um modelo de localização de facilidades para a localização otimizada de centros de distribuição, que considera a vulnerabilidade de cada município do estado, para que assim, os impactos e danos causados por um desastre natural, sejam minimizados.

Palavras-chave: Logística Humanitária. Localização de facilidades. P-mediana. SIG.

ABSTRACT

The strategic location of distribution centers for essential items is fundamental for the effectiveness of the response in situations of natural disasters, aiming at alleviating human suffering in the event of natural phenomena. Given the constant occurrence of events in the State of Santa Catarina, to the detriment of factors linked to the geography of the state, socio-economic conditions of the population and climate changes, which result in operations involving Humanitarian Logistics, it becomes necessary to have the effectiveness and efficiency of actions. Observing the complexity of these problems, this work seeks to implement, through Operational Research methods, a location model of facilities for the optimized location of distribution centers, which consider the vulnerability of each municipality in the state, so that in this way, the effects and damage caused by a natural disaster, are minimized.

Keywords: Humanitarian Logistics. Location of facilities. P-median. GIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ocorrências de Desastres em SC entre 2009 e 2019	17
Figura 2 - Processos da LH.....	23
Figura 3 - Arquitetura de um Sistema de Informações Cartográficas	30
Figura 4 - Etapas Metodológicas	34
Figura 5 – Mapa do IDH de Santa Catarina	37
Figura 6 – Mapa da População de Santa Catarina (2021)	38
Figura 7 – Mapa das Ocorrências de Desastres Naturais entre 2013 e 2019	39
Figura 8 - Mapa dos Itens Solicitados entre 2013 e 2019	41
Figura 9 – Mapa dos Custos entre 2013 e 2019	43
Figura 10 – Matriz parcial de distâncias rodoviárias em km.....	44
Figura 11 – Ocorrências e População	46
Figura 12 – Localização atual dos CD's em Santa Catarina	48
Figura 13 – Resultado Cenário 1	51
Figura 14 – Resultado Cenário 2	52
Figura 15 – Resultado Cenário 3	53
Figura 16 - Resultado Cenário 4.....	54
Figura 17 – Localização espacial dos CD's para cada cenário.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Pacotes de otimização.....	32
Quadro 2 – Cenários Propostos	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de Desastres Registrados	40
Tabela 2 – Tipos de itens solicitados.....	42
Tabela 3 – Latitude e Longitude.....	44
Tabela 4 – Quantidade de municípios atendidos no Cenário 1 por cada CD	52
Tabela 5 - Quantidade de municípios atendidos no Cenário 2 por cada CD.....	53
Tabela 6 - Quantidade de municípios atendidos no Cenário 3 por cada CD.....	54
Tabela 7 - Quantidade de municípios atendidos no Cenário 4 por cada CD.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Municípios mais afetados	39
Gráfico 2 – Percentual dos tipos de desastres ocorridos entre 2013 e 2019.....	40
Gráfico 3 – Distribuição temporal das ocorrências	41
Gráfico 4 – Cidades que mais solicitaram itens	42
Gráfico 5 - Valor da função objetivo para cada cenário.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API – *Application Programming Interface*

CD – Centro de Distribuição

CEPED - Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LH – Logística Humanitária

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PO – Pesquisa Operacional

SEDC – Secretaria de Estado da Defesa Civil

SIG – Sistema de Informações Geográficas

UNISDER – *United Nations Office for Disaster Risk Reduction*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	TEMA E PROBLEMÁTICA	15
1.2	JUSTIFICATIVA	18
1.3	OBJETIVOS	19
1.3.1	Objetivo Geral.....	19
1.3.2	Objetivos Específicos	19
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1	DESASTRE	21
2.2	LOGÍSTICA HUMANITÁRIA	22
2.3	LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES	24
2.4	P-MEDIANA	27
2.5	P-CENTRO.....	29
2.6	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	30
2.7	TECNOLOGIAS LIVREs para programação linear	31
2.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	32
3	METODOLOGIA.....	33
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE PESQUISA.....	33
3.2	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	34
3.3	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	35
4	ESTUDO DE CASO	36
4.1	TRATAMENTO E OBTENÇÃO DE DADOS	36
4.1.1	Dados gerais de Santa Catarina	36
4.1.2	Ocorrências e itens solicitados.....	38
4.1.3	Matriz de distâncias rodoviárias	43
4.2	MODELAGEM MATEMÁTICA	45

4.3	PESOS	45
4.3.1	Peso 1	46
4.3.2	Peso 2	47
4.4	CENÁRIOS	48
4.4.1	Cenário 1	49
4.4.2	Cenário 2	49
4.4.3	Cenário 3	49
4.4.4	Cenário 4	49
4.5	MÉTODO DE RESOLUÇÃO	50
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	51
5.1	RESULTADO CENÁRIO 1	51
5.2	RESULTADO CENÁRIO 2	52
5.3	RESULTADO CENÁRIO 3	53
5.4	RESULTADO CENÁRIO 4.....	54
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	55
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
6.1	CONCLUSÃO	57
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICE A – Implementação P-mediana no RStudio	66

1 INTRODUÇÃO

Anualmente, milhões de pessoas ao redor do planeta, são afetadas por desastres dos mais diversos tipos, e de diferentes magnitudes, gerando bilhões de dólares de prejuízo, e a pior das consequências, mortes e sofrimento, principalmente para as pessoas mais vulneráveis.

A vulnerabilidade da população aumenta o sofrimento causado por desastres decorrentes de enchentes, deslizamentos de terra, vendavais e secas. A maior parte da população urbana global vive em cidades com menos de um milhão de pessoas, enquanto no Brasil estima-se que mais de 45% da população viva em cidades com até 100.000 pessoas. Como tanto no contexto global quanto no brasileiro, muitas dessas pessoas vivem em áreas propensas a desastres (RIBEIRO et al., 2022).

Segundo o portal CNN BRASIL(2021), alguns eventos naturais extremos foram registrados no planeta: tempestade de neve em Madri, o calor recorde no Canadá, a onda de frio no sul dos Estados Unidos, as cheias recordes na Alemanha, o ciclone na Indonésia, os terremotos no Haiti e as chuvas intensas na Bahia.¹

No estado de Santa Catarina, não é diferente. O estado é constantemente castigado por desastres naturais, desabrigando milhares de pessoas todos os anos, causando grandes prejuízos sociais e econômicos. Segundo o portal de notícias ND Mais (2020), a posição geográfica do estado é determinante para a ocorrência de eventos climáticos, na região Sul do Brasil.

Nesse sentido, surge a Logística Humanitária, que segundo Silva (2011), é o processo de planejar, implementar e controlar de forma eficiente o fluxo e o armazenamento de bens, materiais e informações relacionadas do ponto de origem até o ponto de consumo, com o intuito de aliviar o sofrimento de pessoas em situações vulneráveis. Assim, os centros logísticos são vistos como a espinha dorsal da estrutura de logística humanitária, eles têm que suportar movimentos de carga eficazes e eficientes em toda a rede de apoio, em caso de desastres.

1.1 TEMA E PROBLEMÁTICA

Segundo o INPE² (2008), no Brasil, ocorreram 150 registros de desastres no período 1900-2006. Do total ocorrido, 84% foram computados a partir dos anos 70, demonstrando um

¹ Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/62-dos-brasileiros-acreditam-que-desastres-naturais-serao-mais-frequentes-em-2022/>>. Acesso em 14 Mar 2022.

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

aumento considerável de desastres nas últimas décadas. Ainda segundo a instituição, os tipos de desastres mais frequentes foram as inundações, com 59% dos registros, seguidas pelos escorregamentos (14%).

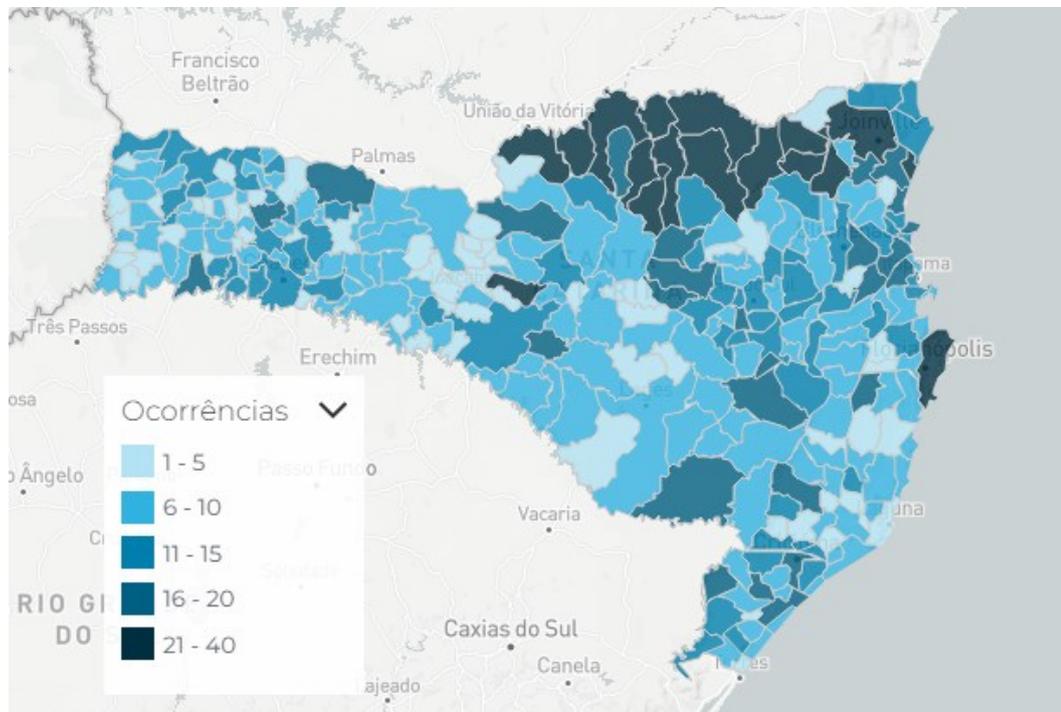
Com cerca de 95.737 km² (1,1% do território nacional) e população estimada para 2021 pelo IBGE de 7.338.473 pessoas, Santa Catarina, periodicamente sofre com ocorrências de desastres naturais. Segundo o PBMC (2016), o cenário previsto para Santa Catarina com o aquecimento global, é de elevação da temperatura média em até um grau centígrado no verão até 2040, e aumento da precipitação de 10%, no verão, até 2040.

Para Magnago et al. (2021), os desastres naturais registrados no estado de Santa Catarina estão associados a variados fatores hidro meteorológicos e climatológicos (regime de chuvas, temperatura, pressão, massas de ar, latitude, altitude, vegetação, relevo), sendo sensível a alterações de cada um deles e outros fenômenos, sendo que os fatores estão interligados, influenciando-se mutualmente. Santa Catarina é um dos estados do Brasil que apresenta um conjunto mais forte de elevações e depressões de terreno, coberto por várias bacias hidrográficas, com muitos de seus municípios sendo fundados às margens dos rios, sendo por isto, cenário de alagamentos, enchentes, inundações bruscas e graduais, escorregamentos, estiagens, vendavais, tornados, nevoeiros e ressacas (LIMA; 2014).

Segundo Siebert (2017), os resultados de desastres naturais em Santa Catarina são devastadores, além dos danos socioambientais experimentados pelo estado de Santa Catarina, situações de inundação e movimento de massa levaram a rompimentos de gasodutos, interceptação de vias de comunicação terrestre, comprometimento das atividades portuárias, e entre outros prejuízos.

De acordo com dados do portal Atlas Digital de Desastres no Brasil (UFSC- CEPED, s.d.), no estado de Santa Catarina, entre o período de 2009 a 2019, houveram 2954 ocorrências de desastres, com 74 óbitos registrados, 585452 desabrigados e desalojados, ocasionado num prejuízo de R\$ 6,2 bilhões. A Figura 1, apresenta, segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil, a distribuição espacial dos desastres ocorridos entre os anos de 2009 à 2019.

Figura 1 - Ocorrências de Desastres em SC entre 2009 e 2019



Fonte: CEPED

O sucesso e o fracasso das atividades de resposta a desastres dependem muito do nível de preparação. Atualmente, mais de 90% da ajuda humanitária internacional ainda é dedicada à resposta a desastres e menos à preparação antecipada. Assim, o foco em atividades de preparação como planejamento de emergência, construção de centros de operação de emergência; e o pré posicionamento de suprimentos de emergência pode se traduzir em melhor alcance da ajuda e nível de serviço aos beneficiários (MAHARJAN e HANAOKA, 2017).

Para atender aos municípios atingidos por eventos adversos, a Secretaria de Estado da Defesa Civil, através de sua Gerência de Logística, faz o levantamento das necessidades, com base nas informações enviadas pelas solicitações das prefeituras municipais. Após análise de informações e identificação de demandas, os pedidos se transformam em solicitações da gerência de logística. Importante observar, segundo a SEDC/SC, que o atendimento do pedido municipal se dará através do fornecimento direto de bens, produtos ou serviços. Esses itens serão adquiridos por sistema de registro de preço ou processo de dispensa de licitação (nesse caso em específico, o município terá decretado situação anormal e essa situação deverá obrigatoriamente ser homologada pelo estado).

Atualmente, a SEDC/SC possui 3 centros de distribuição, com localização fixa, sendo eles localizados nos municípios de Rio do Sul , Joaçaba e São José.

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com o NSC Total (2017), as forças da natureza fizeram de Santa Catarina o terceiro Estado do país mais impactado por danos materiais e prejuízos financeiros em um intervalo de duas décadas. Despesas provocadas por desastres naturais nas cidades catarinenses somaram R\$ 17,6 bilhões entre 1995 e 2014. Entram nesse cálculo desde eventos extremos, como furacão, tempestades e inundações, até situações de seca e estiagem.

Portanto, dentro desse contexto, a necessidade de se prover, com itens de subsistência e necessidades primárias, no menor tempo possível, para o abastecimento de uma determinada localidade atingida por desastre é vital. A localização estratégica de centros de distribuição é uma forma eficiente e eficaz para aliviar o sofrimento dos atingidos, bem como os prejuízos gerados num desastre.

Existem vários trabalhos que investigam a localização otimizada de CD's para situações de emergência. Na Turquia, Demirbas e Ertem (2021), estudaram o pré-posicionamento de contêineres de carga para armazenamento de suprimentos de emergência para entregar suprimentos as pessoas rapidamente com foco na preparação e resposta às emergências. Hanaoka e Maharjan (2017), investigaram o número ideal e as localizações de armazéns a serem colocados em diferentes partes do Nepal para uma cadeia de ajuda humanitária que responderia a desastres de início súbito. Balcik e Beamon (2008), desenvolveram um modelo e determina o número e a localização dos centros de distribuição em uma rede de socorro e a quantidade de suprimentos a serem estocados em cada centro de distribuição para atender às necessidades das pessoas afetadas pelos desastres. Moreno et al. (2017), desenvolveu dois modelos de programação estocástica de dois estágios com recurso para o problema integrado de localização, distribuição o e dimensionamento de frota, em um contexto multi-período, multi-produto e multi-modal, e ainda considerando incertezas inerentes as situações de desastre.

