

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Curso de Engenharia Ambiental

Daphne Becker Calazans

**MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DE RISCO DE INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO
DE MAQUINÉ, RS**

Porto Alegre, Rio Grande do Sul
2024

Daphne Becker Calazans

**MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DE RISCO DE INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO
DE MAQUINÉ, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Dr. Maurício Andrades Paixão
Coorientador: Dr. Benício Emanuel Omena Monte

Porto Alegre, Rio Grande do Sul

2024

CIP - Catalogação na Publicação

Calazans, Daphne Becker
MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DE RISCO DE INUNDAÇÃO NO
MUNICÍPIO DE MAQUINÉ, RS / Daphne Becker Calazans. --
2024.

111 f.

Orientador: Maurício Andrades Paixão.

Coorientador: Benício Emanuel Omena Monte.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Mapeamento de risco. 2. HEC-RAS. 3. Maquiné. 4.
CRBi. 5. Perigo e Vulnerabilidade. I. Paixão, Maurício
Andrades, orient. II. Monte, Benício Emanuel Omena,
coorient. III. Título.

Daphne Becker Calazans

**MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DE RISCO DE INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO
DE MAQUINÉ, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Ambiental do Instituto de
Pesquisas Hidráulicas da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Dr. Maurício Andrades Paixão

Coorientador: Dr. Benício Emanuel Omena
Monte

Aprovada em: 5 de fevereiro de 2024

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Maurício Andrades Paixão
Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Msc. Marina Refatti Fagundes
Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Msc. Fernando Campo Zambrano
Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dr. André Luís Sotero Salustiano Martim
Departamento de Recursos Hídricos – Universidade Estadual de Campinas

*Para meus pais, Karin e Ney, por me
mostrarem a importância do amor, da
dedicação, e principalmente da curiosidade*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais Karin e Ney, por todo o amor, carinho e incentivo recebido ao longo de minha vida e por me tornarem a pessoa que sou hoje. Meus pais não pouparam esforços em me proporcionar a melhor educação possível e fizeram tudo dentro do seu alcance para que eu pudesse conquistar meus sonhos, sejam eles quais fossem. Exemplos de profissionais e pesquisadores dedicados e apaixonados pelo exercício de tentar compreender o mundo ao seu redor, vocês são a minha maior inspiração. Um agradecimento especial a meu pai, por revisar toda a formatação e português desse texto com tantos detalhes- além de me ensinar raiz quadrada na beira da praia e brincar de conjugar verbos nas viagens de carro quando eu era criança. E a minha mãe, por todas as caronas (para mim e para os meus colegas), e por nos salvar de ter que subir a lomba do IPH a pé.

A toda a minha família, pela base de amor em que pude me desenvolver. Em especial, minha irmã Talia e minha prima Amanda, por serem minhas primeiras e mais fiéis companheiras. Obrigada por tudo, é bom demais crescer ao lado de vocês.

A Diti, por cuidar de mim, da minha irmã e da minha família desde que nasci. Obrigada por todo o carinho, amor e por tudo que me ensinou, carrego para sempre dentro de mim.

Aos meus técnicos Alexandre Teixeira, Eduardo Nunes e Emerson Corrêa. Obrigada por serem esses grandes mestres, dentro e fora de pista, por acreditarem em mim muito mais do que eu mesma. O apoio de vocês sempre foi muito além do esporte, obrigada por criarem esse porto seguro que para mim é a esgrima, e por me permitirem viver tantas coisas incríveis que eu jamais imaginei.

Aos meus colegas de equipe e grandes amigos, por fazerem meus finais de dia mais felizes, por todas as viagens e competições e por me proporcionarem algumas das minhas melhores lembranças. Por me mostrarem que -até num esporte individual- tudo é coletivo.

A todos os meus amigos, da escola, da esgrima e da faculdade, por serem a base ao longo desses 6 anos de graduação. Por todas as risadas, viagens, trabalhos, treinos, festas- vocês dão sentido e tornaram tudo melhor. Em especial nos últimos tempos a Helo: por ouvir meus desabafos diários no caminho do futevôlei, me incentivar e principalmente me fazer rir.

Ao meu orientador Maurício Paixão, por compartilhar seu conhecimento comigo e por todo o apoio fornecido ao longo do desenvolvimento desse trabalho. Mas mais do que isso, por me aconselhar nas minhas escolhas de vida e por não me permitir desistir de tentar tornar o mundo (um pouquinho de cada vez) um lugar melhor.

Ao meu coorientador, Benício Monte, por todas as contribuições nesse trabalho e por abrir tempo na agenda para me ajudar para além das horas da Rhama. Obrigada por me apoiar desde o meu primeiro dia como estagiária, foste fundamental para que eu pudesse me tornar a profissional que sou hoje.

A Alex Bobsin, pela ajuda fundamental nos trabalhos de campo e ao Pedro Medeiros pelo auxílio no processamento dos dados. Ao Fernando Zambrano pelas contribuições no modelo e por toda a paciência em me ajudar. A Luíza Santos por ser essa amiga e companheira de TCC e por compartilhar dos meus sonhos de mudar o mundo.

A todos os meus colegas da Rhama, por tudo que aprendi nesses quase 3 anos. A Charles Vigne e Gabriele Leão, por todos os ensinamentos e por serem exemplos de engenheiros ambientais para mim. A Everaldo e Betina, por ouvirem meus desabafos e por tornarem os dias de trabalho mais leves.

À Prefeitura de Maquiné, em especial o biólogo Mateus Negrini, por todo o apoio na elaboração desse trabalho. Ao município de Maquiné, que me ensinou tanto e me permitiu viver tantos momentos bonitos ao longo da minha formação. Em especial gostaria de agradecer a Tekoa Ka'aguy Porã, por me mostrar outra forma tão rica de ver o mundo.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a todos os professores com quem tive a oportunidade de aprender ao longo da graduação, por proporcionar uma educação pública e de excelência. Buscarei ao longo do exercício da minha profissão devolver a sociedade brasileira o investimento, com tudo aquilo que aprendi.

Por último, a João Pedro Ingrassia. Por todo o apoio, carinho, amor e incentivo. Por me trazer calma, me fazer rir e me lembrar que tudo vai dar certo. Por ser essa pessoa tão importante e por crescer comigo nesses quase cinco anos juntos. Eu te amo muito mais do que eu seria capaz de explicar.

“A vida não é útil”

Ailton Krenak

RESUMO

O mapeamento de áreas de risco de inundação é etapa fundamental no gerenciamento desse tipo de desastre. O município de Maquiné, localizado no Rio Grande do Sul, sofre recorrentemente com eventos extremos, tendo em junho de 2023 ocorrido a maior cheia histórica já registrada. O presente trabalho buscou identificar e quantificar as áreas de maior risco em Maquiné, utilizando a metodologia de Classificação de Risco Brasileira para inundações (CRBi), a qual apresenta um índice de risco composto por dois subíndices: perigo e vulnerabilidade. Portanto, esse trabalho analisou não somente a probabilidade de ocorrência de inundações e suas magnitudes e efeitos físicos, mas também a exposição e resiliência da população local a esse tipo de evento. A vulnerabilidade foi calculada para todo o município, na unidade de setores censitários. Identificou-se que todos os setores de Maquiné apresentam estado de alerta em relação a esse indicador. O mapeamento de perigo foi realizado apenas para um trecho do rio Maquiné utilizando simulação hidrodinâmica no software HEC-RAS utilizando sua versão bidimensional. Foram simuladas vazões de tempo de retorno de 10, 50 e 100 anos. Há a existência de áreas de perigo crítico, de alerta e de atenção, existindo estruturas relevantes nessas áreas como estradas, residências, centros comerciais e áreas agrícolas. Nas áreas simuladas, o risco foi classificado como alerta e atenção, ou seja, que necessitam de intervenção para evitar perdas humanas e materiais.

Palavras-chave: Perigo; Vulnerabilidade; Modelagem Hidrodinâmica; HEC-RAS; CRBi

ABSTRACT

The mapping of flood risk areas is an essential step in disaster risk management. This study aimed to identify and quantify the highest-risk areas in the municipality of Maquiné, RS, using the Brazilian Risk Classification for floods (CRBi) methodology, which uses a risk index composed of two sub-indexes: hazard and vulnerability. Therefore, this work analyzed not only the probability of flood occurrence and its magnitudes and physical effects but also the exposure and resilience of the local population to this type of event. Vulnerability was calculated for the entire city, in the unit of census tracts. It was identified that all sectors of Maquiné are in a state of alert regarding this indicator. Hazard mapping was conducted only for a section of the Maquiné River using hydrodynamic simulation using HEC-RAS software. Flow rates with return periods of 10, 50, and 100 years were simulated. Areas with critical, alert, and attention levels of hazard were identified. Additionally, it was observed that there are significant structures in these areas, such as roads, residences, commercial centers, and agricultural areas. Risk was calculated only for the simulated area, and areas in alert and attention levels were calculated, which means, areas that require intervention to prevent human and material losses.

Keywords: Risk; Hazard; Vulnerability, Floods; Maquiné; Hydrodynamic modeling; HEC-RAS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Ocorrências de desastres naturais registradas no Brasil entre 1991e 2022 segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil.....	20
Figura 2- Ocorrências de desastres naturais registradas no Rio Grande do Sul entre 1991 e 2022 segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil	20
Figura 3- Categorias de desastres naturais registradas no Brasil entre 1991e 2022 segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil.....	21
Figura 4- Categorias de desastres naturais registradas no Rio Grande do Sul entre 1991 e 2022 segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil.....	21
Figura 5- Fluxograma de metodologia de mapeamento de perigo de inundações....	26
Figura 6- Indicadores de vulnerabilidade às inundações mais empregados no Brasil.	28
Figura 7- Setorização de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações.....	31
Figura 8- Classificação da vulnerabilidade a inundações na bacia do rio Maquiné, usando diferentes métodos de normalização	32
Figura 9- Registros dos impactos da inundação de junho de 2023 em Maquiné	34
Figura 10- Diagrama de resumo das etapas do trabalho	36
Figura 11- Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Maquiné.....	37
Figura 12- Mapa de localização do município de Maquiné	39
Figura 13- Mapa de localização dos setores censitários do município de Maquiné (IBGE, 2022)	40
Figura 14- Mapa de localização dos setores censitários do município de Maquiné (IBGE, 2010)	41
Figura 15- Mapa de localização das comunidades indígenas e quilombolas de Maquiné	42
Figura 16- Localização das estações fluviométricas e pluviométricas disponíveis na bacia do rio Maquiné	43
Figura 17- Modelo conceitual da distribuição espacial da chuva anual ao longo da paisagem.....	44
Figura 18- Chuva média mensal (mm) e Intensidade diária da chuva (mm/dia)	45
Figura 18- Curva de permanência das vazões da estação Maquiné (87317030)	46
Figura 18- Vazões médias mensais da estação Maquiné (87317030).....	46

