

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**A VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL À INUNDAÇÃO DO RIO  
DOS SINOS NO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO, RS**

BRUNO RODRIGUES NUNES

ORIENTADOR: PROF. DR. LUÍS ALBERTO BASSO

Porto Alegre, agosto de 2024.

### CIP - Catalogação na Publicação

Rodrigues Nunes, Bruno  
A VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL À INUNDAÇÃO DO RIO  
DOS SINOS NO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO, RS / Bruno  
Rodrigues Nunes. -- 2024.  
102 f.  
Orientador: Luis Basso.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa  
de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS,  
2024.

1. Inundação. 2. Vulnerabilidade. 3. Desastres  
ambientais. 4. Planejamento urbano. I. Basso, Luis,  
orient. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**A VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL À INUNDAÇÃO DO RIO  
DOS SINOS NO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO, RS**

BRUNO RODRIGUES NUNES

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Geografia como requisito para  
obtenção do título de Mestre em  
Geografia.

ORIENTADOR: PROF. DR. LUÍS ALBERTO BASSO

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina

Prof. Dr. Nina Simone Vilaverde Moura Fujimoto

Prof. Dr. Jussara Pinheiro Sommer

Porto Alegre, agosto de 2024.

## RESUMO

Uma das características mais marcantes da atualidade, em função das mudanças climáticas, é a ocorrência cada vez mais frequente de desastres ambientais de grandes dimensões no meio urbano. O avanço da ocupação humana em áreas de risco de inundação tem sido causa de impactos negativos para a economia e potencializa problemas sociais. O crescimento das metrópoles e a urbanização acelerada são responsáveis pelo aumento dos impactos deixados por desastres ambientais como inundações. No município de São Leopoldo, no Rio Grande do Sul, os impactos causados pelas inundações são um problema grave. As últimas décadas foram marcadas por eventos hidrológicos significativos, que ocasionaram inundações de proporções incomuns, como o evento de maior proporção dos últimos 50 anos, em 2013, quando o nível do rio dos Sinos chegou a 6,15m. Nos últimos 30 anos a população do município praticamente dobrou e, com isso, atualmente mais de 30% da área de planície de inundação natural do rio dos Sinos é ocupada por perímetro urbano. O presente estudo realizou o mapeamento da vulnerabilidade ambiental às inundações, da vulnerabilidade social da população e, por fim, da vulnerabilidade socioambiental de todo o município, utilizando-se do método AHP (Processo Hierárquico Analítico). Para isto, foram produzidos mapas temáticos dos principais indicadores ambientais e sociais indicados na literatura. Para o processamento dos dados e a produção cartográfica, utilizou-se o Software de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) QGis versão 3.16.11. Os resultados produzidos evidenciaram uma maior vulnerabilidade socioambiental para a população dos bairros de periferia que ocupam áreas próximas ao rio, áreas de perfil topográfico plano e suscetível às inundações. Por outro lado, o bairro Centro do município foi aquele que apresentou menor vulnerabilidade socioambiental. Tenciona-se, assim, contribuir para o aperfeiçoamento do planejamento urbano e gestão dos recursos hídricos, com o levantamento de dados que possibilitem verificar os progressos ou retrocessos na gestão ambiental do município.

Palavras-chave: inundações, urbanização, desastres ambientais, vulnerabilidade, planejamento urbano.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao Prof. Dr. Luís Alberto Basso, pela orientação, ensinamentos, incentivo, apoio durante a realização do mestrado e pelas inúmeras contribuições.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia pelos ensinamentos e contribuições no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina e à Prof. Dr. Nina Simone Vilaverde Moura Fujimoto pelo aceite em compor a banca examinadora e pelas contribuições nesta dissertação.

À Prof. Dr. Jussara Pinheiro Sommer por todos os ensinamentos durante a graduação e por ter despertado em mim o interesse pela pesquisa.

A Secretaria Municipal do Meio Ambiente de São Leopoldo (SEMMAM) pela disponibilização das bases cartográficas e bancos de dados.

Aos meus pais Adriana e José, por me incentivar, compreender os momentos de ausência e por acreditarem nos meus objetivos.

A Mariana Alves Calixto, pelo incansável apoio, paciência, carinho e pela companhia incondicional em todos os momentos.

A Erick Vieira, pela imensa contribuição, paciência, disponibilidade e pelos ensinamentos de operacionalização das ferramentas SIG.

Aos amigos com os quais compartilhei momentos importantes da vida. Em especial a Marcelo Biffi, Lucas Kauer, Roseli Böck, Cássio Steiner e Juliana Alles, com quem pude dividir ótimos momentos e discussões sobre a pesquisa.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

Muito Obrigado!

# SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1 Tema da pesquisa.....	12
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Objetivos .....	16
1.3.1 Objetivo Geral .....	16
1.3.2 Objetivos Específicos .....	16
<b>2.AREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA</b> .....	16
<b>3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA</b> .....	21
3.1 A Urbanização no Brasil e no Vale dos Sinos .....	21
3.2 Inundações no município de São Leopoldo .....	24
3.3 Vulnerabilidade Socioambiental .....	29
3.4 Perigo.....	30
3.5 Risco .....	32
3.6 Planejamento Territorial e Legislação .....	34
<b>4.PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E OPERACIONAIS</b> .....	37
4.1 Abordagens metodológicas.....	39
4.2 Levantamento Bibliográfico .....	41
4.3 Levantamento Cartográfico .....	42
4.4 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) aplicado ao Planejamento de Recursos Hídricos.....	43
4.5 Método AHP (Analytic Hierarchy Process).....	45
4.6 Parâmetros para mapeamento do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVambiental) .....	50
4.6.1 Declividade .....	50
4.6.2 Hipsometria .....	51
4.6.3 Pedologia.....	52
4.6.4 Uso e ocupação do solo.....	55

4.7 Índice de Vulnerabilidade Social (IVsocial) .....	56
4.8 Cruzamento dos dados de Índice de Vulnerabilidade Social e Vulnerabilidade Ambiental .....	58
<b>5.RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>59</b>
5.1 Índice de Vulnerabilidade ambiental.....	60
5.1.1 Uso e ocupação do solo.....	60
5.1.2 Hipsometria .....	62
5.1.3 Declividade .....	64
5.1.4 Pedologia.....	65
5.1.5 Mapeamento do Índice de Vulnerabilidade ambiental .....	67
5.2 Vulnerabilidade Social.....	68
5.2.1 Densidade demográfica por setor censitário e número de moradores por setor censitário .....	69
5.2.2 Renda.....	73
5.2.3 Taxa de Analfabetismo.....	74
5.2.4 Número de dependentes por setor censitário .....	76
5.2.5 Média do número de moradores por domicílio por setor censitário.....	79
5.2.6 Mapeamento da Vulnerabilidade Social.....	81
5.3 Mapeamento da Vulnerabilidade Socioambiental .....	83
<b>6.CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>88</b>
<b>7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>92</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos no estado do Rio Grande do Sul .....	18
Figura 2 - Localização do município de São Leopoldo na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos .....	20
Figura 3 - Inundação do rio dos Sinos em junho de 1982, São Leopoldo - RS	24
Figura 4 - Enchente histórica em São Leopoldo em 1965.....	27
Figura 5 - Imagem de 01/10/2007, área inundável, município de São Leopoldo. ....	28
Figura 6 - Fluxograma do uso de método dedutivo para o mapeamento de áreas com vulnerabilidade socioambiental.....	40
Figura 7 - Mapa hipsométrico da região da BHRS com localização do município de São Leopoldo .....	51
Figura 8 - Mapa de uso e ocupação de solo no município de São Leopoldo ...	61
Figura 9 - Mapa hipsométrico do município de São Leopoldo .....	63
Figura 10 - Mapa de declividade do município de São Leopoldo.....	64
Figura 11 - Mapa dos tipos de solo do município de São Leopoldo .....	66
Figura 12 - Mapa de Vulnerabilidade Ambiental do município de São Leopoldo .....	67
Figura 13 - Divisão dos bairros do município de São Leopoldo .....	69
Figura 14 - Mapa de Densidade Demográfica de São Leopoldo.....	71
Figura 15 - Número de moradores por setor censitário.....	72
Figura 16 - Número de responsáveis sem rendimento ou com rendimento de até um salário mínimo .....	74
Figura 17 - Taxa de Analfabetismo por setor censitário .....	76
Figura 18 - Número de pessoas acima de 65 anos e abaixo de 12 anos de idade. ....	78
Figura 19 - Mapa da média do número de moradores por domicílio no município de São Leopoldo. ....	80
Figura 20 - Mapa do Índice de Vulnerabilidade Social do município de São Leopoldo.....	82
Figura 21 - Mapa de Vulnerabilidade Socioambiental do município de São Leopoldo .....	84
Figura 22 - Rua sem nome, situada no bairro Rio dos Sinos .....	85



Figura 23 - Rua sem nome, situada no bairro Santos Dummont.....	86
Figura 24 - Rua Carlos Bier - bairro Feitoria.....	86
Figura 25 - Rua Ianduí – bairro Campina .....	87
Figura 26 - Rua Manuel Viana – bairro Campina .....	87

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ANA - Agência Nacional das Águas

AHP - Analytic Hierarchy Process (Processo Hierárquico Analítico)

BHRS – Bacia hidrográfica do rio dos Sinos

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CENAD - Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres

CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC - Índice de Consistência

IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – International Panel of Climate Changes (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

IR - Índice Randômico

IVambiental - – Índice de Vulnerabilidade Ambiental

IVsocial – Índice de Vulnerabilidade Social

IVsocioambiental - Índice de Vulnerabilidade Socioambiental

METROPLAN - Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

NWS - National Weather Service

PNPDEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

RC - Razão de Consistência

SEDEC - Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

SEMA-RS - Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do estado do Rio Grande do Sul

SEMAE - Serviço Municipal de Água e Esgotos

SEMMAM - Secretaria Municipal do Meio Ambiente

SEMOV - Secretaria de Obras e Viação

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNDP – United Nations Development Programme (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento)

UTM - Universal Transversa de Mercator

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 Tema da pesquisa**

A organização do espaço geográfico em cidades é uma resposta desenvolvida pelo ser humano para facilitar suas interações socioeconômicas. A evolução desse processo acelerou consideravelmente a partir da segunda metade do século XIX, quando a industrialização e a urbanização se tornaram fenômenos globais. Nesse período, muitas pessoas migraram das áreas rurais para os centros urbanos em busca de melhores oportunidades e condições de vida, resultando em um rápido crescimento populacional nas cidades (LEFEBVRE, 2001).

Ao longo do tempo, os seres humanos modificaram o ambiente em que vivem, escolhendo locais adequados para moradia e atividades produtivas. No entanto, o aumento da população, o uso inadequado e má gestão do solo, a exploração excessiva dos recursos naturais utilizados na agricultura e indústria, tanto em áreas urbanas quanto rurais, afetaram o equilíbrio do meio ambiente.

As cidades, em seu processo de desenvolvimento, muitas vezes cederam aos interesses do setor econômico e privado na estruturação do espaço urbano. Isso teve impactos na distribuição da população, resultando na ocupação de áreas periféricas, frequentemente inadequadas para a habitação, como regiões suscetíveis a desastres naturais, incluindo áreas alagáveis, leitos de rios e encostas íngremes.

A falta de planejamento adequado e de políticas voltadas para o desenvolvimento sustentável e a preservação ambiental global tem prejudicado a qualidade de vida das espécies e a organização da sociedade. Registros de desastres têm aumentado globalmente, impulsionados pelo crescimento populacional, expansão urbana desordenada e intensificação da industrialização. Nas áreas urbanas, as inundações, por exemplo, são ameaças cada vez mais comuns, devido à impermeabilização do solo e à alteração dos cursos fluviais sem a construção de sistemas de drenagem eficazes (IPCC, 2007).

A falta de uma gestão eficaz do meio ambiente está atualmente desencadeando uma crise de alcance global, cujas repercussões podem ser

verificadas no cotidiano de uma grande parcela da população. Essas consequências incluem as mudanças climáticas, a poluição do solo, da água e do ar, a extinção de espécies, desigualdades sociais extremas, pobreza, fome, bem como crises políticas, econômicas e migrações em massa, para citar apenas alguns exemplos.

No contexto das mudanças climáticas, o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), alertou para as alterações no equilíbrio energético do sistema climático devido às variações nas concentrações de gases de efeito estufa e aerossóis na atmosfera, bem como nas condições de radiação solar e superfície terrestre. Essas mudanças têm resultado em um aumento de eventos climáticos extremos, incluindo chuvas intensas, elevação do nível do mar e prolongamento de períodos de seca. Como resultado, há o testemunho de um aumento na ocorrência de danos causados por chuvas torrenciais e inundações.

No estado do Rio Grande do Sul, eventos naturais extremos relacionados a dinâmicas atmosféricas e superficiais têm se tornado mais frequentes. De acordo com o IPCC (2007), entre os riscos identificados de eventos extremos destacam-se inundações e alagamentos, com volumes significativos de chuva em um curto período de tempo. Além disso, a Região Sul do país enfrenta desafios estruturais, como a localização de cidades próximas a rios e córregos, o que amplia os impactos desses eventos. Tais consequências são atribuídas ao aquecimento global e à crescente urbanização, especialmente nas áreas metropolitanas.

Análises de dados de chuvas relacionadas aos fenômenos climáticos conhecidos como "El Niño" e "La Niña", originados pelo aquecimento ou resfriamento da superfície das águas do Oceano Pacífico, demonstram variações tanto positivas quanto negativas nos níveis de precipitação no estado do Rio Grande do Sul. Esses fenômenos têm o potencial de desencadear mudanças climáticas significativas que afetam várias regiões do mundo, resultando em eventos climáticos extremos, como inundações e períodos de seca (WARD et al., 2014).

As inundações são um dos principais problemas enfrentados pela população residente dos municípios banhados pelo Rio dos Sinos, no Rio

Grande do Sul. As cidades localizadas ao longo do curso do rio, como São Leopoldo, Canoas, Riozinho e Novo Hamburgo, têm sofrido com desastres hidrológicos intensos nas últimas décadas, principalmente a população mais pobre, que estabelece residência na planície de inundação, ou várzea do rio. As enchentes provocam grande prejuízo financeiro e afetam negativamente a economia dos municípios, além de ocasionarem problemas sociais e habitacionais.

A inundação ocorrida no município de São Leopoldo em 2013 foi a maior desde o ano de 1965, quando os diques de contenção de cheias ainda não tinham sido implementados. Naquela ocasião, tal evento hidrológico deixou mais de 500 famílias desalojadas, obstruiu avenidas de fluxo de trânsito intenso e causou fortes perdas para o setor comercial do município (ZERO HORA, 2013).

O problema das inundações é histórico e constante no município. Existem dados de grandes enchentes desde 1941, quando ocorreu uma das maiores enchentes já vistas em São Leopoldo. A população que reside na planície de inundação do rio se expande cada vez mais, ocupando áreas que representam risco. Sendo assim, o problema é agravado a cada ano e os órgãos de fiscalização habitacional do município não parecem ser muito efetivos no controle da expansão habitacional nos locais de risco.

De acordo com Bazzan (2011), a mancha urbana do município de São Leopoldo aumentou significativamente no período de 1980-2010. Este é um dos fatores que contribui para o aumento do impacto deixado pelas enchentes por dois motivos: maior número de pessoas ocupando a planície de inundação do rio e ampliação da área impermeabilizada, seja pelo incremento da pavimentação e/ou de edificações etc. Logo, maior é o volume de água que escoar para o rio pelas bocas de lobo da cidade e menor é o volume de água absorvido pelo solo ou retido pela vegetação.

O presente estudo propõe um mapeamento de risco a inundação do Rio dos Sinos no município de São Leopoldo. A Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (BHRS) abrange cerca de 3.820 km<sup>2</sup> e banha 30 municípios no total (COMITESINOS, 2017) e sofre frequentemente com ocorrências de inundações afetando com inúmeros danos e perdas materiais a população, principalmente do município de São Leopoldo.

A identificação de áreas de maior vulnerabilidade revela um desequilíbrio entre o meio ambiente e a comunidade local. O meio ambiente apresenta limitações que dificultam a ocupação de determinadas regiões, porém, a sociedade enfrenta riscos adicionais ao ocupar essas áreas naturalmente vulneráveis, o que pode agravar a sua exposição a desastres (LORENZO et al., 2018).

## **1.2 Justificativa**

O crescimento das áreas urbanas ocorrido nas últimas décadas contribui para que elas se tornem, cada vez mais, cenário de desastres decorrentes da ocupação humana inadequada ou em locais de risco. O aumento das áreas impermeabilizadas faz com que toda a água das chuvas, que seria naturalmente infiltrada no solo, escoe diretamente para os rios através das bocas de lobo. Com isso, os cursos fluviais urbanos recebem um volume de água maior que sua capacidade de drenagem natural, causando inundações nas áreas ribeirinhas onde, muitas vezes, há ocupações habitacionais (TUCCI, 2003).

A população, bem como a área da planície de inundação do Rio dos Sinos ocupada, tem se mostrado em crescimento constante no município de São Leopoldo. Com isso, se faz necessária a atualização e interpretação permanente dos dados estatísticos, com uma abordagem geográfica, para entender como se distribui a população ao longo do curso do rio, ou seja, aqueles moradores que ocupam áreas de risco, qual o grau de vulnerabilidade socioambiental a que estão submetidos e, obviamente, identificar a área e a dinâmica dessas inundações.

O mapeamento das áreas de risco à inundação pode fornecer ferramentas importantes que auxiliem na previsão e prevenção de desastres hidrológicos, bem como no monitoramento do crescimento e ocupação das áreas mais vulneráveis a enchentes e alagamentos. O levantamento e análise de dados históricos e geográficos do relacionamento entre rio e sociedade são necessários para aprimorar a gestão dos recursos hídricos do município.

A seleção do município de São Leopoldo como área de estudo deu-se pelo fato de que a região possui características naturais favoráveis às

inundações e considerável índice de intervenção antrópica, aspectos que potencializam a suscetibilidade aos riscos de inundação.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Mapear as áreas que apresentam maior vulnerabilidade socioambiental às inundações no município de São Leopoldo

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Os seguintes objetivos específicos foram delineados para alcançar o propósito central:

- Realizar o levantamento histórico das inundações no município de São Leopoldo;
- Verificar as áreas com maior vulnerabilidade à inundação no município;
- Analisar e mapear a vulnerabilidade ambiental através do método AHP utilizando os indicadores: uso e ocupação do solo, hipsometria, declividade e pedologia;
- Analisar e mapear a vulnerabilidade social através dos indicadores censitários: densidade demográfica, número de moradores por setor censitário, número de moradores por domicílio, número de dependentes por setor censitário, taxa de analfabetismo e renda;

## **2. AREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA**

A Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (BHRS) está localizada entre os paralelos 29º e 30º sul (Figura 1), na Região da Bacia Hidrográfica do Guaíba e, segundo a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do estado do Rio Grande do Sul (SEMA), possui uma área de 3.694 km<sup>2</sup> e população estimada de 1.447.678 habitantes (2020), onde cerca de 95% deste total estão situados



em áreas urbanas (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA/RS, 2020).

A BRHS abrange as províncias geomorfológicas do Planalto Meridional e Depressão Central e compreende o total de 32 municípios, são eles: Araricá, Cachoeirinha, Campo Bom, Canela, Canoas, Capela de Santana, Caraá, Dois Irmãos, Estância Velha, Esteio, Glorinha, Gramado, Gravataí, Igrejinha, Ivoti, Nova Hartz, Nova Santa Rita, Novo Hamburgo, Osório, Parobé, Portão, Riozinho, Rolante, Santa Maria do Herval, Santo Antônio da Patrulha, São Francisco de Paula, São Leopoldo, São Sebastião do Caí, Sapiranga, Sapucaia do Sul, Taquara e Três Coroas (COMITESINOS, 2020). Especificamente em relação ao município de São Leopoldo, ele situa-se na unidade geomorfológica denominada de Depressão Central, onde se observam rochas gonduânicas e cenozóicas, que determinam um relevo rebaixado e suavemente ondulado (COLLAÇO, 2002).

Do ponto de vista climatológico, a BHRS localiza-se na zona subtropical e temperada, portanto é influenciada por massas tropicais que vêm do oceano Atlântico e por massas atlântico-polares. A temperatura média mensal é de cerca de 14,4°C na área de clima temperado e 19,4°C na de clima subtropical. A bacia possui precipitação média anual de 1.350mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (NIERO et al., 2016).

As nascentes do rio dos Sinos localizam-se na Serra Geral, no município de Caraá, a cerca de 600 metros de altitude. A sua vazão média no trecho do município de São Leopoldo é de 71 m<sup>3</sup>/s (COMITESINOS, 2021).

A cobertura vegetal da bacia apresenta-se reduzida, com remanescentes localizados, predominantemente, nas nascentes do rio dos Sinos e seus formadores (FEPAM, 2011). O Rio dos Sinos pode ser dividido em 03 sub-trechos distintos (Quadro 1).

Quadro 1 – Sub-divisões da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos

<b>Trecho Superior</b>	Cerca de 25 km, desenvolvendo-se entre a cota 600 m até a cota 60 m, em alta declividade
------------------------	--

<p><b>Trecho Médio</b></p>	<p>Com declividade média, e extensão de aproximadamente 125 km, recebe o rio Paranhana, que drena uma área de 580 km<sup>2</sup>, o rio Rolante, drenando 500 km<sup>2</sup>, e o rio da Ilha com uma área drenada de 330 km<sup>2</sup>. Possui alto índice pluviométrico, tornando seus afluentes importantes na definição do regime hídrico do rio.</p>
<p><b>Trecho Inferior</b></p>	<p>Caracteriza-se por declividades suaves a quase nulas, próximas a Campo Bom (NW da Bacia), ocorrendo alguns trechos de contra-declives, característica de rio de planície, com formação de meandros e zona de sedimentação.</p>

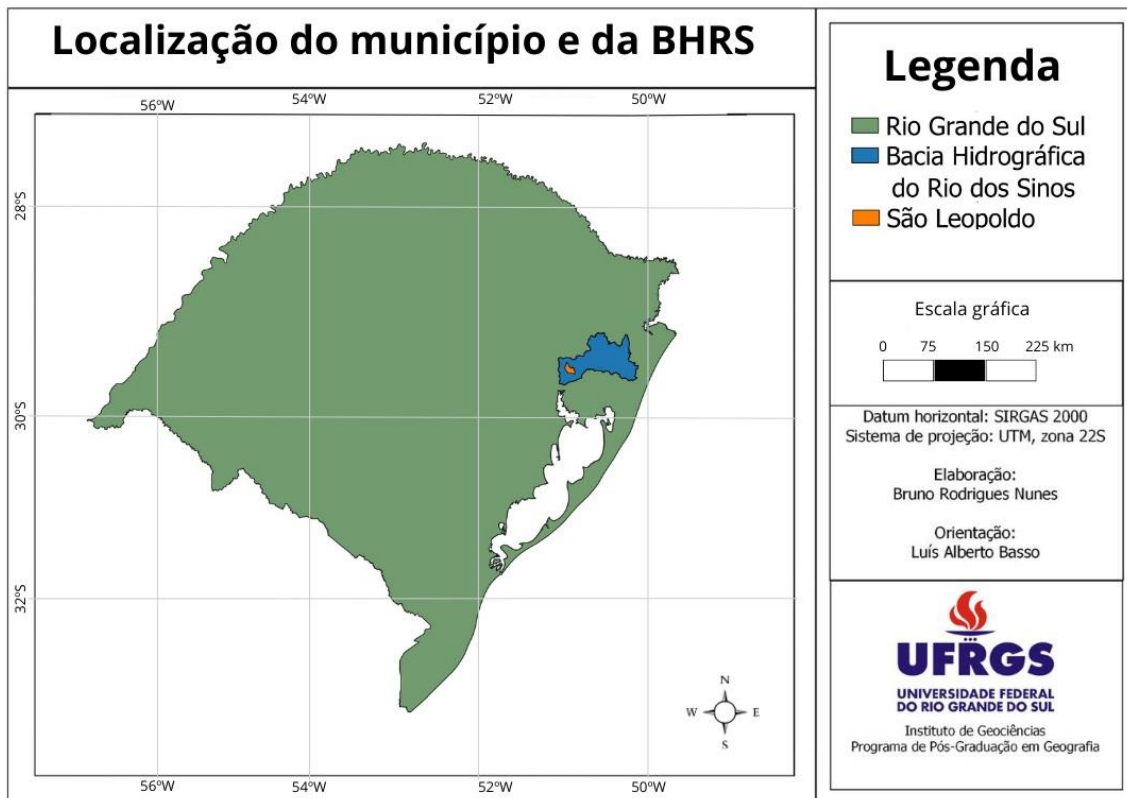
Fonte: adaptado de FEPAM, 2011.