Nesse sentido, a resposta aos desastres naturais normalmente é estabelecida em situações caóticas e de extrema complexidade, que exige atuação conjunta de distintas organizações e envolve pessoas e ocorrências, por vezes dispersas geograficamente, dificultando a comunicação e coordenação das ações. Não raramente, o desastre acarreta a

falência dos sistemas de comunicação, a interrupção no fornecimento de energia elétrica e água, o acesso a redes de assistência médica e o abastecimento alimentar. A dificuldade estende-se da identificação das ocorrências, passando pelas providências para sanar ou amenizar as necessidades até o restabelecimento da normalidade.

1.3 OBJETIVOS

Neste tópico serão apresentados os objetivos deste trabalho, divididos em gerais e específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

Investigar as alternativas de localização otimizada e cartográfica para centros de distribuição espacial de CD's para ajuda humanitária em Santa Catarina.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar os dados históricos, fornecidos pela SEDC-SC, de emergências devido a desastres naturais ocorridos em Santa Catarina entre os anos de 2013 e 2019.
- Formular um modelo de localização baseado no método da P-mediana integrado a um Sistema de Informações Geográficas (SIG).
- Otimizar a localização estratégica para centros de distribuição de itens de primeira necessidade no estado de Santa Catarina.
- Estudar tecnologias livres para o apoio na integração da localização otimizada e cartográfica dos centros de distribuição.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além do capítulo de introdução, apresentado nesta seção, este trabalho conta com mais outros cinco capítulos.

No capítulo 2 é abordado a fundamentação teórica dos principais conceitos relacionados ao trabalho, sendo eles: logística humanitária, desastres, métodos de pesquisa

operacional para localização de facilidades e tecnologias livres de apoio à elaboração de gráficos e resolução de problemas relacionados à programação matemática.

No capítulo 3, será tratado a metodologia de pesquisa, e a descrição das etapas metodológicas do trabalho. Nos capítulos 4 é onde será feito um tratamento dos dados e modelagem do problema. O capítulo 5, apresentará os resultados obtidos, e por fim, nos capítulos 6 serão apresentadas as conclusões e recomendações futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 DESASTRE

A Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho (2015) define desastre como:

“Um evento súbito e calamitoso que perturba seriamente o funcionamento de uma comunidade ou sociedade e causa perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais que excedem as capacidades da sociedade de lidar com a situação usando seus próprios recursos’.

Os desastres naturais são altamente adversos e imprevisíveis, segundo Magnago et al. (2015) um desastre natural é nada mais do que a consequência da ocorrência de um fenômeno natural e desequilíbrios da natureza. Estes fenômenos têm origem externa e atuam independentemente da ação humana.

Segundo Braga et al. (2011):

“Desastres naturais são geralmente provocados por manifestações exacerbadas da natureza tais como: terremotos, erupções vulcânicas, deslizamentos, enchentes, furacões, tornados, tsunamis, incêndios e tempestades. Suas ocorrências podem trazer grandes perdas materiais e humanas. Portanto, trata-se de uma questão em que quaisquer iniciativas que possam ser aplicadas na sua prevenção ou no seu gerenciamento são sempre relevantes.”

Quando consideramos o impacto dos desastres naturais, não é surpreendente observar evidências que apoiam o impacto negativo e duradouro destes fenômenos. Para Strömberg (2007), os desastres naturais são um dos maiores problemas enfrentados pela humanidade. Entre 1980 e 2004, dois milhões de pessoas foram mortas e 5 bilhões de pessoas cumulativamente afetadas por cerca de 7.000 desastres naturais, de acordo com o conjunto de dados mantido pelo Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres (CRED) da Universidade de Louvain (Bélgica).

De acordo com Castro (2003), geralmente, o fator que predomina na intensificação do desastre é o grau de vulnerabilidade da região afetada. Para um fenômeno ser considerado um desastre é necessário que sua magnitude seja suficiente para causar danos e prejuízos mensuráveis.

Van Wassenhove (2006) classificou os desastres em quatro tipos:

- Súbitos, abruptos e naturais: como tornados, furacões ou terremotos.

- Início natural e lento, como fome, seca e pobreza.
- Um ataque súbito feito pelo homem, como um ataque terrorista ou um golpe de estado.
- Início lento causado pelo homem, como crise política.

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010, os desastres que mais afetam o território brasileiro são:

- Seca e estiagem.
- Inundação brusca.
- Inundação gradual.
- Vendaval e/ou ciclone.
- Granizo e outros.

2.2 LOGÍSTICA HUMANITÁRIA

A logística avalia os processos da cadeia de suprimentos que planejam, estruturam e controlam, de forma eficiente e eficaz, o fluxo e armazenamento dos bens, dos serviços e da informação relacionada, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, de maneira a satisfazer os requisitos do cliente. Neste sentido, o objetivo principal da logística é vencer tempo e distância na movimentação de bens e na prestação de serviços de forma eficiente e eficaz (NOGUEIRA, 2010).

Segundo Altay e Green (2005), desastres naturais testam a habilidade de comunidades e nações em proteger de forma efetiva sua população e infraestrutura, tanto no sentido de reduzir as perdas humanas quanto minimizar os danos às propriedades por meio de ações rápidas e coordenadas.

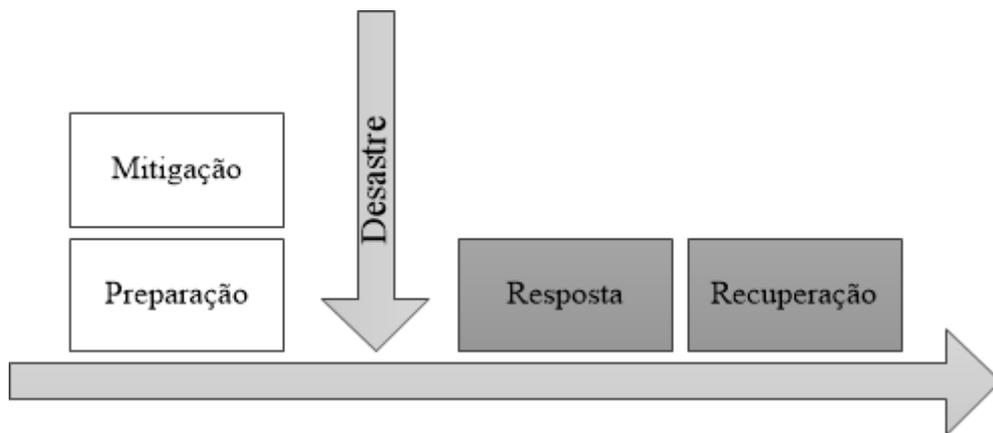
Prestar assistência às vítimas de desastres é uma tarefa vital e desafiadora. Neste contexto, surge a logística humanitária, que de acordo com Nogueira et al. (2008), a definição da logística humanitária surge através dos objetivos da logística relacionados à cadeia de abastecimento comercial, ou seja, vencer tempo e distância na movimentação de materiais e serviços de forma eficiente e eficaz.

De acordo com Apte (2009), a logística humanitária é o ramo especial da logística que gerencia respostas da cadeia de fornecimento de materiais e serviços críticos com desafios, tais como picos de demanda, suprimentos incertos, janelas de tempo críticos e vasto escopo de suas operações.

A LH hoje, é quase sempre mais complexa e exigente do que a do setor privado. Os desafios enfrentados na logística humanitária são complexos. As condições em que as equipes trabalham em situações pós-desastre costumam ser caóticas e a infraestrutura física é frequentemente destruída. De maneira geral, as entidades do governo nacional e local, que deveriam coordenar as atividades humanitárias, também são afetadas, dificultando a coordenação da prestação de ajuda (COSTA et al., 2015).

Um conjunto de atividades pré e pós desastres compõem o processo da LH. Para Sandivari et al. (2021), a LH é definida como um processo sociotécnico que permite que os indivíduos se organizem como uma rede social composta por um conjunto de atividades, podendo, estas atividades, serem divididas em fases, conforme apresentado na Figura 2, que são compostas por ações realizadas em etapas anteriores e posteriores à ocorrência da emergência.

Figura 2 - Processos da LH



Fonte: Adaptado de Sandivari et al. (2021)

As atividades apresentadas na Figura 2, segundo Sandivari et al. (2021), são descritas como:

- **Preparação:** inclui localização de instalações, pré-posicionamento de mercadorias, alocação de recursos (capacidade e estoque), planejamento de transporte e desenho de contratos de fornecimento e estratégias de distribuição antes de uma emergência.
- **Mitigação:** inclui projeto de rede, alocação e roteamento de suprimentos críticos, localização de sistemas de alerta precoce e instalações de socorro, bem como implementação de sistemas de proteção de instalações.

- Resposta: começa, em alguns casos, quando sistemas de alerta precoce ou alertas de monitoramento de perigos alertam as autoridades sobre um desastre iminente. As atividades e decisões logísticas incluem alocação de suprimentos (fluxo, roteirização e agendamento de veículos, localização temporária de instalações), transporte de pessoas e/ou evacuação, gestão de estoque (alocação e disponibilidade de estoque), recuperação de redes (estradas, pontes, sistemas de informação e energia, etc) entre outros.
- Recuperação: Inclui remoção de entulhos e lixo, restauração de rede, distribuição de ajuda para reconstrução e recuperação de domicílios, segurança, funcionamento de mercados e operações comunitárias em geral.

Todos os processos e atividades logísticas acima, visam, portanto, aliviar o sofrimento das pessoas vulneráveis, com decisões e atividades que dependem da própria natureza da emergência, que oferece um conjunto de dificuldades e desafios na hora de construir ou desenhar ferramentas de apoio à gestão dos desastres.

2.3 LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES

Os problemas de localização podem ser classificados como problemas de cobertura e problemas de localização de medianas. Em ambas, decisões são tomadas sobre onde localizar facilidades (centros que podem ser substituídos por fábricas, depósitos, escolas, antenas, etc.) (ARAKAKI e LORENA, 2006).

Para Oliveira (2012), de modo resumido, os problemas de localização de facilidades se referem à decisão de onde posicionar recursos que uma organização possui de modo que atenda, da melhor forma possível, aos critérios estabelecidos pela organização referentes aos pontos de demanda.

Problemas de localização de instalações derivam sua importância de dois fatores: seu impacto direto no custo operacional do sistema e pontualidade de resposta à demanda (HAGHANI, 1996).

Soluções para resolver problemas dessa natureza são importantes para as organizações, principalmente no setor público, a possibilidade de uma melhor distribuição de recursos pode garantir melhorias na qualidade do serviço. Segundo Klose e Drexler (2005), o problema de localizar instalações não é novo para a comunidade de pesquisa operacional. Para lidar com a multiplicidade de aplicações encontradas no mundo dos negócios e no setor público, os modelos de alocação de local abrangem formulações que variam em complexidade, desde modelos

lineares simples, de estágio único, de produto único, não capacitados e determinísticos até modelos probabilísticos não lineares.

Enquanto o objetivo dos modelos de localização de instalações que abordam os problemas do setor privado é geralmente minimizar o custo ou maximizar o lucro, os modelos que abordam os serviços públicos e de emergência concentram-se na acessibilidade do usuário e no tempo de resposta (BEAMON e BALCIK, 2008).

No contexto de desastre e LH, as incertezas tanto do lado da oferta quanto da demanda podem aumentar drasticamente o sofrimento dos afetados. Segundo Liu et al. (2021), para fornecer suprimentos de resgate e socorro em tempo hábil, é de grande importância selecionar locais estratégicos como abrigos de emergência e centros de pré posicionamento para que as vítimas possam ter acesso a ajuda quando necessário.

Klose e Drexler (2005), destacam que os modelos de localização de instalações podem ser amplamente classificados, de acordo com as suas características, da seguinte forma:

- Modelos de localização de rede e modelos de programação de localização discreta ou mista respectivamente, onde para cada uma das subclasses as distâncias são calculadas usando alguma métrica.
- Modelos a partir dos objetivos, que podem ser projetados para minimizar as distâncias médias, ou minimizar as distâncias máximas.
- Modelos com ou sem restrições de capacidade, no sentido que as restrições se referem à capacidade de uma das facilidades.
- Quantidade de estágios, onde os modelos de estágio único se concentram em sistemas de distribuição que cobrem apenas um estágio explicitamente, e nos modelos de múltiplos estágios, o fluxo de mercadorias que compreende vários estágios hierárquicos deve ser examinado.
- Os modelos de produto único são caracterizados pelo fato de que demanda, custo e capacidade de vários produtos podem ser agregados a um único produto homogêneo. Se os produtos não forem homogêneos, seu efeito no projeto do sistema de distribuição deve ser analisado.
- Modelo com influência da demanda, a maioria dos problemas de localização consideram que a demanda existe independentemente da localização das facilidades. Entretanto, em alguns casos, a demanda pode ser influenciada pela existência ou não de uma facilidade.

- Modelos estáticos tentam otimizar o desempenho do sistema por um período representativo. Por outro lado, os modelos dinâmicos refletem dados (custo, demanda, capacidades, etc.) variando ao longo do tempo dentro de um determinado horizonte de planejamento.
- Na prática, a entrada do modelo geralmente não é conhecida com certeza. Os dados são baseados em previsões e, portanto, provavelmente são incertos. Como consequência, temos modelos determinísticos se a entrada for (supostamente) conhecida com certeza ou modelos probabilísticos se a entrada estiver sujeita à incerteza.

Para Beamon e Balcik (2008), a localização da instalação e as decisões de pré-posicionamento de estoque na cadeia de socorro são componentes críticos da preparação para desastres e, portanto, exigem planejamento de longo prazo para obter uma resposta de alto desempenho a desastres.

2.4 TEORIA DA CENTRALIDADE

A teoria dos lugares centrais, segundo Gama (1983), é uma tentativa teórica para explicar, de uma forma generalizante, a configuração do povoamento. Walter Christaller, em 1933, formulou a teoria a partir de um conjunto de pressupostos e princípios em que demonstrava haver ordem nos padrões do povoamento que observava à sua volta. No seu trabalho, Christaller, procurou explicar mais a posição relativa do que absoluta e sugeriu que havia uma organização geral no sistema de povoamento e áreas de influência das povoações (KENT E BRADFORD, 1977).

De acordo com Camagni (2005), a hipótese de Christaller era a de que a rede urbana se constituía a partir das zonas de influência econômica das localidades, cuja centralidade seria determinada pelo nível de complexidade dos produtos e serviços ali ofertados e, também, a partir do alcance desses mercados.

A abordagem teórica de Christaller realça a formação de uma rede de centros urbanos com diferentes tamanhos e importâncias, do ponto de vista funcional.

De acordo com Tineu (2012), os diversos níveis de lugares centrais são determinados pela sua importância ou centralidade, e esta, pela complexidade dos diversos tipos de bens e serviços, conforme segue:

- Centralidade Alta: mercadorias e lojas de departamentos, lojas especializadas, universidades, serviços de consultoria e assessoria, clínicas especializadas, teatros, museus, prédios públicos, hospitais especializados.
- Centralidade Média: escolas privadas e públicas, clínica e posto de saúde, cartório e serviços especializados, supermercados.
- Centralidade Baixa: correio, igreja, escolas infantis, negócios pequenos, farmácias, clínicas dentárias, padarias, pequenos comércios.