Figura 17- Dados de elevação com base no MDT ANADEM (ANA e UFRGS, 2023)	47
Figura 22- Localização das seções transversais disponíveis no arroio Forqueta (MENEZES, 2021).....	48
Figura 19- Perfil transversal do rio Maquiné na estação Maquiné (87317030)	49
Figura 20- Localização das seções transversais levantadas em campo em outubro de 2023	50
Figura 21- Seção transversal 1 na estação Maquiné (87317030)	50
Figura 22- Seção transversal 2 próxima a ponte dos Biguás	51
Figura 23- Seção transversal 3	51
Figura 24- Seção transversal 4 logo a jusante da confluência do arroio Lajeado e arroio Forqueta.....	52
Figura 25- Seção transversal 5 no arroio Lajeado.....	52
Figura 26- Classificação de Risco Brasileira a Inundações (CRBi)	54
Figura 27- Malha computacional utilizada nas simulações hidrodinâmicas	64
Figura 28- Malha computacional utilizada nas simulações hidrodinâmicas	65
Figura 29- Perfil longitudinal do trecho simulado do rio Maquiné no MDT original e suavizado	66
Figura 30- Seções topobatimétricas levantadas em campo	68
Figura 31- Hidrograma de vazões médias diárias Maquiné (87317030)	69
Figura 32- Hidrograma de vazões máximas observadas por ano Maquiné (87317030)	70
Figura 33- Hidrogramas crítico e de projeto	71
Figura 34- Linha d'água na seção 1 do rio Maquiné simulada no cenário de vazão constante medida em campo	72
Figura 35- Resultados de profundidade máxima para TR de 10 anos	73
Figura 35- Resultados de profundidade máxima para TR de 50 anos	74
Figura 35- Resultados de profundidade máxima para TR de 100 anos	75
Figura 36- Resultados de velocidade máxima para TR de 10 anos	76
Figura 36- Resultados de velocidade máxima para TR de 50 anos	77
Figura 36- Resultados de velocidade máxima para TR de 100 anos	78
Figura 37- Resultados mapas de perigo para tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos	80
Figura 38- Resultados subíndice Perigo	81

Figura 39- Resultados subíndice Perigo na região da Barra do ouro.....	82
Figura 40- Resultados subíndice Perigo na região do centro de Maquiné	82
Figura 41- Resultados do Indicador de Exposição	85
Figura 42- Resultados do Indicador de Suscetibilidade	88
Figura 43- Resultados do Indicador de Falta de Resiliência	91
Figura 44- Resultados do Indicador de Falta de Capacidade Adaptativa.....	95
Figura 45- Resultados do Subíndice Vulnerabilidade.....	97
Figura 46- Resultados do Índice de Risco.....	99
Figura 47- Resultados do Índice de Risco e localização das comunidades tradicionais do município	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação dos subgrupos de desastres naturais	19
Tabela 2- Desastres registrados em Maquiné.....	22
Tabela 3- Classificação de inundações.....	23
Tabela 4- Classificação dos desastres hidrológicos.....	23
Tabela 5- Definições de risco, perigo natural e vulnerabilidade humana	25
Tabela 6- Informações a respeito das estações fluviométricas e pluviométricas disponíveis na bacia do rio Maquiné	43
Tabela 7- Classificação dos resultados de risco	54
Tabela 8- Definição do perigo de inundação.....	55
Tabela 9- Classes do subíndice vulnerabilidade	57
Tabela 10- Pesos AHP para os subindicadores da vulnerabilidade	57
Tabela 11- Classes dos subindicadores do Indicador Exposição.....	58
Tabela 12- Classes dos subindicadores do Indicador Suscetibilidade	60
Tabela 13- Classes dos subindicadores do Indicador Falta de Resiliência	61
Tabela 14- Classes dos subindicadores do Indicador Falta de Capacidade Adaptativa	62
Tabela 15- Vazões medidas em campo	68
Tabela 16- Vazões máximas para diferentes tempos de retorno	70
Tabela 17- Profundidades e velocidades simuladas para os diferentes cenários	72
Tabela 18- Resultados dos subindicadores do indicador exposição	84
Tabela 19- Resultados dos subindicadores do indicador suscetibilidade.....	87
Tabela 20- Resultados dos subindicadores do indicador falta de resiliência	90
Tabela 21- Resultados dos subindicadores do indicador falta de capacidade adaptativa.....	94
Tabela 22- Resultados dos indicadores e subíndice Vulnerabilidade	96

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVOS GERAIS	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	DESASTRES NATURAIS	17
3.2	INUNDAÇÕES	22
3.3	RISCO, PERIGO, VULNERABILIDADE E SUSCETIBILIDADE	24
3.3.1	Análise de perigo de inundações	25
3.3.2	Análise de vulnerabilidade a inundações	27
3.3.3	Análise de risco de inundações	28
3.4	POLÍTICA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL	29
3.5	ESTUDOS ANTERIORES NA REGIÃO	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	35
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
4.3	COMUNIDADES TRADICIONAIS PRESENTES NA ÁREA DE ESTUDO 41	
4.4	DADOS DISPONÍVES	42
4.4.1	Dados hidrológicos	42
4.4.2	Dados de elevação	46
4.5	LEVANTAMENTO EM CAMPO	47
4.6	MAPEAMENTO DE RISCO	53
4.6.1	Mapeamento de perigo	55
4.6.2	Mapeamento de vulnerabilidade	57
4.6.2.1	Indicador de Exposição	57
4.6.2.2	Indicador de Suscetibilidade	58
4.6.2.3	Indicador de Falta de Resiliência	60
4.6.2.4	Indicador de Falta de Capacidade Adaptativa	61
4.7	MODELAGEM HIDRODINÂMICA	62
4.7.1	Hidrograma de Projeto	62
4.7.2	Domínio da simulação e dados de terreno	64

4.7.3	Condições de contorno e simulações.....	66
4.7.4	Calibração do modelo.....	67
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1	LEVANTAMENTOS DE CAMPO.....	68
5.2	MODELAGEM HIDRODINÂMICA	69
5.2.1	Hidrograma de Projeto	69
5.2.2	Resultados simulações	71
5.3	SUB-ÍNDICE DE PERIGO.....	79
5.4	SUB-ÍNDICE DE VULNERABILIDADE.....	83
5.4.1	Exposição	83
5.4.2	Suscetibilidade.....	85
5.4.3	Falta de Resiliência.....	88
5.4.4	Falta de Capacidade Adaptativa	91
5.4.5	Vulnerabilidade	95
5.5	ÍNDICE DE RISCO	97
5.6	AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE, PERIGO E RISCO EM TERRITÓRIOS INDÍGENAS E QUILOMBOLAS DE MAQUINÉ	100
6	LIMITAÇÕES	102
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	103
	REFERÊNCIAS.....	105

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de desastres naturais no Brasil vem apresentando tendência de crescimento nas últimas décadas (BRASIL, 2023). Existem diversos tipos de desastres naturais, mas um dos mais comuns no território brasileiro são as inundações. Inundações, apesar de serem fenômenos naturais, causam anualmente grandes perdas humanas e materiais, e podem ser agravadas por ações antrópicas como o desmatamento e a impermeabilização do solo.

Para criação de cidades resilientes a inundações, uma das etapas fundamentais é o mapeamento das áreas de risco, devido a sua capacidade de auxiliar os tomadores de decisão no planejamento da prevenção/mitigação, preparação, resposta, recuperação e na adaptação a novos eventos. Em se tratando de desastres naturais, pode-se entender risco como uma função do perigo e da vulnerabilidade (MONTE *et al*, 2021). O perigo é um processo ou fenômeno natural que ocorre na biosfera e que pode constituir em um evento causador de danos. Já a vulnerabilidade é uma condição ou processo humano resultante de fatores físicos, sociais ou ambientais, os quais determinam a probabilidade e escala de dano do impacto de um determinado perigo (UNDP, 2015). Entende-se que o mapeamento das áreas de maior risco é a primeira etapa no desenvolvimento de uma melhor gestão de desastres naturais no município, a fim de preparar os gestores municipais e a população local para a ocorrência de eventos de chuvas intensas.

O Rio Grande do Sul (RS) é um dos estados brasileiros que mais sofre recorrentemente com os efeitos de inundações, nos últimos 30 anos tendo deixado mais de 70 mortos, 471 mil desalojados e 10 bilhões em danos totais (BRASIL, 2023). Um município que é impactado frequentemente com esses desastres é Maquiné, RS.

O município de Maquiné está localizado no Litoral Norte do estado do Rio Grande do Sul. Está inserido na bacia do rio Maquiné, a qual é uma sub-bacia do rio Tramandaí, dentro da Unidade de Planejamento e Gestão Maquiné Quadros (RIO GRANDE DO SUL, 2019), dividida entre lagoas, rios e litoral. O município está inserido em uma área que sofre recorrentemente com o impacto de desastres naturais associados a eventos naturais desencadeados por chuvas intensas, como inundações e deslizamentos. A ocorrência desse tipo de evento se dá ao fato de a bacia estar inserida em um ambiente montanhoso com planícies e montanhas bem definidas ao

longo de todo o vale do rio Maquiné, com presença de áreas de grande declividade (MENEZES, 2021).

A população de Maquiné sofre frequentemente com os impactos desses eventos, acarretando grandes perdas materiais e agropecuárias, ferimentos e mortes. Os desastres registrados já afetaram mais de 14 mil pessoas deixando 1.052 desabrigados, com mais de R\$18,61 milhões em danos materiais para a população. A motivação deste estudo é auxiliar o município no gerenciamento de riscos de inundação, através do mapeamento de áreas de risco.

O presente trabalho tem por objetivo realizar um mapeamento das áreas de risco de inundação no município de Maquiné-RS utilizando a metodologia CRBi (Classificação de Risco Brasileira para Inundações) (MONTE, 2022). A CRBi corresponde a um índice de risco construído através de subíndices de perigo e vulnerabilidade. Portanto, esse trabalho se propõe a analisar não somente a probabilidade de ocorrência inundações e suas magnitudes e efeitos físicos, mas também a exposição e resiliência da população local a esse tipo de evento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo do presente trabalho é definir quais são as áreas do município de Maquiné-RS mais propensas a sofrer com riscos de inundação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar eventos extremos no rio Maquiné;
- Avaliar a aplicabilidade do software HEC-RAS para obtenção de manchas de inundação no rio Maquiné utilizando levantamento em campo e estudos fluviométricos;
- Avaliar a vulnerabilidade socioambiental à inundação das diferentes regiões do município de Maquiné;
- Categorizar as áreas de risco a inundações para a bacia do rio Maquiné

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DESASTRES NATURAIS

Desastres são eventos que podem ser classificados conforme sua origem, uma vez que existem uma enorme variedade de possíveis causas. Existem diversas definições e classificações para esses eventos. Desastres podem ser classificados como tecnológicos, naturais, sociais ou híbridos, sendo a principal diferença o nível de ação antrópica (MONTE, 2021).