Especificamente em relação à área de estudo, o trecho inferior do Rio dos Sinos é assim caracterizado:

“O trecho inferior, de Campo Bom, município da região metropolitana e vale dos Sinos até a foz no delta do Jacuí é de grande concentração populacional e industrial, onde os principais arroios formadores drenam grandes centros urbanos, como Campo Bom (arroio Schmidt), Novo Hamburgo (arroio Pampa e arroio Luiz Rau), São Leopoldo (arroio Peão e canal João Corrêa), Estância Velha e Portão (arroio Portão/Estância Velha), Sapucaia do Sul (arroio José Joaquim) e Esteio e zona norte de Canoas (arroio Sapucaia), regiões estas pertencente à metropolitana de Porto Alegre”. (AZEVEDO, p. 36, 2012)

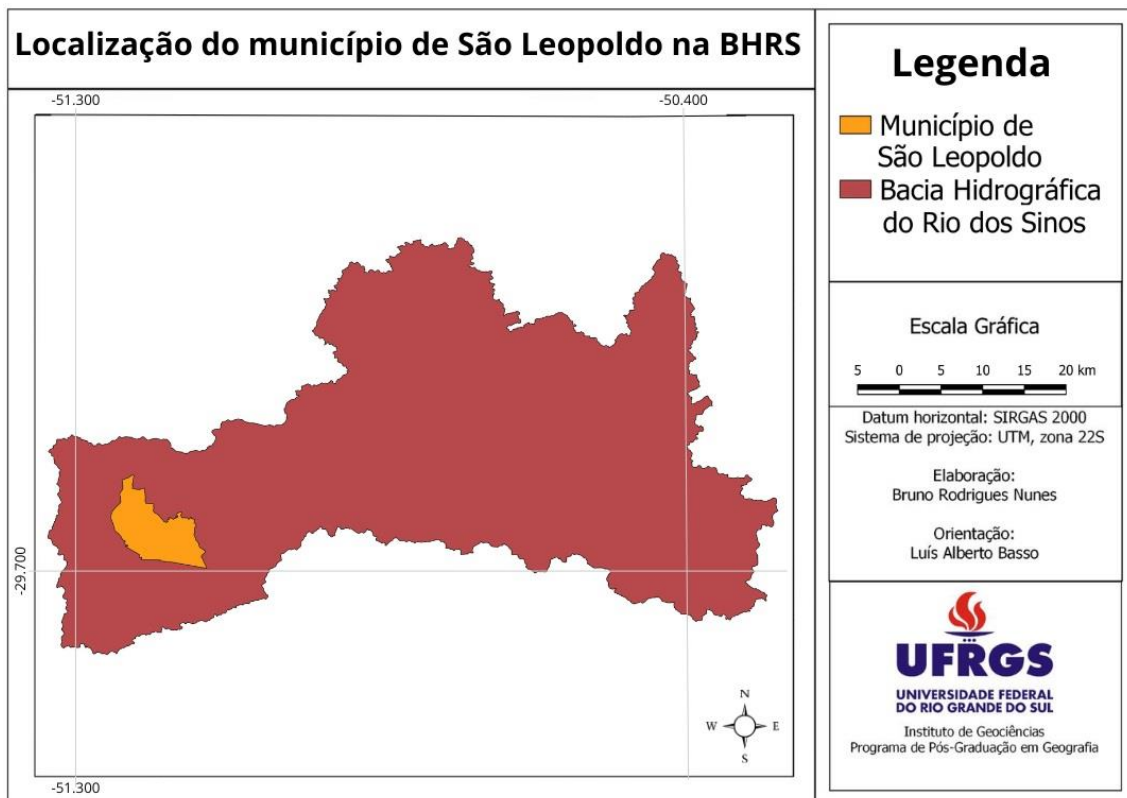
A presente pesquisa, propõe-se analisar apenas o município de São Leopoldo (Figura 1). O município está localizado na Região Metropolitana de Porto Alegre, entre as coordenadas geográficas 29°45'38" Lat.S e 51°08'52" Long. W, com área aproximada de 102,74 km<sup>2</sup>.

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos no estado do Rio Grande do Sul



Segundo a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM, 2008) a área em que se localiza o município, baixo curso do rio dos Sinos, é caracterizada pela grande concentração populacional e industrial, assim como apresenta uma extensa mancha urbana ao longo da planície de inundação do rio (Figura 2).

Figura 2 - Localização do município de São Leopoldo na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos



Os principais destinos do uso da água do rio dos Sinos são irrigação de lavouras, indústrias, abastecimento público e recreação. Também ocorrem, em pequena escala, usos para extração de argila e areia próximo às margens do rio.

O crescimento e a urbanização do município, ocorrido nas últimas décadas, contribuiu para que a cidade de São Leopoldo se tornasse, cada vez mais, cenário de desastres decorrentes da ocupação humana inadequada ou em locais de risco. O termo urbanização é aqui entendido como o aumento da população que vive em cidades em relação à população total (SPOSITO, 1988, p. 49).

O incremento na impermeabilização das áreas leva à perda da capacidade de absorção natural do solo, resultando no escoamento direto das águas pluviais para os rios através das saídas de drenagem urbana. Esse fenômeno sobrecarrega os cursos d'água urbanos com um volume excedente de água que ultrapassa sua capacidade de drenagem natural, ocasionando

inundações nas zonas ribeirinhas, muitas das quais são ocupadas por habitações.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA**

Este capítulo, explora os alicerces teóricos do conjunto conceitual e metodológico aplicados à pesquisa sobre desastres ambientais. Se aborda a definição e caracterização de elementos fundamentais nesse contexto, como ameaças ou eventos adversos, bem como inundações em áreas urbanas. Além disso, examinam-se os conceitos essenciais que embasam as análises de perigo, vulnerabilidade e risco.

O entendimento teórico dos processos subjacentes aos riscos e desastres desempenha um papel fundamental, permitindo a realização de pesquisas interdisciplinares sobre o assunto, dadas as potenciais ramificações em termos de danos e prejuízos socioeconômicos. Essas investigações estão intrinsecamente ligadas a estudos que exploram a complexa relação entre a sociedade e a natureza, uma área que se encaixa de maneira inerente no campo da Ciência Geográfica.

#### **3.1 A Urbanização no Brasil e no Vale dos Sinos**

O processo de urbanização e metropolização no Brasil é um fenômeno complexo que se intensificou ao longo do século XX, refletindo tanto as transformações socioeconômicas quanto as dinâmicas demográficas do país. A urbanização acelerada, marcada especialmente a partir da década de 1950, resultou em um crescimento desordenado das cidades, particularmente nas regiões metropolitanas. A urbanização brasileira é caracterizada por uma rápida concentração da população nas áreas urbanas, muitas vezes sem o devido planejamento, o que gerou uma série de problemas, como a segregação espacial, a marginalização de áreas periféricas e a precarização das condições de vida em favelas e outras habitações subnormais (SANTOS, 1994).

A metropolização, que pode ser entendida como a consolidação de grandes aglomerações urbanas, é uma etapa subsequente da urbanização e está associada à intensificação das funções econômicas, políticas e culturais nas principais cidades do país. Esse processo não só reflete o crescimento físico das cidades, mas também a complexificação das relações sociais e a integração das metrópoles em redes globais de produção e consumo (VAINER, 2000). Assim, as grandes metrópoles brasileiras, tornaram-se centros de comando da economia nacional, exercendo uma forte influência sobre as regiões circunvizinhas e contribuindo para a formação de regiões metropolitanas com características distintas e desafios próprios.

No entanto, a metropolização no Brasil também trouxe desafios significativos em termos de governança e gestão do espaço urbano. A falta de políticas públicas adequadas para lidar com o crescimento urbano acelerado resultou em problemas crônicos, como a desigualdade socioespacial, a especulação imobiliária e a insuficiência de infraestrutura e serviços públicos nas periferias urbanas (MARICATO, 2001). Esse quadro evidencia a necessidade de uma reavaliação das estratégias de planejamento urbano e metropolitano, a fim de promover um desenvolvimento urbano mais sustentável e inclusivo, capaz de atender às demandas da população e minimizar os impactos negativos da urbanização e metropolização no Brasil.

Quanto à urbanização do município de São Leopoldo, no ano de 1824 os primeiros colonos alemães adentraram em terras leopoldenses. Foram então distribuídos lotes familiares. No começo a principal atividade dos povos colonizadores do vale dos Sinos era a agricultura. Com o passar do tempo, pequenos núcleos comerciais foram se formando. Posteriormente, usando o Rio dos Sinos, que tem foz no Lago Guaíba, como meio de transporte, foi possível estabelecer comércio com Porto Alegre, que na época era o grande centro urbano e comercial do estado. A economia da região foi se moldando aos padrões da capital e passou a ser um grande centro de produção de calçados para as regiões vizinhas (RAUPP et al., 2015).

Algum tempo depois, com a construção da estrada de ferro, o setor econômico da região cresceu exponencialmente. Indústrias de calçado foram propagando-se até que a região se torna o principal polo exportador de calçados

do país. Para gerar energia elétrica foram construídas represas, fazendo com que a indústria fabril se desenvolvesse rapidamente. O acelerado crescimento econômico da região atraiu moradores de outras localidades vizinhas expulsos do campo pela revolução agrícola. Dessa maneira, a população dos núcleos urbanos da região cresceu desenfreada e desordenadamente, principalmente os municípios de Novo Hamburgo e São Leopoldo. Por outro lado, a população menos abastada passou a ocupar áreas insalubres e sem saneamento básico localizadas na planície de inundação do rio (RAUPP et al., 2015).

Atualmente, segundo o IBGE (2022), estima-se que o município de São Leopoldo seja lar de cerca de 240.378 habitantes. “No ano de 2000, o município tinha aproximadamente 193.000 habitantes e em 2016 quase 230.000 habitantes. A taxa de urbanização chegou a 99,66%, praticamente inexistindo áreas rurais no município” (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LEOPOLDO, 2022).

O fenômeno do êxodo rural, sentido em todo o mundo devido a urbanização acelerada, foi uma das principais características da região em meados do século XX. Percebe-se, a partir dos anos 1960, as consequências negativas da urbanização com a ocupação das zonas de riscos nos municípios do Vale dos Sinos. A enchente histórica de 1965, apenas superada pela inundação de 2013, é considerada um divisor de águas na política de ocupação do solo no município de São Leopoldo.

Nos anos 1980 foram construídos os diques de contenção de 8m. Com isso o impacto das enchentes passou a ser minimizado nos setores onde os diques foram instalados. Porém, nas áreas periféricas, as enchentes continuaram sendo um grave problema como pode ser observado na Figura 3.

*Figura 3 - Inundação do rio dos Sinos em junho de 1982, São Leopoldo - RS*



Fonte: Jornal Vale dos Sinos.

Atualmente, o Rio dos Sinos tem sido fonte de abastecimento de água para mais de 1 milhão de pessoas, de irrigação para agricultura, dessedentação de animais, pesca e indústria.

Fruto de uma urbanização rápida, mal planejada e concentrada, o Rio dos Sinos tem sido o destino dos rejeitos da sociedade. A principal fonte de poluição do rio principal da BHRS é o lançamento de efluentes urbanos oriundos de esgotos sem tratamento ou com tratamento insuficiente (COMITESINOS, 2021).

O modelo de ocupação da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, ancorado em formas desorganizadas e tecnologias agressivas de ocupação e uso do solo, tem levado à contaminação crescente dos corpos hídricos e à degradação da flora e fauna original (COMITESINOS, 2021).

### **3.2 Inundações no município de São Leopoldo**

Para analisar o que caracteriza uma inundação, Castro (2003) classifica o fenômeno em dois diferentes tipos, conforme a magnitude e a evolução (Quadro 2).

Quadro 2 – Conceito de inundação



<p><b>Em função da magnitude</b></p>	<p>as inundações, através de dados comparativos de longo prazo, são classificadas em: a) inundações excepcionais; b) inundações de grande magnitude; c) inundações normais ou regulares; e, d) inundações de pequena magnitude.</p>
<p><b>Em função da evolução</b></p>	<p>as inundações são classificadas em: a) enxurradas ou inundações bruscas; b) enchentes ou inundações graduais; c) alagamentos; e, d) inundações litorâneas provocadas pela brusca invasão do mar</p>

Fonte: adaptado de CASTRO, 2003.

Segundo o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), as inundações se diferenciam das enchentes quando as águas extravasam a cota máxima do canal (CEPED, 2011). Já “as inundações bruscas continuam como sinônimo de enxurrada” (RIGHI, p.21, 2016).

As inundações podem ser compreendidas como a submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. Este transbordamento das águas é frequentemente associado por chuvas intensas e prolongadas na região (DEFESA CIVIL DO BRASIL, 2013).

Entre os desastres, as inundações destacam-se como os mais comuns. Estima-se que mais de 226 milhões de pessoas são afetadas pelos desastres a cada ano, das quais 102 milhões (45,1%) são afetadas pelas inundações. As inundações constituem a principal causa de óbitos por desastres no mundo e foram responsáveis por 6,8 milhões de mortes no Século XX. Para o período compreendido entre 1980 e 2009, foi estimado um total de 539.811 óbitos (FREIRE et al, 2014).

Há também diversos outros fatores, além dos eventos hidrológicos extremos, que configuram uma situação de risco à população como a falta de planejamento por parte dos gestores urbanos municipais, a urbanização

coorporativa que encarece os imóveis em locais que não apresentam riscos, fazendo com que a população se exponha aos riscos por não possuir recursos financeiros suficientes.

O crescente aumento da população e, conseqüentemente, a expansão das áreas urbanizadas visto nas últimas décadas, fez com que a área impermeabilizada do município de São Leopoldo crescesse significativamente. “O processo de urbanização ocorrido entre 1978 e 2009 representou um aumento de 50% da área com ocupação urbana” (BAZZAN, 2011, p. 98). Aproximadamente 30% da planície de inundação era ocupada por área urbana no ano de 2009. Esse aumento de ocupação da área de planície de inundação combinado com o aumento das áreas impermeabilizadas em função da urbanização é algo que exerce grande influência no impacto das enchentes no município.

Os riscos naturais estão intimamente relacionados à ocupação humana, ou seja, “enchentes não seriam danosas se o homem evitasse as planícies de inundação” (MONTEIRO, 1991, p. 08)

Sendo assim, o volume de água que corre para o rio por meio de escoamento superficial é, atualmente, muito maior. Quanto maior a área ocupada, menor a área de vegetação, conseqüentemente o volume de água que é infiltrada no solo ou retida pela vegetação é muito menor e maior é o volume de água que corre para o leito do rio pelas bocas de lobo.

A impermeabilização das superfícies é o principal fator de agravamento das enchentes enquanto a manutenção de superfícies permeáveis reduz o risco de ocorrência de enchentes (SANTOS, 2007, p. 98).

É essencial que os municípios levem em consideração as fragilidades e as potencialidades de seus territórios no momento de desenvolver o planejamento urbano das áreas que apresentam riscos à população. As conseqüências causadas pelo processo de ocupação urbana desordenado impactam os mais diversos setores da sociedade. Sendo assim, é necessária a intervenção pelo poder público visando melhorar essa relação entre sociedade e natureza por meio de infraestruturas urbanas sustentáveis.

Robaina et al. (2010) afirmam que:

[a] expansão urbana ocorrida nas últimas décadas, associada com a incapacidade do Estado em atender a demanda de moradias, levou a população, principalmente a de baixa renda, a ocupar áreas sujeitas a processos de dinâmica superficial desencadeadores de risco, como planícies de inundação e encostas de morros (ROBAINA et al, 2010, p. 159).

A urbanização sem planejamento prévio pode potencializar os estragos causados por enchentes, deslizamentos, erosão e outros desastres que acarretam prejuízos socioambientais, econômicos e materiais e colocam vidas humanas em risco.

Conforme a METROPLAN (2001), a possibilidade de grandes inundações como a de 1965 ocorrerem novamente no Rio dos Sinos demandou ações para promoção de um sistema de proteção. Segundo o órgão Serviço Municipal de Água e Esgotos - SEMAE (2021), o município de São Leopoldo, em parceria com o governo da Alemanha, do governo estadual e federal, deu início em 1974 ao projeto idealizado para construção de diques de contenção das enchentes. O estopim para que fosse criado este projeto foi a grande enchente histórica de 1965 (Figura 4). Em 1974 iniciaram-se as obras, com a construção do dique de terra e muro de concreto na margem esquerda do rio, para proteger parte das áreas alagadiças do Rio dos Sinos. Atualmente o sistema de contenção de cheias do município é constituído por cinco casas de bombas, 20 quilômetros de diques e 16 quilômetros de valas (SCHREINER, ROBAINA, 2018).

Figura 4 - Enchente histórica em São Leopoldo em 1965

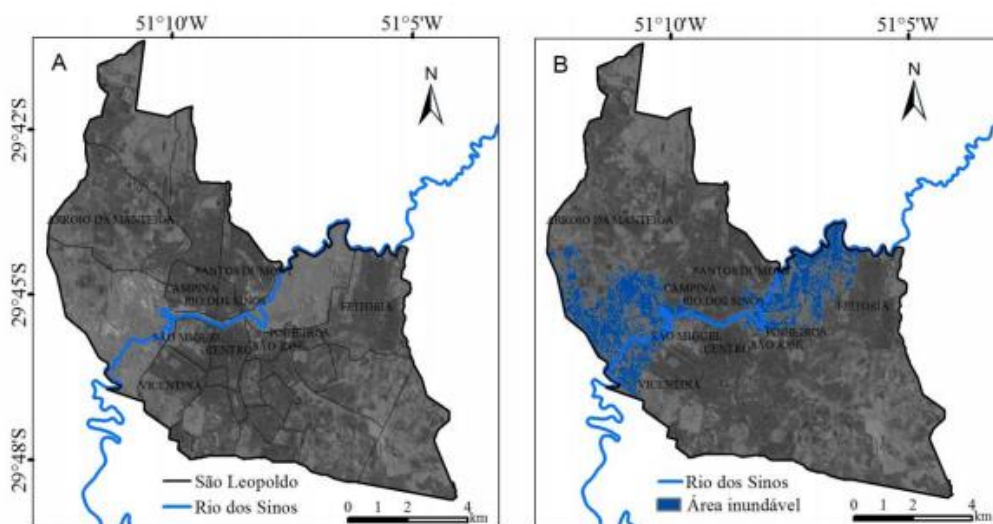


Fonte: SEMAE (2021)

“O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações é um recurso muito importante para a leitura e compreensão dos episódios de inundações” (OLIVEIRA e GUASSELLI, 2007). O mapeamento, a análise e atualização dos dados hidrológicos dos municípios são essenciais para que os gestores urbanos municipais possam planejar onde e como atuar.

A Figura 5 apresenta a região da planície do rio dos Sinos, em São Leopoldo em um período com pluviosidade acima da média mensal histórica para o período.

Figura 5 - Imagem de 01/10/2007, área inundável, município de São Leopoldo.



Fonte: BRUBACHER e GUASSELLI (2013).

Os bairros mais atingidos pelas enchentes ao longo dos anos foram: Pinheiro, Rio dos Sinos e Campina. Em contrapartida, os bairros habitados pela população mais abastada do município encontram-se fora de risco de enchentes, mesmo estando localizados próximos ao rio. Os bairros São Miguel, São José e Centro não são atingidos pelos impactos das enchentes pois são protegidos pelos diques de proteção (BAZZAN, 2011).

A população em situação de vulnerabilidade socioambiental em função das inundações é segregada por classe social, ocupando os bairros que apresentam maior risco. Com o crescimento das cidades, as pessoas com menor poder aquisitivo são colocadas à margem da sociedade, nas periferias, e acabam ocupando áreas de risco, como as planícies de inundação.

A população de maior poder aquisitivo tende a habitar os locais seguros, ao contrário da população carente que ocupa as áreas de alto risco de inundação, provocando problemas sociais que se repetem por ocasião de cada cheia na região. Quando a frequência das inundações é baixa, a população ganha confiança e despreza o risco, aumentando significativamente o investimento e a densificação nas áreas inundáveis. Nesta situação as enchentes assumem características catastróficas (TUCCI, 2003, p. 54).

Segundo Penteadó (2006), a crescente ocupação urbana nas margens dos rios tem influência também na queda da qualidade da água. Estas ocupações frequentemente não possuem sistema de saneamento básico eficiente, nem de coleta de lixo adequada. Portanto, os dejetos são comumente descartados do leito do rio sem tratamento adequado, o que pode oferecer riscos de contaminação por doenças hidro veiculares como a leptospirose e arboviroses como Zika, Chikungunya e Dengue.

### **3.3 Vulnerabilidade Socioambiental**

O conceito de vulnerabilidade é entendido como uma situação em que estão presentes três elementos: exposição ao risco; incapacidade de reação; e dificuldade de adaptação diante da materialização do risco (MOSER, 1998).

A vulnerabilidade foi inicialmente pensada como uma condição social, desta maneira, “a noção de vulnerabilidade social, ao considerar a insegurança e a exposição a riscos e perturbações provocadas por eventos ou mudanças econômicas, daria uma visão mais ampla sobre as condições de vida dos grupos sociais mais pobres” (ALVES, 2006). No entanto, a vulnerabilidade pode também ser analisada por uma perspectiva ambiental que advém de estudos sobre desastres naturais e avaliação de áreas de risco. Sendo assim, a vulnerabilidade

pode ser vista como a interação entre o risco existente em um determinado lugar e as características e o grau de exposição da população lá residente (CUTTER, 1994, apud ALVES, 2006, p. 47).

A análise da vulnerabilidade socioambiental mescla as duas variáveis (social e ambiental) e se preocupa não apenas com os riscos naturais, mas também os sociais e tecnológicos. Sendo assim, a vulnerabilidade socioambiental pode ser compreendida levando em conta a relação entre o contexto natural e as formas como a sociedade se apropria do meio ambiente.

Desastres naturais ocorrem em todo o mundo; no entanto, seu impacto é maior nos países em desenvolvimento, onde ocorrem com muita frequência. Nestes países, as condições econômicas, sociais, políticas e culturais não são boas e, conseqüentemente, atuam como fatores de alta vulnerabilidade a desastres naturais. Sendo assim, entende-se que o impacto das inundações está relacionado com a vulnerabilidade do sistema econômico, político e social de uma sociedade e não apenas com as características físicas do meio geográfico, caracterizando, assim, a vulnerabilidade socioambiental (ALCÁNTARA, p. 108, 2002).

### **3.4 Perigo**

O termo "risco" frequentemente é utilizado como sinônimo de "perigo" (hazard), no entanto, tem havido um aumento no número de pesquisadores que preferem utilizar o termo "perigo" ou "evento perigoso" como sua tradução, em virtude das dificuldades que surgem ao traduzir o termo em inglês "risk" (MONTEIRO, 1991).

A conceituação do termo "risco" ainda é motivo de confusão na literatura, frequentemente sendo associado ao "perigo" ou à "susceptibilidade." Portanto, de acordo com o CEPED/UFRGS (2016), que adota o mesmo conceito da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil e da EIRD/ONU, o risco é definido como:

"[...] a probabilidade de ocorrência de conseqüências prejudiciais ou perdas esperadas (como mortes, ferimentos, destruição ou danos a edifícios, etc.), resultantes da interação entre um perigo

natural e as condições de vulnerabilidade locais (BRASIL, 2012; UNDP, 2004, citados em CEPED/UFRGS, 2016, p. 38)."

O termo "perigo," correspondente a "*hazard*" em inglês, é definido por Cutter (1995), como um sinal de ameaça às pessoas e seus bens materiais. Eles enfatizam a existência de dois tipos de perigos: os naturais, como terremotos, e os tecnológicos, que decorrem de acidentes de natureza química.