2.5P-MEDIANA

Há poucas dúvidas sobre o papel positivo e o impacto que a PO teve nas organizações desde seu surgimento há mais de meio século. PO é a área de conhecimento que estuda, desenvolve e aplica métodos analíticos avançados para auxiliar na tomada de melhores decisões nas mais diversas áreas de atuação humana (SOBRAPO, s.d.).

No entanto, o avanço metodológico e computacional, aliado a constantes demandas de outras áreas, a PO se modernizou e ampliou seu campo de atuação. De acordo ainda com a SOBRAPO (s.d.), a PO é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais. Tendo como foco a tomada de decisões, aplica conceitos e métodos de várias áreas científicas na concepção, planejamento ou operação de sistemas. A Pesquisa Operacional é usada para avaliar linhas de ação alternativas e encontrar as soluções que melhor servem aos objetivos dos indivíduos ou organizações.

Uma característica da PO, segundo Hillier (2013), é a tentativa frequente de encontrar uma melhor solução, conhecida como ótima, para o modelo que representa o problema. Uma melhor solução, porque pode haver várias soluções, ou seja, ao invés de melhorar o *status quo*³, o objetivo é encontrar o melhor caminho em busca da “otimalidade”.

O modelo matemático mais popular associado ao problema de localização de atividades ou de postos de serviços, ou *facility location* em inglês, é o modelo da p-mediana, o qual escolhe p-medianas ou pontos para localizar instalações (*facilities*) de modo a minimizar a impedância do sistema, ou seja, a soma ponderada das distâncias dos clientes, centrados em cada vértice ou centroide, às instalações disponíveis (PIZZOLATO et al., 2012). O problema de p-medianas é um problema clássico de localização. O objetivo é determinar os locais de p

³ *Statu quo* é um latinismo que significa "no estado das coisas".

facilidades (denominadas medianas) em uma rede de n nós, de modo a minimizar a soma das distâncias entre cada nó de demanda e a mediana mais próxima (LORENA et al., 2003).

Hakimi (1965) mostrou que pelo menos uma solução ótima para o problema da p -mediana consiste em localizar apenas um subconjunto dos nós de demanda. Kariv e Hakimi (1979) mostraram que o problema da p -mediana é um problema NP-difícil. Vários algoritmos foram desenvolvidos para resolver o modelo p -mediana tanto heurísticamente quanto de maneira otimizada.

De acordo com Pizzolato et al. (2012), o método da p -mediana pode ser modelado como: sejam $N = \{1, \dots, n\}$, o conjunto de pontos de demanda; $i \in N$ um determinado cliente ou vértice; $j \in N$ uma instalação em potencial ou mediana; p o número de instalações de serviço ou medianas a serem localizadas; w_i o peso ou importância do cliente i ; $[d_{ij}]_{n \times n}$ a matriz simétrica de distâncias de cada cliente i à instalação j , com $d_{ij} = 0$, para todo i ; $[x_{ij}]_{n \times n}$ a matriz de alocação de cada cliente i ; onde $x_{ij} = 1$ se o cliente i é alocado à instalação j e $x_{ij} = 0$, caso contrário; $x_{ij} = 1$ indica que é uma mediana e $x_{ij} = 0$ em caso contrário. Portanto, o modelo da p -mediana é apresentado da seguinte forma:

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} w_i d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1; \quad i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{jj} = p \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj}; \quad i, j \in N \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}; \quad i, j \in N \quad (5)$$

Onde, de acordo com Pizzolato et al. (2012), a função objetivo (1) indica a minimização das distâncias ponderadas entre os clientes e os postos que oferecem serviços; as restrições em (2) indicam que cada cliente é alocado a somente uma instalação; a restrição (3) garante que somente instalações oferecem o serviço proposto; as restrições em (4) afirmam que um cliente somente é atendido num local onde existe uma instalação que oferece o serviço, e as restrições em (5) impõem variáveis de decisão binárias. Os autores trazem ainda algumas variantes do modelo da p -mediana, como:

- P -mediana com custos fixos, onde é adicionado custo fixo de cada instalação;

- P-mediana capacitado, em que se considera que para cada instalação j existe uma capacidade máxima de atendimento;
- Localização com cobertura completa, com objetivo localizar o número mínimo de instalações necessárias para atender a todos os pontos de demanda;
- Localização com cobertura máxima, que ao contrário do anterior, este modelo é dado um número pré-fixado p de instalações e deseja-se localizá-las de modo a maximizar a demanda atendida;

2.6 P-CENTRO

Outro modelo para otimização de localização é o chamado P-centro. Os modelos de P-centros, também chamados de “*minimax*”, buscam minimizar a máxima distância necessária para atender toda a demanda, entre clientes e um número fixo de instalações (PIZZOLATO et al., 2012). Diferentemente da P-mediana, neste problema, os vértices não têm pesos.

Segundo Pizzolato et al. (2012), considerando os mesmos parâmetros da P-mediana, com exceção dos pesos, e ainda adicionando uma variável auxiliar z , o problema dos P-centros é formulado da seguinte maneira:

$$\text{Min } Z \tag{6}$$

$$\text{Sujeito à: } \sum_{j \in N} x_{ij} = 1; \quad i \in N \tag{7}$$

$$\sum_{j \in N} x_{jj} = p \tag{8}$$

$$x_{ij} \leq x_{jj}; \quad i, j \in N \tag{9}$$

$$z \geq \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ij}; \quad i, j \in N \tag{10}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; \quad i, j \in N \tag{11}$$

onde (6) e (10) compõem o objetivo *minimax*: minimização da distância máxima entre clientes e facilidades. As restrições em (7) certificam que a cada cliente deve ser atribuída exatamente uma instalação. A restrição (8) garante que as facilidades são localizadas, (9) assegura que um cliente é atendido num local onde existe uma instalação que oferece o serviço. As restrições (11) são de integralidade.

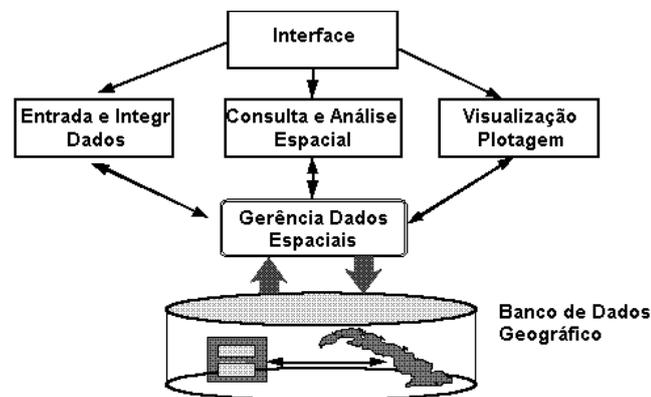
2.7 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Segundo Coutinho (2007), as formas de representação evoluíram de forma significativa, não apenas devido à evolução das tecnologias de aquisição de informação para a representação, mas também devido aos progressos nos métodos de representação.

De acordo com Star e Estes (1991), SIG pode ser definido como qualquer sequência de funções inter-relacionadas que atinge a entrada, armazenamento, processamento e posterior geração de dados espaciais. Para Burrough e MacDonnell (2000), o SIG consiste num conjunto de ferramentas para colecionar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados espaciais relativos ao mundo real, de forma a atingir objetivos específicos.

Semelhante à escassez de suprimentos e equipamentos de socorro, dados de campo para localização e impacto do desastre, disponibilidade de infraestrutura de transporte e quantidade de demanda estimada, são recursos escassos após desastres. Mapas e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são vitais para fornecer esses dados de campo (ÖZDAMAR e ERTEM, 2015).

Figura 3 - Arquitetura de um Sistema de Informações Cartográficas



Fonte: SPRING (s.d.)

De acordo com Espíndola et al. (2016), o uso de SIG para modelagem de logística humanitária vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, tendo sido utilizado para determinar as distâncias rodoviárias e euclidianas, juntamente com as rotas. Da mesma forma, tem sido usado para mostrar os resultados dos modelos de otimização para permitir que os tomadores de decisão adquiram uma melhor compreensão da situação.

No contexto do trabalho, o SIG será uma ferramenta de apoio para analisar as soluções ótimas para o problema. No trabalho de Çakmak et al. (2021), o poder de análise do SIG é usado para estimar dois parâmetros no modelo matemático. A primeira é a matriz de distâncias enquanto a segunda são as densidades logísticas que são utilizadas como valores prioritários das localizações alternativas, ou seja, o SIG produz as informações espaciais necessárias ao modelo da p-mediana.

Quanto às ferramentas livres de apoio para o uso do SIG, o *R*, possui uma biblioteca completa de ferramentas para trabalhar com dados espaciais. Isso inclui ferramentas para dados vetoriais e *raster*⁴, bem como interface com dados de outras fontes (como *ArcGIS*) e criação de mapas. Em *Python*, também existem diversas bibliotecas SIG para a produção de mapas, destacam-se: *Geopandas*, *Arcpy* e *GDAL/OGR*.

2.8 TECNOLOGIAS LIVRES PARA PROGRAMAÇÃO LINEAR

Os *softwares* podem ser proprietários ou livres, para o uso do proprietário é necessário comprar uma licença, enquanto o livre não. De acordo com Andrade (2004), ambos podem ser de código (linguagem de programação) aberto ou fechado, ele é aberto quando o usuário tem acesso a ele podendo inclusive modificá-lo, quando não, ele está encapsulado, ou oculto, e o usuário não tem acesso a ele.

Stienen et al. (2021), em seu artigo: Locais de depósito ideais para provedores de serviços de logística humanitária usando otimização robusta, desenvolveu um modelo de otimização implementado em linguagem *Python*. Sotelo (2018), usou a linguagem *R* em seu estudo intitulado: Minimizar o impacto social da ajuda humanitária face a um terremoto na área metropolitana de Lima e Callao, otimizando a velocidade de resposta aos setores afetados, através do uso de modelos matemáticos na redistribuição de lojas e um plano roteamento eficiente.

Tendo em vista os diversos *softwares* existentes atualmente, o trabalho focará no uso da linguagem de programação *R*. O *RStudio* é um *software*, que possui um ambiente integrado de desenvolvimento para o *R*, de código aberto, livre, grátis, do tipo *General Public License* (GNU). O Quadro 1, mostra alguns pacotes de otimização disponíveis, e o seu tipo de licença.

⁴ Dados *raster*, matriciais ou *bitmap* são imagens que contêm a descrição de cada pixel, em oposição aos gráficos vetoriais.

Quadro 1 – Pacotes de otimização

CPLEX	Proprietário
GUROBI	Proprietário
GLPK	Livre
Lpsolve	Livre

Fonte: O autor

2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada a fundamentação teórica dos temas deste trabalho, que serão aplicados na resolução do problema proposto. Os principais conceitos abordados foram, desastres, logística humanitária e seus processos, programação linear (P-Centro e P-Mediana), sistema de informações geográficas e tecnologias livres de apoio a pesquisa operacional e análise de dados espaciais. Todos esses conceitos, serão aplicados no desenvolvimento do trabalho com a finalidade de cumprir os objetivos propostos.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE PESQUISA

A importância metodológica de um trabalho pode ser justificada pela necessidade de embasamento científico adequado, geralmente caracterizado pela busca da melhor abordagem de pesquisa a ser utilizada para endereçar as questões da pesquisa, bem como seus respectivos métodos e técnicas para seu planejamento e condução (MIGUEL, 2007). Dado a problemática, faz-se necessário a caracterização do presente trabalho segundo à sua natureza, abordagem, propósitos e procedimentos técnicos.

Segundo Turrioni e Mello (2012), a natureza aplicada objetiva solucionar problemas com resultados oriundos da pesquisa científica. Portanto, em relação à sua natureza, este trabalho pode ser caracterizado como aplicado, pois busca gerar resultados que sejam aplicados ou utilizados.

O presente trabalho possui características quantitativas, que, de acordo com Silva e Menezes (2005), do ponto de vista da forma de abordagem, a pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números, opiniões e informações para classificá-las e analisá-las.

Para Gil (1991) a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses e assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso. Portanto, quanto aos seus propósitos, o trabalho se enquadra no perfil exploratório.

Quanto ao procedimento técnico, o trabalho tem as características de um estudo de caso, que, de acordo com Yin (2001), é encarado como o delineamento mais adequado para a investigação de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, onde os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente percebidos. Para Ventura (2007), descrever e caracterizar estudos de caso não é uma tarefa fácil, pois eles são usados de modos diferentes, com abordagens quantitativas e qualitativas, não só na prática educacional, mas também como modalidade de pesquisa, com aplicação em muitos campos do conhecimento, principalmente na Medicina, Psicologia e em outras áreas da saúde, e também nas áreas tecnológicas, humanas e sociais, entre outras.

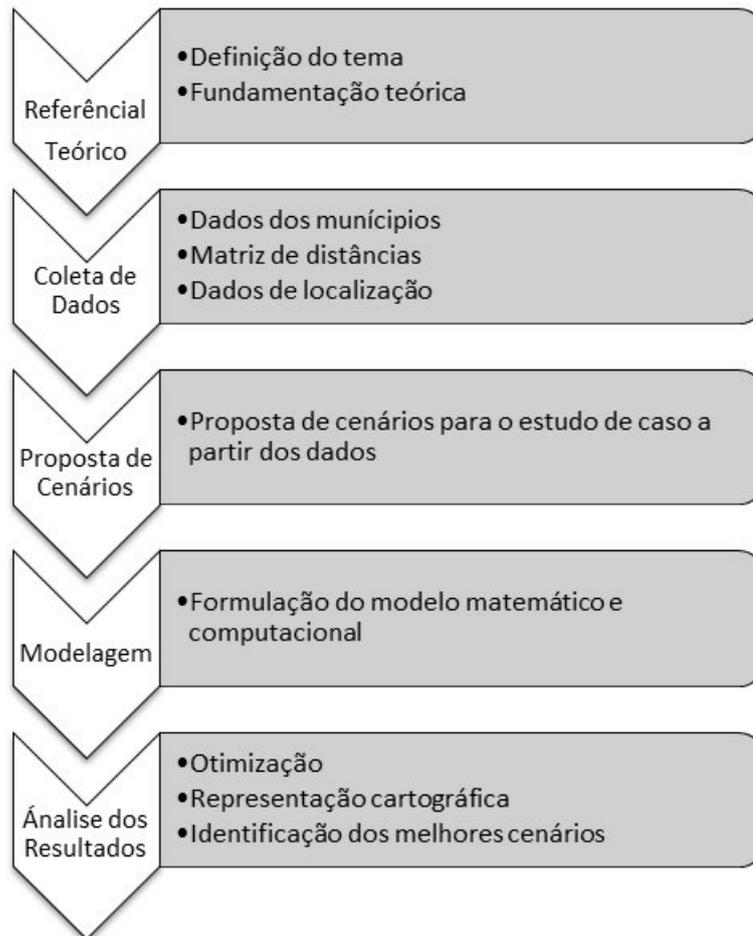
“O estudo de caso como modalidade de pesquisa é entendido como uma metodologia ou como a escolha de um objeto e estudo definido pelo interesse em casos individuais.