O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP) define *desastre natural* como um sério distúrbio desencadeado por um perigo natural que causa perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais, e que excede a habilidade daqueles afetados de lidar com o perigo (UNDP, 2015). O mesmo programa define ainda *perigo natural* como processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera que pode constituir em um evento prejudicial, os quais vão variar em magnitude, frequência, duração, área de extensão, velocidade de início e dispersão temporal e espacial.

O Glossário de Defesa Civil Estudos de Risco e Medicina de Desastres (CASTRO, 1998) define como *desastre* o “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos

humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais”. Quanto aos *desastres naturais*, define: “são aqueles provocados por fenômenos e desequilíbrios da natureza e produzidos por fatores de origem externa que atuam independentemente da ação humana”. Já sobre os *desastres humanos*, estabelece que “são aqueles provocados por ações ou omissões humanas. Relacionam-se com o próprio homem, enquanto agente e autor. Por isso, são produzidos por fatores de origem interna”. O glossário traz ainda o conceito de *desastre misto*, que é “quando as ações ou omissões humanas contribuem para intensificar, complicar e/ou agravar desastres naturais. Caracterizam-se, também, por intercorrências de fenômenos adversos naturais que atuam sobre condições ambientais degradadas pelo homem, provocando desastres”.

No Brasil, existe a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade) a qual divide os desastres em naturais ou tecnológicos. Os desastres naturais são divididos em cinco grupos (geológicos, hidrológicos, meteorológicos, climatológicos e biológicos) enquanto os tecnológicos são separados em ocorrências relacionadas a substâncias radioativas, produtos perigosos, incêndios urbanos, obras civis e transporte de passageiros e de cargas não perigosas (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2012). Cada grupo é dividido em subgrupos, tipo e subtipo, formando um código único.

O EM-DAT é um banco de dados global de desastres que contém dados essenciais na ocorrência e consequências de mais de 17.000 desastres ao redor do mundo desde 1900 até o presente. A base de dados compila várias fontes, incluindo agências das Nações Unidas, organizações não governamentais, institutos de pesquisa e agências de imprensa. O banco é compilado e distribuído pelo *Center for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), unidade de pesquisa da Universidade de Louvain, Bélgica, e referência na área de desastres. A classificação da base de dados separa os desastres em dois tipos: naturais e tecnológicos. Os desastres naturais são ainda subdivididos conforme a categorização proposta pelo *Integrated Research on Disaster Risk (IRDR) Peril Classification and Hazard Glossary* de 2014 (IRDR, 2014), ilustrada na [Tabela 1](#). O IRDR é um programa científico internacional patrocinado pelo *International Science Council (ISC)* e pelo *United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR)* que busca promover uma melhor compreensão dos riscos de desastres e seus usos efetivos para tomada de decisões.

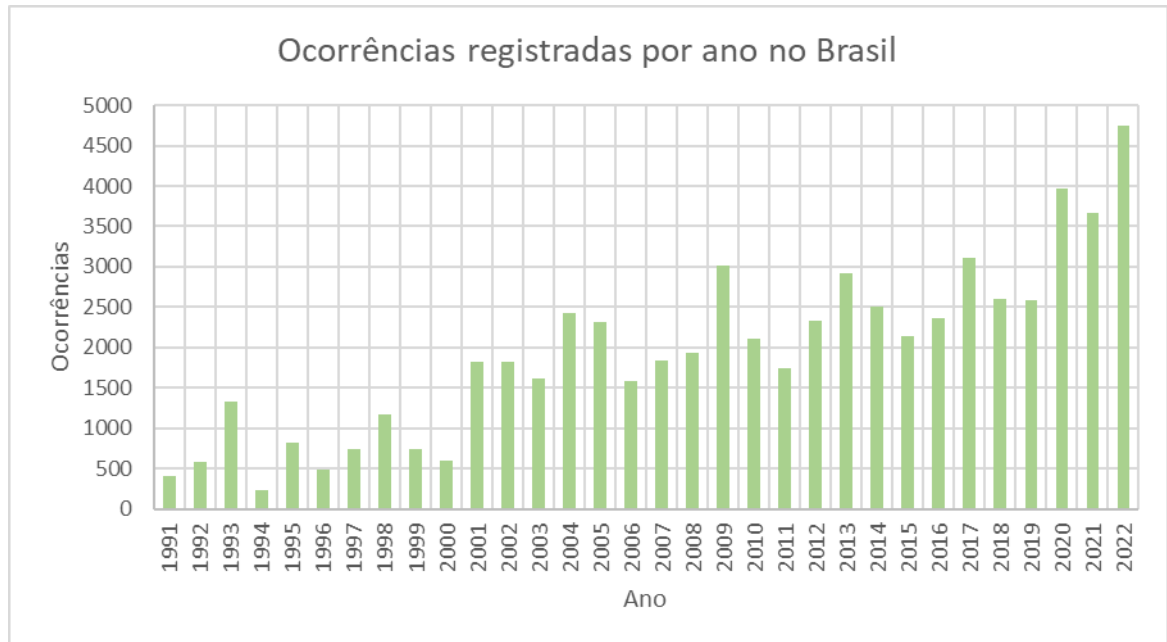
Tabela 1- Classificação dos subgrupos de desastres naturais

Subgrupo de desastre	Tipo de desastre
Geofísico	Terremoto; Movimento de massa; Atividade vulcânica
Hidrológico	Inundação; Deslizamento de terra; Tsunami
Meteorológico	Tempestade convectiva; Tempestade extratropical; Temperaturas extremas; Névoa; Ciclone tropical
Climatológico	Seca; Desprendimento de Glaciares; Queimadas
Biológico	Incidentes com animais; Doenças infecciosas; Infestação de Insetos
Extraterrestre	Impacto; <i>Space weather</i>

Fonte: Adaptado de IRDR (2014).

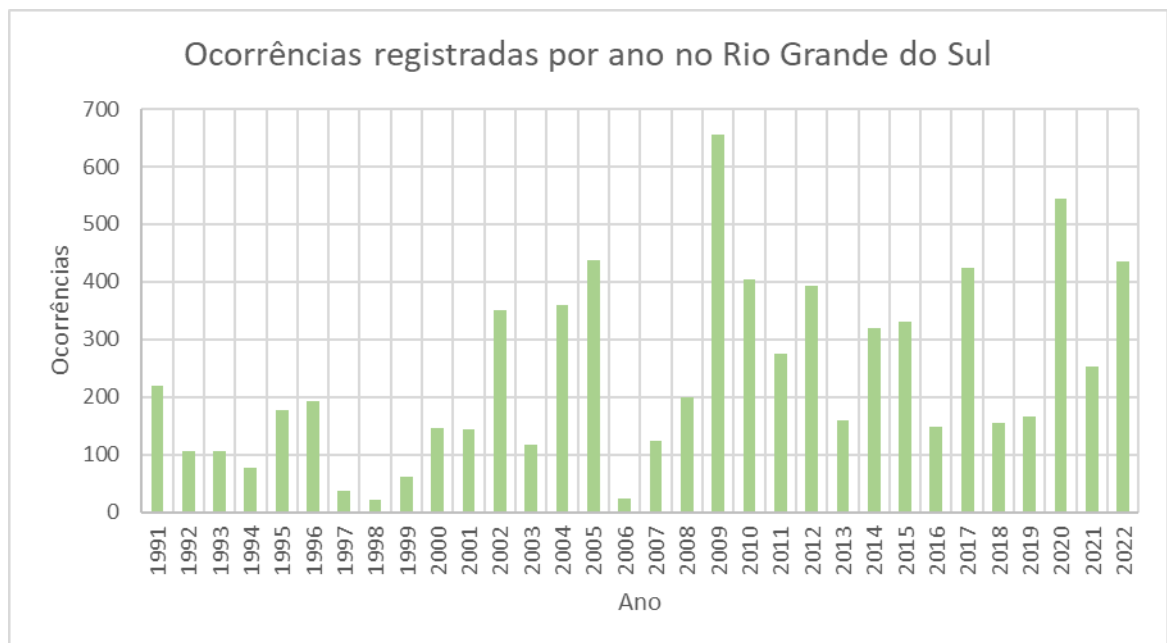
Segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil (BRASIL, 2023a), desastres naturais já causaram 4.728 óbitos no país entre 1991 e 2022, além de ter deixado 9 milhões desabrigados e desalojados. A [Figura 1](#) demonstra que o registro de desastres naturais cresceu no Brasil nos últimos anos, sendo 2022 o ano de maior ocorrência. Já em relação ao Rio Grande do Sul, na [Figura 2](#) visualiza-se que o ano com maiores registros de ocorrências foi 2009, porém há um aumento no número de desastres na última década (2011 a 2020). No ano de 2009 no RS pode-se destacar os desastres climatológicos (280 ocorrências) como os mais frequentes, seguidos dos hidrológicos (198 ocorrências). Os municípios mais afetados foram Taquara, Capão do Leão e Tramandaí, respectivamente com o maior número de afetados, mortos e desabrigados. Os desastres que mais causaram danos humanos foram os vendavais e ciclones, seguidos pelas inundações e enxurradas.

Figura 1- Ocorrências de desastres naturais registradas no Brasil entre 1991e 2022 segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil



Fonte: Adaptado de Brasil (2023).

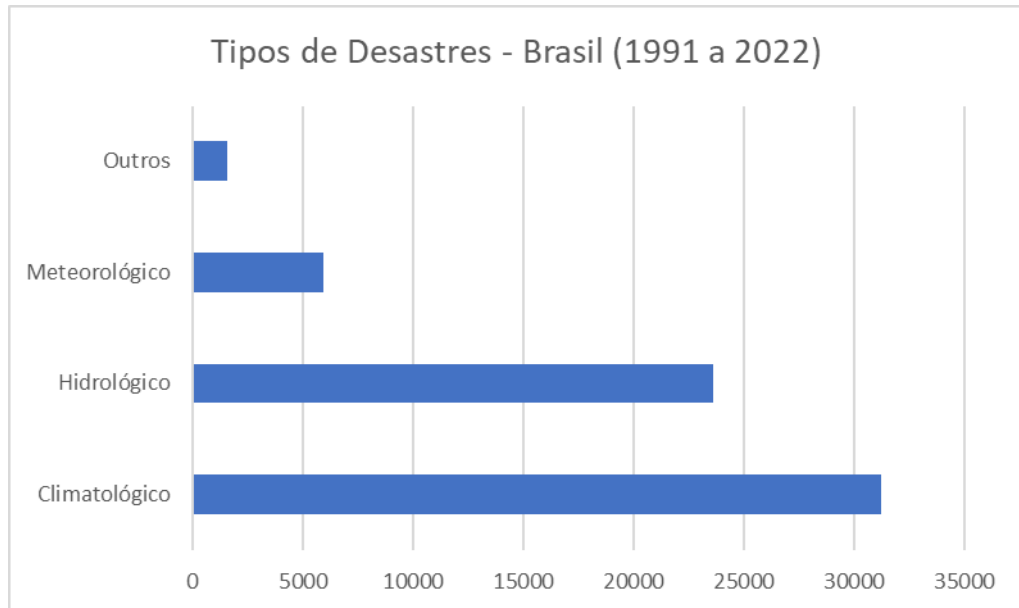
Figura 2- Ocorrências de desastres naturais registradas no Rio Grande do Sul entre 1991 e 2022 segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil



Fonte: Adaptado de Brasil (2023).