Segundo a perspectiva de Ayala-Carcedo (2000), a ameaça ou perigo estão relacionados com as características que tornam um evento potencialmente prejudicial, sendo compostos por dois fatores interligados: a intensidade do evento e a probabilidade de ocorrência. Portanto, o perigo está ligado à probabilidade de um fenômeno ocorrer em um local específico dentro de um período determinado, com uma intensidade relativa.

Goerl (2012), destaca que há um consenso entre os pesquisadores que definem o perigo como um evento natural com potencial para causar danos quando interage com o sistema humano, levando a desastres naturais. Dessa maneira, um desastre natural surge da relação instável entre o ser humano e a natureza. Por exemplo, as inundações, que são eventos naturais na dinâmica fluvial, variam em intensidade e frequência ao longo do tempo. No entanto, à medida que a população cresce nas áreas urbanas e as regiões ribeirinhas e planícies de inundação são ocupadas, ocorrem conflitos, resultando em desastres naturais (GOERL, 2012).

O conceito de perigo, embora seja análogo ao conceito de ameaça, abrange a "probabilidade quantitativa ou qualitativa" de ocorrência de eventos adversos. Portanto, o CEPED/UFRGS (2016, p. 32) classifica o perigo como "uma situação que tem o potencial de causar consequências indesejáveis." Para que um evento seja avaliado, é necessário medir a probabilidade de sua ocorrência, e toda ameaça deve ter sua probabilidade medida. Este estudo enfatiza que, em casos de inundação e deslizamentos, a localização geográfica desempenha um papel fundamental na determinação do grau de exposição a eventos adversos (CEPED/UFRGS, 2016).

### 3.5 Risco

Nos países em desenvolvimento, percebe-se que a população de menor poder aquisitivo sofre com graves problemas relacionados à precariedade do saneamento básico, habitação de baixa qualidade, más condições de saúde, entre outros. Neste contexto, destaca-se que quanto maior a cidade, maiores são essas mazelas e que a urbanização corporativa pode agravar os casos de desigualdade social. A urbanização corporativa é o fenômeno em que os grandes centros urbanos destinam os recursos públicos de forma a atender o interesse das grandes empresas ao invés de investimentos em políticas sociais (BARROS, 2019 apud SANTOS, 2013, p. 176).

Soares (2012) afirma que:

O planejamento urbano no Brasil preconiza ações que interessam especialmente a uma determinada classe social, a burguesia. Numa realidade marcada por conflitos, o planejamento não se efetiva quando as ações que preconiza desagradam o grupo hegemônico, embora o discurso do planejamento enfatize a busca do atendimento dos interesses da coletividade (SOARES, 2012, p. 13).

Um dos principais problemas causados por essa urbanização desigual e mal planejada é a ocupação de áreas com risco de inundações, deslizamento e desabamentos. Estes desastres tomam proporções ainda maiores quando atrelados à baixa qualidade dos materiais construtivos, que são muito comuns em habitações normalmente localizadas em áreas de risco.

A formação de situações de risco é resultante de uma conjunção de fatores sociais, econômicos, culturais, demográficos e naturais que estão presentes nas relações entre os homens, os grupos sociais e entre estes e a natureza (MENDONÇA 2021, p. 17).

Neste contexto, Mendonça e Buffon (2021) conceituam “Riscos Híbridos”. Segundo eles, dificilmente o risco estará atrelado a um só causador. Por exemplo, as inundações podem ser classificadas como um desastre ambiental natural, mas o risco causado pelas inundações é intensificado de acordo com diversos outros fatores de origem antropogênica, como habitações situadas na



planície de inundação e descarte indevido de lixo, entupindo bocas de lobo. Sendo assim, alguns eventos são tão complexos que não podem ser classificados em apenas uma categoria de risco, portanto constituem o que se denomina de Risco Híbrido. Eles ainda afirmam que “Riscos híbridos resultam da inter-relação entre um ou mais riscos. Os termos risco e vulnerabilidade estão intrinsecamente associados ao risco (MENDONÇA e BUFFON, 2021, p. 24)”.

De acordo com Mendonça e Buffon (2021), existem três classes de riscos para categorizar os mais diversos desastres: Riscos Naturais, Riscos Tecnológicos e Riscos Sociais. O Quadro 3, apresenta as características e exemplos de cada um deles.

Quadro 3 – Categorias de Riscos

<b>Riscos Naturais</b>	Tem origem em eventos extremos da natureza (climáticos, geológicos, pedológicos, hídricos etc.) e se apresentam como ameaças e/ou perigos aos grupos humanos a ele expostos.	Exemplo: Inundações, movimentos de solo, secas, tremores de terra.
<b>Riscos Tecnológicos</b>	Tem origem em acidentes tecnológicos derivados do mau funcionamento de processos produtivos gerais (indústria, agricultura, telecomunicação, produção de energia, transporte etc.) e se apresentam como ameaças e/ou perigos grupos humanos a ele expostos.	Exemplo: Transporte de produtos químicos, redes de distribuição de energia, aviação.
<b>Riscos Sociais</b>	Tem origem em eventos derivados de conflitos ou crises sociais (socioeconômicas, políticas, culturais) e se apresentam como ameaças e/ou perigos grupos humanos a ele expostos.	Exemplo: fome, violência, guerra etc.

Fonte: adaptado de MENDONÇA e BUFFON, 2021, p. 23

No município de São Leopoldo, as populações residentes das áreas de risco estão expostas a uma série de riscos naturais. As inundações podem ser entendidas como um desastre ambiental natural, decorrente de eventos hidrológicos extremos, mas os impactos causados por elas estão diretamente ligados à falta de planejamento habitacional e territorial e ao processo de urbanização corporativa, que historicamente dificultou o acesso da população

menos abastada a habitações regulares em locais que não ofereçam riscos. As enchentes não teriam impacto social tão negativo se não houvesse moradias em locais de risco. Em síntese, Mendonça e Buffon afirmam que “risco é uma condição de exposição de uma sociedade a uma dada ameaça ou perigo, sendo, portanto, uma construção social (MENDONÇA e BUFFON, 2021, p. 19)”.

A exposição da população leopoldense aos riscos causados pelas frequentes inundações é uma construção social, fruto da falta de planejamento dos gestores urbanos municipais ao longo das décadas e da falta de informação e conscientização ambiental da população. “Os riscos antecedem os desastres, portanto, realizar sua gestão é possibilitar uma ação preditiva que visa controlar tais desastres” (MENDONÇA e BUFFON, 2021, p. 27).

Portanto, estudos e levantamentos de áreas de riscos são fundamentais para aprimorar o desenvolvimento regional do município. Através de geotecnologias como por exemplo os SIG's, é possível fazer o mapeamento de áreas que oferecem maior risco e não devem ser habitadas, assim os gestores municipais podem realocar a população de forma segura e consciente, visando melhorar sua qualidade de vida.

### **3.6 Planejamento Territorial e Legislação**

O desastre ocorrido na Região Serrana do Rio de Janeiro, no início do ano de 2011, em que oito municípios foram atingidos por enchentes de grandes proporções deixando mais de 900 pessoas mortas e 300 mil afetados, foi um fator determinante para a criação de uma política de defesa civil a nível nacional (MIGUEZ et al, 2018, p. 16). Foi a partir do ocorrido que o governo federal passou a olhar com mais atenção para a questão sempre presente dos desastres ambientais.

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) (Lei n. 12.608), surge em 2012 visando reduzir os riscos e impactos de desastres ambientais causados por ocupações indevidas e não planejadas de áreas de risco.

A PNPDEC, no artigo 8º, estabelece as seguintes competências, entre outras, a nível municipal:

III - incorporar as ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal;

IV - identificar e mapear as áreas de risco de desastres;

V - promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas;

IX - manter a população informada sobre áreas de risco e ocorrência de eventos extremos, bem como sobre protocolos de prevenção e alerta e sobre as ações emergenciais em circunstâncias de desastres (BRASIL, 2012).

Já no âmbito federal, existe o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), que é responsável pela divulgação de alertas de desastres ao Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD). O CENAD é o órgão responsável por mediar esta comunicação com os órgãos municipais de defesa civil.

Contudo, é essencial que os órgãos municipais tenham planejamentos congruentes com o cenário de risco do espaço de seu território. A Lei Federal n. 12.608/12 citada proíbe a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis que apresentam riscos e salienta a importância de promover a realocação da população residente nessas áreas. Sendo assim, os municípios têm amparo legislativo para promover um ordenamento da ocupação do solo e agir onde o problema ocorre. A Lei n. 12.608/2012 também exige que os municípios que visem a ampliação do perímetro urbano realizem um projeto que contenha informações sobre a possibilidade de ocorrência de desastres naturais.

Segundo Rosière (2007), “os atores geopolíticos são inúmeros. O mais clássico, aquele que podemos considerar como onipotente, é o Estado”. O Estado, ou seja, o ator que detém o poder sobre o planejamento e ordenamento do território, tem grande responsabilidade no aumento do impacto das inundações. O Estado deve exercer seu poder como ator principal na ordenação de ocupações indevidas e realizar o planejamento da ocupação, amparando-se na lei e levando em conta as áreas que oferecem riscos à população. A população de um município também pode ser considerada um dos atores mais influentes na tomada de decisões e promoção das ocupações urbanas em locais de risco. Porém, ao contrário do Estado, a população é “uma agregação de

indivíduos que formula, ou não, projetos geopolíticos, ou que se submetem, eventualmente, a projetos políticos formulados por outros (ROSIÈRE, 2007, p. 284)”. Sendo assim, a população está submetida às regras impostas pelo Estado, e deve seguir as leis que norteiam o planejamento de ocupação urbana.

Um dos instrumentos mais significativos para o planejamento da ocupação do solo a nível municipal é o plano diretor, que tem como principais objetivos ordenar o desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes. Políticas públicas de planejamento que ordenem a expansão urbana, estabeleçam infraestrutura básica e que promovam proteção de recursos naturais são de suma importância para garantir o bom funcionamento da sociedade e garantir a qualidade de vida necessária de seus habitantes.

Para que o plano diretor tenha sucesso ele deve abordar assuntos como dados cartográficos das áreas de risco do município, informações sobre a drenagem urbana e orientações que visem promover a extinção de ocupações urbanas irregulares em locais de risco. Outro aspecto importante para realizar o planejamento da ocupação urbana é o monitoramento e mapeamento das áreas suscetíveis a desastres ambientais para que a expansão do perímetro urbano não avance nestes locais de risco.

Segundo Silveira et al (2017, p. 5), no município de São Leopoldo, um forte exemplo da falta de planejamento habitacional por parte dos gestores urbanos é o fato de que existem moradias populares construídas pelo programa “Minha Casa, Minha Vida” em locais que apresentam risco de inundações localizados dentro dos limites planície de inundação do rio.

O artigo 2º do parágrafo 1 do Plano Diretor do município de São Leopoldo, estabelece os seguintes objetivos do Plano Diretor:

Art. 2º - É objetivo do Plano a organização física de São Leopoldo para o pleno desenvolvimento urbano através de:

I - Ordenação do crescimento urbano;

II - Organização espacial adequada às funções urbanas pelo zoneamento de usos e previsão de equipamentos;

III - Controle da intensidade da ocupação do solo pela fixação de índices urbanísticos. (Prefeitura Municipal de São Leopoldo, 1981)

Para que a execução do plano diretor dos municípios possa seguir a lei 12.608/2012, é essencial a produção de mapas de risco de inundação e mapas de áreas ambientais de interesse para que assim se possa garantir o cumprimento da lei e a qualidade de vida da população (MIGUEZ et al, 2018, p. 18).

Para Tucci (2008), os principais componentes da estrutura da gestão da cidade envolvem os seguintes elementos:

- Planejamento e gestão do uso do solo: trata da definição, por meio do Plano Diretor Urbano, de como a cidade é prevista para ser ocupada e suas correções com relação ao cenário do passado e do presente;

- Infraestrutura viária, água, energia, comunicação e transporte: planejamento e gestão desses componentes da infraestrutura que podem ser de atribuição de implantação pública ou privada, mas devem estar regulados pelo município;

- Gestão socioambiental: a gestão do meio ambiente urbano é realizada por entidades municipais, estaduais ou federais de acordo com a estrutura institucional. A gestão envolve a avaliação e aprovação de projetos, monitoramento, fiscalização e pesquisa para que o desenvolvimento urbano seja socioambiental e sustentável (TUCCI, 2008, p. 97).

Sendo assim, “o planejamento e o consequente desenvolvimento urbano devem respeitar os aspectos naturais do ciclo hidrológico, evitando a exposição ao risco (MIGUEZ et al, 2018, p. 19)”.

#### **4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E OPERACIONAIS**

Neste estudo, adota-se um conjunto de procedimentos metodológicos que foram executados em três fases distintas. A primeira fase envolveu o levantamento e a organização de dados relacionados à bacia hidrográfica do Rio dos Sinos e aos municípios compreendidos nessa área. Na fase subsequente,

procedeu-se ao processamento e correlação desses dados. Por fim, na terceira fase, realizou-se a síntese, interpretação e análise das informações coletadas.

Para a execução da primeira etapa, realizou-se a coleta de dados bibliográficos relevantes relacionados à área de estudo. Essas informações forneceram uma base sólida para a caracterização tanto física quanto socioeconômica da região, além de fundamentar os conceitos teóricos relevantes para a análise dos temas em questão. Em um segundo momento, efetuou-se o levantamento de dados para a construção da base cartográfica e também foram adquiridas informações históricas sobre ocorrências passadas de inundações no Rio dos Sinos no município de São Leopoldo.

As informações relacionadas às características físicas e ambientais, incluindo aspectos geomorfológicos, litológicos, pedológicos e da vegetação, foram extraídas de diversas pesquisas já realizadas em âmbitos regional e local. Vale destacar a contribuição significativa da Dissertação de Mestrado de Thiago Bazzan, intitulada “Mapeamento das áreas com risco de inundação do rio dos Sinos no município de São Leopoldo, RS” (2011), bem como outros mapeamentos geomorfológicos abrangendo tal município.

Os dados relativos ao clima, incluindo normais climatológicas, eventos climáticos adversos que afetam as condições meteorológicas, regime de precipitação e clima, tanto no nível estadual como na Região Metropolitana de Porto Alegre, foram obtidos por meio de estudos específicos sobre o assunto e pesquisas em sites especializados, como o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o site do National Weather Service do National Oceanic and Atmospheric Administration (NWS/NOAA), disponíveis na internet.

As informações bibliográficas desempenharam um papel fundamental na construção do referencial teórico desta pesquisa, fundamentando-se em uma ampla revisão da literatura relacionada aos principais tópicos abordados. Essa revisão visou aprofundar o desenvolvimento teórico e metodológico do estudo em relação aos conceitos de desastres naturais, inundações, perigo, vulnerabilidade, risco e gestão de desastres.

Adicionalmente, conduziu-se um levantamento dos eventos de inundação ocorridos nas últimas décadas, abrangendo o período de 1980 a 2020 no município de São Leopoldo. Para isso, buscaram-se informações em registros documentais e em estudos relacionados ao tema, tanto em nível regional quanto nacional. Esse intervalo de tempo foi selecionado devido à disponibilidade de dados substanciais sobre as ocorrências de inundação, permitindo também a identificação de possíveis tendências e compreensão dos eventos mais recentes, que causaram danos e prejuízos significativos à população local.

Para obter informações sobre as inundações ocorridas em São Leopoldo entre 1980 e 2020, recorreu-se à dissertação de mestrado de Bernadete Reckziegel (2007), defendida na Universidade Federal de Santa Maria, que realizou uma análise abrangente dos eventos desencadeadores de desastres no estado do Rio Grande do Sul. Para complementar os dados do período selecionado, consultou-se o "Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, volume Rio Grande do Sul," que abrangeu o período de 1991 a 2012, elaborado pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC, 2013).

O levantamento das informações relacionadas às inundações também foi conduzido por meio de pesquisa documental, com foco em notícias publicadas na imprensa. Foram examinados os jornais Zero Hora e Vale dos Sinos, identificando reportagens que abordavam as inundações no município de São Leopoldo.

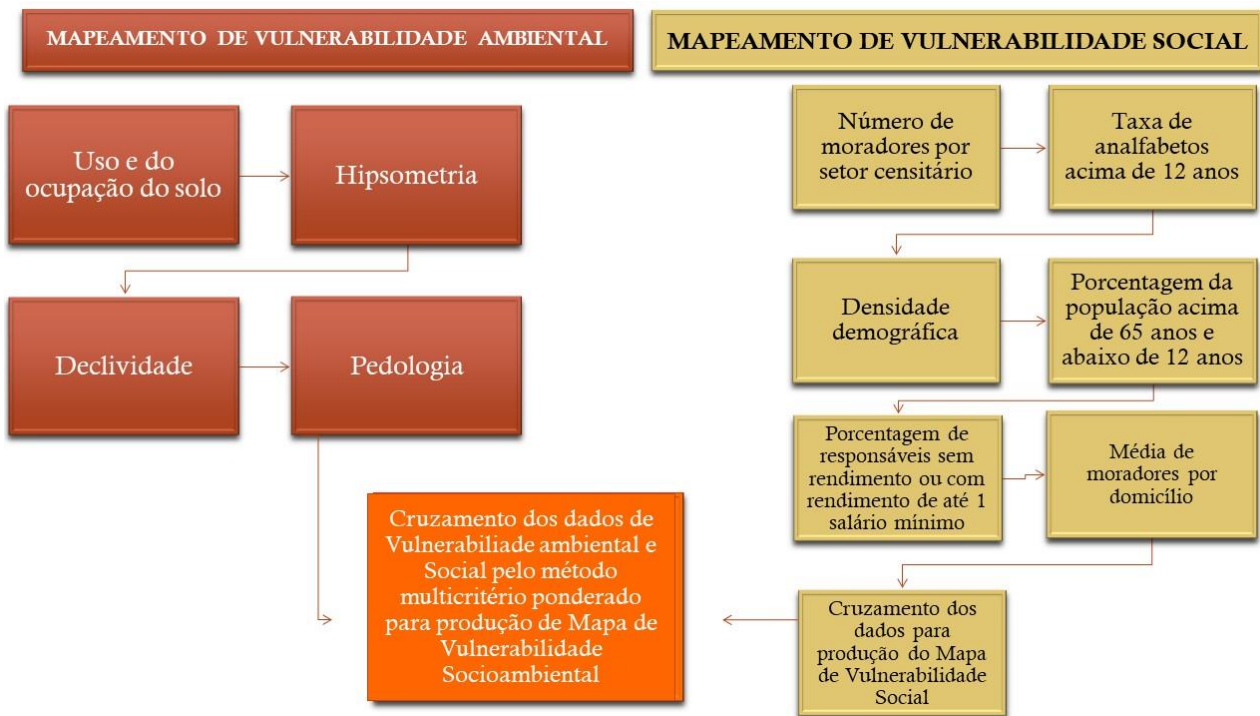
Além disso, utilizaram-se os dados obtidos junto ao banco de dados da Defesa Civil, em colaboração com os governos estadual e municipal, como base para informações específicas sobre a área de estudo e para identificar as áreas suscetíveis a inundações, bem como para acessar informações sobre os períodos de inundação.

#### **4.1 Abordagens metodológicas**

O presente estudo fará uso de dois métodos de abordagem, o método dialético e o método dedutivo. Através do método dedutivo, será utilizado o seguinte silogismo: de duas premissas retira-se uma terceira logicamente

decorrente (GIL, 1994, p. 9). Relacionando os dados referentes ao risco de inundação da área de estudo aos dados de vulnerabilidade social (Figura 5), será possível obter como resultado as áreas que apresentam riscos de inundações e vulnerabilidade socioambiental da população ali residente.

Figura 6 - Fluxograma do uso de método dedutivo para o mapeamento de áreas com vulnerabilidade socioambiental



Fonte: elaborado pelo autor

A análise do problema por meio do método dialético será fundamental para o andamento da pesquisa, visto que os eventos causadores das inundações não podem ser considerados fora de um contexto social, levando em consideração as causas da expansão urbana ocorrerem na planície de inundação do Rio dos Sinos. De acordo com Gil:

“a dialética fornece as bases para uma interpretação dinâmica e totalizante da realidade, já que estabelece que os fatores sociais não podem ser entendidos isoladamente, abstraídos de suas influências políticas, econômicas, culturais, etc.” (GIL, 1994, p. 13).



Nesta pesquisa, portanto, propõe-se relacionar os processos de dinâmica fluvial do rio dos Sinos, a planície de inundação do município de São Leopoldo e alguns aspectos que revelam as condições socioeconômicas dos habitantes da área urbana do município que se encontram em situação de risco a inundações.

Em relação aos procedimentos técnico-operacionais da pesquisa, eles serão divididos em três etapas, sendo elas:

1) Pesquisa Bibliográfica: levantamentos de dados sobre as inundações no município de São Leopoldo em teses, dissertações, livros, materiais jornalísticos e documentos oficiais emitidos por órgãos da administração municipal;

2) Levantamento Cartográfico: análise de imagens QuickBird, fotografias aéreas e plantas urbanas do município, MapBiomas e Google Earth;

3) Análise e processamento dos dados georreferenciados: produção de mapas de vulnerabilidade ambiental, vulnerabilidade social e, por fim, mapa de vulnerabilidade socioambiental, utilizando o programa QGis 3.16.11.

#### **4.2 Levantamento Bibliográfico**

Essa primeira etapa corresponde ao inventário de dados relacionados com as enchentes e inundações: o período/ano de ocorrência, o espaço atingido e a população exposta ao risco. Os dados foram obtidos por meio de materiais de veiculação pública como o jornal municipal Vale dos Sinos e notas emitidas pela Defesa Civil e Secretaria de Obras e Viação (SEMOV) do município. Também se recorreu a dados de teses, dissertações e monografias, livros e artigos, documentação legal como o Plano Diretor do município e leis e projetos que norteiam a política de recursos hídricos de São Leopoldo como a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) (Lei n. 12.608), o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD).

Os dados de ocorrência das enchentes foram adquiridos com a pesquisa documental de reportagens sobre as inundações do rio dos Sinos no município de São Leopoldo que são veiculadas publicamente pelo Jornal Vale dos Sinos e com a Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SEMMAM) do município. A análise das reportagens possibilitou obter-se informações referentes à data de ocorrência das inundações do rio dos Sinos bem como os locais atingidos, identificando as ruas e bairros e o nível das águas do rio. Para verificação de veracidade das reportagens, foi feita uma comparação com os dados disponibilizados pela secretaria de Defesa Civil do município, disponíveis no endereço eletrônico <http://www.defesacivil.rs.gov.br/>.

Também foram utilizados os dados de cheias disponibilizados pelo COMITESINOS, pela FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental), pela Agência Nacional das Águas (ANA) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com os dados da população do censo de 2010, onde constam informações referentes ao saneamento, saúde e qualidade de vida, fatores essenciais para trabalhar a vulnerabilidade socioambiental de uma determinada população.

### **4.3 Levantamento Cartográfico**

Os dados cartográficos utilizados na pesquisa foram obtidos por meio de levantamento de dados topográficos, limites de inundações históricas (realizados anteriormente em teses e dissertações), aerofotogramas e imagens QuickBird e de satélites. Com a coleta e análise dos dados cartográficos foi possível compor uma base cartográfica consistente para a produção de mapas temáticos das áreas que apresentam risco de inundação e vulnerabilidade socioambiental.

Também utilizaram-se os dados topográficos retirados das cartas topográficas de escala 1:10.000, disponibilizadas pela METROPLAN (Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional) no endereço eletrônico <http://www.metroplan.rs.gov.br/>.

As imagens de satélites que ilustram os períodos de inundação no município foram obtidas por meio do banco de imagens da Divisão de Geração

de Informação (DGI) do INPE, disponibilizado publicamente no endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

Por fim, a Secretaria do Meio Ambiente do município de São Leopoldo (SEMMAM) e METROPLAN, disponibilizaram os aerofotogramas de alta resolução que foram utilizados na pesquisa para suporte visual.

As fontes utilizadas na pesquisa para o levantamento de dados são as descritas no Quadro 4.