Visa à investigação de um caso específico, bem delimitado contextualizado em tempo e lugar para que se possa realizar uma busca circunstanciada de informações.” (VENTURI,2007).

3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Neste tópico, será apresentado o fluxo de atividade que compõem a realização desta pesquisa. Serão apresentadas cinco etapas que são necessárias para atingir os objetivos deste trabalho, conforme é mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Etapas Metodológicas



Fonte: O Autor

A primeira etapa consiste no levantamento bibliográfico dos principais conceitos envolvidos no tema, como: Logística Humanitária, Desastres e Pesquisa Operacional. Os conceitos estudados servirão como a fundamentação teórica do trabalho.

Na sequência será feito um levantamento de dados, como demanda por itens de primeira necessidade, distâncias, coordenadas geográficas, e dentre outros dados que alimentarão o modelo proposto.

Com os dados levantados e tratados será feita a proposição de possíveis cenários, para estar formulando o modelo matemático e computacional posteriormente.

A partir dos cenários propostos, será feita a formulação matemática do modelo, com o método da P-mediana, apoiado a um sistema de informações geográficas no *RStudio*.

Por fim, o modelo será implementado em linguagem *R* de programação, e os resultados serão analisados de acordo com os cenários propostos.

3.3 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O presente trabalho tem como propósito construir um modelo de localização de facilidades, utilizando o método da P-mediana apoiado com um sistema de informações cartográficas (SIG), e aplicado às situações de emergência dentro do contexto da logística humanitária no estado de Santa Catarina. Portanto, serão apresentados os tipos de problemas de análise espacial, do tipo não-capacitados, comparando os resultados obtidos com base nos cenários propostos.

Outros processos relacionados à LH não serão abordados em profundidade, bem como componentes estocásticas na formulação do problema e nas hipóteses adotadas.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, será tratado a aplicação do modelo P-mediana para a localização dos CD's, para diferentes cenários propostos, tendo como base, dados históricos disponibilizados pela SEDC/SC, contendo os anos de 2013 à 2019, dados extraídos do IBGE referentes ao estado de Santa Catarina, bem como dados de roteamento, para a obtenção da matriz de distâncias, entre os 295 municípios do estado extraídos da *API Bing Maps*, da Microsoft.

4.1 TRATAMENTO E OBTENÇÃO DE DADOS

Para a formulação e delimitação do modelo matemático, fez-se necessária uma análise dos dados históricos da SEDC/SC, e dos dados referentes ao estado de SC, extraídos do IBGE.

Os mapas, confeccionados neste capítulo, foram feitos no *software RStudio*, por meio de pacotes instalados para produção de mapas. O pacote *tmap*⁵, utilizado neste trabalho, oferece uma abordagem flexível, baseada em camadas, e fácil de usar para criar mapas temáticos.

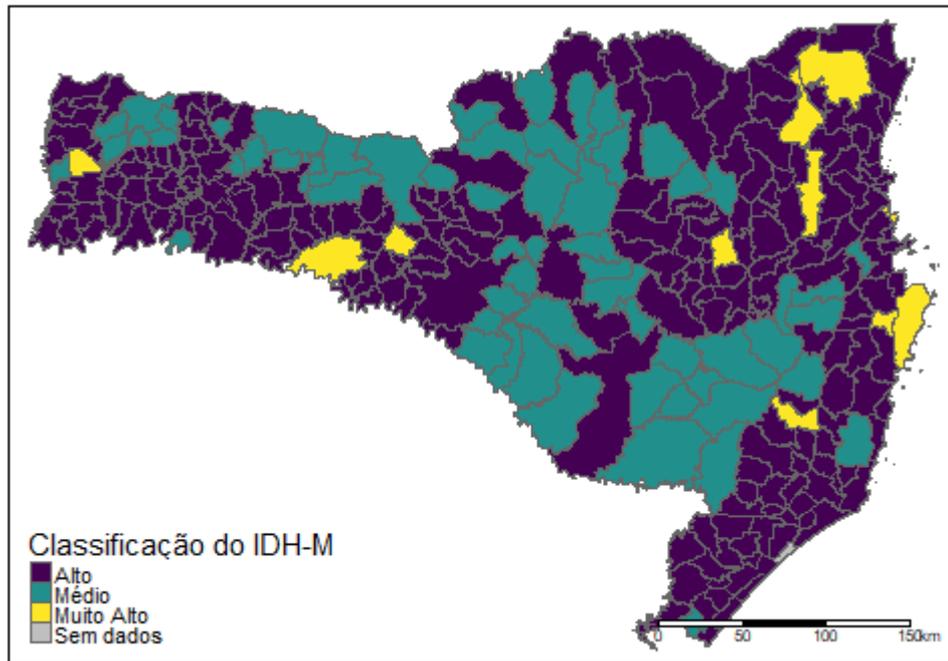
4.1.1 Dados gerais de Santa Catarina

A coleta de dados gerais sobre o estado de Santa Catarina foi realizada por meio do site do IBGE, onde foi possível obter informações sobre os 295 municípios do estado referentes ao IDH do ano de 2010, estimativa da população no ano de 2021 e área dos municípios.

A Figura 5, apresenta o mapa do IDH de Santa Catarina, com dados referentes à 2010, onde é dividido em cinco categorias: IDH muito alto (0,800 - 1,000), IDH alto (0,700 - 0,799), IDH médio (0,600 - 0,699), IDH baixo (0,500 – 0,599) e IDH muito baixo (0,000 - 0,499). Nenhum município do estado apresentou IDH baixo ou muito baixo.

⁵ Package 'tmap'. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/tmap/tmap.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2022.

Figura 5 – Mapa do IDH de Santa Catarina

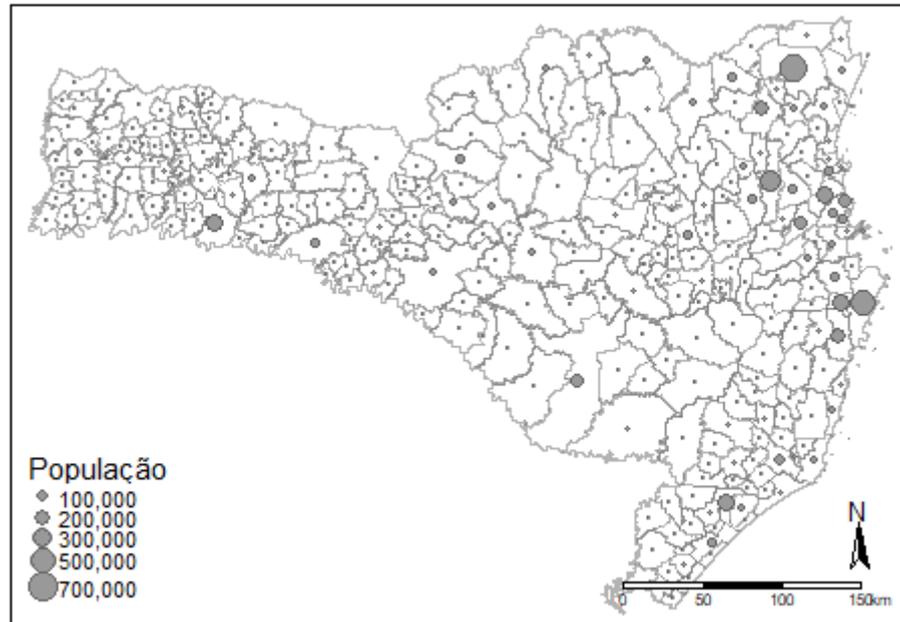


Fonte: O autor

A avaliação de indicadores, como o IDH do estado de Santa Catarina, é de suma importância para entender qual a sua correlação com o impacto de desastres naturais. O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2004) estima que os países com baixo nível de desenvolvimento humano foram responsáveis por mais da metade de todas as vítimas relatadas nas últimas duas décadas, embora representem apenas um décimo das pessoas expostas a desastres naturais. O estudo também estima que quase 85% das pessoas expostas a desastres naturais vivem em países de desenvolvimento humano médio e baixo.

Segundo a UNISDER (2015), um dos principais fatores de geração de risco e de desastres é o crescimento populacional urbano e o aumento de sua densidade em ocupação de áreas de riscos. Na Figura 6, é apresentado o mapa da população do estado, com base nos dados referentes a estimativa do IBGE para o ano de 2021. É possível observar uma alta concentração de habitantes no litoral, em relação ao interior do estado.

Figura 6 – Mapa da População de Santa Catarina (2021)



Fonte: O autor

4.1.2 Ocorrências e itens solicitados

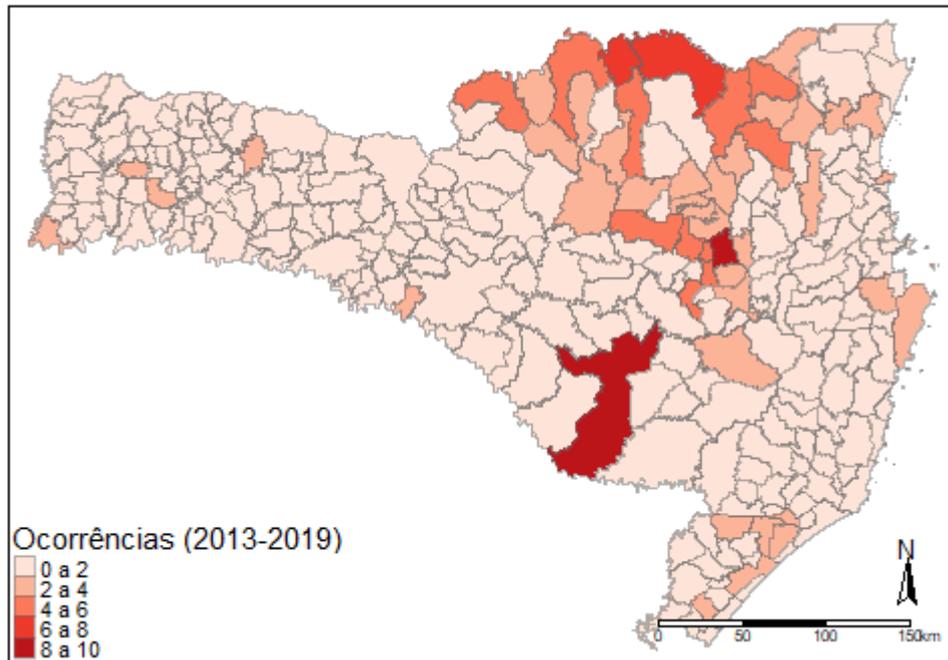
Os dados da SEDC/SC, que englobam o período de 2013 à 2019, representam as ocorrências nas cidades atingidas pelos desastres naturais, sendo estes desastres classificados como: enxurrada, inundações, chuvas intensas, tempestade/granizo, alagamentos e vendavais.

Além dos dados referentes aos eventos ocorridos, foram fornecidos, para cada município atingido, dados sobre a quantidade de itens solicitados, mês da ocorrência e custos.

Para a formulação do modelo, serão utilizados dados referentes ao número de ocorrências e quantidade de itens solicitados.

Os dados relacionados as ocorrências de desastres podem ser observadas na Figura 7, onde estão distribuídos os eventos por cada município de Santa Catarina

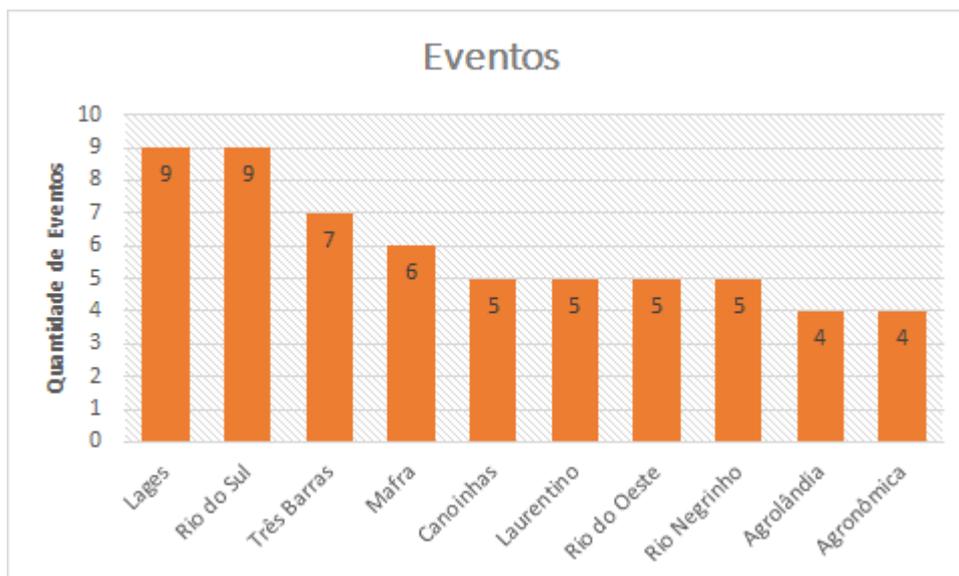
Figura 7 – Mapa das Ocorrências de Desastres Naturais entre 2013 e 2019



Fonte: O autor

. Os dez municípios mais afetados no período são apresentados no Gráfico 1, onde é possível observar que, Lages e Rio do Sul, são os municípios que mais foram castigados com ocorrências de desastres.

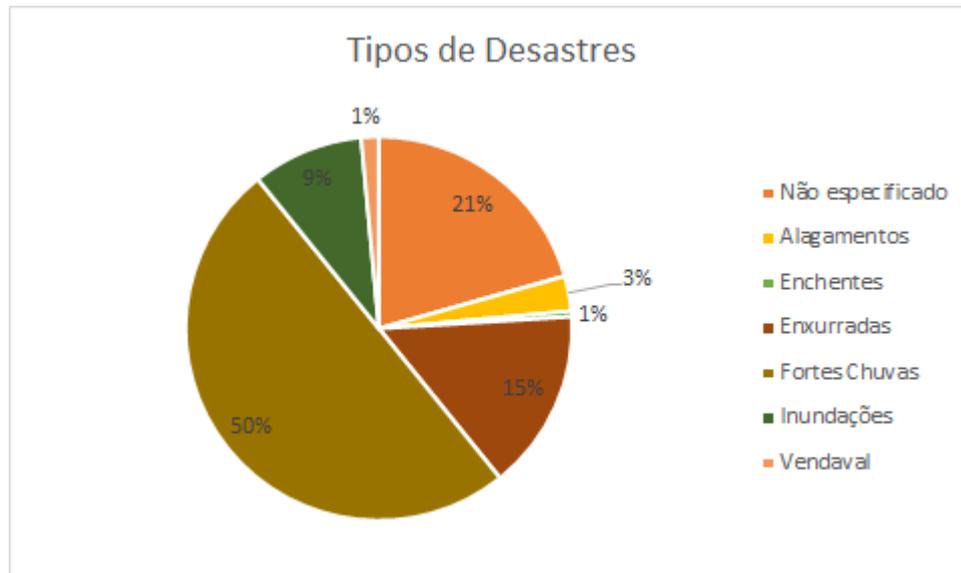
Gráfico 1 – Municípios mais afetados



Fonte: O autor

O Gráfico 2 e a Tabela 1, apresentam uma análise dos tipos de ocorrências que ocorreram entre 2013 e 2019.