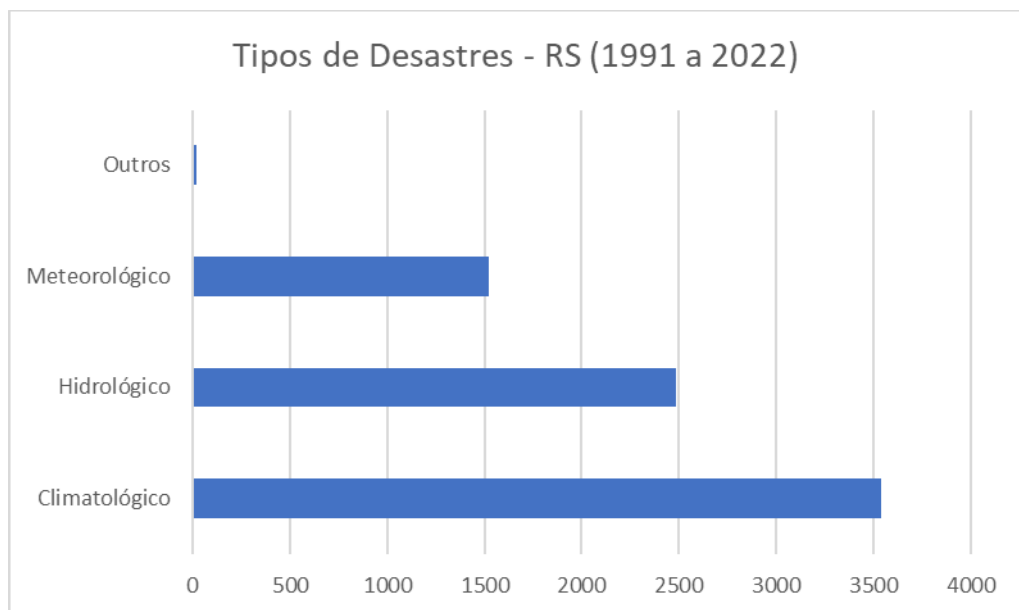
Segundo o Atlas, o tipo de desastre mais frequente no Brasil são os climatológicos, seguidos dos hidrológicos ([Figura 3](#)). A mesma distribuição é observada para o Rio Grande do Sul ([Figura 4](#)).

Figura 3- Categorias de desastres naturais registradas no Brasil entre 1991 e 2022 segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil



Fonte: Adaptado de Brasil (2023).

Figura 4- Categorias de desastres naturais registradas no Rio Grande do Sul entre 1991 e 2022 segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil



Fonte: Adaptado de Brasil (2023).

Especificamente na área de estudo desse trabalho, o município de Maquiné, Rio Grande do Sul, há registros de 18 desastres naturais entre 1991 e 2022 no Atlas. Na [Tabela 2](#) são apresentadas as ocorrências, sendo o grupo de desastre mais frequente os desastres hidrológicos e do tipo enxurrada (conforme classificação do COBRADE). Os desastres registrados em Maquiné já afetaram mais de 14 mil pessoas, deixando 1.052 desabrigados, com mais de R\$18,61 milhões em danos materiais para a

população (BRASIL, 2023a). Pode-se destacar a ocorrência de enxurradas como o tipo de desastre mais frequente

Tabela 2- Desastres registrados em Maquiné

Data	Grupo do desastre	Tipologia do Desastre
20/03/1994	Hidrológico	Enxurradas
17/01/1995	Hidrológico	Enxurradas
26/12/1995	Hidrológico	Enxurradas
24/01/1996	Hidrológico	Enxurradas
15/02/2000	Hidrológico	Inundações
19/01/2001	Hidrológico	Enxurradas
29/01/2001	Meteorológico	Granizo
29/01/2007	Hidrológico	Enxurradas
03/03/2007	Hidrológico	Enxurradas
03/05/2008	Meteorológico	Vendavais e Ciclones
27/09/2009	Hidrológico	Enxurradas
26/02/2011	Hidrológico	Enxurradas
05/01/2017	Hidrológico	Enxurradas
01/06/2017	Hidrológico	Enxurradas
31/12/2019	Climatológico	Estiagem e Seca
22/05/2020	Climatológico	Estiagem e Seca
16/07/2020	Hidrológico	Enxurradas
18/01/2022	Climatológico	Estiagem e Seca
06/03/2023	Hidrológico	Enxurradas
15/06/2023	Hidrológico	Enxurradas

Fonte: Adaptado de Brasil (2023).

3.2 INUNDAÇÕES

Como citado na seção 3.1, inundações são um tipo de desastre natural hidrológico. Segundo IRDR (2014), *inundação* é um termo geral para: i) o transbordamento de água em um canal de um corpo d'água para uma área normalmente seca na planície de inundação (inundação fluvial- *riverine flooding*); ii) níveis mais elevados do que o normal ao longo da costa e em lagos ou reservatórios (inundação costeira- *coastal flooding*); iii) o acúmulo de água no ponto onde a chuva caiu ou próximo dele (inundação brusca-*flash floods*). É trazido ainda o conceito de *ice jam flood* (inundação por bloqueio de gelo) que consiste no acúmulo de gelo flutuante restringindo ou bloqueando o fluxo e drenagem de um rio. A classificação desses tipos de desastres é resumida na [Tabela 3](#).

Tabela 3- Classificação de inundações

Grupo de desastre	Subgrupo de desastre	Tipo de desastre	Subtipo de desastre
Natural	Hidrológico	Inundação	Inundação fluvial
			Inundação costeira
			Inundação brusca (enxurradas)
			Inundação por bloqueio de gelo

Fonte: Adaptado de IRDR (2014).]

A Agência Nacional de Águas (ANA, 2014) define *inundação* como: o “transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas”. Define ainda que as inundações podem ser classificadas em função do padrão evolutivo “enchentes ou inundações graduais, enxurradas ou inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas”.

O COBRADE traz uma classificação distinta dos desastres hidrológicos em relação a IRDR. Os desastres hidrológicos registrados foram divididos em 3 subgrupos: inundações, enxurradas e alagamentos (MIDR, 2022). A classificação do COBRADE para desastres hidrológicos é apresentada na [Tabela 4](#).

Tabela 4- Classificação dos desastres hidrológicos

Grupo de desastre	Subgrupo de desastre	Definição
Hidrológico	Inundação	Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.
	Enxurrada	Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.
	Alagamento	Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e conseqüente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de chuvas intensas.

Fonte: Adaptado de MIDR (2022).

Segundo Kobiyama *et al.* (2014), os tipos de inundação mais comuns no Brasil são: inundação gradual (ou simplesmente inundação) e inundação brusca (enxurradas), sendo a primeira mais comum em áreas de inundação em grandes

bacias, enquanto a segunda é mais frequente em pequenas bacias declivosas e ou urbanas.

Inundações são fenômenos naturais, e fazem parte do ciclo hidrológico. Segundo Kobayama (2011), inundações “fornecem grandes quantidades de fertilizantes e sedimentos às planícies, atuando como agentes modificadores da paisagem, trazendo, assim, benefícios à sociedade”. Inundações são classificadas como desastres naturais somente quando há danos humanos, materiais ou ambientais associados, o que de forma geral acontece quando ocorre a ocupação da planície de inundação. Conhecer o comportamento de rios em eventos extremos e os limites da planície de inundação é, portanto, fundamental para prevenir desastres.

O município de Maquiné está inserido em um ambiente montanhoso. Wohl (2006) define rios montanhosos como redes de drenagens em regiões montanhosas no mundo, os quais apresentam grande diversidade física, biológica e de história de uso da terra.

As características típicas de rios de montanha incluem: (i) alta declividade do canal, (ii) valores elevados de granulometria dos sedimentos, (iii) fluxos rasos e turbulentos, (iv) relação variável entre largura e profundidade do rio, e (v) fornecimento de sedimentos bastante limitado (PAIXÃO; KOBAYAMA, 2019). Inundações em rios de montanha são “favorecidas pelos gradientes tipicamente íngremes do canal e podem ser geradas por vários tipos de chuva – como a convectiva ou a orográfica, por exemplo - ou falha de represas naturais ou artificiais” (MENEZES, 2021).

Em rios montanhosos, portanto, o tipo de inundação mais frequente é a inundação brusca ou enxurrada em função da alta declividade do canal, e da morfologia dos rios. O presente trabalho leva em consideração a definição do IRDR, porém entende-se que o evento simulado em função das características da bacia se enquadraria como uma *inundação brusca*, a qual seria classificada pelo COBRADE como *enxurrada*.

3.3 RISCO, PERIGO, VULNERABILIDADE E SUSCETIBILIDADE

Desastres são a concretização de um risco. O PNUD diz que o risco pode ser expresso pela [Equação 1](#).

Equação 1. Risco (Adaptado de UNDP, 2015)

$$Risco = Perigo \cdot Vulnerabilidade$$

As variáveis da [Equação 1](#) estão descritas, conforme define o PNUD (UNDP, 2015) na [Tabela 5](#). Para um bom gerenciamento de desastres naturais, é importante não apenas conhecer os perigos de um determinado evento natural (por exemplo inundações), mas também a vulnerabilidade da população a fim de determinar o risco associado ao evento.

Tabela 5- Definições de risco, perigo natural e vulnerabilidade humana

Subgrupo de desastre	Definição
Risco	A probabilidade de consequências prejudiciais, ou perda esperada de vidas, pessoas feridas, propriedades, meios de subsistência, atividade econômica interrompida (ou ambiente danificado) como resultado das interações entre os perigos naturais ou induzidos pelo ser humano e condições vulneráveis
Perigo natural	Processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e que podem constituir em um evento causador de danos
Vulnerabilidade humana	Uma condição ou processo humano resultante de fatores físicos, sociais ou ambientais, os quais determinam a probabilidade e escala de dano do impacto de um determinado perigo

Fonte: Adaptado de UNDP (2015).