Quadro 4 – Fontes para levantamento de dados

VARIÁVEL	FONTE
Declividade	CPRM
Hipsometria	INPE
Pedologia	EMBRAPA
Uso e Ocupação do Solo	IBGE
Dados socioeconômicos para fins de análise da vulnerabilidade	IBGE (SIDRA)

Fonte: elaborado pelo autor

#### **4.4 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) aplicado ao Planejamento de Recursos Hídricos**

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são uma ferramenta importante no âmbito do planejamento territorial, na análise, manutenção e atualização de informações e no diagnóstico e solução dos problemas enfrentados pela gestão municipal. O uso do SIG na gestão do risco de inundação possibilita a previsão de cenários desastrosos, assim como fornece informações importantes para a identificação de zonas inundáveis (BLASCHKE, 2005).

Por ser uma ferramenta versátil e capaz de englobar os mais diversos aspectos, os SIGs se tornaram uma renomada forma de obter uma eficiente representação visual dos resultados, pois permitem analisar e combinar tipos de

informações variados sobre uma mesma área. Este aspecto possibilita o acompanhamento do desenvolvimento e crescimento do espaço urbano, por exemplo, através da constante atualização das informações dos bancos de dados, gerando mapas temáticos representativos que, quando comparados, fornecem uma visão mais ampla das mudanças no território (BLASCHKE, 2005).

Através do SIG, é possível realizar uma análise territorial que contemple o mapeamento de problemas e desastres urbanos ao mesmo tempo que informações físicas, demográficas, topográficas e de infraestrutura, como o mapeamento de uso e cobertura do solo, por exemplo.

Na presente pesquisa o uso de ferramentas SIG serviu para combinar dados demográficos, físicos e de infraestrutura, objetivando uma análise multicriterial a fim de obter as áreas que apresentam maior risco de inundações como resultado. Todos esses dados foram manipulados no software QGIS (versão 3.16.11) em coordenadas UTM no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS).

Após o levantamento dos dados, foi realizado o georreferenciamento das informações para a produção de mapas temáticos de uso e cobertura do solo, hipsometria, declividade e pedologia. Os dados foram inseridos em uma base cartográfica no formato *ShapeFile* da área de estudo, ou seja, o município de São Leopoldo.

As bases cartográficas no formato *ShapeFile* foram disponibilizadas gratuitamente pela FEPAM, pelo COMITESINOS e pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Estas bases foram trabalhadas utilizando o software de Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGis versão 3.16.11, também disponibilizado pela UFRGS.

Como será visto na sequência, foi atribuído um valor para cada um dos indicadores, sendo assim, ao fim da análise dos dados foram produzidos mapas temáticos como: a) mapa de vulnerabilidade ambiental, para isto foram elaborados mapas de uso e cobertura do solo, hipsometria, declividade e pedologia; b) mapa de vulnerabilidade social, para isto foram produzidos mapas de número de moradores no setor, média de moradores por domicílio, densidade demográfica, porcentagem da população acima de 65 anos e abaixo de 12 anos,

porcentagem de pessoas analfabetas acima de 12 anos e porcentagem de responsáveis sem rendimento e com rendimento de até 1 salário mínimo; c) por fim, foi elaborado um mapa que demonstra quais as áreas de maior vulnerabilidade socioambiental em decorrência das inundações do Rio dos Sinos relacionadas à vulnerabilidade social.

#### **4.5 Método AHP (Analytic Hierarchy Process)**

O método que será utilizado para o mapeamento das áreas de risco de inundação no município de São Leopoldo será o Analytic Hierarchy Process (AHP) (em português Processo Hierárquico Analítico). A escolha pelo AHP derivou por ser uma ferramenta que pode “auxiliar no ajuste de prioridades e torna a decisão racional e não intuitiva e subjetiva” (MARTINS e COELHO, 2012, p. 71). O método faz uso de diversos critérios, sendo assim é possível cruzar informações de relevância para o desenvolvimento das inundações e estabelecer quais são os locais que apresentam maiores riscos. Tendo em vista que não foram encontrados estudos que aplicaram tal método no município, acredita-se que ele pode contribuir com novas informações úteis para o mapeamento das áreas com risco de inundações.

De acordo com Ferreira e Silva (2020, p. 09), o método AHP “é uma teoria com fundamento matemático que permite avaliar a contribuição e a importância relativa entre temas quando essas variáveis possuem diferentes níveis de influência no resultado final”. O método também se mostra como uma forma de amenizar a complexidade de análise quando se trabalha com variados parâmetros ao mesmo tempo, pois hierarquiza cada parâmetro de acordo com sua relevância. “Ao combinar os métodos AHP e SIG, uma solução alternativa é fornecida para amenizar a complexidade das análises, demonstrando eficiência no desenvolvimento de mapas de susceptibilidade a inundações” (MIRANDA et al, p. 173, 2019). Segundo Campioli e Vieira:

“O método proposto por Saaty (1977) gera uma escala de importância por meio de pesos entre as classes dos parâmetros avaliados, pois cada uma dessas classes possui determinada importância que influencia na possível inundação da área analisada” (CAMPIOLI e VIEIRA, p. 126, 2019).

Saaty (1977) criou uma escala em que os valores assumidos vão de 1 (igual importância) a 9 (importância absoluta). Os valores e a forma como o cálculo é feito será explicado mais adiante no subcapítulo 4.5.1.

Conforme análise realizada em estudos semelhantes, é possível constatar que dentre os parâmetros que mais influenciam na suscetibilidade do risco de inundação estão o uso e ocupação do solo, a hipsometria, a declividade e a pedologia. (MIRANDA et al 2019; ROSA et al 2008; FERREIRA e SILVA, 2020; CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; NETO et al, 2021). Para fins de mapeamento da vulnerabilidade socioambiental, foram utilizados os mesmos parâmetros expostos por Camargo (CAMARGO et al, 2017), são eles: densidade demográfica, número de moradores por setor censitário, taxa de analfabetos, moradores por domicílio e taxa de carência de rendimentos. Portanto, devido aos registros citados na literatura, esses foram os parâmetros utilizados neste trabalho.

Por fim, foram cruzados os produtos da análise de Vulnerabilidade Ambiental (IVambiental) e de Índice de Vulnerabilidade Social (IVsocial) para produzir o mapa final de Vulnerabilidade Socioambiental (IVsocioambiental), como será explicado no próximo capítulo.

#### **4.5.1 Aplicação do AHP para produção do mapa de Vulnerabilidade Ambiental**

Primeiramente é necessário estabelecer uma escala de importância atribuindo pesos aos parâmetros que serão avaliados de acordo com a influência de cada parâmetro na ocorrência das inundações como mostra o Quadro 5 elaborado com base no estudo realizado por Miranda (MIRANDA et al 2019, p. 177).

Quadro 5 - Atribuição de notas as classes dos fatores de influência.

<b>FATOR</b>	<b>Classes</b>	<b>Notas</b>
<b>Declividade</b>	0 – 3%	8
	3 – 8%	5
	8 – 20%	2

	20 – 45%	1
	45 – 75%	1
	75% ou mais	1
<b>Hipsometria (m)</b>	0 – 20m	9
	20 – 40m	7
	40 – 60m	5
	60 – 80m	3
	80 – 100m	1
	100 – 140m	1
	140 – 180m	1
	180 – 220m	1
	220 – 260m	1
	260 – 310m	1
<b>Uso e ocupação do solo</b>	Vegetação Densa	3
	Solo exposto	5
	Área Urbanizada	7
	Corpos Hídricos	9
<b>Pedologia</b>	Argissolos	7
	Planossolos	9

Fonte: adaptado de MIRANDA et al, 2019; SAATY, 1977.

Após atribuídos os pesos dos parâmetros, foi realizado o julgamento comparativo entre cada um (Quadro 7). Segundo a matriz de comparação pareada definida por Saaty (1977), os elementos da matriz podem ser julgados de acordo com o seu grau de importância dentro da hierarquia admitida de 1 a 9 (Quadro 6).

Quadro 10 - Escala de julgamento de importância do método AHP

Valores	Descrição e justificativa da importância
1	<b>Igual</b> – Os dois parâmetros contribuem equitativamente.
3	<b>Moderada</b> – O parâmetro comparado é um pouco mais importante que o outro.
5	<b>Essencial ou forte</b> – Julgamento favorece fortemente um parâmetro sobre o outro.
7	<b>Muito Forte</b> – Um parâmetro é fortemente favorecido. Pode ser demonstrado na prática.
9	<b>Absoluta</b> – A evidência favorece um parâmetro em relação ao outro com o mais alto grau de segurança.
2, 4, 6, 8	<b>Valores intermediários</b> – Quando se busca uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: adaptado de SAATY, 1977.

Para obter os resultados das comparações inversas (por exemplo a comparação do parâmetro A com o parâmetro B), foram relacionados os parâmetros da coluna vertical da esquerda da matriz com os das linhas horizontais acima. Sendo assim, as posições da diagonal sempre recebem o valor 1, dado que um elemento é igualmente importante quando comparado a ele mesmo.

Quadro 7 – Matriz de Comparação Pareada dos parâmetros.

Parâmetro	(A)	(B)	(C)	(D)
<b>Uso e ocupação do solo (A)</b>	1	1/3	1/5	1/7
<b>Hipsometria (B)</b>	3	1	1/5	1/5
<b>Declividade (C)</b>	3	5	1	1/3
<b>Pedologia (D)</b>	7	5	3	1
<b>Somatória</b>	14	11,33	4,40	1,68

Fonte: adaptado de MIRANDA et al, 2019; SAATY, 1977.



O próximo passo consiste em aplicar o cálculo para avaliar a consistência dos resultados obtidos. Para isso, foram realizados os cálculos do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC). O resultado do índice de consistência foi obtido por meio da Equação 1:

Equação 1:

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - m}{m-1}$$

Sendo:

IC - Índice de Consistência;

$\lambda_{máx}$  - Autovalor máximo;

m – Matriz (número de parâmetros utilizados para o cálculo).

Para a realização do cálculo da Razão de Consistência, é necessário usar o valor do Índice Randômico (IR), que varia de acordo com a quantidade de parâmetros estabelecidos (m) na Matriz de Comparação Pareada. Saaty (1977) propôs uma tabela com os IR's de matrizes de ordem 1 a 10 (Quadro 8).

Quadro 8 – Índices Randômicos (IR)

<b>M</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>IR</b>	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: adaptado de NETO et al, 2021; SAATY, 1977.

A RC é obtida pela razão entre o IC e o IR correspondente (NETO et al, 2021). Por fim, se o resultado da RC for de 10% ou menos, os julgamentos obtidos podem ser considerados consistentes (SAATY, 1977).

## 4.6 Parâmetros para mapeamento do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVAmbiental)

Estudos semelhantes ao presente mostram que, dentre os parâmetros que mais influenciam na suscetibilidade do perigo de inundação, destacam-se o uso e ocupação do solo, a hipsometria, a declividade e a pedologia. (MIRANDA et al 2019; ROSA et al 2008; FERREIRA e SILVA, 2020; CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; NETO et al, 2021).

### 4.6.1 Declividade

O fator “declividade” é importante para o mapeamento das zonas de inundação pois limita orograficamente a expansão da lâmina de alagamento dos rios, visto que o relevo fortemente inclinado torna impossível o avanço das águas. Para Bazzan (2009, p. 77): “A análise das declividades permite identificar diferentes processos geomorfológicos e definir as áreas de dissecação e deposição que ocorrem no município”.

Neste estudo, o fator declividade foi dividido de acordo com classificação da Embrapa (1979) em: plano (0 - 3%), suavemente ondulado (3 - 8%), ondulado (8 - 20%), fortemente ondulado (20 - 45%), montanhoso (45% - 75%) e Escarpado (75% ou mais) conforme o Quadro 9.

Quadro 9 – Classificação do parâmetro Declividade segundo Embrapa

<b>Classificação</b>	<b>Porcentagem de declividade</b>	<b>Peso</b>
Plano	0 - 3%	9
Suavemente Ondulado	3 - 8%	5
Ondulado	8 - 20%	2
Fortemente Ondulado	20 - 45%	1
Montanhoso	45 – 75%	1
Escarpado	75% ou mais	1

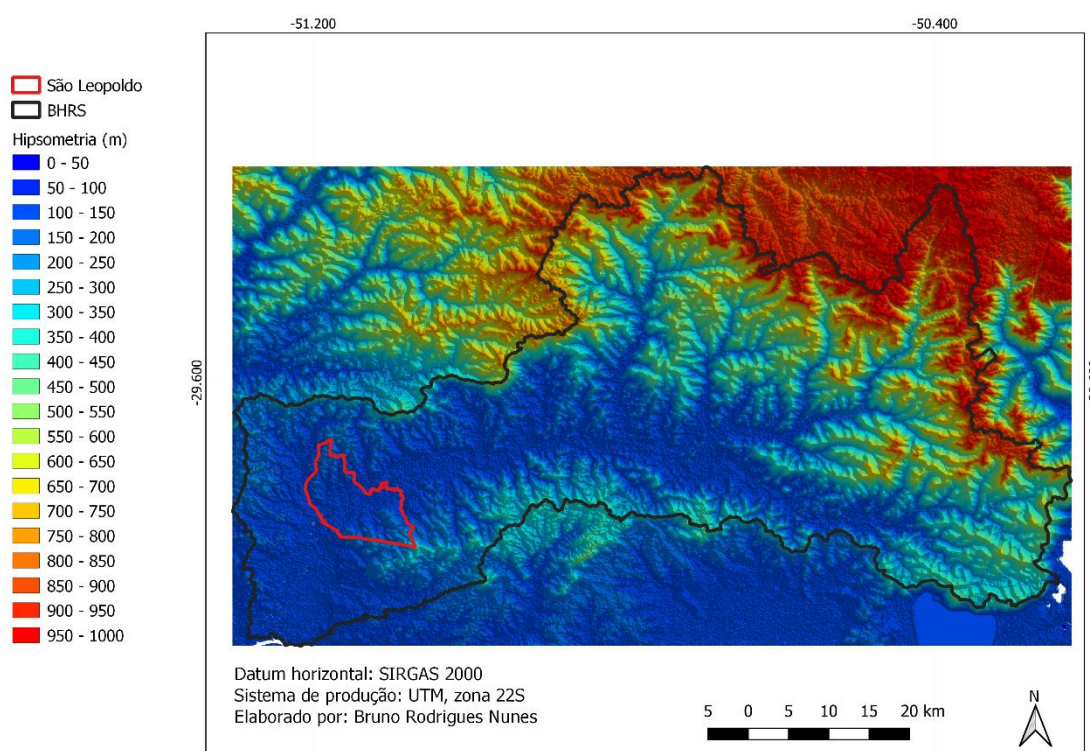
Fonte: Embrapa, 1979, adaptado.

#### 4.6.2 Hipsometria

O estudo hipsométrico das formas de relevo da área de estudo se mostra relevante pois indica os locais onde a acumulação hídrica é mais presente (locais planos) e onde é mais propício o escoamento das águas (superfícies mais inclinadas).

Segundo o Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (GOMES et al, 2009) a altimetria da bacia hidrográfica do Rios dos Sinos é dividida em valores entre 20 e 1040 metros. Porém, a área de estudo se localiza no chamado “baixo Sinos”, que é a área mais plana da bacia (Figura 6)

Figura 7 - Mapa hipsométrico da região da BHRS com localização do município de São Leopoldo



No presente estudo a altimetria foi classificada de acordo com estudos semelhantes de Neto e Miranda (NETO et al 2021; MIRANDA et al, 2019) em cinco faixas principais de elevação, sendo elas: 0 - 20, 20 - 40, 40 - 60 e 60 - 80 e 80 - 100 metros (Quadro 10). Para as regiões que apresentam cotas

altimétricas acima de 100m atribuiu-se o menor peso, visto que não apresentam perigo de inundações.

Entende-se que os riscos de inundação são muito maiores em superfícies com menor altimetria devido à forma do relevo (predominantemente plano). Os valores foram atribuídos entre 1 e 9, de acordo com o que é proposto por Saaty (1977). Sendo assim, será atribuída nota 9 para locais de altitude de 0 a 20m que, por serem predominantemente planos apresentam maior risco de inundações, 7 para ambientes de 20 a 40m e assim por diante como demonstra o Quadro 10.

Quadro 10 – Parâmetro Hipsometria – Cotas altimétricas

<b>Cotas altimétricas (m)</b>	<b>Peso</b>
0 - 20	9
20 – 40	7
40 – 60	5
60 – 80	3
80 - 100	1
100 – 140	1
140 – 180	1
180 – 220	1
220 – 260	1
260 - 310	1

Fonte: NETO et al, 2021; MIRANDA et al, 2019, adaptado.

#### **4.6.3 Pedologia**

O mapeamento dos tipos de solo da região foram fundamentais para atingir os objetivos da pesquisa visto que um solo com uma drenagem deficiente torna o ambiente propício para o desenvolvimento de áreas alagadas. Solos

pouco permeáveis como os planossolos podem contribuir para a exposição de um ambiente ao perigo de inundação.

Quanto aos tipos de solos, “a classe dos argissolos é a que possui maior abrangência na bacia do rio dos Sinos, ocupando aproximadamente 29% do total e está localizada no médio e baixo curso da referida bacia” (AQUINO, 2020). No município de São Leopoldo, assim como na maior parte do baixo curso da BHRS, predominam os argissolos e os gleissolos. Argissolos são solos susceptíveis à erosão quando se dão em relevo movimentado (EMBRAPA, 2021). Já os gleissolos ocorrem no fundo dos vales, como é o caso da área de estudo, e apresentam problemas de drenagem. Os gleissolos podem apresentar sérias limitações ao uso agrícola em função da presença do lençol freático elevado e do risco de inundação (SILVA et al, 2012).

Os dados dos tipos de solos utilizados foram obtidos pelo mapeamento realizado pelo IBGE (2000), com atualizações realizadas pela EMBRAPA (2012). Os pesos estabelecidos para cada uma das classes de solos encontrados na BHRS estão descritos no Quadro 11.

Quadro 11 - Pesos estabelecidos para as classes de pedologia

<b>Pedologia</b>	<b>Peso</b>
Planossolo	9
Argissolo	5

Fonte: adaptado de CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; EMBRAPA, 2012.

A seguir, apresenta-se uma descrição das características gerais dos solos localizados na região da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, com base no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 1999), também abordado por Streck (2002) e Lepsch (2010):

**ARGISSOLOS:** São solos que tipicamente possuem grande profundidade, variando de profundos a muito profundos, com drenagem que varia de bem drenada a imperfeitamente drenada. Eles têm uma origem diversificada, incluindo basaltos, argilitos, siltitos e granitos. Apresentam uma notável diferenciação de horizontes, exibindo cores predominantemente vermelho-amareladas e um horizonte superficial espesso de textura arenosa. Esses

Argissolos são encontrados em áreas de relevo montanhoso a suavemente ondulado e podem estar associados a outros tipos de solos. São subdivididos em cinco subordens, com a presença dos Vermelho-Amarelos na área em análise.

**CAMBISSOLOS:** São solos em estágio inicial de formação, geralmente rasos. O nome, originado do latim "cambiare" (mudança), sugere seu estado de transformação. Eles podem variar de bem drenados a imperfeitamente drenados e são encontrados em áreas de terreno acidentado, às vezes contendo fragmentos de rocha. Os Cambissolos são classificados em três subordens: Húmicos, associados a regiões montanhosas e frias; Flúvicos, presentes em planícies fluviais; e Háplicos, mais comuns e encontrados em várias condições ambientais.

**NEOSSOLOS:** São solos rasos com pouca ou nenhuma evidência de horizontes pedogenéticos e podem ter perfis com horizontes A, diretamente sobre a rocha, ou sobre o horizonte C, composto por material inconsolidado de rocha alterada. Esses solos consistem em sedimentos aluviais recentes ou rocha em decomposição e são encontrados em diversos ambientes. São subdivididos em quatro subordens: Litólicos, predominantes em declives acentuados; Flúvicos, presentes em planícies fluviais; Regolíticos, encontrados em terrenos montanhosos; e Quartizarênicos, que ocorrem em áreas planas a suavemente onduladas.

**PLANOSSOLOS:** São solos minerais que apresentam drenagem imperfeita ou inadequada, com diferença acentuada na textura entre o horizonte A, de caráter arenoso, e o horizonte B. Esses solos geralmente possuem alta concentração de argila e baixa permeabilidade, muitas vezes com a formação de um horizonte de lençol d'água suspenso conhecido como horizonte pá. São divididos em Nátricos e Háplicos, com ocorrência nas baixadas do estado do Rio Grande do Sul.

**GLEISSOLOS:** São solos que se encontram permanentemente ou periodicamente saturados por água, a menos que tenham sido drenados artificialmente, e apresentam um horizonte subsuperficial acinzentado. Os Gleissolos são encontrados em relevos planos ou rebaixados com alta umidade, geralmente saturados por água estagnada internamente ou por fluxo lateral. São

classificados em quatro classes, sendo os Háplicos, com horizonte superficial mais claro, os Gleissolos presentes na área em análise.

A região da BHRS, no trecho do município de São Leopoldo, apresenta baixa declividade, é plana e com predominância de solos do tipo Planossolos e Argissolos. Compreende solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, que possuem erodibilidade laminar nula, porém favorecem o acúmulo de água e sedimentos. Por serem solos mal drenados, agravam ainda mais a infiltração das cheias provocadas à montante.

#### **4.6.4 Uso e ocupação do solo**

O uso e ocupação do solo é uma variável muito importante para a obtenção dos resultados, visto que as diferentes classes de uso e ocupação do solo podem ocasionar sua maior impermeabilização (como é o caso do meio urbano), gerando um maior volume de escoamento superficial que é um fator determinante para a ocorrência de inundações em ambientes planos como o município de São Leopoldo, ou maior infiltração, como no caso de ambientes menos antropizados.

O fator uso e ocupação do solo foi dividido em quatro classes: vegetação densa, solo exposto, área urbanizada e corpos hídricos (Quadro 6). Desta forma, as classes pertencentes ao fator uso e ocupação do solo terão seus valores determinados a partir do grau de impermeabilização do solo, bem como a sua capacidade de infiltração.

Sendo assim, às áreas cobertas por vegetação densa serão atribuídas notas mais baixas, pois a vegetação densa intercepta a precipitação e diminui o escoamento superficial. Em contrapartida, um grau máximo de suscetibilidade será atribuído às áreas cobertas por corpos hídricos, entendendo-se que estas são áreas naturalmente inundáveis. Já as áreas urbanizadas (pavimento e edificações), receberão notas altas em consequência da maior impermeabilização do solo que é um fator determinante para a maior suscetibilidade à inundações (Quadro 12).

Quadro 12 – Parâmetro uso e ocupação do solo

<b>Uso e ocupação do solo</b>	<b>Peso</b>
Vegetação	3
Solo Exposto	5
Área Urbanizada	7
Corpos hídricos	9

Fonte: MIRANDA et al, 2019; FERREIRA e SILVA, 2020, adaptado.

#### **4.7 Índice de Vulnerabilidade Social (IVsocial)**

O conceito de vulnerabilidade social pode ser entendido como o conjunto de características, de recursos materiais ou simbólicos e de habilidades inerentes a indivíduos ou grupos, que podem ser insuficientes ou inadequados para o aproveitamento das oportunidades disponíveis na sociedade. Dessa forma, essa relação irá determinar maior ou menor grau de qualidade de vida da população (MONTEIRO, 2011).

Além da ausência de meios de subsistência e de um ambiente familiar, as condições precárias de moradia e saneamento são uma das principais características que definem o estado de vulnerabilidade social.

No presente trabalho, o Índice de Vulnerabilidade Social (IVsocial) foi constituído por oito parâmetros obtidos através do Censo Demográfico de 2010 realizado pelo IBGE e disponibilizado na plataforma SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática) e divididos em 6 indicadores principais. São eles: número de moradores no setor, média de moradores por domicílio, densidade demográfica, porcentagem da população acima de 65 anos e abaixo de 12 anos, porcentagem de pessoas analfabetas acima de 12 anos e porcentagem de responsáveis sem rendimento e com rendimento de até 1 salário mínimo.