Gráfico 2 – Percentual dos tipos de desastres ocorridos entre 2013 e 2019



Fonte: O autor

As fortes chuvas se destacam, representando metade do total de eventos, seguido por não especificados, que por sua vez representam 21% do total, e enxurradas com 15% .

Tabela 1 – Tipos de Desastres Registrados

Tipos de desastres ocorridos	Quantidade
Fortes chuvas	102
Não especificado	42
Enxurradas	31
Inundações	19
Alagamentos	6
Vendaval	3
Enchentes	1
Total	204

Fonte: O autor

No Gráfico 3, é apresentado a distribuição dos desastres ocorridos ao longo dos anos, para todos os períodos fornecidos pela SEDC/SC. É possível observar uma sazonalidade dos eventos que ocorre entre os meses de maio à julho e agosto à novembro.

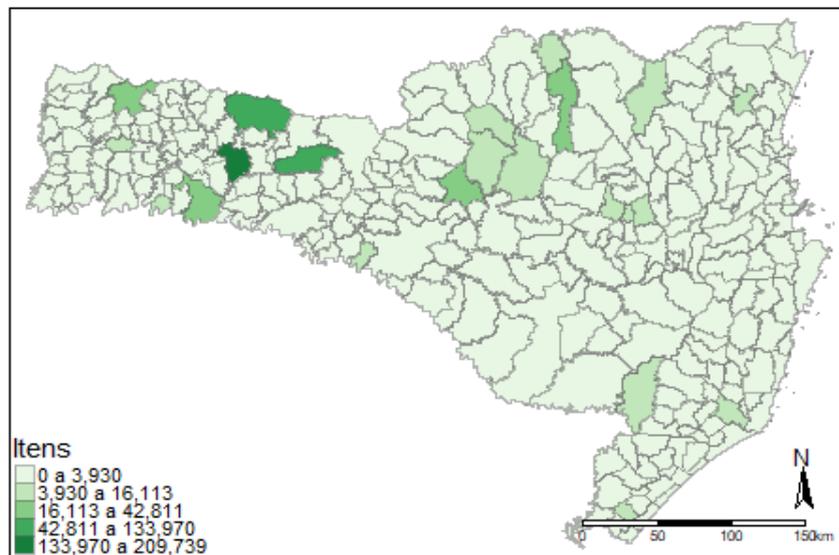
Gráfico 3 – Distribuição temporal das ocorrências



Fonte: O autor

A Figura 8, apresenta o mapa dos itens solicitados pelos municípios afetados em Santa Catarina, onde é possível analisar uma concentração na região oeste do estado.

Figura 8 - Mapa dos Itens Solicitados entre 2013 e 2019



Fonte: O autor

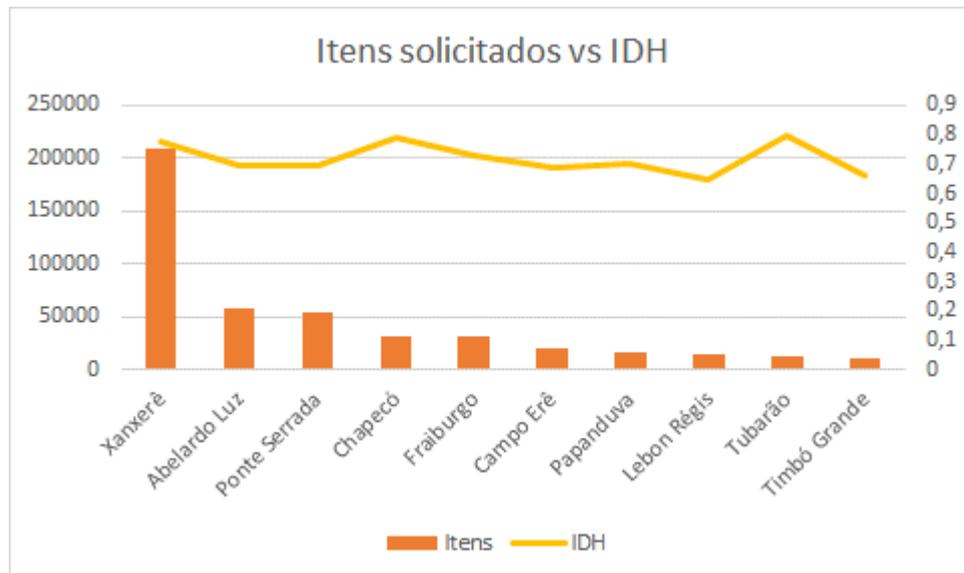
A Tabela 2 sumariza os tipos de itens as suas respectivas quantidades solicitadas. Já o Gráfico 4, apresenta uma análise cruzando o IDH e a quantidade de itens solicitados dos dez municípios que mais solicitaram itens no estado de Santa Catarina entre 2013 e 2019.

Tabela 2 – Tipos de itens solicitados

Tipos de itens solicitados	Quantidade
Material de construção	89616
Água	36537
Kit limpeza	28251
Cestas básicas	25971
Kit higiene	22583
Colchão	13906
Kit acomodação	9084
Outros	35140
Total	261088

Fonte: O autor

Gráfico 4 – Cidades que mais solicitaram itens

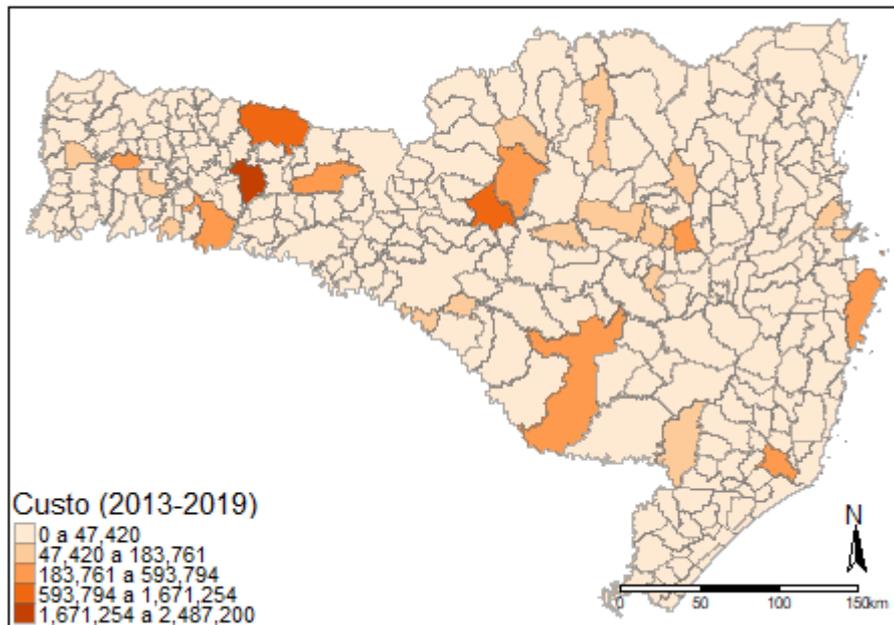


Fonte: O autor

O Gráfico 4 mostra uma correlação entre IDH e quantidade de itens solicitados a fim de considerar a influência, em diferentes municípios, do IDH como um indicador para auxílio de mensuração da vulnerabilidade das áreas com maiores demandas no período analisado.

A Figura 9 mostra a distribuição dos custos em Reais de cada cidade do estado, onde é possível ver que as cidades que apresentaram mais ocorrências e solicitaram mais itens, tiveram um maior custo.

Figura 9 – Mapa dos Custos entre 2013 e 2019



Fonte: O autor

Ao comparar, a Figura 8 com a Figura 9, é possível observar que a distribuição do custo está de acordo com a distribuição dos itens solicitados, porém é interessante observar que ao comparar com a Figura 7, o mesmo não ocorre, isto se deve à alguns fatores como complexidade da ocorrência, IDH da região afetada, bem como às condições geográficas do estado de Santa Catarina. Entender e analisar os dados relacionados aos desastres, conhecer suas correlações é um fator determinante para a prevenção e minimização dos impactos.

4.1.3 Matriz de distâncias rodoviárias

A matriz de distâncias é uma matriz simétrica, representada pelas distâncias rodoviárias entre todas as cidades do estado de Santa Catarina. Para a modelagem será considerado que, cada município do estado é um possível candidato para receber um CD.

Para a obtenção da matriz de distâncias rodoviárias, foi necessário obter os dados referente às coordenadas geográficas de cada cidade, ou seja, latitude e longitude, extraídos do *Bing Maps*.

Tabela 3 – Latitude e Longitude

Município	Latitude	Longitude
Abdon Batista	-27.6106	-51.0228
Abelardo Luz	-26.5647	-52.3283
Agrolândia	-27.4106	-49.8294
⋮	⋮	⋮
Xanxerê	-26.8833	-52.3997
Xavantina	-27.0718	-52.3417
Xaxim	-26.9617	-52.5347
Zortéa	-27.4537	-51.5542

Fonte: O autor

Posteriormente, por meio da API de matriz de distâncias do *Bing Maps*, foi possível criar uma rotina em *Visual Basic*, no *software Excel*, para que, a partir das coordenadas geográficas, fosse possível obter as distâncias rodoviárias entre os municípios. A roteirização por meio da API, traz as distâncias em km, entre as cidades, de maneira otimizada, ou seja, para os municípios de Santa Catarina, obteve-se na matriz 87025 elementos de distâncias, que serão utilizados na implementação do modelo da p-mediana.

Figura 10 – Matriz parcial de distâncias rodoviárias em km

	Abdon Batista	Abelardo Luz	Agrolândia	Agronômica	Água Doce	Águas de Chapecó	Águas Frias	Águas Mornas	Alfredo Wagner	Alto Bela Vista	...
Abdon Batista	0	255	229	222	125	298	284	299	227	135	...
Abelardo Luz	255	0	389	382	157	122	108	512	440	182	...
Agrolândia	229	378	0	26	248	421	407	187	116	271	...
Agronômica	221	371	25	0	240	414	400	163	92	263	...
Água Doce	125	152	248	241	0	195	181	382	310	103	...
Águas de Chapecó	298	124	422	415	195	0	57	555	483	163	...
Águas Frias	284	110	408	401	181	57	0	541	469	170	...
Águas Mornas	299	512	186	162	382	555	541	0	72	404	...
Alfredo Wagner	229	442	115	92	311	485	471	72	0	334	...
Alto Bela Vista	134	182	271	264	103	163	169	404	332	0	...
Anchieta	374	166	498	491	271	127	101	631	559	260	...
Angelina	288	501	175	151	371	544	530	40	61	394	...
Anita Garibaldi	131	173	249	242	21	215	202	383	310	111	...
Anitápolis	309	522	196	172	392	565	551	61	82	414	...
Antônio Carlos	331	544	218	194	414	587	573	34	104	437	...
Apiúna	278	428	82	59	297	470	457	221	133	320	...
Arabutã	191	122	314	307	95	122	128	448	376	59	...
Araquari	399	471	204	180	423	579	565	184	254	442	...
Araranguá	357	570	356	375	439	612	599	215	285	391	...
Armazém	329	543	345	321	412	585	572	161	231	435	...
Arroio Trinta	153	170	262	255	64	252	239	404	332	177	...
Arvoredo	244	107	367	360	148	67	74	501	429	112	...
Ascurra	282	432	86	63	301	474	461	205	137	324	...
Atalanta	234	384	7	32	254	427	413	149	78	276	...
Aurora	241	391	46	22	261	434	420	141	70	283	...
Balneário Arroio do Silva	365	578	364	383	448	621	607	223	293	400	...
Balneário Barra do Sul	422	488	226	203	439	596	582	183	253	464	...
Balneário Camboriú	388	538	192	168	407	580	566	103	173	430	...
Balneário Gaivota	389	602	388	407	472	708	631	247	317	487	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Fonte: O autor

4.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

Nesta seção, apresenta-se a formulação do modelo matemático que será utilizada na resolução do problema de programação linear inteira, para a localização otimizada dos CD's, e seus respectivos pontos de demanda que serão atendidos. O modelo não leva em conta a capacidade e nem custos referentes à construção física dos armazéns.

Utilizando os dados, já apresentados, na formulação do problema (Equação (1) à (5)), tem-se que N representa o conjunto de todas as cidades do estado de Santa Catarina, ou seja, 295 municípios, sendo que i e j , pertencem ao conjunto N , representando os pontos de demanda e distribuição, respectivamente.

A componente w_i representa o peso ou importância de cada município no modelo, este peso será calculado na escolha dos cenários, com base nos dados históricos disponibilizados pela SEDC/SC, dados geográficos, e indicadores socioeconômicos, que foram apresentados na seção anterior.

Com relação às restrições, a (2) garante que cada município é alocado à somente um CD. Na (3) garante que sejam p centros de distribuições que serão localizados, o valor de p será definido para cada cenário. A (4) afirma que que cada município somente é atendido por um município que seja mediana. E por último, a (5) impõe que a variável seja binária, ou seja, assumam os valores 0 e 1.

4.3 PESOS

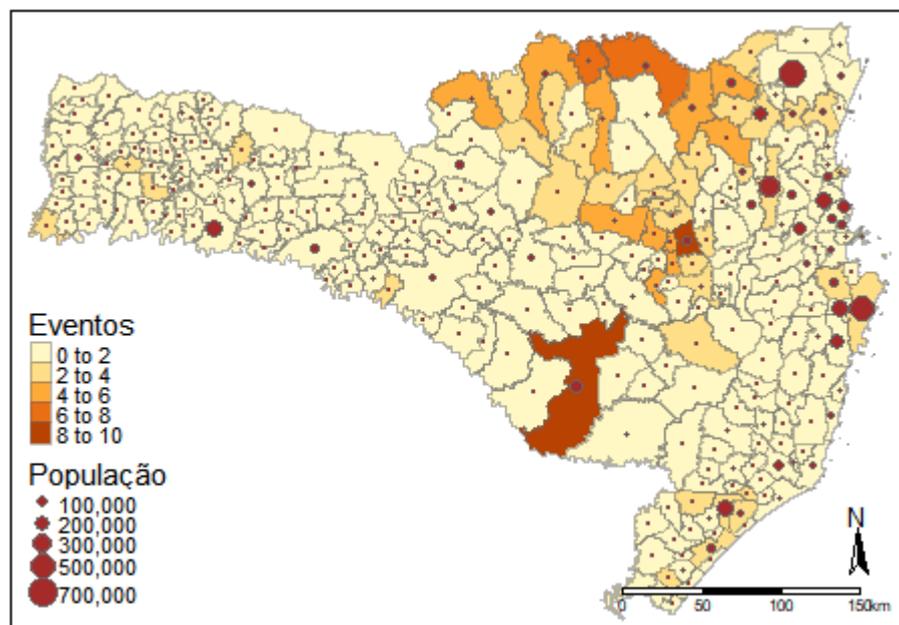
O risco de desastre é universalmente reconhecido como uma função de perigo, exposição e vulnerabilidade (NING et al., 2014). A modelagem proposta inclui propriedades de ponderação, com o objetivo de captar a vulnerabilidade de cada cidade, baseados no IDH, tamanho da população, quantidade de ocorrências e quantidade de itens solicitados, com a finalidade de calcular a importância de cada, na função objetivo (1).