Outro conceito relevante é o de suscetibilidade física. A suscetibilidade física pode ser classificada como uma avaliação usada para prever locais onde um evento perigoso pode ocorrer (MONTE *et al*, 2021). Monte *et al* (2021) destaca a importância de não confundir estudos de perigo com de suscetibilidade física, sendo o último um substituto limitado para determinar perigos.

As áreas suscetíveis a inundações podem ser determinadas pela avaliação da declividade, padrões de relevo, dados hidrológicos, litologias etc. Essa suscetibilidade apesar de poder indicar as áreas mais propensas a sofrer com esse tipo de desastre, não é capaz de estimar com maior precisão manchas de inundação com diferentes tempos de retorno, velocidades e profundidades associadas a diferentes eventos.

3.3.1 Análise de perigo de inundações

Como explica Monteiro (2013) mapas de risco e perigo de inundação diferem nas informações trazidas. Mapas de perigo expressam a probabilidade e ou magnitude de um evento, já o mapa de risco expressa adicionalmente as consequências humanas da possível concretização desse perigo. Os mapas de perigo, os quais podem ser obtidos através de modelagem hidrodinâmica, são

utilizados para gerar mapas de risco, juntamente com outros elementos como vulnerabilidade.

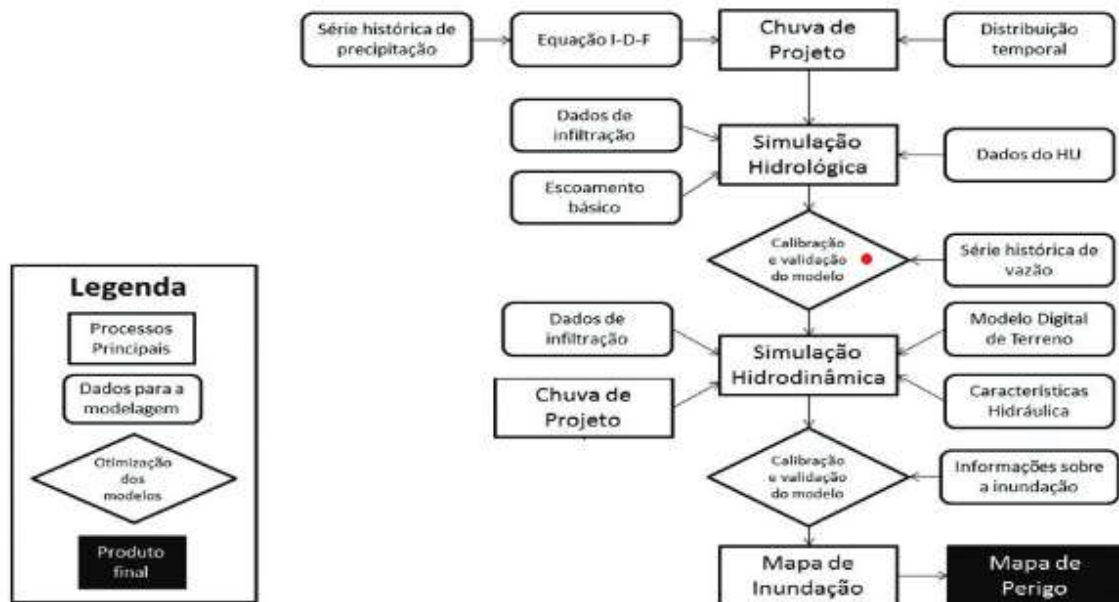
Stephenson (2002) propôs um índice de perigo para inundações para apoiar a tomada de decisões em zoneamento urbano, auxiliando na identificação onde seria seguro construir edificações. Esse índice é baseado na velocidade e profundidade da água, e é expresso na [Equação 2](#), onde h é a profundidade, em metros; v é a velocidade, em m/s, e IP é o índice de perigo, em m^2/s .

Equação 2. Índice de Perigo de Inundação (STEPHENSON, 2002)

$$IP = h \times v$$

Monteiro (2013) aplicou a metodologia de Stephenson (2002) e propôs uma metodologia para mapeamento de perigo de inundação. A metodologia proposta é resumida no fluxograma apresentado na [Figura 5](#). É proposta a obtenção dos parâmetros para o cálculo do Índice de Perigo de Inundação através de simulação hidrodinâmica, e foram simulados diferentes tempos de retorno (5, 20, 50 e 100 anos). Um dos softwares mais reconhecidos de simulação hidrodinâmica é o HEC-RAS, mais bem descrito na seção 0.

Figura 5- Fluxograma de metodologia de mapeamento de perigo de inundações



Fonte: Monteiro (2013)

Ao buscar mapear as áreas de risco de inundação, pode-se utilizar modelos hidrodinâmicos para construir mapas de perigo. A simulação hidrodinâmica: “é responsável pela interação das propriedades topográficas, com as propriedades

hidrológicas e hidráulicas” (MONTEIRO, 2013). Os modelos hidrodinâmicos, buscam representar escoamentos, seus campos de velocidade e de nível.

Um modelo utilizado amplamente para simulação hidrodinâmica a superfície livre é o *Hydrologic Engineering Center's (CEIWR-HEC) River Analysis System (HEC-RAS)*. O HEC-RAS permite realizar simulações de escoamentos permanentes ou não-permanentes; unidimensionais ou bidimensionais, além de análises de transporte de sedimentos e modelagem de qualidade da água. A simulação do escoamento não permanente unidimensional é calculada a partir da aplicação simplificada das equações de Saint-Venant (USACE, 2023). Utilizando o *software* HEC-RAS é possível obter cotas de inundação, velocidades e hidrogramas nos perfis transversais, visualizar a propagação de ondas de cheia, resultados bidimensionais, manchas de inundação, vetores de velocidade, tensões de cisalhamento, entre outros resultados.

3.3.2 Análise de vulnerabilidade a inundações

Na publicação “*Taking the naturalness out of natural disasters*” (O'KEEFE; WESTGATE; 37 WISNER, 1976), os autores citam que houve um grande aumento na ocorrência de desastres naturais, especialmente em países subdesenvolvidos. Visto que não haviam ocorrido grandes mudanças climáticas ou geológicas naquelas décadas (entre 1920 e 1970), os autores citam que a probabilidade física de ocorrência de eventos naturais extremos seguiu a mesma. Portanto, assumiram que o principal causador do aumento de desastres seria o crescimento da vulnerabilidade da população a esses eventos. Cabe destacar que houve um grande aumento populacional nesse período, quando a população passou a crescer de forma exponencial.

Segundo Moreira e Kobiyama (2021), a vulnerabilidade pode ser dividida em três aspectos:

(i) uma condição particular de um sistema antes de ocorrer um desastre, relacionada à critérios como susceptibilidade, limitações, incapacidades ou deficiências

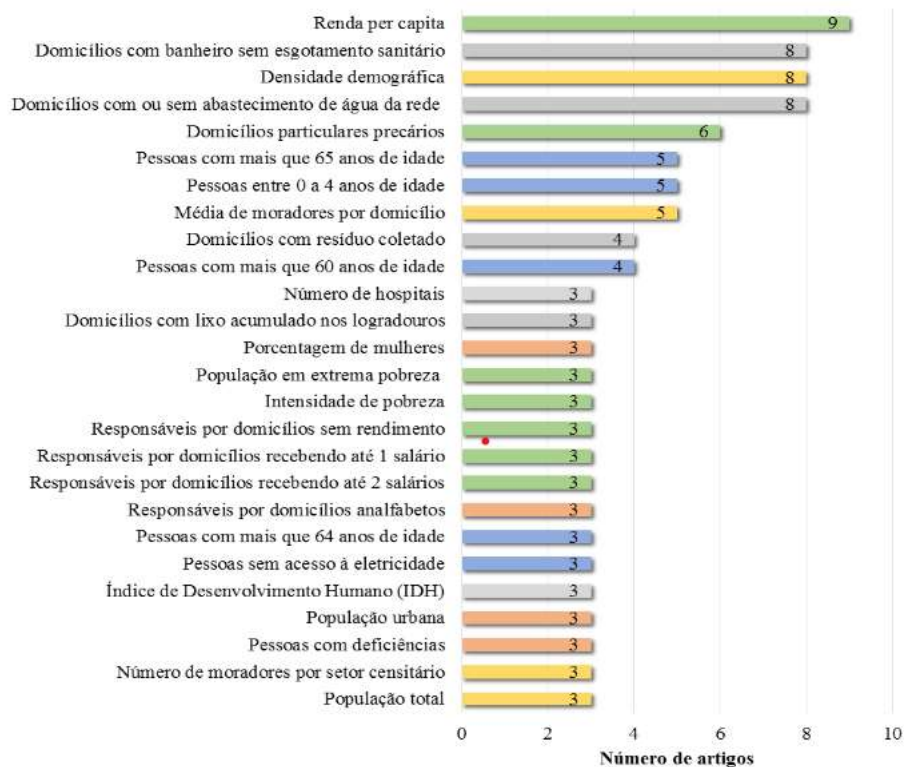
(ii) consequência direta da exposição a um determinado perigo

(iii) probabilidade resultante de um sistema quando exposto a um evento externo associado a um perigo, expresso em termos de potencial de perdas como fatalidades ou perdas econômicas

Não existe no Brasil uma metodologia oficial a ser seguida para estimar a vulnerabilidade da população a inundações. Moreira e Kobiyama (2021) avaliaram 21 artigos brasileiros que propuseram diferentes índices de vulnerabilidade a população. O trabalho analisou os indicadores mais frequentemente utilizados para construção de índices de vulnerabilidade a inundações no Brasil, como pode ser observado na [Figura 6](#), sendo o mais frequente a renda per capita.

Moreira e Kobiyama (2021) observaram também que mais da metade dos artigos, além do índice de vulnerabilidade, aplicaram índice de risco às inundações, ou seja, combinaram conceitos de perigo e vulnerabilidade para compor o índice.

Figura 6- Indicadores de vulnerabilidade às inundações mais empregados no Brasil.



Fonte: Lavagnoli Moreira e Kobiyama (2021)

3.3.3 Análise de risco de inundações

A análise de risco de inundações, como visto anteriormente, deve combinar fatores de perigo e vulnerabilidade. No Brasil, pode-se citar duas metodologias para análise de risco de inundação, a proposta por GOERL, KOBİYAMA e PELLERIN (2012) e a Classificação de Risco Brasileira a Inundações (CRBi) desenvolvida por Monte (2022).

GOERL, KOBİYAMA e PELLERIN (2012) propuseram uma metodologia para análise de áreas de risco de inundação para setores censitários. O índice de risco proposto é calculado através da [Equação 3](#), onde IR é o índice de risco, IV é o índice de vulnerabilidade, e PE é o perigo estimado. O índice de vulnerabilidade é composto por sete variáveis (densidade demográfica, número de moradores no setor, média de moradores por residência, taxa de dependência, educação, renda e Índice de Desenvolvimento Humano do Município), enquanto o perigo estimado é uma relação entre a área total do setor e a área inundada.