Com o objetivo de padronizar os dados censitários, os seis indicadores de vulnerabilidade foram normalizados de 0 a 1, sendo zero (0) o valor da variável mínima e um (1) o valor da variável máxima (GOERL et al, 2012, p. 91). Para normalizar os resultados dos dados censitários foi utilizada a Equação 2:



Equação 2:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

X= valor da variável

X<sub>min</sub> = menor valor da variável

X<sub>max</sub> = maior valor da variável

Após a normalização dos resultados, os oito parâmetros foram agrupados em seis indicadores (Quadro 13) e divididos pelo Índice de Desenvolvimento Humano (IDHM) do município de São Leopoldo, conforme a Equação 3. Segundo o IBGE (2010), o IDHM do município é de 0,739 e é obtido pela média aritmética de três sub-índices, referentes às dimensões Longevidade (IDH-Longevidade), Educação (IDH-Educação) e Renda (IDH-Renda) (GOERL et al, 2012, p. 91).

Quadro 13 – Variáveis censitárias e variáveis utilizadas para mensurar a vulnerabilidade

<b>Variáveis Censitárias</b>	<b>Indicadores de Vulnerabilidade</b>
Número de moradores no setor	Número de moradores no setor
Média de moradores por domicílio	Média de moradores por domicílio
Densidade Demográfica	Densidade Demográfica
% da população acima de 65 anos	Soma da porcentagem de população acima de 65 e abaixo de 12 anos
% da população abaixo de 12 anos	
% de pessoas analfabetas acima de 12 anos	% de pessoas analfabetas acima de 12 anos
% de responsáveis sem rendimento	Soma da porcentagem de responsáveis sem rendimento e de responsáveis com rendimento de até 1 salário mínimo
% de responsável com rendimento de até 1 salário mínimo	

Fonte: elaborado conforme indicadores utilizados por Goerl et al. (2012, p.91).

Equação 3:

$$IV = \frac{Dd + Nm + Mm + TxD + E + R}{IDHM}$$

Dd é a densidade demográfica;

Nm é o número de moradores no setor;

Mm é média de moradores por residência;

TxD é a taxa de dependência (idosos e jovens);

E é a educação (analfabetos acima de 12 anos);

R é a renda (responsável sem rendimento ou com até um salário mínimo);

IDHM é o Índice de Desenvolvimento Humano do Município.

Após escalonado, o Índice de Vulnerabilidade foi agrupado em cinco classes, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, definidas pelo desvio quartílico baseado em Marcelino et al. (2006).

#### 4.8 Cruzamento dos dados de Índice de Vulnerabilidade Social e

##### Vulnerabilidade Ambiental

Os resultados obtidos para IVsocial e IVambiental, foram integrados pelo método multicritério ponderado (Equação 4 e Quadro 14) para produzir o Índice Vulnerabilidade Socioambiental com base nos estudos propostos por Camargo et al. (2017) e Goerl et al. (2012).

Equação 4:

$$IVsociambiental = IVsocial \times 0,5 + IVambiental \times 0,5$$

Quadro 14 – Análise multicritério ponderada

Mapas	Influência (%)	Classes	Escala de Valor
-------	----------------	---------	-----------------

Vulnerabilidade Social	50	Alta	5
		Média-alta	4
		Média	3
		Média-baixa	2
		Baixa	1
Vulnerabilidade Ambiental	50	Alta	5
		Média-alta	4
		Média	3
		Média-baixa	2
		Baixa	1

Fonte: adaptado de Camargo et al. (2017, p. 1864).

Desta forma, foi possível produzir os mapas de vulnerabilidade social, de vulnerabilidade ambiental e, por fim, de vulnerabilidade socioambiental. Desse modo, a adoção da abordagem de vulnerabilidade socioambiental possibilita integrar a dinâmica social e dinâmica ambiental (MENDONÇA et al., 2016).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentam-se os resultados da pesquisa de forma detalhada e sistemática. Os dados coletados foram organizados e analisados à luz das questões de pesquisa propostas, sendo apresentados de maneira clara e objetiva. Nesta seção, os resultados foram interpretados com base na literatura relevante, permitindo que sejam feitas conexões com estudos anteriores.

Além disso, são discutidas as implicações dos resultados, identificando possíveis limitações metodológicas e sugerindo áreas para futuras investigações. Este capítulo desempenha um papel crucial na validação e interpretação dos resultados da pesquisa, contribuindo para o avanço do conhecimento na área de estudo.

## **5.1 Índice de Vulnerabilidade ambiental**

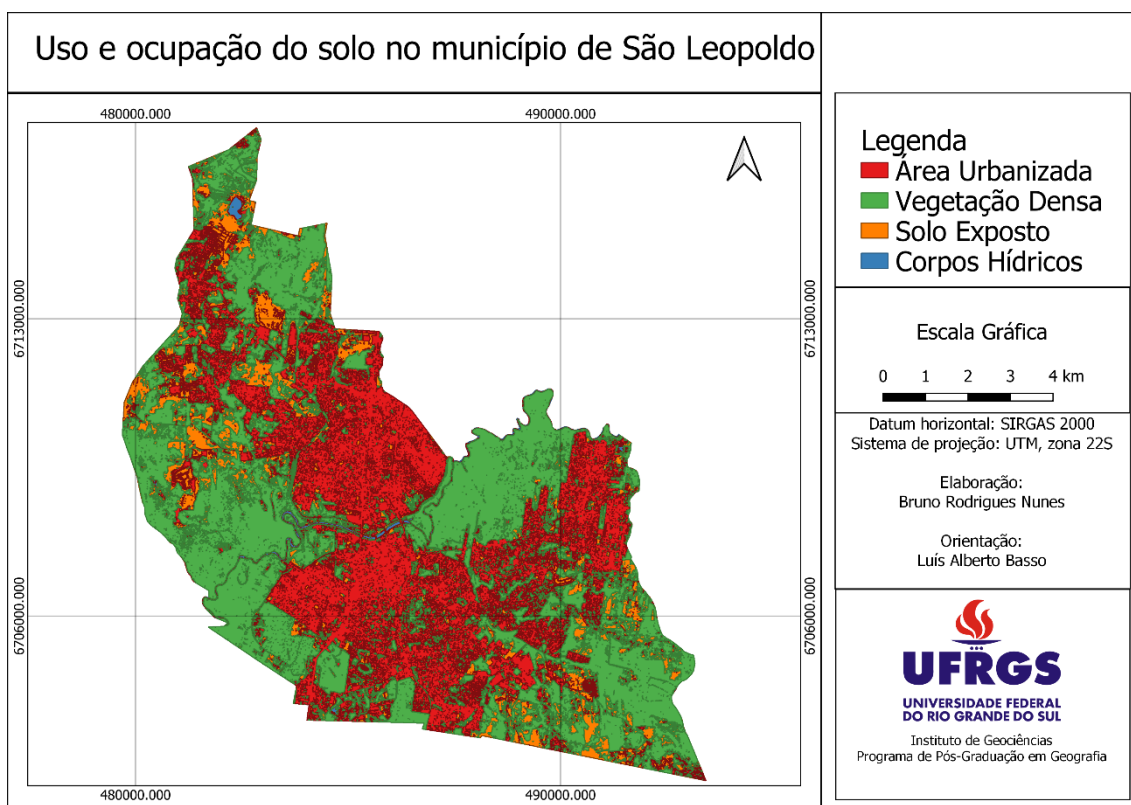
### **5.1.1 Uso e ocupação do solo**

Ao identificar e classificar as diferentes formas de uso da terra, como áreas urbanas, áreas de solo exposto, e áreas de vegetação, pode-se obter informações essenciais sobre a distribuição espacial das atividades humanas e das características ambientais da região. Por exemplo, áreas urbanizadas com grande concentração de edificações e infraestrutura podem apresentar maior impermeabilização do solo, aumentando o escoamento superficial e o risco de inundações em períodos de chuvas intensas.

Por outro lado, áreas naturais, como florestas e áreas de vegetação nativa, desempenham um papel importante na absorção e infiltração da água da chuva, reduzindo o risco de enchentes e contribuindo para a regulação do ciclo hidrológico (TUCCI, 2001).

O mapa de uso e ocupação do solo do município de São Leopoldo pode ser observado na Figura 7 a seguir.

Figura 8 - Mapa de uso e ocupação de solo no município de São Leopoldo



Através do mapa de uso e ocupação do solo pode-se observar a extensa mancha urbana do município. Comparando o presente mapa com os mapas de hipsometria e declividade anteriormente apresentados, pode-se entender que boa parte da rede urbana do município se encontra em área planas, com baixa altitude e instalada sob solo com baixo potencial de drenagem.

A análise do mapa de uso e ocupação do solo do município de São Leopoldo, no Rio Grande do Sul, revela uma distribuição variada de atividades e cobertura do solo na região. Observa-se uma predominância de áreas urbanizadas ao longo dos principais eixos viários e nas proximidades do centro da cidade, indicando uma concentração significativa de atividades residenciais, comerciais e industriais nessas regiões. Aproximadamente 30% da planície de inundação era ocupada por área urbana. Essas áreas urbanas são geralmente caracterizadas por uma alta densidade de edificações e infraestrutura urbana, refletindo o crescimento e desenvolvimento do município ao longo do tempo.

Além disso, o mapa revela a presença de áreas verdes dispersas pela cidade, como parques, praças e áreas de preservação ambiental, que desempenham um papel importante na qualidade de vida da população e na promoção da sustentabilidade ambiental.

No entanto, a análise também evidencia desafios relacionados à ocupação do solo, como a expansão desordenada das áreas urbanas sobre as áreas das margens de rios e encostas íngremes, aumentando o risco de desastres como inundações.

Observa-se também maior presença de áreas de solo exposto na parte Norte e Sul do município. O solo exposto tem uma capacidade reduzida de absorver e infiltrar água. Isso pode resultar em maior escoamento superficial durante eventos de chuva intensa, aumentando o risco de enchentes e erosão hídrica.

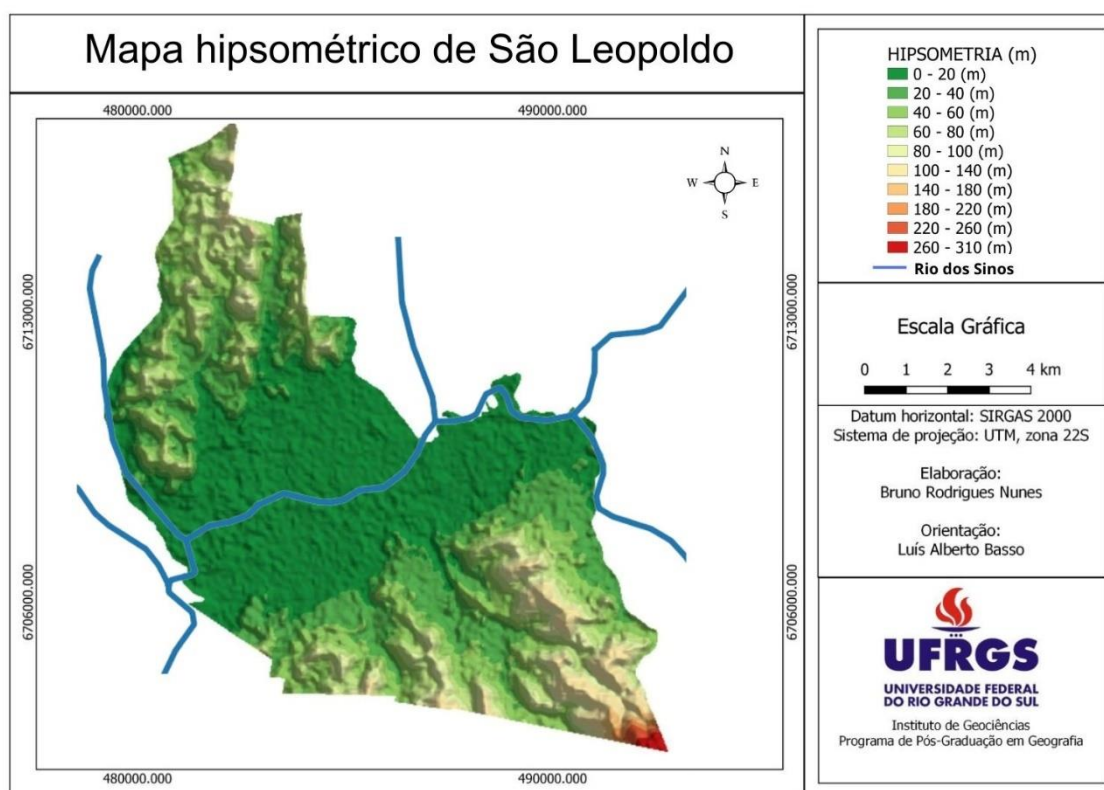
### **5.1.2 Hipsometria**

A hipsometria refere-se à representação da variação altimétrica do relevo, indicando as diferentes altitudes e elevações do terreno em uma determinada área. Esse tipo de mapeamento permite identificar áreas de planície, vales, encostas e áreas elevadas, fornecendo informações sobre a distribuição espacial do relevo e sua influência no escoamento da água durante eventos de precipitação intensa. Por exemplo, áreas de baixa altitude tendem a apresentar maior susceptibilidade a inundações, especialmente quando localizadas próximas a corpos d'água, enquanto áreas mais elevadas podem atuar como zonas de escape para o escoamento da água, reduzindo o risco de inundações em áreas mais baixas.

Portanto, o mapeamento detalhado da hipsometria é essencial para a identificação de áreas vulneráveis a inundações e para o desenvolvimento de estratégias eficazes de prevenção e mitigação de riscos (FREITAS et al., 2012).

O mapa hipsométrico do município de São Leopoldo pode ser observado na Figura 9 a seguir.

Figura 9 - Mapa hipsométrico do município de São Leopoldo



A variação altimétrica no município de São Leopoldo é de 303 metros. As áreas próximas ao Rio dos Sinos, na parte central-leste e central-oeste, registram as altitudes mais baixas, com apenas 1 metro acima do nível do mar. Por outro lado, as altitudes mais elevadas, superiores a 300 metros, estão situadas nas regiões norte e sul. A Figura 8 ilustra a distribuição espacial das altitudes no município.

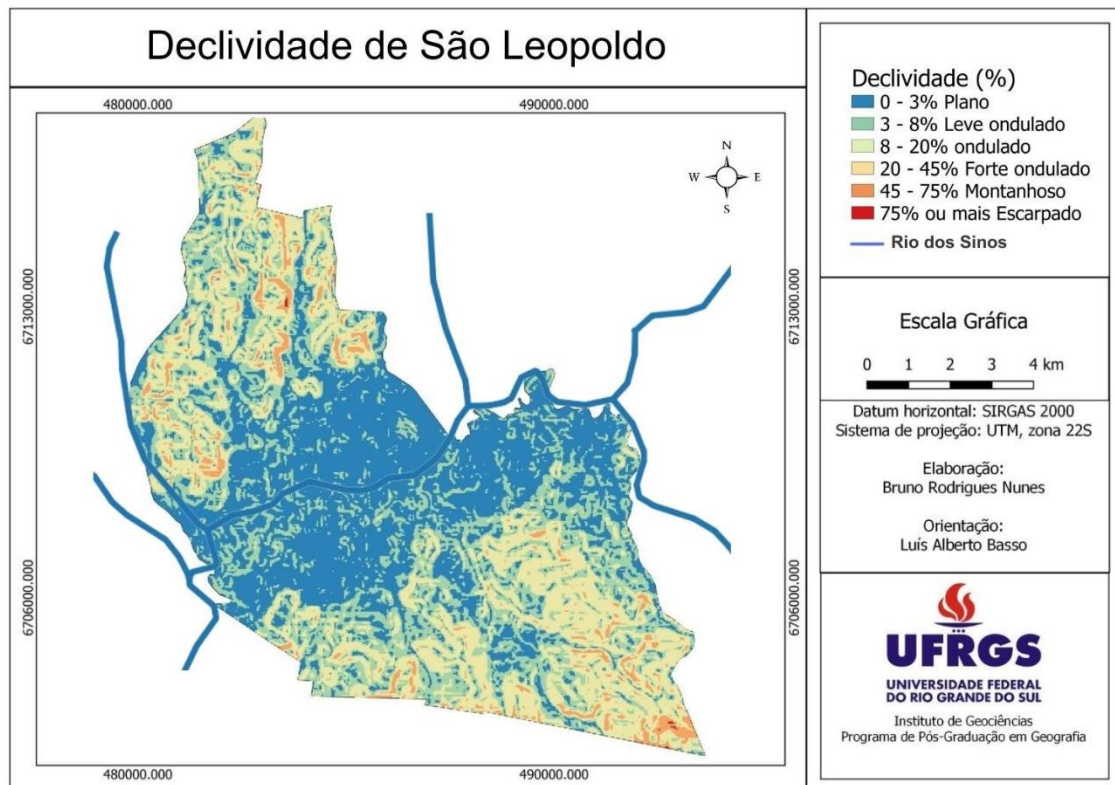
Verificou-se que a maior parte do município apresenta perfil altimétrico entre 0 e 60m. Ademais, grande parte da área urbanizada do município se encontra em áreas de até 20m de altitude, caracterizando regiões vulneráveis a inundações.

### 5.1.3 Declividade

A inclinação do terreno influencia diretamente o escoamento superficial da água durante eventos de chuvas intensas, afetando a velocidade e a direção do fluxo hídrico. Em áreas com declividades acentuadas, como encostas íngremes, a água tende a escoar mais rapidamente, aumentando o risco de erosão do solo e o surgimento de processos de enxurrada que podem provocar inundações em áreas abaixo do relevo. Por outro lado, em regiões planas ou com declividades suaves, a água pode se acumular mais facilmente, aumentando o potencial de inundações em áreas de baixa altitude. Portanto, o mapeamento detalhado da declividade do terreno é fundamental para identificar áreas suscetíveis a inundações e para o planejamento de medidas de prevenção e mitigação de riscos (CÂMARA et al., 2006).

O mapa de declividade do município de São Leopoldo pode ser observado na Figura 10 a seguir.

Figura 10 - Mapa de declividade do município de São Leopoldo





As áreas planas ligadas ao rio dos Sinos, onde a ocorrência de processos de deposição e acúmulo fluvial são comuns, apresentam declividades inferiores a 3%. Essas áreas predominam em altitudes abaixo de 15 metros e abrangem 51% da área total, concentrando-se principalmente na região central do município.

Declividades situadas entre 3% e 8% estão associadas às áreas onde ocorrem processos de deposição, principalmente ao longo dos principais afluentes do Rio dos Sinos no município. Essas declividades são predominantes em altitudes entre 15 e 40 metros e abrangem cerca de 12,2% da área total do município.

Entre 8% e 20%, as declividades estão ligadas a vertentes suavemente inclinadas, onde processos de dissecação do relevo ocorrem devido à erosão. Estas áreas são caracterizadas por colinas, principalmente nas partes norte e sul, com altitudes entre 40 e 120 metros, ocupando cerca de 24% da área total do município.

Declividades superiores a 20% correspondem a relevo fortemente ondulado, caracterizado por escarpas distribuídas nas regiões norte e sul em altitudes acima de 120 metros. Estas áreas correspondem a aproximadamente 12% da área total do município.

A partir da análise dos dados de declividade é possível observar que a área central do município se encontra em uma região predominantemente plana e sem grandes desníveis. Sendo assim, levando em conta o fator Declividade, grande parte do município se encontra em área suscetível a inundações.

#### **5.1.4 Pedologia**

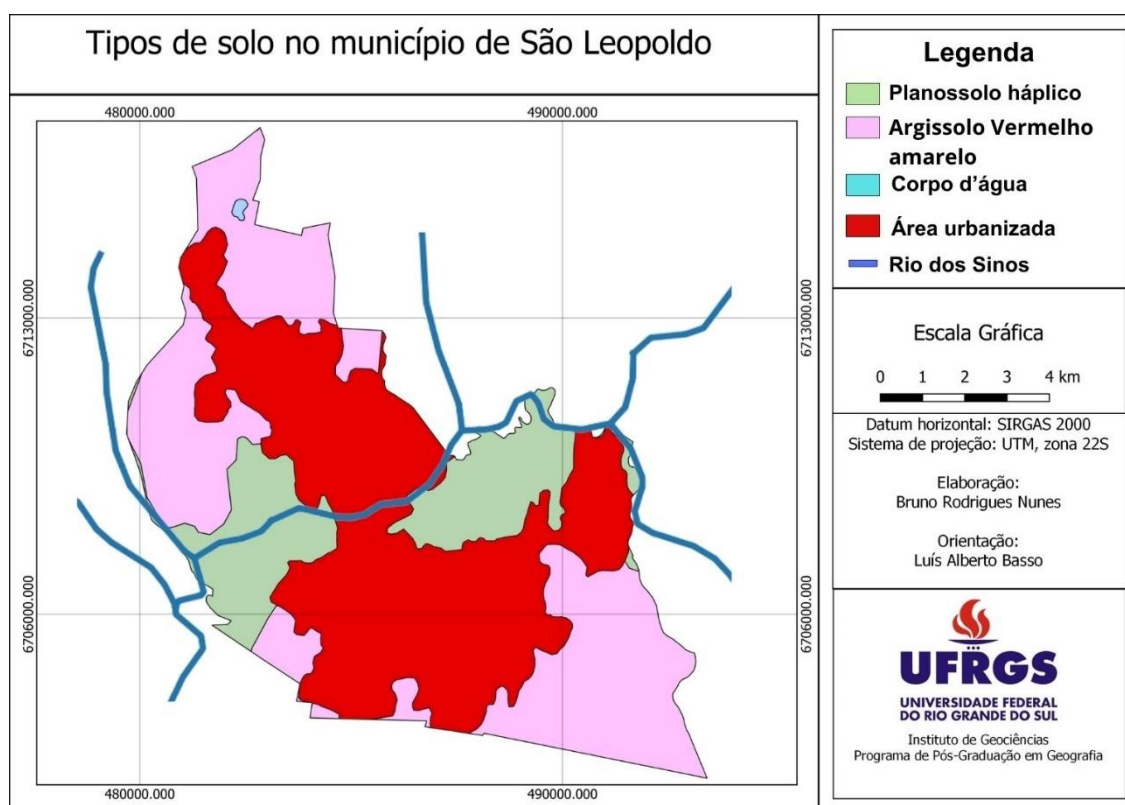
O mapeamento dos tipos de solo de uma região desempenha um papel fundamental na análise da vulnerabilidade ambiental às inundações. Conhecer as características dos solos, como textura, permeabilidade e capacidade de infiltração, é essencial para compreender como a água se comporta durante eventos de inundação. Por exemplo, solos com alta permeabilidade geralmente

permitem uma rápida infiltração da água, reduzindo o escoamento superficial e o risco de inundações.

Por outro lado, solos argilosos com baixa permeabilidade tendem a reter mais água na superfície, aumentando o potencial de inundações, especialmente em áreas de topografia plana. Portanto, o mapeamento detalhado dos tipos de solo de uma região fornece informações valiosas para a identificação de áreas com maior susceptibilidade a inundações e para o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação de riscos (SANTOS et al., 2018).

O mapa pedológico do município de São Leopoldo pode ser observado na Figura 11 a seguir.