A seguir será apresentado como cada critério foi calculado, com base na Atribuição Direta de Peso, ou *Direct Rating*, um método empírico, onde segundo Garcia (2015), tem-se total liberdade na atribuição dos pesos dos critérios, ou seja, apresenta-se a importância relativa de cada critério, e logo em seguida os pesos são normalizados. É importante destacar, que, para a construção dos pesos de cada critério, foi necessário simular o modelo via R a fim de refinar e ajustar os parâmetros de cada componente associada aos pesos.

4.3.1 Peso 1

O Peso 1, leva em consideração o número de ocorrências e o tamanho da população. Maskrey (1992), considera que várias condições de alta vulnerabilidade são geradas e reproduzidas nos processos de desenvolvimento regionais e de centros urbanos. Uma destas condições de vulnerabilidade é principalmente o aumento brutal da população em áreas sujeitas à acidentes. Este critério tende a dar mais importância às cidades que possuem maior população e maior número de ocorrências.

Figura 11 – Ocorrências e População



Fonte: O autor

Os dois critérios, possuem escalas diferentes, ou seja, para o cálculo do peso 1, faz-se necessário a normalização de cada critério, e a atribuição de um peso para cada um. Sendo assim, primeiro foi realizado o somatório do número de ocorrências, e o somatório da população de cada município. Para encontrar o valor normalizado, foi dividido o número de ocorrências de cada cidade pelo total de ocorrências no período, e a mesma lógica foi utilizada para a população. Assim, para o cálculo do peso final, foi considerado um peso de 30% para as ocorrências e 70% para o tamanho da população, resultando na equação (12).

$$w_{1i} = E_i * 0,3 + 0,7 * P_i \quad (12)$$

Onde:

- w_{1i} – Peso da no município i ;
- E_i – Ocorrência de desastres no município i ;
- P_i – População do município i ;

4.3.2 Peso 2

De acordo com Ning et al. (2014), muitos fatores contribuem para a vulnerabilidade social, incluindo rápido crescimento populacional, pobreza e fome, problemas de saúde, baixos níveis de educação, desigualdade de gênero, capital social (redes sociais e conexões), crenças e costumes, idade de edifícios, tipo e densidade de infraestrutura, falta de acesso a recursos e serviços. O Peso 2, com a finalidade de captar essa vulnerabilidade, leva em consideração a densidade demográfica, o IDH e a quantidade de itens solicitados.

Para o cálculo do peso 2, também, faz-se necessário, a normalização de cada critério, e a atribuição de um peso para cada um. Sendo assim, primeiro foi realizado o somatório do número da densidade demográfica, do IDH e quantidade de itens solicitados, de cada município. Para encontrar o valor normalizado, foi dividido o número da densidade demográfica, do IDH e quantidade de itens, de cada município pelo valor total. Assim, para o cálculo do peso final, foi considerado um peso de 20% para a quantidade de itens solicitados, 60% para a densidade demográfica e 20% para o IDH, resultando na equação (13).

$$w_{2i} = QI_i * 0,2 + I_i * 0,2 + DD_i * 0,6 \quad (13)$$

Onde:

- w_{2i} – Peso do município i ;
- QI_i – Quantidade de itens solicitados pelo município;
- I_i – IDH do município i ;
- DD_i – Densidade demográfica do município i ;

4.4 CENÁRIOS

Neste item, serão propostos 4 cenários distintos, para análise da localização dos CD's, baseados nos conceitos básicos da teoria dos centros, que segundo Malczewski (2009), está preocupada com o tamanho, número, características funcionais e espaçamento dos assentamentos, que são pontos nodais para a distribuição de bens e serviços para as áreas de mercado circundantes.

O Quadro 2 traz o resumo dos cenários propostos, com seus respectivos critérios e quantidade de localizações que serão abertas.

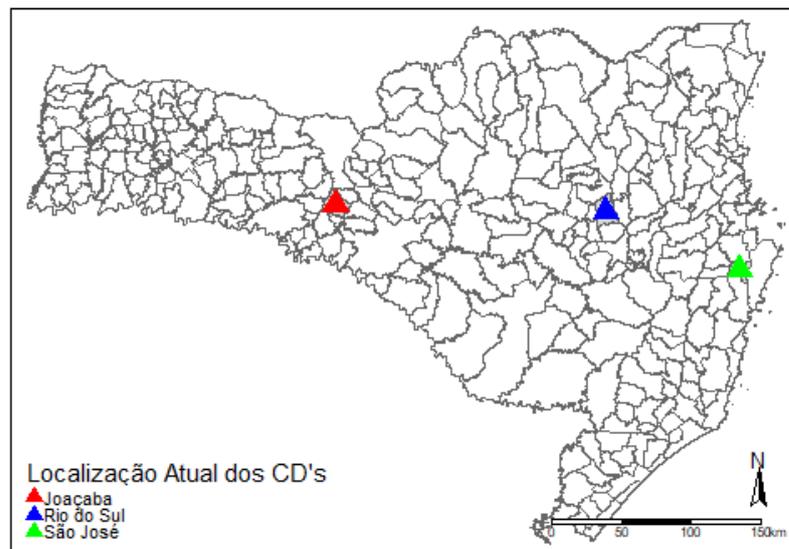
Quadro 2 – Cenários Propostos

Cenários	p (nº de Instalações)	Critério
C1	3	População e Ocorrências
C2	4	População e Ocorrências
C3	3	IDH, Itens e Densidade demográfica
C4	4	IDH, Itens e Densidade demográfica

Fonte: O autor.

A Figura 12 apresenta a atual localização dos CD's da SEDS/SC no estado de Santa Catarina.

Figura 12 – Localização atual dos CD's em Santa Catarina



Fonte: O autor

A seguir, nas próximas seções, será detalhado cada cenário proposto.

4.4.1 Cenário 1

O Cenário 1, propõe a instalação de 3 CD's ($p=3$) no estado de Santa Catarina, a fim de comparar com a localização dos 3 centros de distribuição já existentes. Para isso, foi considerado que cada município do estado pode receber um CD, ou seja, $N = 295$. A ponderação proposta (w_{1i}), leva em conta a população e as ocorrências. Neste cenário, portanto, os critérios adotados para a ponderação do Cenário 1, serão número de eventos ocorridos entre os anos de 2013 e 2019 e a população de cada município de acordo com a estimativa de 2021 do IBGE.

4.4.2 Cenário 2

O Cenário 2, propõe a instalação de 1 CD ($p=4$) no estado de Santa Catarina, considerando a localização dos 3 centros de distribuição já existentes. Para isso, foi considerado que cada município do estado pode receber um CD, ou seja, $N = 295$. A ponderação proposta (w_{1i}), leva em conta a população e as ocorrências. Neste cenário, portanto, os critérios adotados para a ponderação do Cenário 2, serão número de eventos ocorridos entre os anos de 2013 e 2019 e a população de cada município, como no Cenário 1.

4.4.3 Cenário 3

O Cenário 3, propõe a instalação de 3 CD's ($p=3$) no estado de Santa Catarina, também, a fim de comparar com a localização dos 3 centros de distribuição já existentes. Para isso, foi considerado que cada município do estado pode receber um CD, ou seja, $N = 295$. A ponderação proposta (w_{2i}), considera o IDH, densidade demográfica e itens solicitados.

4.4.4 Cenário 4

O Cenário 4, como no Cenário 2 propõe a instalação de 1 CD ($p=4$) no estado de Santa Catarina, considerando a localização dos 3 centros de distribuição já existentes. Para isso, foi considerado que cada município do estado pode receber um CD, ou seja, $N = 295$. A ponderação

proposta (w_{2i}), leva em conta o IDH, densidade demográfica e itens solicitados, como no Cenário 3.

4.5 MÉTODO DE RESOLUÇÃO

O problema das P-medianas, neste trabalho, se caracteriza por ser um problema de programação linear inteira mista. Nesta etapa do trabalho, utilizou-se o *RStudio*, um *software* livre de ambiente de desenvolvimento integrado para linguagem de programação *R*, para obtenção da localização ótima, de acordo com cada cenário proposto. O *RStudio* tem muitos pacotes que ajudam a modelar e resolver problemas de programação linear.

O Quadro 2, apresenta um resumo dos pacotes utilizados para resolução do problema das P-medianas.

Quadro 2 – Pacotes utilizados

Lp.solve	Lp_solve é um pacote disponível gratuitamente para resolver programas lineares, inteiros e inteiros mistos.
Rglpk	' GLPK ' é um <i>solver</i> de código aberto para resolver programação linear de grande escala (LP), programação linear inteira mista ('MILP') e outros problemas relacionados
Ompr	Modela programas lineares inteiros mistos de maneira algébrica diretamente em <i>R</i> . Oferece a possibilidade de resolver um modelo com diferentes solucionadores. Atualmente, suporta apenas restrições lineares e funções objetivas.
ROI	<i>R Optimization Infrastructure</i> ('ROI') é uma estrutura sofisticada para lidar com problemas de otimização em <i>R</i> e extrair soluções dos modelos.

Fonte: O autor

Na resolução do problema, foi utilizado o pacote *Ompr* para modelar o problema de forma algébrica, sem precisar inserir uma grande matriz de restrições e vetores, em seguida com o pacote *ROI* é solucionado o modelo com a função *Lpsolve* usando o solver *GLPK*, o código utilizado em *R* se encontra no Apêndice A.

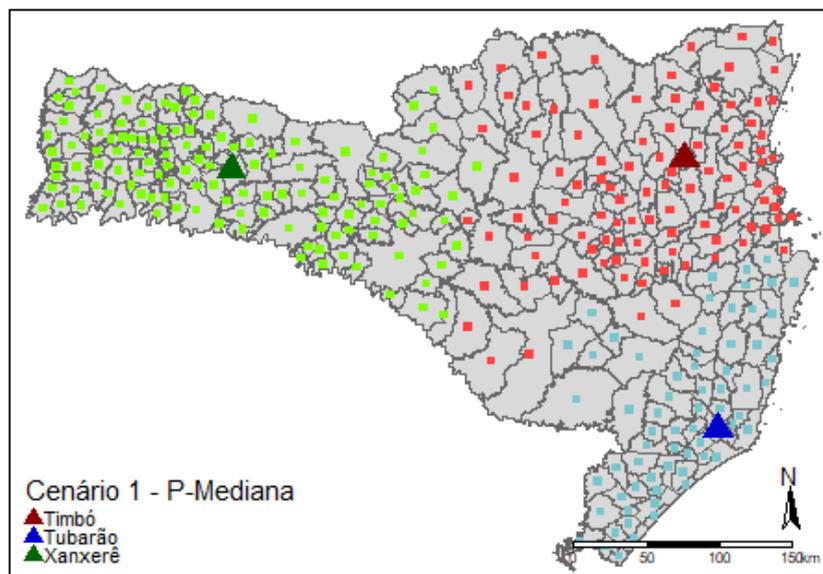
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados para cada cenário proposto, ou seja, a localização otimizada dos CD's, de acordo com as restrições do modelo, e os municípios designados para cada mediana encontrada.

5.1 RESULTADO CENÁRIO 1

Com a implementação do modelo para o Cenário 1, onde foi considerado a abertura de 3 CD's, levando em conta o tamanho da população e o número de ocorrências, as cidades de Timbó, Tubarão e Xanxerê, foram os municípios responsáveis pela localização ótima. A Figura 13, apresenta a localização geográfica de cada município que recebeu um CD, bem como a alocação dos municípios para cada CD encontrado.

Figura 13 – Resultado Cenário 1



Fonte: O autor

Para o CD de Timbó, foram alocados 102 municípios, Tubarão e Xanxerê, foram alocados 66 e 127 municípios respectivamente.

Tabela 4 – Quantidade de municípios atendidos no Cenário 1 por cada CD

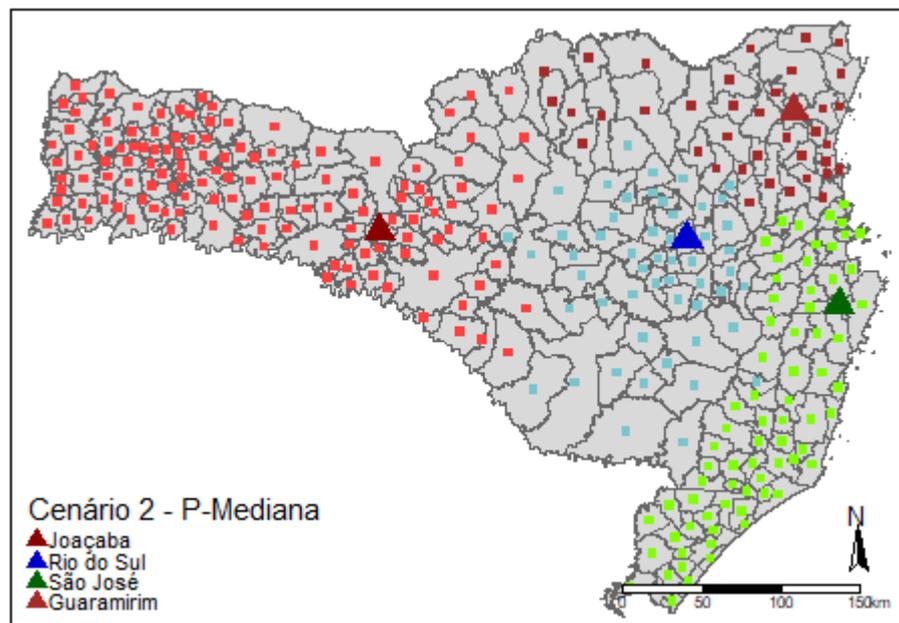
Centro de Distribuição	Municípios Atendidos
Timbó	102
Tubarão	66
Xanxerê	127

Fonte: O autor

5.2 RESULTADO CENÁRIO 2

Com a implementação do modelo para o Cenário 2, onde foi considerado a abertura de apenas 1 CD, considerando a localização atual dos CD's existentes, em São José, Rio do Sul e Joaçaba, e levando em conta o tamanho da população e o número de ocorrências, a cidade de Guaramirim, foi o município responsável pela localização ótima. Figura 14, apresenta a localização geográfica dos CD's atuais e do CD encontrado para este cenário.

Figura 14 – Resultado Cenário 2



Fonte: O autor.

Para o CD de São José, foram alocados 73 municípios, Joaçaba, Rio do Sul e Guaramirim, ficaram com 131, 53 e 38 municípios alocados respectivamente.