Equação 3. Índice de Risco (GOERL, KOBİYAMA e PELLERIN 2012)

$$IR = IV \times PE$$

Já a Classificação de Risco Brasileira a Inundações (CRBi), proposta por Monte (2022), utiliza um índice com capacidade de representar o risco de inundação em bacias com baixa urbanização, também utilizando a microescala de setor censitário. Essa classificação une dois subíndices: o de perigo e o de vulnerabilidade, o qual utiliza quatro indicadores (susceptibilidade, exposição, falta de resiliência e capacidade adaptativa), para calcular o risco. O risco é classificado de quatro formas: bom, atenção, alerta e crítico.

A metodologia proposta por GOERL, KOBİYAMA e PELLERIN (2012) é mais simplificada que a desenvolvida por Monte (2022). Monte (2022) inclui conceitos de velocidade e profundidade da água no índice de perigo, enquanto GOERL, KOBİYAMA e PELLERIN (2012) utilizam apenas a área alagada. Em relação a vulnerabilidade, Monte (2022) inclui quatro indicadores, com um total de 22 subindicadores, enquanto GOERL, KOBİYAMA e PELLERIN (2012) levam em consideração apenas seis variáveis. Monte (2022) realizou uma comparação entre os dois métodos:

“Em termos práticos, a replicação do método GOERL, KOBİYAMA e PELLERIN (2012) é rápida e possui dados primordiais para replicar o efeito de inundação. Pode ser uma ferramenta útil como uma análise inicial. Em contrapartida, para entender o comportamento do perigo e sua resposta sobre a vulnerabilidade da sociedade, o método CRBi consegue representar de forma mais robusta” (Monte, 2022)

3.4 POLÍTICA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL

A Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012 (BRASIL, 2012) institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC); dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção

e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC) e autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres. A lei define no Art. 2º que é dever da União, dos Estados e dos Municípios adotar medidas necessárias à redução dos riscos de desastres.

A política define no Art. 4º a bacia hidrográfica como unidade de análise das ações de prevenção de desastres relacionados a corpos d'água. A lei determina também que é responsabilidade dos municípios identificar e mapear as áreas de risco de desastres, além de promover a fiscalização dessas áreas e vedá-las a novas ocupações (Art. 8º).

A lei prevê o Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande Impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos, o qual foi concretizado no Decreto Nº 10.692, de 3 de maio de 2021 (BRASIL, 2021). A inscrição deve ser feita por solicitação do município ou indicação do Estado ou da União. Os municípios inscritos nesses cadastros devem: instituir órgãos municipais de defesa civil; elaborar mapeamento das áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos e inundações; elaborar plano de contingência de proteção e de defesa civil; elaborar plano de implantação de obras e serviços para redução de riscos de desastres; fiscalizar a ocupação de áreas suscetíveis à ocorrência desses eventos; elaborar carta de aptidão a urbanização e estabelecer diretrizes para uso do solo; e atualizar anualmente o Cadastro Nacional sobre a evolução das ocupações em áreas suscetíveis.

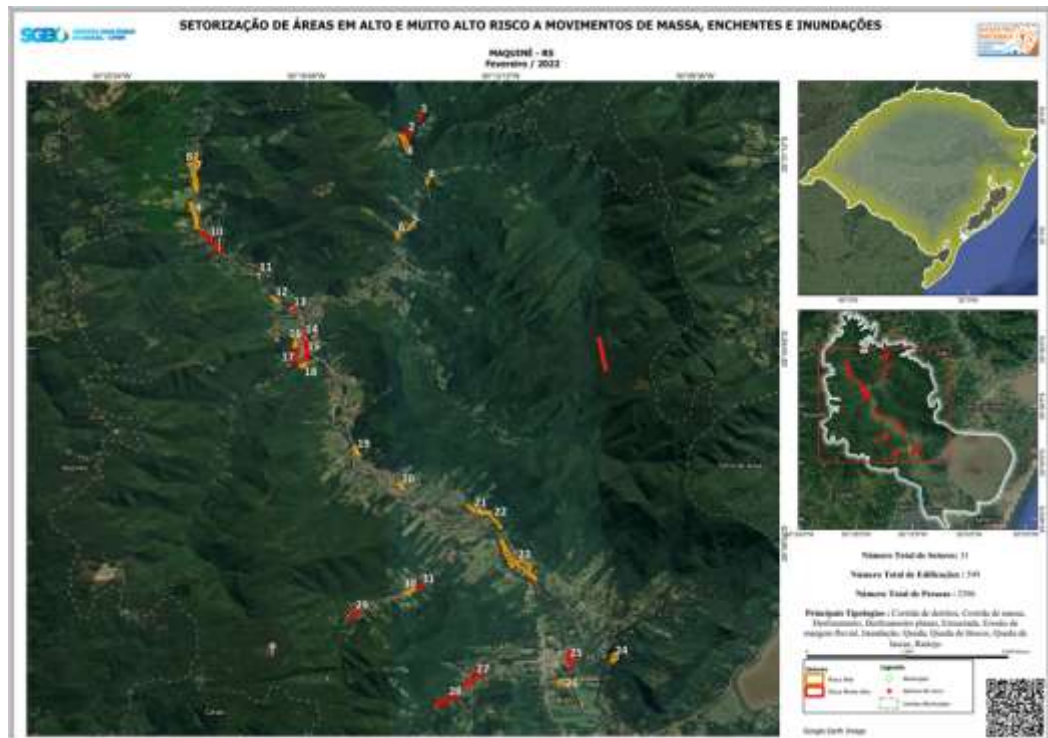
Estudos de risco de inundação, contudo, podem ser onerosos, por necessitarem de profissionais capacitados na área. Por vezes municípios com pequeno orçamento, como é o caso de Maquiné, podem não possuir os recursos necessário para realizar esses projetos.

3.5 ESTUDOS ANTERIORES NA REGIÃO

Ao realizar pesquisas bibliográficas em artigos, plataformas oficiais, e em contato direto com a Prefeitura de Maquiné, apenas dois estudos relacionados ao mapeamento de áreas de risco na região foram identificados. O Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2022), realizou uma setorização de áreas de risco geológico no município de Maquiné, RS. Essa caracterização identificou áreas de risco geológicas associadas a movimentos gravitacionais de massa e a processos hídricos, determinando áreas a serem monitoradas. Foram identificados 31 setores de alto e

muito alto risco, distribuídos principalmente na região central do município e no distrito de Barra do Ouro ([Figura 7](#)).

Figura 7- Setorização de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações



Fonte: CPRM (2022)

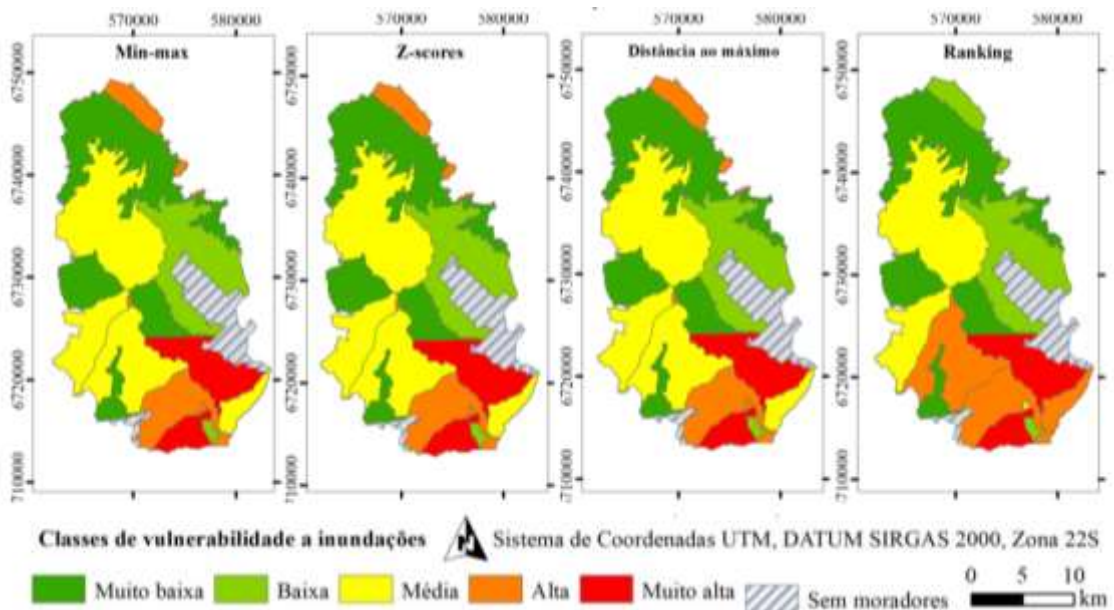
Como informado pelo próprio relatório, contudo, a análise realizada é “de caráter informativo e representa as condições atuais observadas no período da visita de campo. Dessa forma, tendo em vista a dinâmica do crescimento urbano e, conseqüentemente, das áreas de risco geológico, é fundamental que o trabalho seja periodicamente atualizado” (CPRM, 2022). Como limitações do trabalho, ainda é indicado que não deve ser utilizado para “determinar a energia, alcance e trajetória de movimentos de massa, enxurradas e inundações”. Esse trabalho, portanto, se enquadra em um estudo de suscetibilidade, como definido por Monte (2022). Dessa forma, o mapeamento mais profundo de áreas de risco de inundação no município como proposto no presente trabalho se faz necessário.

Moreira *et al* (2020) desenvolveram o trabalho “Efeito do Uso de Diferentes Métodos de Normalização na Construção de Índices de Vulnerabilidade a Inundações”, em que foram comparados diferentes índices de vulnerabilidade a inundações na bacia do rio Maquiné. O trabalho utilizou 19 indicadores (população total, densidade populacional, número de mulheres, taxa de dependência, casas com

mais de 5 moradores, número de mulheres chefe de família, pessoas menores de 4 anos e maiores de 65 anos, analfabetos, renda per capita, desempregados, pessoas vivendo em casas alugadas, morador sem renda, rendas per capita menor que 1/8 de um salário mínimo, menor que 1 salário mínimo e menor que 2 salários mínimos, casas com esgoto a céu aberto, casas sem coleta de lixo, e casas sem acesso a eletricidade) disponibilizados pelo Censo do IBGE de 2010, considerando 20 setores censitários na bacia do rio Maquiné.

Os métodos obtiveram resultados diferentes, e foram gerados métodos com as áreas de vulnerabilidade muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Os mapas comparando os resultados dos índices de vulnerabilidade podem ser visualizados na [Figura 8](#).

Figura 8- Classificação da vulnerabilidade a inundações na bacia do rio Maquiné, usando diferentes métodos de normalização



Fonte: Moreira *et al* (2020)

O município de Maquiné não possui um mapeamento de áreas de risco que considere aspectos de vulnerabilidade e perigo, ou modelagens hidrológicas que prevejam o comportamento de ondas de cheia de diferentes tempos de retorno. Essas informações são de relevância no gerenciamento de desastres naturais, na identificação de áreas de ação prioritária na prevenção de desastres, ressaltando a necessidade do presente trabalho.