Figura 11 - Mapa dos tipos de solo do município de São Leopoldo



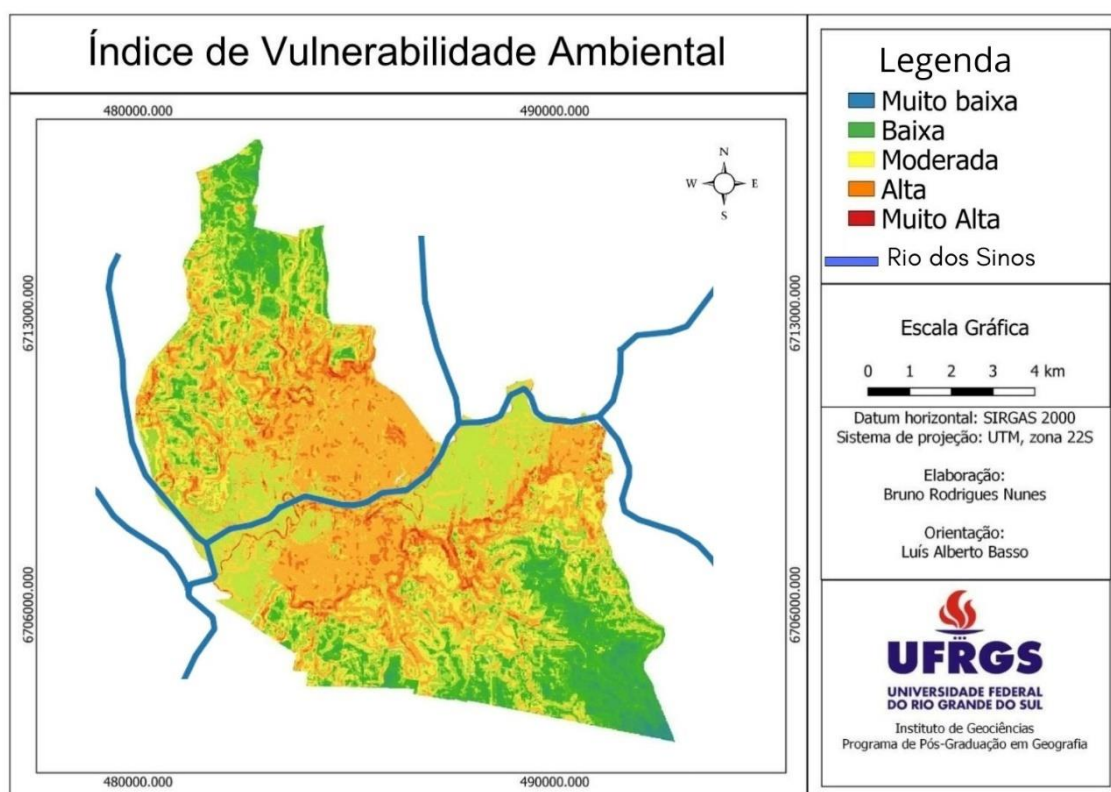
Observou-se que as áreas mais próximas ao Rio dos Sinos apresentam composição predominante de planossolo háplico, sendo assim uma região com deficiência de drenagem e, portanto, mais suscetível à inundações.

Já as áreas mais afastadas do rio, apresentam predominância de argissolo vermelho-amarelo, apresentando baixo potencial de acúmulo de água.

### 5.1.5 Mapeamento do Índice de Vulnerabilidade ambiental

Através da análise e cruzamento dos dados de uso e ocupação do solo, hipsometria, declividade e pedologia pelo método AHP, como descrito na metodologia, foi elaborado o mapa de Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVambiental) representado na Figura 12 a seguir.

Figura 12 - Mapa de Vulnerabilidade Ambiental do município de São Leopoldo



Observa-se que as regiões que apresentam maior vulnerabilidade ambiental no município de São Leopoldo são aquelas com baixos níveis altimétricos, relevo predominantemente plano, solo com deficiência de drenagem e urbanização concentrada. Os principais bairros que se situam nessas áreas

são: Feitoria, Rio dos Sinos, Campina e Santos Dumont, todos com urbanização acentuada e localização próxima ao rio.

Por outro prisma, as áreas que apresentam baixa vulnerabilidade ambiental a inundações encontram-se afastadas do rio, sendo elas as regiões norte e sul do município.

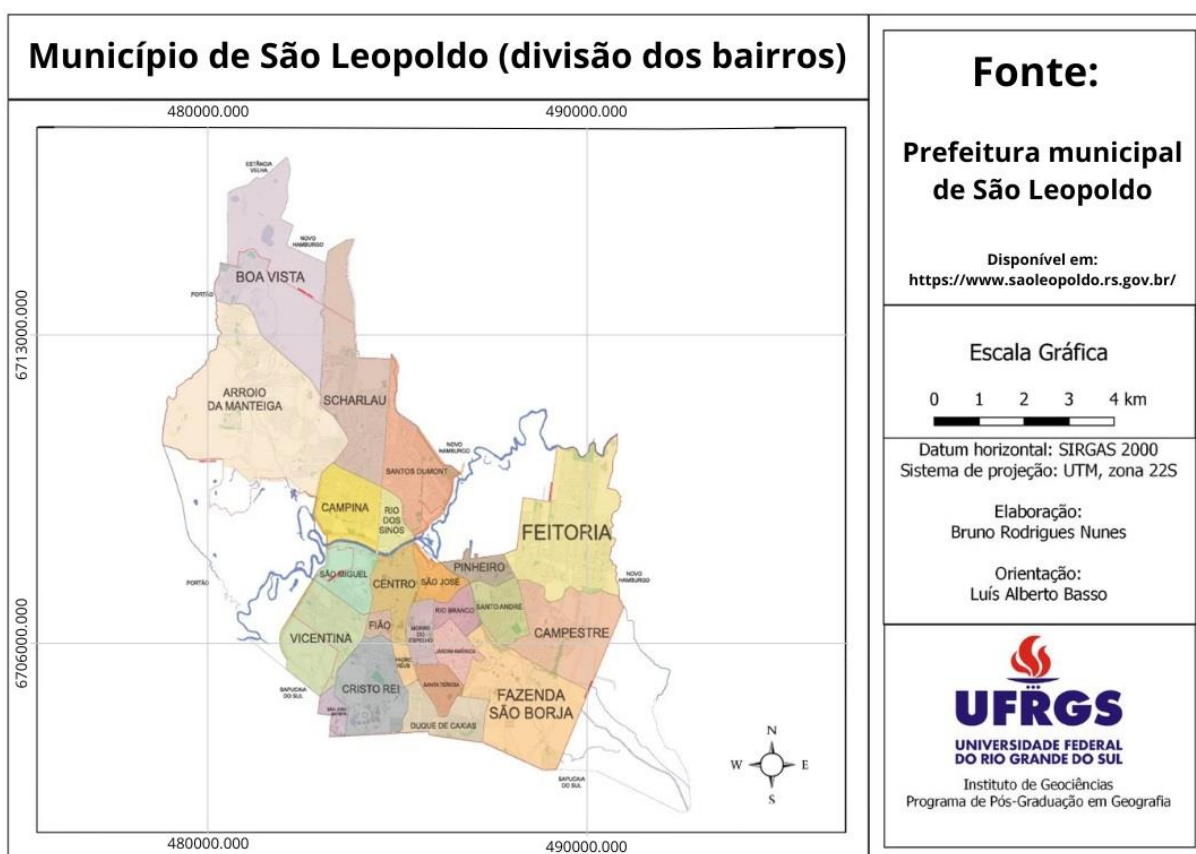
As áreas com elementos expostos com média vulnerabilidade ambiental a inundações ocorrem em todos os bairros da planície do rio dos Sinos.

## **5.2 Vulnerabilidade Social**

Para o mapeamento da vulnerabilidade social, foram utilizados os mesmos parâmetros expostos por Camargo (CAMARGO et al, 2017), são eles: densidade demográfica, número de moradores por setor censitário, taxa de analfabetos, moradores por domicílio e taxa de carência de rendimentos. Portanto, devido aos registros citados na literatura, foram esses os parâmetros utilizados neste trabalho.

O mapeamento dos indicadores de vulnerabilidade social foi realizado utilizando a divisão dos setores censitários determinados pelo IBGE. Sendo assim, a Figura 13 serve de referência demonstrando a divisão dos bairros do município para melhor localização.

Figura 13 - Divisão dos bairros do município de São Leopoldo



### 5.2.1 Densidade demográfica por setor censitário e número de moradores por setor censitário

A densidade demográfica, que expressa a relação entre a população e a área territorial de um município, é um indicador crucial para compreender seu perfil socioeconômico. Em primeiro lugar, uma alta densidade demográfica muitas vezes reflete uma maior pressão sobre os recursos e serviços públicos, como transporte, saúde e educação. Isso pode indicar demandas específicas em termos de infraestrutura urbana e serviços sociais, influenciando políticas de planejamento urbano e alocação de recursos municipais (MOI et al., 2019).

Além disso, a densidade demográfica está intimamente ligada à dinâmica econômica de um município. Áreas mais densamente povoadas tendem a ter uma maior atividade econômica, com mais empresas, comércios e oportunidades de emprego. Isso pode gerar um perfil socioeconômico caracterizado por uma economia diversificada, maior renda per capita e, muitas vezes, padrões de vida mais elevados. Por outro lado, áreas com baixa

densidade demográfica podem enfrentar desafios relacionados ao desenvolvimento econômico, como escassez de mão de obra, falta de investimento em infraestrutura e serviços, e até mesmo despovoamento (SOUZA et al., 2018).

A densidade demográfica de uma região pode influenciar significativamente a ocorrência e a gravidade das inundações (BACK et al., 2018). Em áreas com alta densidade demográfica, a urbanização é geralmente mais intensa, resultando em uma maior proporção de superfícies impermeáveis, como estradas, estacionamentos e edifícios. Isso reduz a capacidade do solo de absorver a água da chuva, levando a um aumento do escoamento superficial e aumentando o risco de inundações em áreas urbanas.

Portanto, a densidade demográfica de uma região desempenha um papel crucial na vulnerabilidade a inundações, influenciando a forma como o solo é usado, a capacidade de absorção de água, a infraestrutura de drenagem e a ocupação de áreas suscetíveis a inundações.

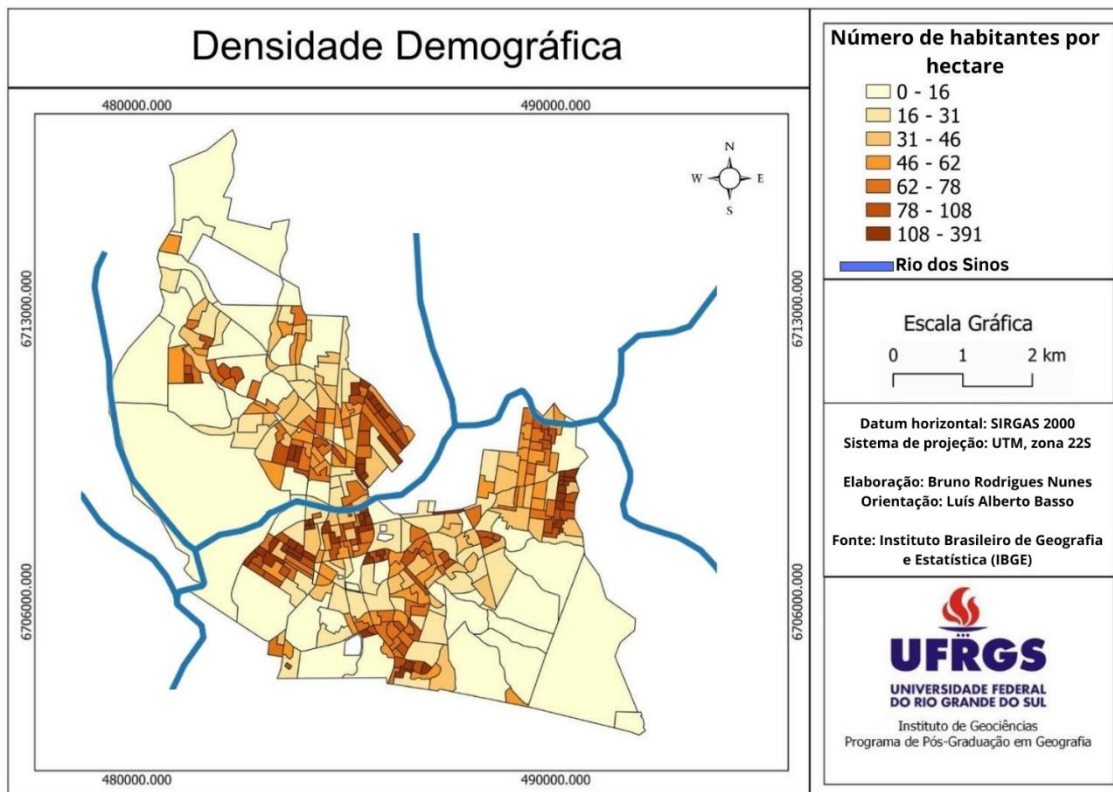
Para o indicador densidade demográfica foram utilizados dados relativos ao número da população por setor censitário e a área dos setores (em km<sup>2</sup>) do município de São Leopoldo, contidos na base de dados do IBGE. A densidade demográfica corresponde à razão entre duas variáveis, conforme mostra a Equação 5 a seguir:

Equação 5:

$$DD = \frac{\text{População}}{\text{Área}}$$

O Mapa de densidade demográfica de São Leopoldo pode ser observado na Figura 14 a seguir.

Figura 14 - Mapa de Densidade Demográfica de São Leopoldo

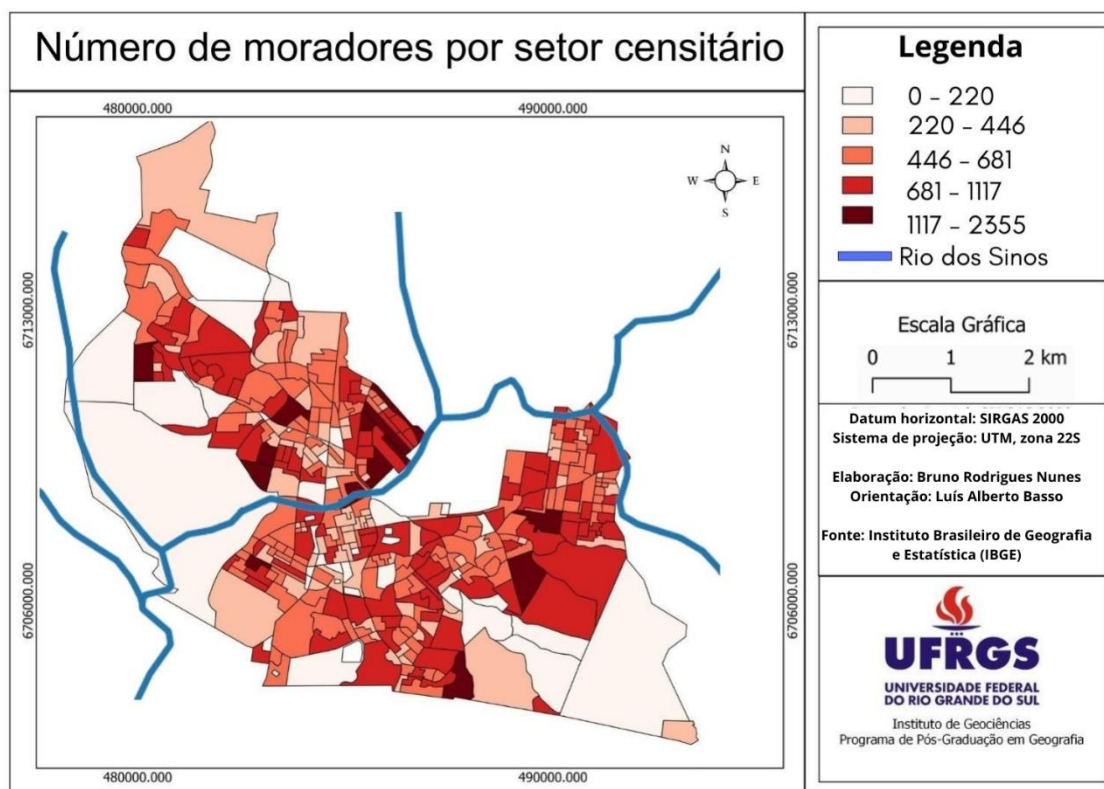


Assim como a densidade demográfica, o número de moradores por setor censitário pode ter uma influência significativa no contexto da vulnerabilidade social. Em setores com um alto número de moradores, pode haver uma maior demanda por recursos e serviços básicos, como água potável, saneamento, educação e saúde. Se esses recursos e serviços não forem adequadamente distribuídos ou estiverem sobrecarregados devido à alta densidade populacional, isso pode aumentar a vulnerabilidade social das comunidades, especialmente daqueles que têm dificuldades de acesso.

O mapa do número de moradores por setor censitário pode ser observado na Figura 15.



Figura 15 - Número de moradores por setor censitário



As classes apresentadas na legenda representam o número de moradores por setor censitário.

Analisando os dois mapas, é possível observar que as áreas correspondentes a maior densidade demográfica no município de São Leopoldo são também as áreas mais próximas do curso do Rio dos Sinos.

As áreas mais densamente povoadas correspondem aos setores censitários dos bairros Santos Dumont, Feitoria, Pinheiro, Vicentina e Rio dos Sinos. Em contrapartida, as regiões localizadas nos extremos norte e sul do município são as que apresentaram menor densidade demográfica.

Há setores censitários mais afastados do rio dos Sinos que apresentam alta densidade demográfica, porém, a maior concentração populacional acontece nos setores censitários correspondentes ao bairro Rio dos Sinos.

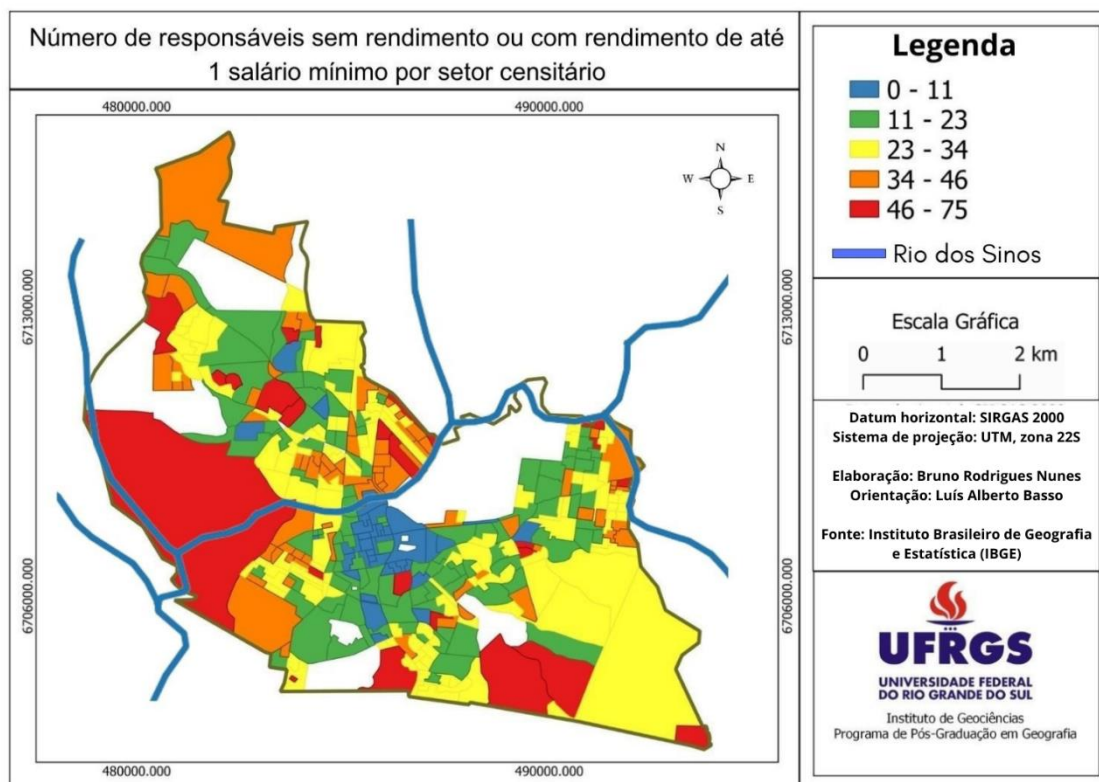


### **5.2.2 Renda**

A renda é um dos principais determinantes da vulnerabilidade social em uma comunidade (JANNUZZI, 2017, p. 105). Baixos níveis de renda estão frequentemente associados a condições de vida precárias, acesso limitado a serviços básicos, como saúde e educação, e falta de oportunidades econômicas. Populações com renda insuficiente enfrentam dificuldades para atender às suas necessidades básicas, incluindo alimentação adequada, moradia digna e cuidados de saúde, o que pode levar a um ciclo de pobreza e exclusão social.

Além disso, a renda afeta diretamente a capacidade das pessoas de se prepararem e se recuperarem de eventos adversos, como desastres naturais, crises econômicas ou emergências de saúde. Famílias com baixa renda têm menos recursos para se protegerem e se adaptarem a essas situações, aumentando sua vulnerabilidade a impactos negativos e prolongando seu processo de recuperação. Portanto, a desigualdade de renda pode ampliar ainda mais as disparidades sociais e econômicas, criando divisões profundas na sociedade e minando a coesão social (BASTOS et al., 2018). O mapa da variável renda pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 - Número de responsáveis sem rendimento ou com rendimento de até um salário-mínimo



Observa-se que os setores censitários correspondentes ao bairro Centro do município de São Leopoldo apresentam os menores números de pessoas sem rendimento ou com rendimento de até um salário mínimo. É válido destacar que o bairro Centro é o que apresenta maior atividade econômica no município, atuando como um centro comercial.

Em contrapartida, as regiões correspondentes aos bairros Santos Dumont, Vicentina, Rio dos Sinos, São Miguel e Duque de Caxias apresentaram níveis altos e muito altos de pessoas com baixa renda.

Observa-se que a população de baixa renda está distribuída em todos os bairros ao redor do Centro. Contudo, parte desta população não é afetada pelas inundações por estar localizada em áreas de níveis altimétricos altos.

### 5.2.3 Taxa de Analfabetismo

A taxa de analfabetismo é um indicador fundamental para caracterizar a vulnerabilidade social de uma comunidade ou região. O analfabetismo limita

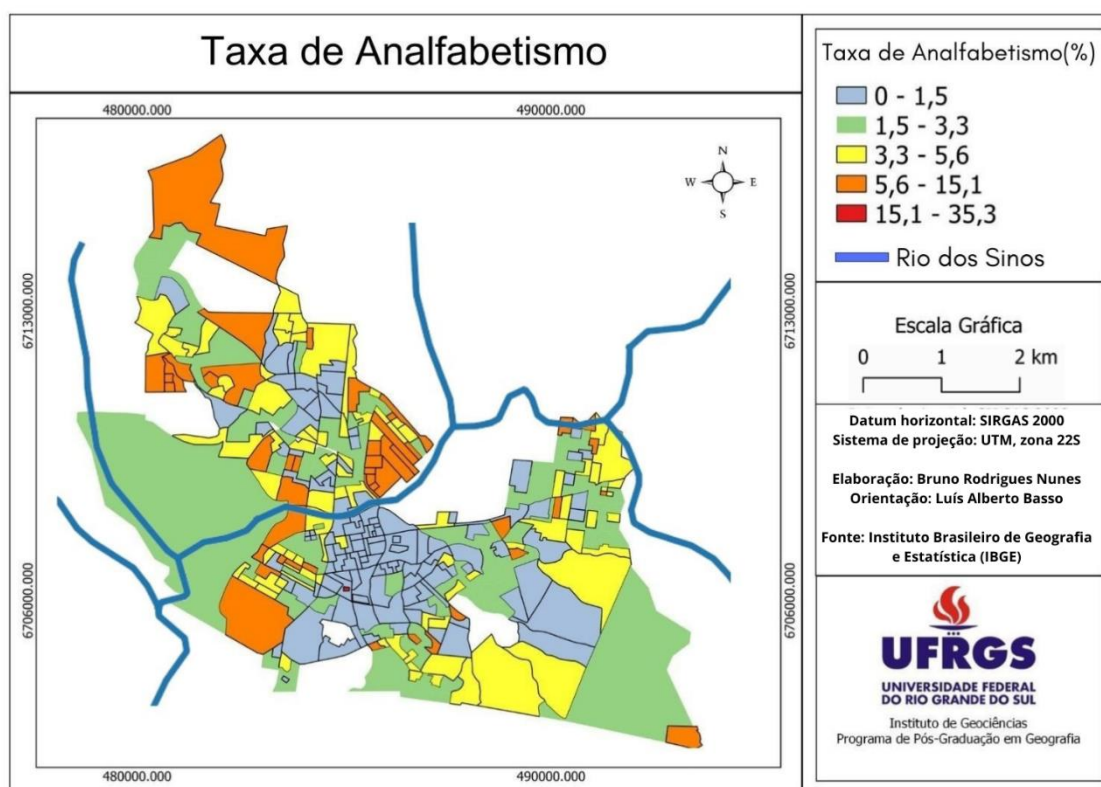
significativamente o acesso das pessoas à informação, à educação e ao mercado de trabalho, perpetuando ciclos de pobreza e exclusão social (ALMEIDA et al., 2019). Em áreas com altas taxas de analfabetismo, é comum encontrar dificuldades no acesso a oportunidades de emprego qualificado e melhores condições de vida, o que contribui para a marginalização e a falta de capacidade de autossuficiência econômica das pessoas.