Tabela 5 - Quantidade de municípios atendidos no Cenário 2 por cada CD

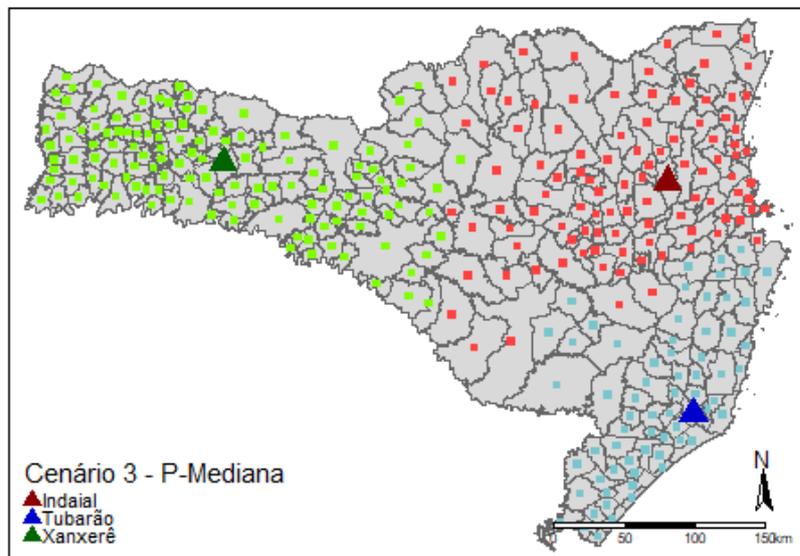
Centro de Distribuição	Municípios Atendidos
Guaramirim	38
Joaçaba	131
Rio do Sul	53
São José	73

Fonte: O autor

5.3 RESULTADO CENÁRIO 3

Para o Cenário 3, onde foi considerado a abertura de 3 CD's, levando em conta a densidade demográfica, quantidade de itens solicitados e o IDH, as cidades de Indaial, Tubarão e Xanxerê, foram os municípios responsáveis pela localização ótima. A Figura 15, apresenta a localização geográfica de cada município que recebeu um CD.

Figura 15 – Resultado Cenário 3



Fonte: O autor

Para o CD de Indaial, foram alocados 102 municípios, Tubarão e Xanxerê, ficaram com 66 e 127 respectivamente.

Tabela 6 - Quantidade de municípios atendidos no Cenário 3 por cada CD

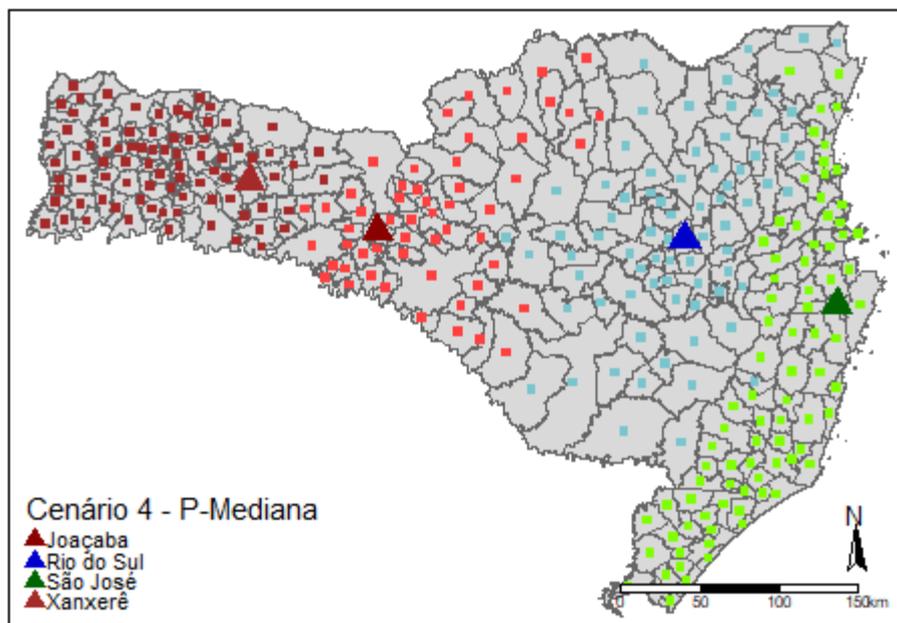
Centro de Distribuição	Municípios Atendidos
Indaial	102
Tubarão	66
Xanxerê	127

Fonte: O autor

5.4 RESULTADO CENÁRIO 4

Com a implementação do modelo para o Cenário 4, onde foi considerado a abertura de apenas 1 CD, considerando a localização atual dos CD's existentes, em São José, Rio do Sul e Joaçaba, e levando em conta a densidade demográfica, IDH e quantidade de itens solicitados, a cidade de Xanxerê, foi o município responsável pela localização ótima. A Figura 16, apresenta a localização geográfica dos CD's atuais e do CD encontrado para este cenário.

Figura 16 - Resultado Cenário 4



Fonte: O autor

Para o CD de Xanxerê, foram alocados 82 municípios, em São José, Rio do Sul e Joaçaba foram alocados respectivamente 84, 74 e 55.

Tabela 7 - Quantidade de municípios atendidos no Cenário 4 por cada CD

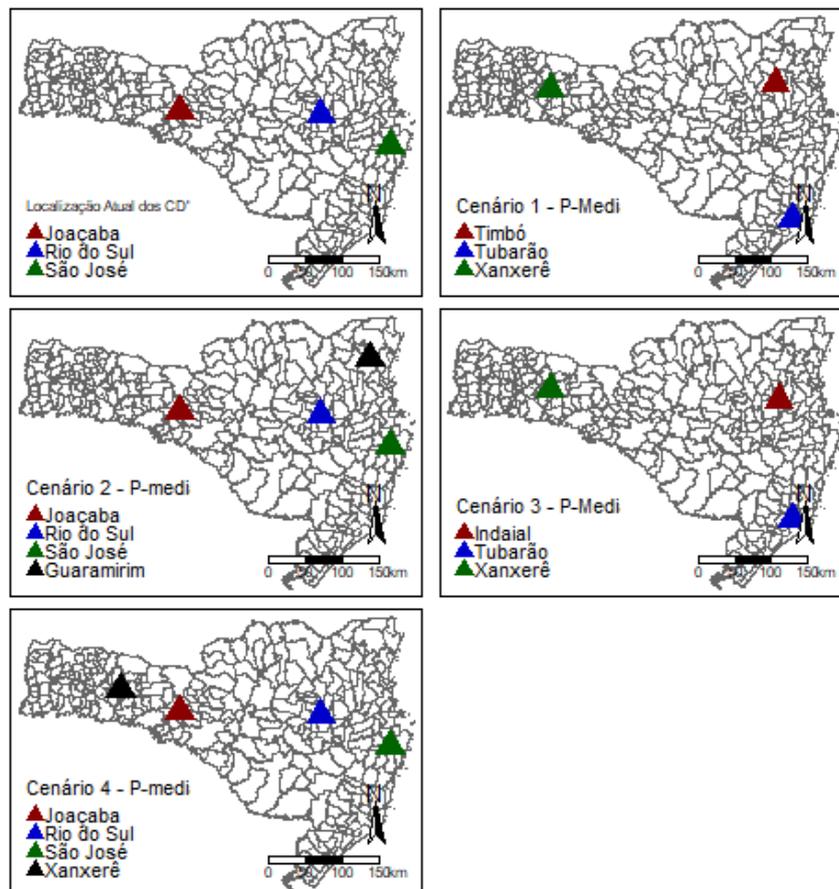
Centro de Distribuição	Municípios Atendidos
Xanxerê	82
Joaçaba	84
Rio do Sul	74
São José	55

Fonte: O autor

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A Figura 17 sumariza a localização dos CD's para cada cenário proposto, juntamente com a localização já existente dos CD's atuais.

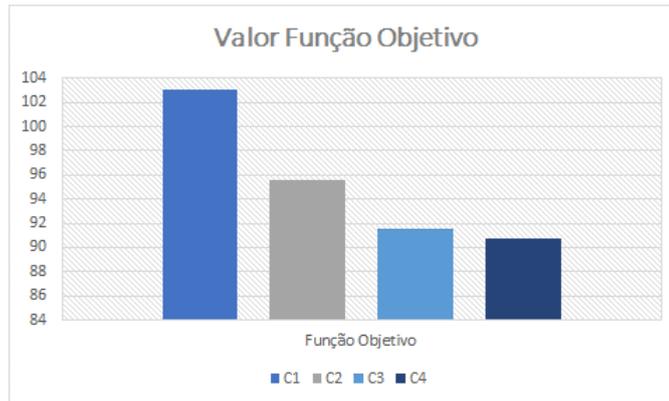
Figura 17 – Localização espacial dos CD's para cada cenário



Fonte: O autor

Outro parâmetro retirado do modelo, além da localização e alocação dos municípios aos seus respectivos CD's, é o valor da função objetivo para cada cenário proposto, o Gráfico 5 apresenta essas informações.

Gráfico 5 - Valor da função objetivo para cada cenário



Fonte: O autor

O valor da função objetivo é a representação matemática do critério de eficiência adotado nos cenários de otimização. O cenário 4, se mostrou o melhor cenário, do ponto de vista da função objetivo, seguido dos outros cenários.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou, inicialmente, uma revisão bibliográfica dos métodos para localização de facilidades (P-Centro e P-Mediana), logística humanitária, tecnologias livres para otimização com apoio do SIG, e posteriormente, um estudo de caso sobre a localização otimizada dos CD's para situações de emergência no estado de Santa Catarina.

A localização estratégica de CD's para casos de desastres afeta diretamente a operação de logística humanitária, isso se deve ao seu impacto na eficácia das cadeias de abastecimento de ajuda humanitária.

Nos resultados para os cenários propostos, foram considerados diversos parâmetros distintos a fim de construir uma ponderação para cada município, de forma empírica, que conseguisse captar a vulnerabilidade de cada cidade. O Peso 1, utilizado nos cenários 1 e 2, considerou os critérios de número de ocorrências e tamanho da população, com o objetivo de captar a vulnerabilidade associada aos processos de desenvolvimento regionais e de centros urbanos associados ao tamanho da população em áreas sujeitas à desastres. Já o Peso 2, nos cenários 3 e 4, tentou captar a vulnerabilidade social, associada à alta densidade populacional, pobreza e falta de acesso a recursos e serviços, utilizando como apoio o IDH dos municípios, bem como a quantidade de itens solicitados e a densidade demográfica. Em cada cenário, de acordo com os critérios adotados e os dados disponíveis, foram cumpridos assim um dos objetivos principais que era analisar os dados históricos e formular um modelo de programação linear, apoiado nos dados da SEDC/SC, bem como dados gerais referentes à Santa Catarina.

A fim de aproximar o modelo o mais próximo da realidade, foi necessário construir a matriz de distâncias rodoviárias, que pode considerar a real distância entre os municípios, e não apenas a distância euclidiana.

Determinar a localização ideal para estabelecer centros de distribuição onde os estoques de itens de emergência podem ser armazenados é apenas um primeiro passo em um esforço para ajudar a construir resiliência da perspectiva da preparação para situações de desastre. Com a implementação do modelo e a solução em linguagem *R*, o desenvolvimento do estudo de caso concretizou o objetivo principal de achar a localização ótima para os CD's.

Os cenários 1 e 3, onde foram propostos a localização para 3 CD's, de acordo com 2 critérios ponderados distintos, a fim de comparar com os CD's já existentes, mostraram que a os pesos influenciaram na posição das instalações, apresentando duas alternativas de localização similares, visto que para estes cenários, cada Município teve a mesma quantidade de municípios alocados.

Já os cenários 2 e 4, onde foram considerados a abertura de um novo CD, considerando a localização dos atuais, apresentam alternativas para abertura de futuros CD's, baseados

também em dois critérios diferentes, o Peso 1 e o Peso 2. O cenário 2, com a instalação localizada em Joaçaba, priorizou as ocorrências no norte do Estado e o tamanho da população, já o cenário 4, com a atribuição do CD à cidade de Xanxerê, priorizou a localização próximo às cidades que mais solicitaram itens de assistência humanitária, no oeste catarinense.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Como este estudo explorou alguns indicadores socioeconômicos e dados históricos entre 2013 e 2019, a natureza do trabalho permite que diversas melhorias sejam implementadas com o propósito de melhorar a acuracidade do modelo.

Como desastres podem causar danos em infraestrutura de vias, isso pode acarretar num rompimento da cadeia de suprimentos das regiões afetadas, impactando diretamente a taxa de sobrevivência das pessoas afetadas. Portanto, adicionar ao modelo indicadores relacionados à pobreza, a propensão à desastres, e principalmente a mensuração da acessibilidade terrestre dos municípios, e outros índices que contemplem a vulnerabilidade da população, são algumas sugestões para melhorar a modelagem e a robustez do problema.

Outra sugestão é estudar a capacidade do armazém, e os custos a fim de implementar o método das P-medianas capacitado com custos fixos, ou o a implementação do método dos P-Centros.

Propor a inclusão do tempo no modelo, ou seja, estender o problema para uma formulação multiperíodo, para que possa capturar variações de demanda ao longo do tempo.

Fica como última sugestão, avaliar a inclusão de componentes estocásticas, como previsão da demanda e avaliar o risco associado a cada cidade que pode receber um CD.

Por fim, espera-se, que este trabalho de alguma forma, tenha conseguido demonstrar possibilidades de alternativas nas ações de preparo, mitigação e resposta às situações calamitosas do estado.

REFERÊNCIAS

- ALTAY, Nezh; GREEN III, Walter G. OR/MS research in disaster operations management. **European journal of operational research**, v. 175, n. 1, p. 475-493, 2006.
- ANDRADE, Cid MG. Software Livre: Alguns Aplicativos Científicos para Engenharia. In: **COBENGE-CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA**. 2004.
- APTE, Aruna. Foundations and Trends (R) in Technology, Information and Operations Management. **Foundations and Trends Journal Articles**, v. 3, n. 1, p. 1-100, 2010.
- ARAKAKI, Reinaldo Gen Ichiro; LORENA, Luiz Antonio Nogueira. Uma heurística de localização-alocação (HLA) para problemas de localização de facilidades. **Production**, v. 16, n. 2, p. 319-328, 2006.
- BALCIK, Burcu; BEAMON, Benita M. Facility location in humanitarian relief. **International Journal of logistics**, v. 11, n. 2, p. 101-121, 2008.
- BALCIK, Burcu; BEAMON, Benita M. Localização de instalações de ajuda humanitária. **Revista Internacional de Logística** , v. 11, n. 2, pág. 101-121, 2008.
- Banco Mundial. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Santa Catarina - Novembro de 2008**. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Inundaes-Bruscas-em-Santa-Catarina.pdf>>. Acesso em: 30 nov 2022.
- BRADFORD, Michael G. Human Geography: Theories and their applications. 1975.
- BURROUGH, Peter A.; MCDONNELL, Rachael A.; LLOYD, Christopher D. **Principles of geographical information systems**. Oxford university press, 2015.
- ÇAKMAK, Emre et al. Analisando a localização dos centros logísticos da cidade em Istambul, integrando os Sistemas de Informação Geográfica com o algoritmo Binary Particle Swarm Optimization. **Estudos de Caso sobre Política de Transporte** , v. 9, n. 1, pág. 59-67, 2021.
- CAMAGNI, Roberto. Economía Urbana. Barcelona: Antônio Bosh, 2005.