Em 2023, duas inundações significativas ocorreram na região, sendo o primeiro em março e o segundo em junho (a qual foi a maior cheia já registrada). O evento das

fortes precipitações entre 2 e 7 de março causou danos significativos resultando na destruição de estradas, pontos, postes de energia derrubados, além de carreamento da mata ciliar e sedimentos. A inundação atingiu áreas de planta o próximas ao curso do rio, resultando em destrui o ou danifica o de planta es e erosões, causando perda de solo agricultável. Os eventos de junho deixaram estragos ainda maiores, com a ocorrência de três mortes. Registros fotográficos do evento podem ser identificados na [Figura 9](#).

Figura 9- Registros dos impactos da inundação de junho de 2023 em Maquiné



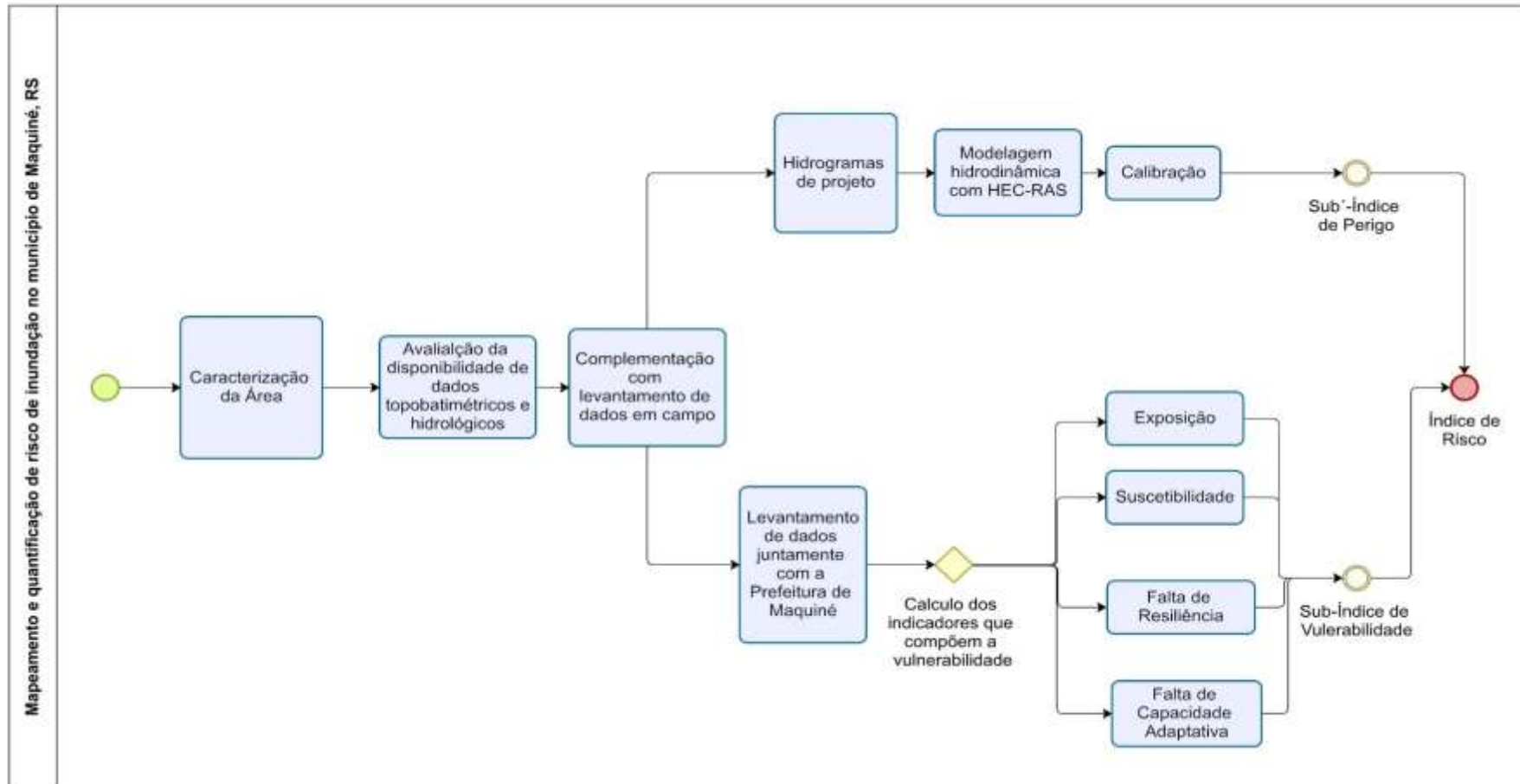
Fonte: GAÚCHAZH (2024)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

As etapas de elaboração do presente trabalho são resumidas no diagrama presente na [Figura 10](#). Após a caracterização da área de estudo e avaliação dos dados disponíveis, foram levantados em campos os dados necessários para realizar a modelagem hidrodinâmica, a fim de mapear o perigo, e o mapeamento da vulnerabilidade. Após o cálculo dos sub-índices de perigo e vulnerabilidade foi possível calcular o índice de risco, como será abordado em maior profundidade nos itens a seguir.

Figura 10- Diagrama de resumo das etapas do trabalho

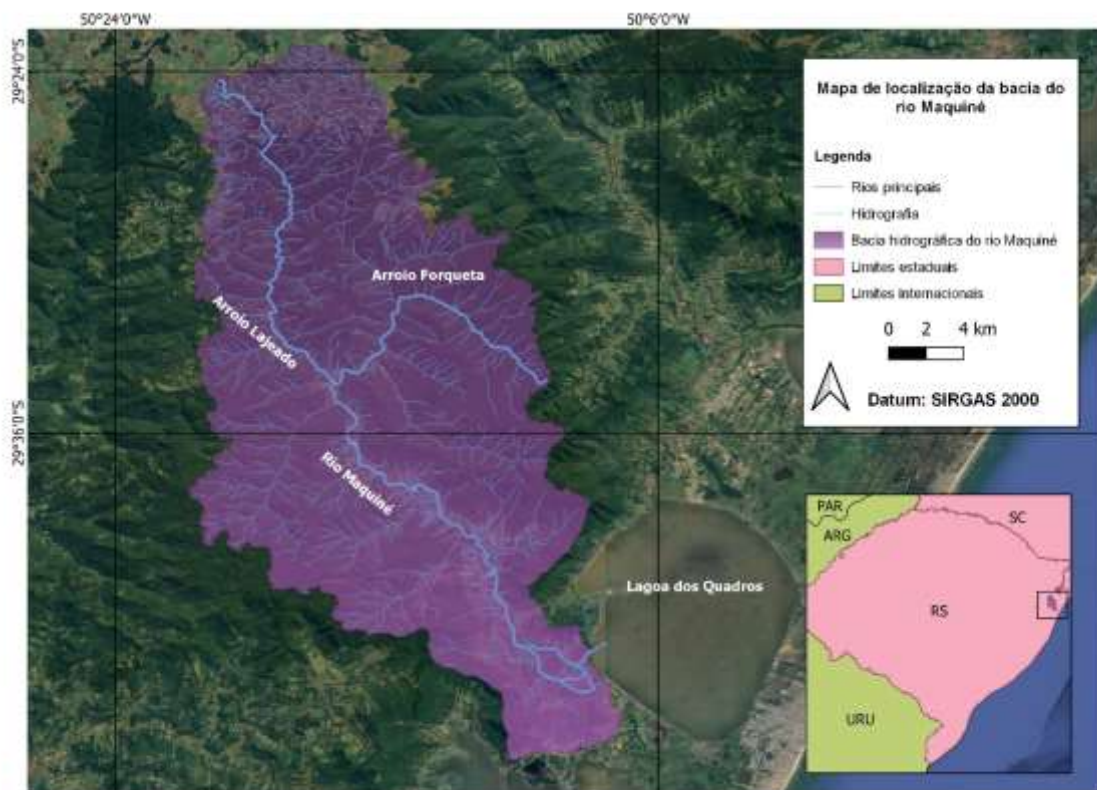


Fonte: Elaboração própria

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Maquiné é uma sub-bacia do rio Tramandaí, localizada na planície costeira do estado do Rio Grande do Sul e que faz parte da Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas (RIO GRANDE DO SUL, 2020). A bacia possui área de drenagem de aproximadamente 569 km² e sua localização pode ser observada na [Figura 11](#).

Figura 11- Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Maquiné



Fonte: Elaboração própria

O rio Maquiné é formado pelo encontro do arroio Lajeado com o arroio Forqueta, até atingir sua foz na lagoa dos Quadros (CASTRO e MELO, 2013). A bacia hidrográfica do rio Maquiné “possui uma grande variação altimétrica desde as nascentes, com cerca de 900 m de altitude, até a foz na Lagoa dos Quadros, aproximadamente 3 m de altitude acima do nível do mar. O clima, segundo a classificação Köppen, é Cfa (subtropical úmido, com verões quentes e invernos frios e temperado úmido com verão temperado)” (MENEZES *et al*, 2019a). Além disso, a região apresenta efeitos orográficos sobre a distribuição das chuvas (GODOY *et al.*,

2017). A bacia do arroio Forqueta possui 144 km² (25,3% do total da bacia do rio Maquiné), enquanto a do arroio Lajeado possui 166 km² (29,17%). A declividade do rio Maquiné é por volta de 0,002 m/m.