Além disso, o analfabetismo está intimamente ligado a outros indicadores de vulnerabilidade social, como baixa renda, saúde precária e falta de acesso a serviços básicos. A incapacidade de ler e escrever limita a capacidade das pessoas de se informar sobre direitos, serviços de saúde, políticas públicas e oportunidades de educação, contribuindo para o seu isolamento social e para a perpetuação da desigualdade (KLEIMAN, 1993, p. 97). Essa falta de acesso à informação e ao conhecimento pode dificultar ainda mais a capacidade das comunidades de se adaptarem a mudanças socioeconômicas e ambientais, tornando-as mais suscetíveis a crises e desastres.

Portanto, reduzir a taxa de analfabetismo é essencial para promover a inclusão social e reduzir a vulnerabilidade das comunidades (RIBEIRO, 1997, p. 149). Investimentos em educação, alfabetização e programas de capacitação são cruciais para capacitar as pessoas, ampliar suas oportunidades e fortalecer a resiliência social, criando uma base sólida para o desenvolvimento sustentável e a igualdade de oportunidades.

O mapa da taxa de analfabetismo do município de São Leopoldo pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 - Taxa de Analfabetismo por setor censitário



Observa-se que as áreas que apresentaram maior ocorrência de pessoas analfabetas foram as dos setores censitários correspondentes aos bairros Pinheiros, Santos Dumont, Rio dos Sinos e Vicentina, onde o perfil socioeconômico da população é de baixa renda. Nestas áreas as famílias podem enfrentar dificuldades financeiras que impedem o acesso à educação formal.

Por outro lado, as menores taxas de analfabetismo encontram-se na área central do município, onde o perfil econômico da população é mais elevado, como visto no sub-capítulo anterior que trata da renda da população.

A partir desta análise, podem ser traçados planos de promoção à educação nas áreas com maiores porcentagens de analfabetos.

#### 5.2.4 Número de dependentes por setor censitário

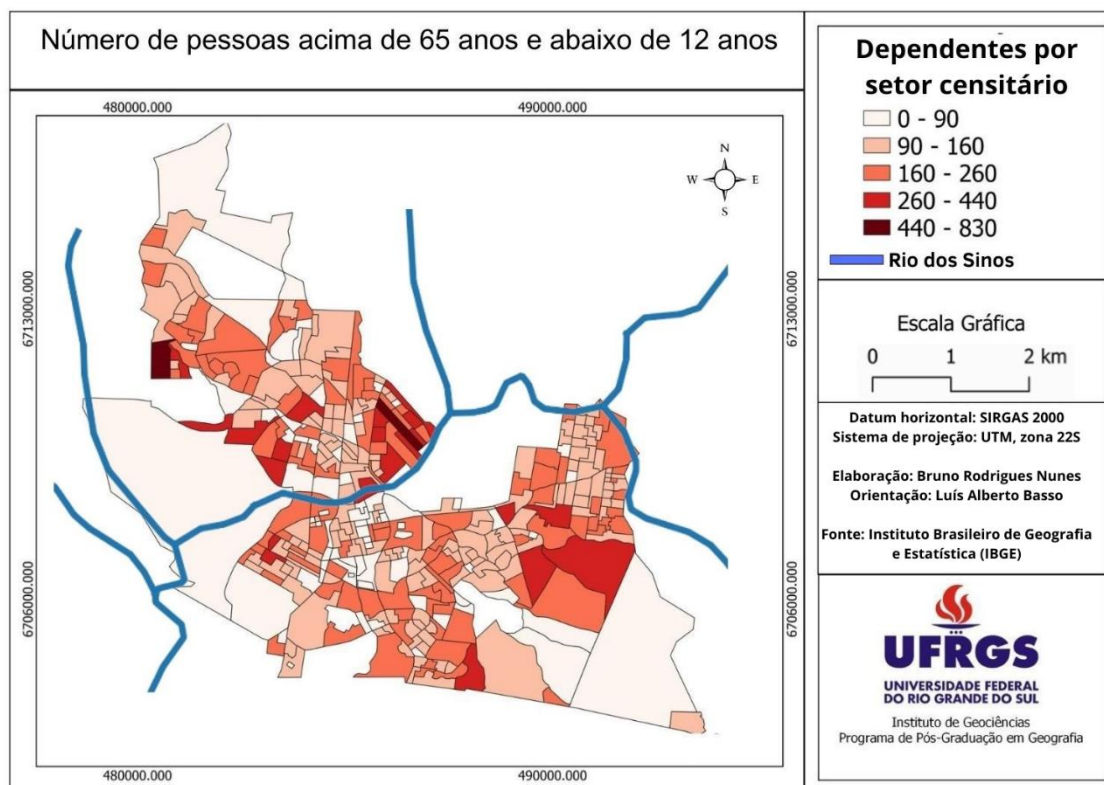
O número e a proporção de dependentes, que incluem pessoas com mais de 65 anos e aquelas com menos de 12 anos, desempenham um papel crucial na caracterização da vulnerabilidade social de uma comunidade. Em primeiro lugar, o aumento da proporção de idosos na população pode indicar desafios relacionados ao envelhecimento da sociedade, incluindo questões de saúde, previdência e cuidados de longo prazo. Com uma população mais idosa, a demanda por serviços de saúde e assistência social tende a aumentar, o que pode sobrecarregar os sistemas de saúde e as redes de apoio familiar e comunitária.

Por outro lado, a presença de uma grande proporção de crianças na população também pode afetar a vulnerabilidade social, especialmente em termos de acesso à educação, cuidados infantis e proteção social. Áreas com altas taxas de natalidade podem enfrentar desafios relacionados à disponibilidade e qualidade dos serviços de saúde materno-infantil, educação básica e apoio às famílias de baixa renda. Além disso, famílias com um grande número de crianças podem enfrentar dificuldades financeiras adicionais para atender às necessidades básicas de alimentação, moradia e educação (RIBEIRO et al., 2017).

Portanto, a distribuição etária da população, com uma proporção significativa de dependentes, tem implicações profundas para a vulnerabilidade social e os desafios enfrentados por uma comunidade.

A Figura 18 apresenta o mapa do número de dependentes por setor censitário do município de São Leopoldo.

Figura 18 - Número de pessoas acima de 65 anos e abaixo de 12 anos de idade.



Neste mapa a região central do município, mais uma vez, se encontra em posição privilegiada, com baixo número de dependentes.

Já nos setores censitários correspondentes aos bairros Santos Dumont, Campina, Arroio da Manteiga, Jardim América e Santo André, verifica-se que o número de dependentes é considerado alto e muito alto. Estas regiões, em comparação ao fator renda da população, apresentam alta vulnerabilidade social visto que são regiões densamente povoadas, com muitos dependentes, alto número de pessoas analfabetas e de baixa renda.

### **5.2.5 Média do número de moradores por domicílio por setor**

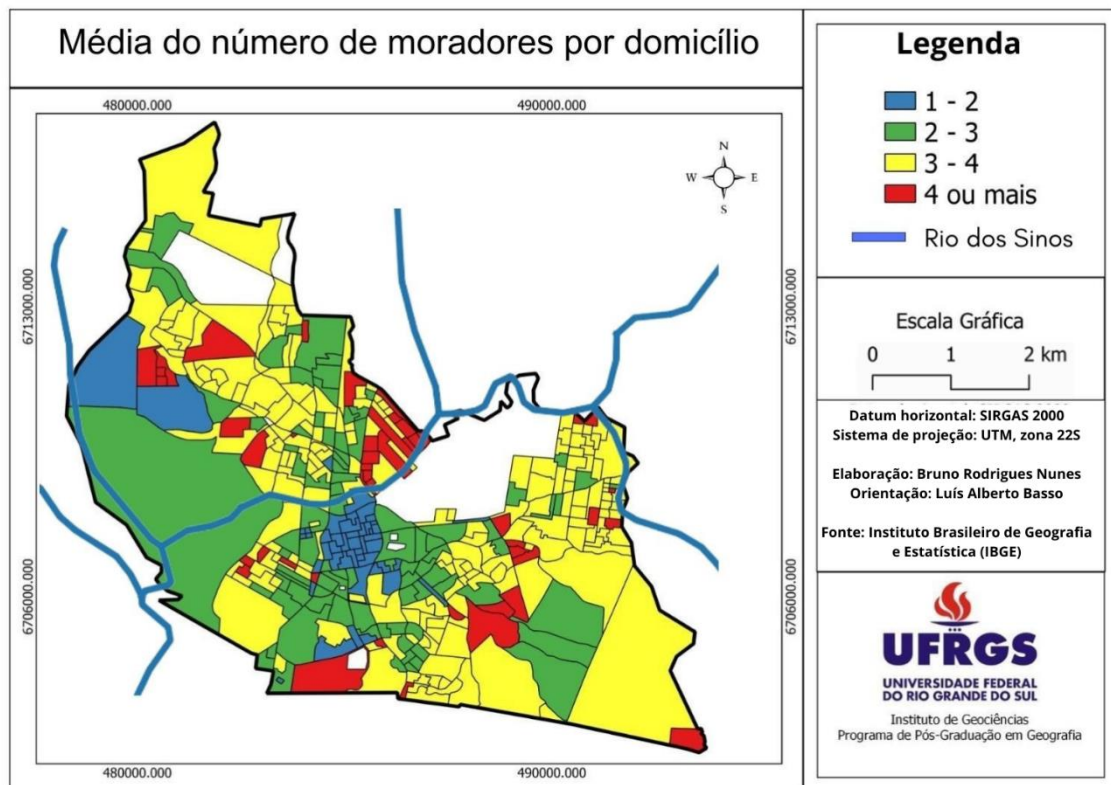
#### **censitário**

A média de moradores por domicílio é um fator importante na caracterização da vulnerabilidade social de uma comunidade. Em áreas onde a média de moradores por domicílio é alta, pode haver um aumento da pressão sobre os recursos locais, incluindo moradia, água, saneamento básico e serviços públicos. Isso pode levar a condições de vida superlotadas e insalubres, exacerbando os desafios socioeconômicos e de saúde enfrentados pela população (VALLE et al., 2017).

Além disso, uma alta média de moradores por domicílio muitas vezes está associada a níveis mais baixos de renda familiar, pois as famílias podem estar compartilhando recursos limitados entre um número maior de pessoas. Isso pode resultar em dificuldades financeiras, falta de acesso a serviços básicos e menor capacidade de enfrentar crises econômicas ou emergências (RIBEIRO et al., 2016). Como resultado, comunidades com uma alta média de moradores por domicílio podem ser mais vulneráveis a eventos adversos, como desemprego, doenças ou desastres naturais como inundações.

O mapa da média do número de moradores por domicílio no município de São Leopoldo se observa na Figura 19.

Figura 19 - Mapa da média do número de moradores por domicílio no município de São Leopoldo.



Ao se analisar o mapa acima e compará-lo com o mapa de renda apresentado anteriormente, percebe-se que as regiões com maiores perfis econômicos têm, também, menos habitantes por domicílio. Enquanto as regiões mais pobres do município apresentam, também, maior quantidade de pessoas residindo na mesma residência.

Os setores censitários correspondentes aos bairros Santos Dumont e Santo André, mais uma vez, apresentaram os níveis mais alarmantes, alcançando um número de quatro ou mais habitantes por residência.

Verifica-se, igualmente, que grande parte do município apresenta uma média de três a quatro moradores por residência. Estas áreas se distribuem em setores censitários ao longo de todo o município.



### **5.2.6 Mapeamento da Vulnerabilidade Social**

A cartografia da vulnerabilidade social de um município é uma ferramenta essencial para compreender as áreas mais suscetíveis a adversidades e desigualdades. Ao identificar e mapear as diferentes dimensões da vulnerabilidade, como pobreza, acesso a serviços básicos, educação e saúde, as autoridades municipais podem direcionar recursos e políticas de maneira mais eficaz. Isso permite uma abordagem mais direcionada e eficiente para enfrentar os desafios sociais e econômicos enfrentados pela população, promovendo uma distribuição mais equitativa de oportunidades e melhorias na qualidade de vida (MOSER, 1998; KAZTMAN et al., 1999).

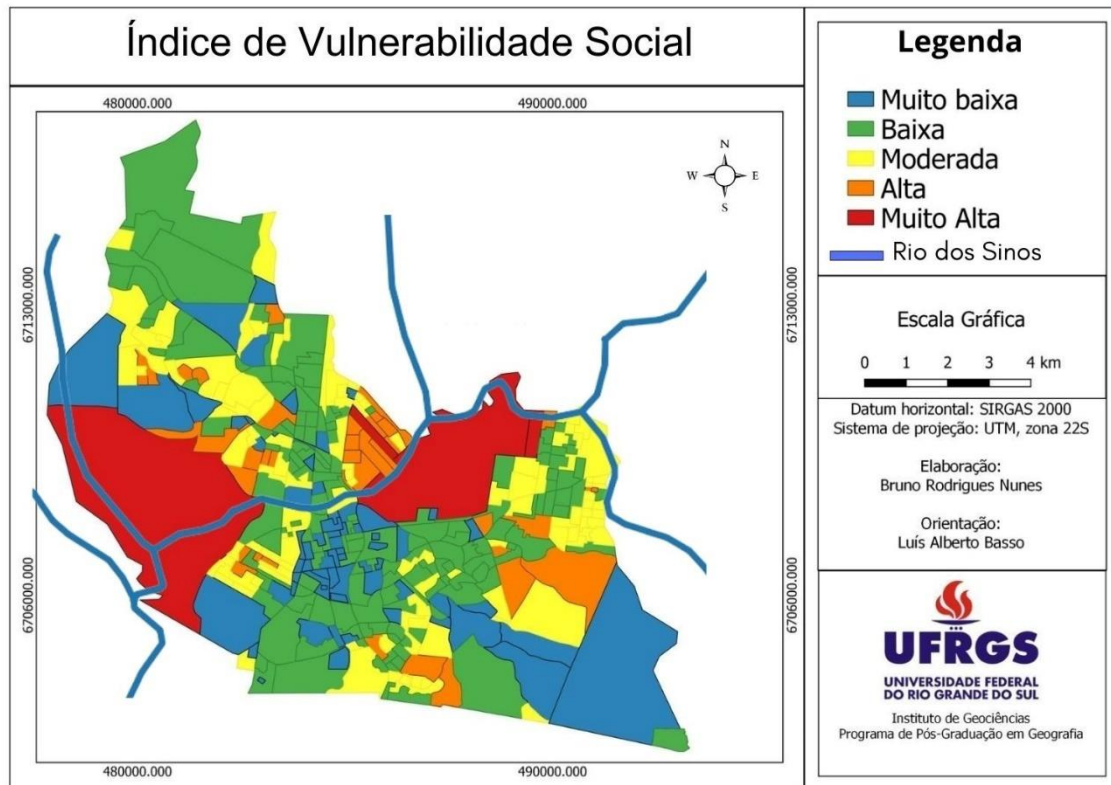
Além disso, a elaboração de um mapa que mostre a vulnerabilidade social de uma região ajuda a priorizar intervenções e investimentos em áreas que mais necessitam. Ao identificar os setores com maior concentração de vulnerabilidades, os gestores municipais podem implementar programas e projetos específicos para fortalecer a resiliência das comunidades locais. Isso pode incluir iniciativas como melhoria da infraestrutura, acesso a serviços de saúde e educação, programas de geração de renda e proteção social, contribuindo para reduzir as disparidades socioeconômicas e promover a inclusão social.

Ainda, o mapeamento da vulnerabilidade social permite uma abordagem proativa na gestão de crises e emergências. Ao identificar as áreas mais vulneráveis a desastres naturais, eventos climáticos extremos ou crises econômicas, as autoridades municipais podem desenvolver planos de contingência e estratégias de resposta adaptadas às necessidades específicas de cada comunidade. Isso não apenas reduz os danos causados por eventos adversos, mas também fortalece a capacidade de recuperação e adaptação das comunidades, promovendo assim a sustentabilidade e a resiliência de longo prazo.

Através da análise e cruzamento dos dados censitários apresentados nos sub-capítulos anteriores, foi possível gerar o mapa do índice de vulnerabilidade social.

A Figura 20 ilustra a vulnerabilidade social do município de São Leopoldo

Figura 20 - Mapa do Índice de Vulnerabilidade Social do município de São Leopoldo.



Observa-se, por fim, que os setores censitários correspondentes aos bairros Santos Dumont, Rio dos Sinos, Feitoria, Campina e Santo André apresentaram os maiores índices de vulnerabilidade social, com destaque para dois setores localizados no bairro Santos Dumont e Feitoria que ostentaram vulnerabilidade social da classe Muito Alta.

Nesta pesquisa, todas as áreas que indicaram Alta vulnerabilidade e Muito Alta vulnerabilidade estão localizadas em áreas periféricas, áreas de ocupação irregular e regiões com infraestrutura precária. Cabe ressaltar que os maiores setores censitários apresentados em vermelho, nas direções Leste e Oeste do mapa, representam a planície de inundação natural do rio, ou seja, trata-se de uma área frequentemente inundada em períodos de chuva.

Por outro lado, as áreas que demonstraram baixa e muito baixa vulnerabilidade encontram-se em bairros nobres da cidade como Morro do Espelho, Cristo Rei e no Bairro Centro, que está localizado próximo ao rio dos Sinos, mas é protegido pelos diques de contenção.

### **5.3 Mapeamento da Vulnerabilidade Socioambiental**

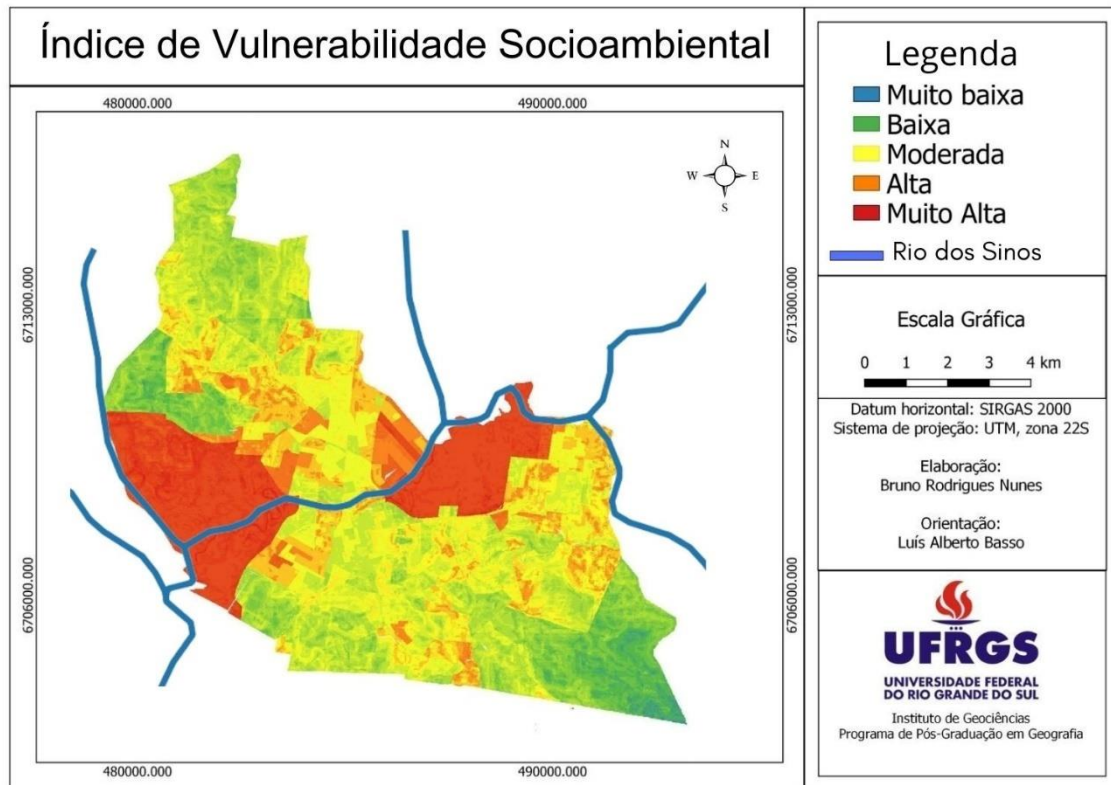
O mapeamento da vulnerabilidade socioambiental desempenha um papel fundamental na compreensão dos desafios enfrentados por uma determinada região em termos sociais e ambientais. Um mapa de vulnerabilidade socioambiental é uma ferramenta valiosa que identifica áreas onde as populações estão mais expostas a riscos e vulnerabilidades decorrentes de fatores sociais, econômicos e ambientais (ALMEIDA et al. 2019).

Essa abordagem espacial permite uma visualização clara das disparidades socioambientais e auxilia na tomada de decisões para políticas públicas e planejamento urbano (Pereira et al., 2018).

A compreensão das vulnerabilidades socioambientais é essencial para promover o desenvolvimento sustentável e a resiliência das comunidades diante de desafios crescentes, como mudanças climáticas e urbanização desordenada (Xavier et al., 2020).

Neste contexto, o mapa de vulnerabilidade socioambiental não apenas identifica áreas críticas, mas também orienta ações de mitigação de riscos e alocação de recursos para áreas mais necessitadas (Alves et al., 2017). A Figura 21 elucida quais são as áreas mais vulneráveis do município de São Leopoldo.

Figura 21 - Mapa de Vulnerabilidade Socioambiental do município de São Leopoldo



Nesta cartografia foram cruzados todos os dados referentes à vulnerabilidade ambiental e social. Sendo assim, se observa que as áreas em vermelho localizadas nas direções Leste e Oeste do município apresentam maior vulnerabilidade socioambiental. Isto se dá pelo fato de serem áreas que estão localizadas em uma altimetria muito próxima à do próprio rio, portanto são as primeiras a serem inundadas.

Verifica-se que as áreas que apresentam maior vulnerabilidade socioambiental situam-se próximas ao Rio dos Sinos. Trata-se de áreas onde há maior concentração populacional e maior número de pessoas de baixa renda. Portanto, são indivíduos que não contam com meios suficientes para lidar com os prejuízos que possam ser causados por possíveis inundações.

É possível também analisar a importância das variáveis hipsometria e declividade no contexto da vulnerabilidade socioambiental às inundações, uma vez que as áreas que demonstraram menor vulnerabilidade encontram-se em setores de maior altitude e elevação. Já as áreas mais vulneráveis são aquelas de menor altitude.

Grande parte das áreas que apresentam alta vulnerabilidade socioambiental do município de São Leopoldo corresponde a áreas de periferia. Assim, é fundamental que uma parte significativa do planejamento e da formulação de políticas públicas para reduzir a vulnerabilidade socioambiental se concentre na política habitacional, especialmente nas estratégias de urbanização das regiões periféricas próximas ao curso do Rio dos Sinos. (TASCHNER, 2000).

Os setores onde foram verificados os maiores índices de vulnerabilidade socioambiental correspondem aos bairros: Rio dos Sinos (Figura 22), Santos Dummont (Figura 23), Feitoria (Figura 24) e Campina (Figuras 25 e 26). As áreas exibidas nas imagens a seguir estão localizadas nas margens do rio dos Sinos. Os respectivos locais apresentam residências de baixo padrão construtivo, com edificações de baixa qualidade e infraestrutura deficiente. Além disso, é comum observar a presença significativa de lixo e resíduos nas ruas, contribuindo para um ambiente desordenado e insalubre. As construções precárias podem representar um perigo iminente para a segurança dos moradores ampliando as vulnerabilidades já existentes nessas comunidades.

Figura 22 - Rua sem nome, situada no bairro Rio dos Sinos



Fonte: trabalho de campo (2024)



Figura 23 - Rua sem nome, situada no bairro Santos Dummont



Fonte: trabalho de campo (2024)

Figura 24 - Rua Carlos Bier - bairro Feitoria



Fonte: trabalho de campo (2024)

Figura 25 - Rua Ianduí – bairro Campina



Fonte: trabalho de campo (2024)

Figura 26 - Rua Manuel Viana – bairro Campina



Fonte: trabalho de campo (2024)

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, buscou-se operacionalizar o conceito de vulnerabilidade socioambiental, desenvolvendo indicadores ambientais em uma escala detalhada (setores censitários) por meio de técnicas de geoprocessamento. Assim, foram identificadas áreas com alta vulnerabilidade social e aplicada uma metodologia (AHP) para identificar áreas de vulnerabilidade ambiental, combinando as variáveis de hipsometria, uso e ocupação do solo, declividade e pedologia. Por fim, os dados foram combinados para de gerar um mapa de vulnerabilidade socioambiental. Essa abordagem se alinha com a tradição da Geografia ao analisar a vulnerabilidade socioambiental em uma perspectiva espacial, ao mesmo tempo que incorpora um diagnóstico socioeconômico.