CARDOSO, Daniel et al. Gestão do conhecimento nas respostas a desastres naturais: a experiência da Defesa Civil do Estado de Santa Catarina. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 4, n. 2, p. 90-106, 2014.

CASTRO, A. M. D. D. et al. Manual de desastres-desastres naturais, vol I. **Ministério da Integração Nacional-Secretaria Nacional de Defesa Civil, Brasília, DF**, v. 174, 2003.

CAUCHICK MIGUEL, Paulo Augusto et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. **Rio de Janeiro: Elsevier**, 2010.

CLIMÁTICAS, PBMC PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS. Mudanças climáticas e cidades. **Relatório especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**, 2016.

CNN BRASIL. **62% dos brasileiros acreditam que desastres naturais serão mais frequentes em 2022**. 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/62-dos-brasileiros-acreditam-que-desastres-naturais-serao-mais-frequentes-em-2022/>>. Acesso em: 14 Mar 2022.

COSTA, Sérgio Ricardo Argollo da et al. Cadeia de suprimentos humanitária: uma análise dos processos de atuação em desastres naturais. **Production**, v. 25, p. 876-893, 2015.

DA SILVA, Edna Lúcia; MENEZES, Eстера Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. **UFSC, Florianópolis, 4a. edição**, v. 123, 2005.

DA SILVA, Luiza de Castro Ferreira. **Gestão da logística humanitária: proposta de um referencial teórico**. Novas Edições Acadêmicas, 2015.

DE MELO BRAGA, Marcus et al. Aplicação das Técnicas de Gestão do Conhecimento no Gerenciamento de Desastres Naturais. In: **IX Simposio sobre la Sociedad de la Información (SSI 2011)(XL JAIHO, Córdoba, 29 de agosto al 2 de septiembre de 2011)**. 2011.

DEMIRBAS, Sefika; ERTEM, Mustafa Alp. Determination of equivalent warehouses in humanitarian logistics by reallocation of multiple item type inventories. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 66, p. 102603, 2021.

GAMA, António. Uma Ruptura Epistemológica na Geografia-A Teoria dos Lugares Centrais. 1983.

GARCIA, ÁLVARO EDUARDO NUNES. Aplicação da p-Mediana na Localização da Coordenadoria de Educação da Regional do Médio Paraíba do Estado do Rio de Janeiro.

- GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 12 reimpr, Atlas. **São Paulo**, 1991.
- Haghani, Ali e Sei-Chang Oh. Formulação e solução de um modelo de fluxo de rede multimodais e multimodal para operações de socorro a desastres. **Pesquisa em Transporte Parte A: Política e Prática** 30, no. 3 (1996): 231-250.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- IFRC (2015). **What is a disaster?**. Disponível em: <<https://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/about-disasters/what-is-a-disaster/>>. Acesso em 12 Mar 2022.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estado**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc.html>>. Acesso em 20 Jun. 2022.
- KLOSE, A.; DREXL, A. Facility location models for distribution system design. **European Journal of Operational Research**, 162(1):4 – 29, 2005. Logistics: From Theory to Application.
- LIMA, F. S. Logística Humanitária: Modelagem de processos para a fase de aquisição na resposta a desastres naturais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. 2014.
- LIU, Kanglin; ZHANG, Hengliang; ZHANG, Zhi-Hai. A eficiência, equidade e eficácia das estratégias de localização na logística humanitária: uma abordagem robusta e restrita ao acaso. **Pesquisa de Transporte Parte E: Revisão de Logística e Transporte**, v. 156, p. 102521, 2021.
- MAGNAGO, Rachel Faverzani et al. DESASTRES NATURAIS NO ESTADO DE SANTA CATARINA-1998 A 2019. **MIX Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 105-114, 2021.
- MAGNAGO, Rachel Faverzani et al. DESASTRES NATURAIS NO ESTADO DE SANTA CATARINA-1998 A 2019. **MIX Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 105-114, 2021.
- MAGNAGO, Rachel Faverzani et al. DESASTRES NATURAIS NO ESTADO DE SANTA CATARINA-1998 A 2019. **MIX Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 105-114, 2021.
- MAGNAGO, Rachel Faverzani et al. Incidência de desastres naturais em Santa Catarina de 2011 a 2013. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, p. 156-175, 2015.

MAHARJAN, Rajali; HANAOKA, Shinya. Warehouse location determination for humanitarian relief distribution in Nepal. **Transportation research procedia**, v. 25, p. 1151-1163, 2017.

MALCZEWSKI, Jacek. **International encyclopedia of human geography**. Pages 26-30 Elsevier, 2009.

MARCELINO, Emerson Vieira. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. Ministério da Ciência e da Tecnologia. Emergency Events Database período de 1900- 2006. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Santa Maria, 2007.

Maskrey, A. 1992. Introducción. In: Medina, j., Romero, R. (Eds.). **Los desastres si avisano: estudios de vulnerabilidad y mitigación**. Lima: ITDG. p.13-25.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução**. Production, v. 17, p. 216-229, 2007.

Model mixed integer linear programs in an algebraic way directly in R. **Package ‘ompr’**. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/ompr/ompr.pdf>>. Acesso em 26 jun. 2022.

MONTEIRO, Elisabete dos Santos Veiga. **Dimensionamento e localização de ecopontos para a baixa de Coimbra com metodologia multicritério e tecnologia SIG**. 2007. Tese de Doutorado.

MORENO, Alfredo; ALEM, Douglas; FERREIRA, Deisemara. Localização de centros de auxílio e distribuição de suprimentos em operações de resposta a desastres. **TRANSPORTES**, v. 25, n. 2, p. 118-136, 2017.

ND Mais. **Entenda os motivos de Santa Catarina sofrer tanto com tragédias climáticas**. 2020. Disponível em: < <https://ndmais.com.br/tempo/entenda-os-motivos-de-santa-catarina-sofrer-tanto-com-tragedias-climaticas/>>. Acesso em: 18 Mar 2022.

NOGUEIRA, Christiane Wenck; GONÇALVES, Mirian Buss; NOVAES, Antônio Galvão. **A logística humanitária e medidas de desempenho: a perspectiva da cadeia de assistência humanitária**. In: Anais do XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Fortaleza. 2008.

NSC Total. **Santa Catarina é o terceiro Estado do país que mais sofreu com desastres naturais em 20 anos.** 2017. Disponível em: <<https://www.nscotal.com.br/noticias/santa-catarina-e-o-terceiro-estado-do-pais-que-mais-sofreu-com-desastres-naturais-em-20>>. Acesso em: 17 Mar 2022.

OLIVEIRA, Max Gontijo de et al. Sistema de localização de facilidades: uma abordagem para mensuração de pontos de demanda e localização de facilidades. 2012.

ORTIZ, Carlos Andrés Fontecha. **Modelos de Predicción para la Estimación del Impacto Generado por un Evento Sísmico a través de Características Sociodemográficas y Económicas.** 2018. Tese de Doutorado. Universidad Industrial de Santander.

Package ‘tmap’. **Thematic Maps.** Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/tmap/index.html>>. Acesso em: 20 out. 2022.

PADLI, Jaharudin; HABIBULLAH, Muzafar Shah; BAHAROM, Abdul H. The impact of human development on natural disaster fatalities and damage: Panel data evidence. **Economic research-Ekonomska istraživanja**, v. 31, n. 1, p. 1557-1573, 2018.

PIZZOLATO, Nélio Domingues; RAUPP, Fernanda MP; ALZAMORA, Guina Sotomayor. Revisão de desafios aplicados na localização com base em modelos p-mediana e suas variações. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, pág. 13-42, 2012.

R Core Team (2022). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

R interface to the GNU Linear Programming Kit. **Package ‘Rglpk’.** Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/Rglpk/Rglpk.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2022.

RIBEIRO, Daniela Ferreira; SAITO, Silvia Midori; DOS SANTOS ALVALÁ, Regina Célia. Análise de vulnerabilidade a desastres de pequenas cidades no Brasil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 68, p. 102726, 2022.

RITTER, Matias do Nascimento. **Introdução ao software estatístico.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/188778/001087242.pdf?sequence=1>.

Acesso em 26 nov. 2022.

ROBERT, Y. I. N. et al. Estudo de caso: planejamento e métodos. **Porto Alegre: Bookman**, 2001.

RODRÍGUEZ-ESPÍNDOLA, Oscar; ALBORES, Pavel; BREWSTER, Christopher. GIS and optimisation: potential benefits for emergency facility location in humanitarian logistics. **Geosciences**, v. 6, n. 2, p. 18, 2016.

SANTOS, F. R., and SPOSITO, M. E. B. Teorias de localização: do espaço absoluto e relativo ao espaço relacional. In.: MAIA, D. S., and MARAFON, G. J., eds. O programa Minha Casa Minha Vida: habitação e produção do espaço urbano em diferentes escalas e perspectivas [online]. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2020, pp. 19-51. ISBN: 978-65-00-03029-7.

SENNE, Edson Luiz França; LORENA, Luiz Antonio Nogueira. Abordagens complementares para problemas de p-medianas. **Produção** , v. 13, p. 78-87, 2003.

SIEBERT, Cláudia. Mudanças Climáticas e Desastres Naturais em Santa Catarina: Impactos Socioterritoriais e Avaliação das Políticas Públicas. **XVII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional. São Paulo**, p. 1-22, 2017.

SOBRAPO. **Pesquisa Operacional.** Disponível em: <http://www.sobrao.org.br/o_que_e_po.php>. Acesso em 12 Fev 2022.

SPRING. **Introdução ao Geoprocessamento.** Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html >. Acesso em: 18 Mar 2022.

Star, J. & Estes, J. (1991). **Geographic Information Systems: an Introduction.** Englewoods Cliffs, New Jersey.

STIENEN, V. F. et al. Optimal depot locations for humanitarian logistics service providers using robust optimization. **Omega**, v. 104, p. 102494, 2021.

STRÖMBERG, David. **Desastres naturais, desenvolvimento econômico e ajuda humanitária.** Revista de Perspectivas Econômicas, v. 21, n. 3, pág. 199-222, 2007.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional: uma visão geral**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

The R Optimization Infrastructure ('ROI'). **Package 'ROI'**. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/ROI/ROI.pdf>>. Acesso em 26 jun. 2022.

TINEU, Rogério. Centro e centralidade conceitos e aproximações à cidade de São Paulo. **Revista Belas Artes**, v. 9, n. 2, 2012.

TURRIONI, João Batista; MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Itajubá: 2012.

UNISDR. (2022). **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030**. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>. Acesso em: 20 nov. 2022.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. BUREAU FOR CRISIS PREVENTION. **Reducing disaster risk: a challenge for development-a global report**. United Nations, 2004.

Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Pesquisa e Estudos sobre Desastres. **Gestão de desastres e ações de recuperação**. CEPED UFSC, 2014. 242 p.

VAN WASSENHOVE, Luk N. Logística de ajuda humanitária: gestão da cadeia de suprimentos em alta velocidade. **Revista da Sociedade de Pesquisa Operacional**, v. 57, n. 5, pág. 475-489, 2006.

VENTURA, Magda Maria. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Revista SoCERJ**, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007.

YÁÑEZ-SANDIVARI, Luís; CORTES, Cristian E.; REY, Pablo A. Logística humanitária e gestão de emergências: novas perspectivas para um problema sociotécnico e sua gestão de abordagem de otimização. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 52, p. 101952, 2021.

ZHOU, Yang et al. Local spatial and temporal factors influencing population and societal vulnerability to natural disasters. **Risk analysis**, v. 34, n. 4, p. 614-639, 2014.

APÊNDICE A – Implementação P-mediana no RStudio

```

library(lpSolve)
library(Rglpk)
library(ompr)
library(ompr.roi)
library(ROI.plugin.glpk)
library(readr)
library(readxl)

M <- function(i,j) {Matriz_Distancias_Rodoviaras[i,j]}
n = 295;
m = 295;

#Cenario 1

Modelo_p_mediana <- MIPModel() %>%
  add_variable(x[i, j], i = 1:n, j = 1:m, type = "binary") %>%
  add_variable(y[j], j = 1:m, type = "binary") %>%
  set_objective(sum_over(M(i, j) * x[i, j]*w1[i], i = 1:n, j = 1:m), "min") %>%
  add_constraint(sum_over(x[i, j], j = 1:m) == 1, i = 1:n) %>%
  add_constraint(x[i,j] <= y[j], i = 1:n, j = 1:m) %>%
  add_constraint(sum_over(y[j], j = 1:m)==3)

Resultado <- solve_model(Modelo_p_mediana, with_ROI(solver = "glpk"))

write.csv(matching, file = "c1.csv")

#Cenário 2

Modelo_p_mediana2 <- MIPModel() %>%

  add_variable(x[i, j], i = 1:n, j = 1:m, type = "binary") %>%
  add_variable(y[j], j = 1:m, type = "binary") %>%
  set_objective(sum_over(M(i, j) * x[i, j]*w1[i], i = 1:n, j = 1:m), "min") %>%
  add_constraint(sum_over(x[i, j], j = 1:m) == 1, i = 1:n) %>%
  add_constraint(y[138]==1)%>%
  add_constraint(y[218]==1)%>%
  add_constraint(y[250]==1)%>%
  add_constraint(x[i,j] <= y[j], i = 1:n, j = 1:m) %>%
  add_constraint(sum_over(y[j], j = 1:m)==4)

Resultado2 <- solve_model(Modelo_p_mediana2, with_ROI(solver = "glpk"))

#Cenario 3

Modelo_p_mediana3 <- MIPModel() %>%

  add_variable(x[i, j], i = 1:n, j = 1:m, type = "binary") %>%
  add_variable(y[j], j = 1:m, type = "binary") %>%

```

```

set_objective(sum_over(M(i, j) * x[i, j]*w2[i], i = 1:n, j = 1:m), "min") %>%
add_constraint(sum_over(x[i, j], j = 1:m) == 1, i = 1:n) %>%
add_constraint(x[i, j] <= y[j], i = 1:n, j = 1:m) %>%
add_constraint(sum_over(y[j], j = 1:m)==3)

```

```

Resultado3 <- solve_model(Modelo_p_mediana3, with_ROI(solver = "glpk"))

```

```

#Cenario 4

```

```

Modelo_p_mediana4 <- MIPModel() %>%

```

```

add_variable(x[i, j], i = 1:n, j = 1:m, type = "binary") %>%
add_variable(y[j], j = 1:m, type = "binary") %>%
set_objective(sum_over(M(i, j) * x[i, j]*w2[i], i = 1:n, j = 1:m), "min") %>%
add_constraint(sum_over(x[i, j], j = 1:m) == 1, i = 1:n) %>%
add_constraint(x[i, j] <= y[j], i = 1:n, j = 1:m) %>%
add_constraint(y[138]==1)%>%
add_constraint(y[218]==1)%>%
add_constraint(y[250]==1)%>%
add_constraint(sum_over(y[j], j = 1:m)==4)

```

```

Resultado4 <- solve_model(Modelo_p_mediana4, with_ROI(solver = "glpk"))

```