Os resultados mostraram diferenças significativas nas condições socioeconômicas e demográficas dentro do grupo de alta vulnerabilidade socioambiental. Em algumas áreas, a vulnerabilidade social é agravada pela exposição a riscos e degradação ambiental. As áreas com alta vulnerabilidade ambiental apresentaram condições socioeconômicas mais precárias e maior concentração de crianças e idosos do que aquelas com menor vulnerabilidade, indicando áreas críticas com acúmulo de problemas sociais e ambientais concomitantes.

A população que habita a periferia do município, especialmente os bairros Feitoria, Pinheiro, Santos Dumont e Rio dos Sinos, encontra-se em áreas de alta vulnerabilidade socioambiental. Os moradores destes setores de São Leopoldo estão sujeitos a um maior perigo de inundações devido a uma combinação de fatores que incluem: a proximidade de corpos d'água, o uso e ocupação inadequado do solo e a baixa qualidade de vida dessa população. A exposição a esses riscos ambientais coloca em evidência a necessidade urgente de políticas e medidas de adaptação que visem a mitigação dos impactos das inundações nessas comunidades, com investimentos em infraestrutura verde como parques e reservas naturais e sistemas de alerta precoce.

Outro ponto a se destacar é que a vulnerabilidade ambiental é maior onde há maior concentração populacional. Cerca de 30% da planície de inundação natural do rio dos Sinos é ocupada por perímetro urbano, sendo assim, a



população residente nessas áreas é mais suscetível a desastres decorrentes das precipitações cada vez mais volumosas e das últimas décadas.

Além de uma maior vulnerabilidade ambiental, as áreas periféricas apresentam uma considerável vulnerabilidade. A população residente nessas regiões enfrenta desafios socioeconômicos significativos, incluindo alta densidade demográfica, baixa renda e acesso limitado a serviços básicos de saúde e educação. Esses fatores socioeconômicos exacerbam a vulnerabilidade das comunidades locais aos impactos das inundações, tornando-as mais predispostas a danos materiais, à perda de meios de subsistência e problemas de saúde e bem-estar.

Grande parte da população do município de São Leopoldo encontra-se em situação de baixa renda, recebendo até um salário mínimo por mês. Essa população, quando exposta a eventos extremos como inundações, tem pouca capacidade financeira de resiliência. Portanto, durante tais eventos cabe ao governo fornecer ajuda através da defesa civil para esses indivíduos, utilizando recursos dos cofres públicos. Sendo assim, a falta de um planejamento urbano eficiente causa prejuízos ambientais, sociais e econômicos para o município.

Essa sobreposição de problemas representa um desafio para políticas públicas que geralmente são segmentadas por setores. Dentro deste contexto, a pesquisa pode contribuir para o planejamento de políticas públicas ao identificar áreas críticas de alta vulnerabilidade social e ambiental, que podem ser alvos de intervenções focalizadas. Estratégias como políticas habitacionais e de urbanização de áreas periféricas próximas ao rio dos Sinos podem ser eficazes na redução da vulnerabilidade socioambiental. Além disso, é crucial que as políticas relacionadas à habitação, saneamento básico e meio ambiente sejam formuladas e implementadas de maneira integrada, levando em conta a distribuição desigual dessas situações no ambiente urbano.

O presente estudo abre caminhos para futuras pesquisas sobre impactos ambientais na região e fornece dados importantes para um aperfeiçoamento das características do meio físico e do perfil socioeconômico da população. Importante ressaltar que a pesquisa fez uso dos dados censitários da população referentes ao censo de 2010 fornecidos pelo IBGE, no entanto, ela poderá ser refeita quando a instituição divulgar os dados censitários referentes ao censo

realizado no ano de 2022 afim de comparar os dados. Sendo assim, pode ser possível analisar avanços e possíveis retrocessos no âmbito da vulnerabilidade socioambiental do município.

Em síntese, a análise da vulnerabilidade socioambiental dessas áreas destacou a intersecção complexa entre fatores ambientais e socioeconômicos na determinação dos riscos e impactos das inundações. A vulnerabilidade socioambiental resultante da combinação de vulnerabilidades ambientais e sociais torna as comunidades atingidas particularmente suscetíveis a eventos extremos e destaca a necessidade de abordagens integradas para a gestão de riscos de desastres. É imperativo que políticas e programas de desenvolvimento considerem não apenas os aspectos ambientais, mas também as dimensões sociais e econômicas da vulnerabilidade, visando promover a resiliência das comunidades mais vulneráveis e reduzir as disparidades socioambientais em nossa sociedade.

O mês de maio do ano de 2024 foi marcado pelas maiores inundações da história do Rio Grande do Sul, porém, a pesquisa apresentada nesta dissertação foi conduzida até março de 2024, com base em dados coletados e analisados ao longo do período definido para o estudo. O foco do trabalho foi compreender as dinâmicas das inundações no município de São Leopoldo, no Rio Grande do Sul, até essa data, considerando eventos anteriores e suas implicações para a gestão urbana e a segurança da população.

Em maio de 2024, ocorreram inundações significativas em São Leopoldo, que, por questões de delimitação temporal da pesquisa, não puderam ser incluídas nesta análise. É importante ressaltar que a decisão de não contemplar esses eventos recentes foi tomada para garantir a coerência metodológica e a profundidade da análise dos dados coletados dentro do período previamente estabelecido.

A inclusão das inundações de maio de 2024 exigiria uma revisão dos dados, métodos de coleta e análise, bem como uma reinterpretação dos resultados já consolidados, o que ultrapassaria o escopo original da pesquisa. Assim, embora esses eventos sejam de extrema relevância e possam oferecer novas perspectivas sobre a gestão de inundações no município, eles deverão

ser objeto de estudos futuros que possam explorá-los de forma mais detalhada e adequada.

A gestão urbana em áreas sujeitas a inundações, como é o caso de São Leopoldo, requer uma compreensão detalhada das zonas vulneráveis. Portanto, o mapeamento dessas áreas é uma ferramenta essencial para a formulação de políticas públicas eficazes, planejamento urbano seguro e prevenção de desastres.

O mapeamento das zonas vulneráveis permite identificar as áreas de maior risco, facilitando a implementação de medidas de mitigação, como sistemas de drenagem eficientes, barreiras contra enchentes e a criação de espaços verdes que ajudem na absorção de água. Além disso, este mapeamento serve como base para alertas precoces e planos de evacuação, protegendo vidas e minimizando danos materiais.

Em São Leopoldo, um município que historicamente enfrenta desafios relacionados a inundações, a falta de um mapeamento atualizado e detalhado das zonas vulneráveis pode agravar os impactos dos eventos extremos. A gestão urbana, baseada em dados precisos e em uma compreensão aprofundada do território, é fundamental para reduzir a exposição ao risco e melhorar a resiliência da cidade.

Portanto, para que São Leopoldo possa lidar de maneira eficaz com as inundações futuras, é imperativo que o mapeamento das zonas vulneráveis seja constantemente atualizado e utilizado como ferramenta central na tomada de decisões urbanísticas. Isso não só ajudará a minimizar os danos causados por eventos extremos, mas também promoverá um desenvolvimento urbano sustentável e seguro para seus habitantes.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, M. C. C. T. *et al.* **Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França).** *Confins*, n. 7, 2009. Disponível em: <http://confins.revues.org/index6070.html>. Acesso em: 06 de julho de 2021.

AQUINO, José N. *et al.* Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos – RS. **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRJ. Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 292 – 302, 2020

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p.107-124, 2002.

ALMEIDA, S. R. G., SANTOS, A. M. C., SILVA, D. O. **Analfabetismo e Vulnerabilidade Social: Um Olhar sobre o Contexto Brasileiro.** *Caderno Espaço Feminino*, v. 32, n. 1, p. 114-131, 2019.

ALMEIDA, S. R. G., SANTOS, A. M. C., SILVA, D. O. **Análise espacial dos indicadores socioeconômicos e ambientais: uma abordagem no município de São Luís do Maranhão.** *Caderno Espaço Feminino*, v. 32, n. 1, p. 92-113, 2019.

ALVES, J. E. D., SANTOS, N. R., XAVIER, F. C. **Geoprocessamento e análise espacial aplicados ao estudo da vulnerabilidade socioambiental em áreas urbanas: um estudo de caso em Fortaleza (CE).** *Caderno Metrópole*, v. 19, n. 39, p. 325-346, 2017.

ALVES, Humberto P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de

problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista brasileira de Estudos de População**. São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59, jan./jun. 2006.

AYALA-CARCEDO, F. J. y PISERRA, M<sup>a</sup> T. **Impactos del Cambio Climático sobre la economía y los seguros en Europa**. Gestión de Riesgos y Seguros, MAPFRE, Madrid, p. 15-20. 2000.

AZEVEDO, Rodrigo F. **Análise de áreas susceptíveis à erosão na bacia hidrográfica do rio dos sinos – RS**. 2012. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/72242/000882773.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 jan. 2021.

BACK, Á. J., Zordan, C. A., BACK, P. I., de Oliveira, R. A., & TURATTI, E. C. **Análise dos impactos das inundações urbanas sobre a população de baixa renda e a dinâmica urbana em áreas de maior vulnerabilidade: O caso do bairro Lajeado, Canoas/RS**. Cadernos Metrópole, v. 20, n. 41, p. 495-521, 2018.

BARROS, H.R. A urbanização corporativa e a ilha de calor urbana no mundo subdesenvolvido. *In: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo*. São Paulo, 31 mai. 2019. Disponível em: < <http://www.iea.usp.br>>. Acesso em: 08 de julho de 2021.

BASTOS, F. M., BONUMÁ, N. B., SLOBODA, B. **A relação entre pobreza, renda e vulnerabilidade social: uma análise em áreas de risco ambiental em São Paulo**. Revista de Estudos Sociais, v. 20, n. 39, p. 171-186, 2018.

BAZZAN, Thiago. **Mapeamento das áreas com risco de inundação do Rio Dos Sinos no município de São Leopoldo, RS**. 2011. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio

Grande do Sul. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/36060/000795241.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 jun. 2020.

BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005

BRASIL. Lei nº 6.608, de 10 de abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC)**. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12608-10-abril-2012-612681-norma-pl.html>. Acesso em: 13 jul. 2021.

BRUBACHER, João P.; GUASSELLI, Laurindo A. **Mapeamento da área inundável da planície do rio dos Sinos a partir do índice NDWI, São Leopoldo – RS**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO, XVI. 2013, Foz do Iguaçu – PR. Anais: INPE, p. 4544.

CÂMARA, G., et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. 2ª edição. Brasília: Embrapa, 2006.

CAMARGO, Danilo M. *et al.* Análise espacial da vulnerabilidade socioambiental no município de campinas, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**. São Paulo, nº 69/9, pág. 1857-1870, 2017.

CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. Avaliação do risco a inundação na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Joinville – SC, v. 12, n. 01, p. 124-138, 2019.

CARVALHO, Rinaldo C. **Análise matemática de investimentos em processos de despoluição de bacias hidrográficas**. 2005. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais. Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2005. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/6651>. Acesso em: 05 jun.

2021

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais**. Secretaria Nacional de Defesa Civil e Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011

CEPED/RS. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas de Desastres. **Capacitação em Gestão de Riscos**. 2 ed. Porto Alegre: CEPED/UFRGS, 2016.

COLLAÇO, Dani L. **Caracterização geológico-geotécnica do município de São Leopoldo - RS para fins de planejamento como subsídio ao plano diretor**. 2002. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP), São Paulo, 2002. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-06102017-113007/publico/Dissert\\_Collaco\\_DaniL\\_v1.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-06102017-113007/publico/Dissert_Collaco_DaniL_v1.pdf). Acesso em: 23 mai. 2022.

COMITESINOS. **Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos**. In: Comitesinos. São Leopoldo, 2017. Disponível em: <http://www.comitesinos.com.br/bacia-hidrografica-do-rio-dos-sinos>. Acesso em: 24 jun. 2021.

CUTTER S. L. **Environmental risks and hazards**. 1 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

CUTTER S.L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in Human Geography**, v.20, n. 4, p.529-539, dec. 1996.

DEFESA CIVIL DO BRASIL. **Entenda os desastres**. Ministério da Integração Nacional – Secretaria Nacional de Defesa Civil, Brasília - DF. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/defesacivil/cenad/entenda-os-desastres>. Acesso em: 12 mai. 2022.

DIAS, Charles. Enchente em São Leopoldo é a maior desde 1965. **Zero Hora**, Porto Alegre, 28 ago. 2013. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2013/08/enchente-em-sao-leopoldo-e-a-maior-desde-1965-4249837>. Acesso em: 07 mai. 2021.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *In: reunião técnica de levantamento de solos*. Rio de Janeiro: Súmula, p. 1-83, 1979.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Cultivo do Arroz – Solo**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz>. Acesso em: 04 ago. 2022.

FERREIRA, Patrícia S.; SILVA Charlei A. O método AHP e a Álgebra de Mapas para determinar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Brilhante (Mato Grosso do Sul / Brasil), proposições para a gestão do território. **Revista franco-brasileira de geografia**. Confins, nº 46, 2020. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/30897>. Acesso em: 27 abr. 2022

FREIRE, Neison C. F.; BONFIM, Cristiane V.; NATENZON, Claudia E. Vulnerabilidade socioambiental, inundações e repercussões na Saúde em regiões periféricas: o caso de Alagoas, Brasil. *In: SCIELO Brasil – Ciência & Saúde Coletiva*. São Paulo, 08 jun. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/7ZHTp8Z9frPgCh3zLrtR5RD/?lang=pt>. Acesso em: 15 mai. 2022.



FREITAS, U. M., et al. Cartografia Geotécnica: Uma Ferramenta para a Redução do Risco em Desastres Naturais. In: **Anais do 15º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Curitiba: INPE, 2012.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). In: **Fepam** - Qualidade ambiental - região hidrográfica do Guaíba: qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. Porto Alegre, 2002. Disponível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_sinos/sinos.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp). Acesso em: 15 jul. 2021.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC. **Boletim de Geografia**. Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012.

GOMES, Luciana P. *et al.* **Plano Sinos** – Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2009.

HANSEN, J. **Storms of My Grandchildren: The Truth About the Coming Climate Catastrophe and Our Last Chance to Save Humanity**. Bloomsbury, USA, 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Sinopse do censo demográfico 2010**. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-leopoldo/panorama>. Acesso em: 07 jul. 2021.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**. v. 20. pág. 395-403, 1996.

JANNUZZI, Paulo de Martino. **Indicadores sociais no Brasil: conceitos, fontes de dados e aplicações**. 6 ed. Campinas, SP: Alínea, 2017.

KAZTMAN, R.; BECCARIA, L.; FILGUEIRA, F.; GOLBERT, L.; KESSLER, G. **Vulnerabilidad, activos y exclusión social en Argentina y Uruguay**. Santiago de Chile: OIT, 1999.

KLEIMAN, Angela B. **Exclusão social e alfabetização**. Temas psicol. 1993, vol.1, n.3, pp. 97-107. ISSN 1413-389X.

LEFEBVRE, H. **O Direito à Cidade**. Editora Abril Cultural, 2001.

LEPESCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216p.

LORENZO, A., OLIVEIRA, P. T. S., GIRARDI, G. Modelo de identificação de áreas de risco: estudo de caso em área urbana de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 3, p. 1042-1059, 2018.

MARCELINO, E. V., NUNES, L. H., KOBAYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. *Caminhos da Geografia (UFU)*, Uberlândia, v.7, n.17, p.72-84, 2006.

MARTINS, F. G.; COELHO, L. S. Aplicação do método de análise hierárquica do processo para o planejamento de ordens de manutenção em dutovias. **Revista**

**GEPROS** - Gestão da Produção, Operações e Sistemas. Bauru, v. 7, n. 1, p. 65-80, 2012.

MENDONÇA, F. *et al.* **Riscos Climáticos: Vulnerabilidades e Resiliência Associados.** Jundiaí: Paco Editorial, 2014

MENDONÇA, F. *et al.* **Riscos Híbridos: Concepções e Perspectivas.** São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2021.

MENDONÇA, F.; CUNHA, F. C. A.; LUIZ, G. C. Problemática socioambiental urbana. **Revista da ANPEGE.** Curitiba – PR, v. 12, n. 18, p. 331-352, 2016.

MIRANDA, Nivea M.G. *et al.* Processo Hierárquico Analítico (AHP) em Modelagem Espacial da Vulnerabilidade à Inundação em Ambientes Mistos. **Anuário do Instituto de Geociências** – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, v. 42 – 4, p. 172-181, 2019.

MIGUEZ, Marcelo G., GREGÓRIO, Leandro T., VERÓL, Aline P. **Gestão de riscos e desastres hidrológicos.** 1. ed. – Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2018.

MOI, M. M., CUNHA, C. M. L., SILVA, A. Desigualdade social e densidade demográfica: reflexões sobre a vulnerabilidade urbana. **Revista Sociais e Humanas**, v. 32, n. 2, p. 189-206, 2019.

MONTEIRO, Simone Rocha da Rocha Pires. **O marco conceitual da vulnerabilidade social.** Sociedade em Debate, 17 (2): 29- 40. Pelotas, 2011.

MOSER, Caroline O. N. The asset vulnerability framework: reassessing urban poverty reduction strategies. **World Development.** New York, v.26, n.1, p. 1 – 19, 1998.

NETO, Amaury G.P. *et al.* Mapeamento das áreas de risco de inundação da

bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, utilizando o método AHP (Analytic Hierarchy Process). *In: ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto*, 9., 2021. Florianópolis. **Anais**. p. 83 – 94.

NIERO, G., CUNHA, J. L. M., CAMPOS, L. M. S. Análise da dinâmica climática e dos eventos extremos no Vale do Rio dos Sinos, RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 157-174, 2016.

OLIVEIRA, Guilherme G., GUASSELLI, Laurindo A. Comparação de métodos para a elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações - Sub-bacia do Arroio da Areia, Porto Alegre/RS. *In: SINAGEO – Simpósio Nacional de Geografia*, 12., Crato, 2007. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/7/0160.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2021.

PENTEADO, A. F. **Análise Ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Kruze - Região Metropolitana de Porto Alegre**. 2006. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós- Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

PEREIRA, A. L., SILVA, E. M. da, SAMPAIO, C. A. Análise da vulnerabilidade socioambiental e suas correlações com a qualidade de vida em áreas urbanas: estudo de caso em Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 6, p. 1980-1995, 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LEOPOLDO. Lei nº 9.041, de 12 de agosto de 2019 - Institui o Plano Diretor Municipal - PDM e o Sistema de Planejamento Territorial e Gestão Participativa do Município de São Leopoldo. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-sao-leopoldo-rs>. Acesso em: 13 jul. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LEOPOLDO – **São Leopoldo Hoje**. São Leopoldo, 2022. Disponível em: <https://www.saoleopoldo.rs.gov.br/?titulo=Turismo&template=conteudo&categ>

ia=464&codigoCategoria=464&idConteudo=2989&tipoConteudo=INCLUDE\_M  
OSTRA\_CONTEUDO. Acesso em: 09 set. 2022.

RAUPP, F. M., MACHADO, G. F., AGUIRRE, J. C. Urbanização e industrialização do Vale do Rio dos Sinos: contribuições para uma história regional. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 37, n. 2, p. 59-82, 2015.

RECKZIEGEL, B. W. (2007). **Levantamento dos Desastres desencadeados por Eventos Naturais Adversos no Estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005**. 2007. 284f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

RIBEIRO, Vera Masagão. **Analfabetismo funcional: referências conceituais e metodológicas para a pesquisa**. In: Revista Educação & Sociedade, ano XVIII, nº 60, dezembro/1997. p. 144 – 158.

RIBEIRO, M. M., ALMEIDA, T. M. B., OLIVEIRA, F. M. Vulnerabilidade social e número de dependentes na região Nordeste: um estudo a partir de dados censitários. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 34, n. 1, p. 73-91, 2017.

RIBEIRO, M. M., D'ALMEIDA, M. L. O., RAMOS, R. C. Vulnerabilidade social e média de moradores por domicílio: análise em áreas urbanas de Pernambuco. **Revista de Estudos Sociais**, v. 18, n. 36, p. 51-72, 2016.

RIGHI, Eléia. **Metodologia para zoneamento de risco a inundações graduais**. 2016. Tese (Doutorado) - Programa de Pós- Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/142445/000993974.pdf?sequence=1>. Acesso em: 09 abr. 2021.

ROBAINA, L. E. S. *et al.* Contribuição ao conhecimento geológico da Região Metropolitana de Porto Alegre, municípios de Novo Hamburgo, São Leopoldo e Campo Bom. **Ciência e Natura**. Santa Maria, n. 18, p. 183 – 197, 1996.

ROSA, Gabriel G.G. *et al.* Utilização do método ahp para determinação de um modelo matemático para o mapeamento das áreas de riscos de inundação da bacia hidrográfica do Rio Alegre, ES. **XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação** – Universidade do Vale do Paraíba. São Paulo, 2008.

ROSIÈRE, Stephan. **Les acteurs géopolitiques. Géographie politique & Géopolitique**. 2 ed. Paris: Ellipses Édition. 2007.

SAATY, T.L. e SAATY, R.W. A scalar Method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**. n.15, p. 234-281, 1977.

SANTOS, Rozely F. S. *et al.* **Vulnerabilidade Ambiental - Desastres Naturais ou Fenômenos Induzidos?**. 2 ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

SANTOS, H. G., *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª edição. Brasília: Embrapa, 2018.

SCHREINER, D. M., ROBAINA, L. E. S. A implantação dos diques de contenção de inundação no Rio dos Sinos: uma análise a partir do conceito de vulnerabilidade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 2, p. 405-418, 2018.

SEMAE. Histórico. São Leopoldo, 2021. Disponível em: <https://portalsemae.braso.online/historico/>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SILVA, Ademar B. *et al.* Identificação e caracterização dos principais solos do município de Coruripe, Alagoas. **Embrapa Solos, Unidade de Execução e Pesquisa em Recife (UEP Recife)**. Recife, v. 17, n. único, p. 59-65, 2012.

SILVEIRA, G. A. *et al.* Planície De Inundação: uma análise de alagamentos em são leopoldo, RS. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20., Bento Gonçalves - RS. **Anais**. 2017.

SOARES, Hughes V. **O que é planejamento urbano para os técnicos municipais das cidades de pequeno porte? A experiência de quatro municípios do Vale do Jaguari**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura – Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

SOUZA, L. J. F., FIGUEIREDO, E. O., FREITAS, I. M. Densidade demográfica e vulnerabilidade social no espaço urbano: uma análise do bairro Aldeota, em Fortaleza - CE. **Revista Sociedade e Território**, v. 30, n. 2, p. 130-149, 2018.

SPOSITO, Maria E. B. **Capitalismo e Urbanização**. 16 ed. São Paulo: Editora Contexto, 1988.

STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. EMATER/RS. Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia. Porto Alegre. UFRGS. 2002. p. 126.

TASCHNER, S. P. Degradação ambiental em favelas de São Paulo. In: TORRES, H.; COSTA, H. (Orgs.). **População e meio ambiente: debates e desafios**. São Paulo: Editora Senac, 2000, p.271-297.

TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan C. **Inundações urbanas na América do Sul**. 1 ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012 / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres**. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 184p.:il. color; 22cm Volume Rio Grande do Sul.

VALLE, A. R., SILVA, C. H. L., LOBO, A. P. Vulnerabilidade social em comunidades carentes: o número de moradores por domicílio. **Caderno Metrópole**, v. 19, n. 38, p. 471-489, 2017.

XAVIER, F. C., ALVES, J. E. D., SANTOS, N. R. Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental em áreas urbanas: uma revisão sistemática da literatura. **Revista de Geografia**, v. 37, n. 3, p. 93-111, 2020.

WARD, P. J. et al. Strong influence of El Niño Southern Oscillation on flood risk around the world. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 44, p. 15659-15664, 2014.