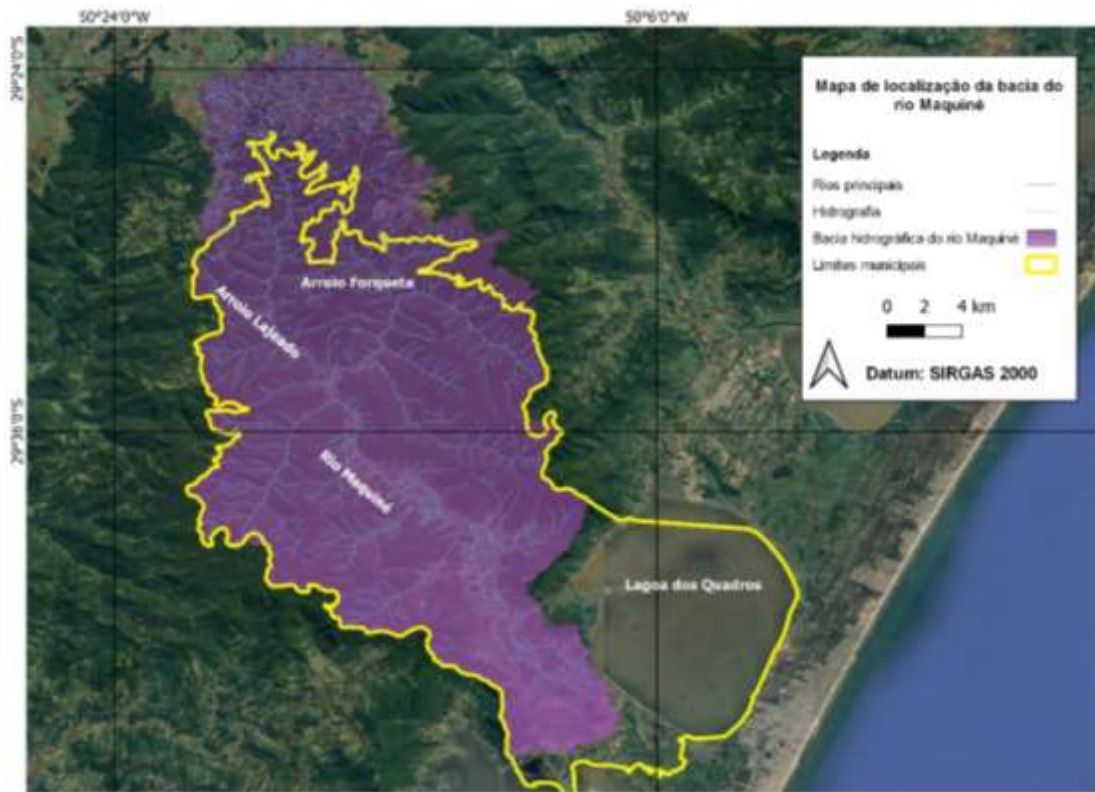
Em relação ao relevo e características hidrodinâmicas, a bacia do rio Maquiné “é caracterizada por apresentar grande fragilidade ambiental dada pela alta declividade, solos rasos nas encostas e pela presença de uma extensa planície fluvial suscetível à inundação. Essa declividade conduz as águas com elevada energia e sedimentos de grande porção (tamanho) que causam erosão do fundo do vale. Isto é o motivo que justifica o relevo escarpado. À medida que essas águas escoam pela planície, a velocidade de escoamento diminui até atingir a sua foz, favorecendo a deposição dos sedimentos” (MENEZES *et al*, 2019a).

A bacia apresenta histórico de inundações bruscas, entre as quais pode-se ressaltar a ocorrida em junho de 2023, devido às chuvas intensas provocadas pelo ciclone extratropical que atingiram o Rio Grande do Sul. A inundação deixou três mortos, 50 desabrigados e mais de 1950 desalojados além de trazer grandes prejuízos econômicos (BRASIL, 2023b).

Em relação a cobertura vegetal, a bacia do rio Maquiné “está inserida no bioma Mata Atlântica e possui destaque por apresentar uma unidade de conservação (Reserva Biológica – REBIO) considerada Patrimônio Nacional pela Constituição Federal de 1988” (MENEZES *et al*, 2019b). A bacia também possui áreas de agricultura, com foco no plantio de hortaliças, em especial na região próxima as margens dos rios. No trecho baixo da bacia do rio Maquiné “a preparação do solo para o plantio frequentemente provoca assoreamento dos rios. Nestas áreas, agricultores plantam hortaliças e utilizam água para a irrigação” (Rio Grande do Sul, 2019).

O município de Maquiné possui 7.418 habitantes e 614 km² de extensão (IBGE, 2022) quase que totalmente inseridos na bacia do rio Maquiné e na lagoa dos Quadros, como pode ser observado na [Figura 12](#). A cidade é essencialmente agrícola e a maior parte da população reside em zona rural, possuindo três distritos: “Barra do Ouro, Morro Alto e Maquiné – o centro. Esse último concentra a maior parte dos serviços e comércio” (CASTRO *et al*, 2009).

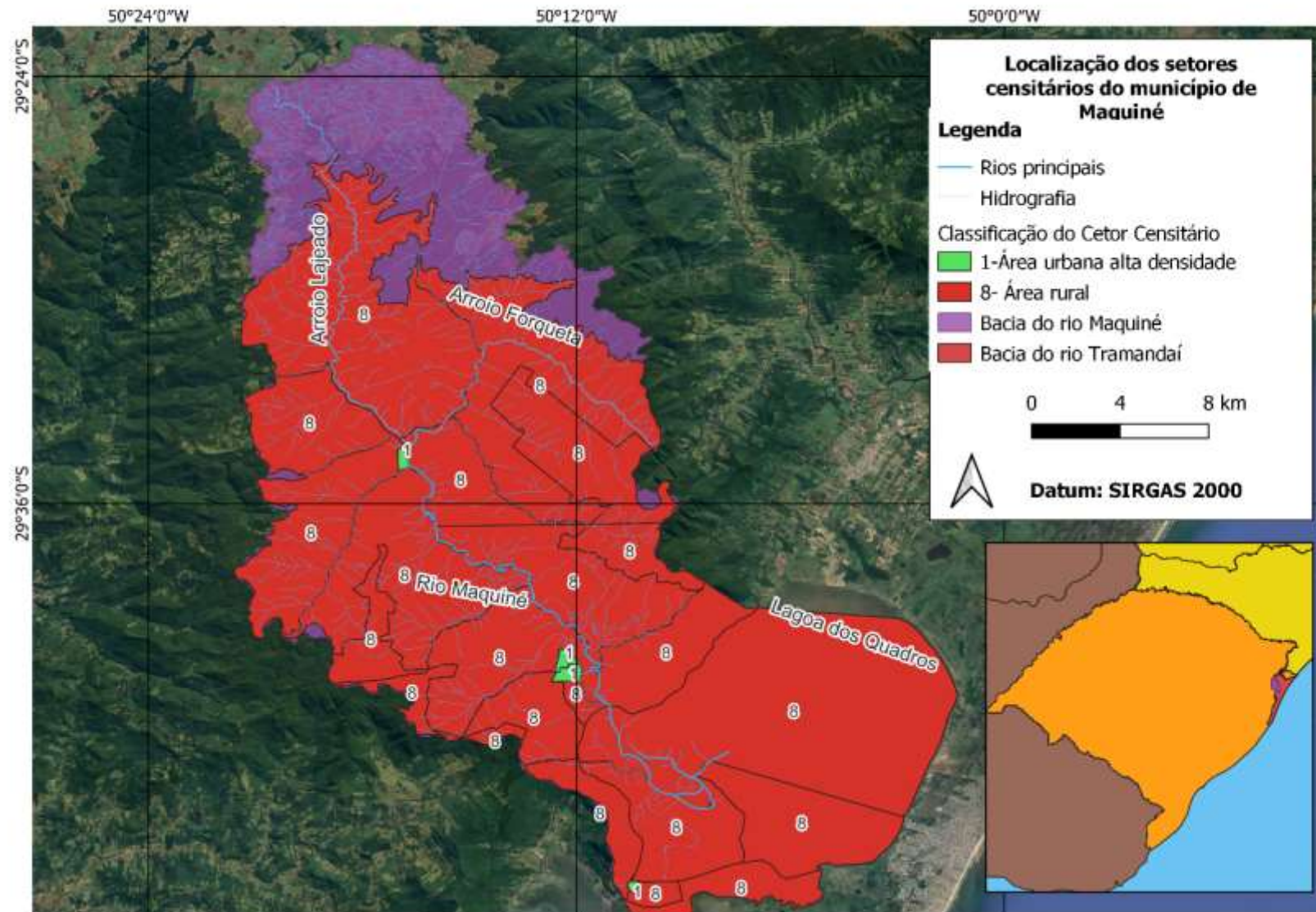
Figura 12- Mapa de localização do município de Maquiné



Fonte: Elaboração própria

No Censo de 2022 (IBGE, 2022), o município foi dividido em 26 setores censitários, sendo quatro do código situação 1 (área urbana com alta densidade de edificações) e 22 do código situação 8: área rural “caracterizada pela dispersão de domicílios e estabelecimentos agropecuários”. Os setores censitários podem ser observados na [Figura 13](#).

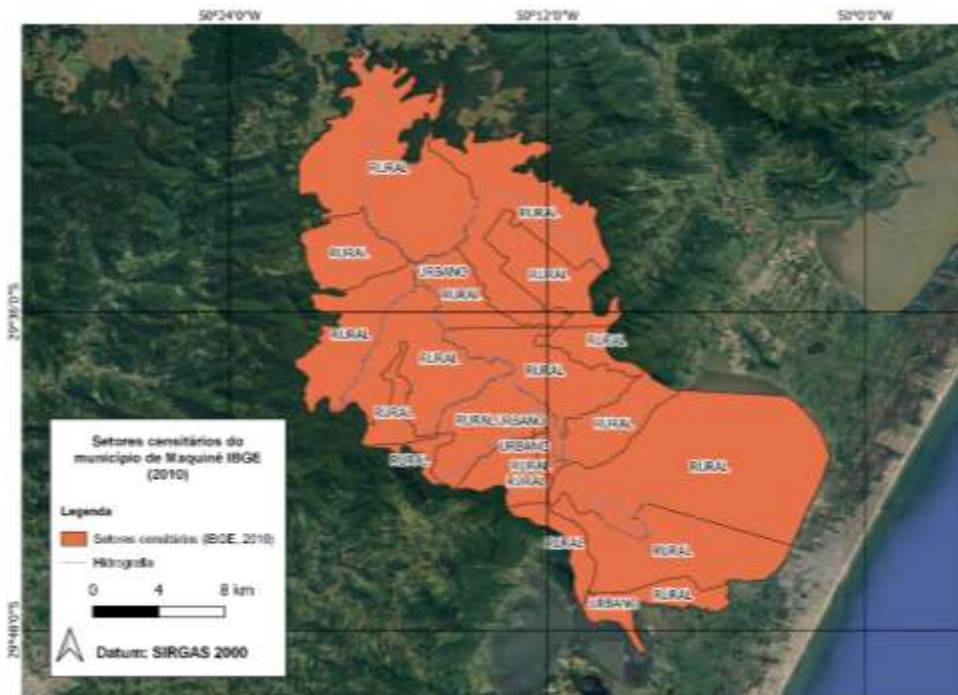
Figura 13- Mapa de localização dos setores censitários do município de Maquiné (IBGE, 2022)



Fonte: Elaboração própria

Até o momento de finalização do presente trabalho, os dados do universo do Censo do IBGE de 2022 não haviam sido disponibilizados. Dessa forma, foi necessário utilizar os dados mais recentes já públicos, que foram do Censo de 2010 (IBGE, 2010). Nesse Censo, o município de Maquiné foi dividido em 23 setores censitários (quatro urbanos e os demais rurais), os quais são apresentados na [Figura 14](#). Essa foi a divisão do município considerada no presente estudo.

Figura 14- Mapa de localização dos setores censitários do município de Maquiné (IBGE, 2010)



Fonte: Elaboração própria

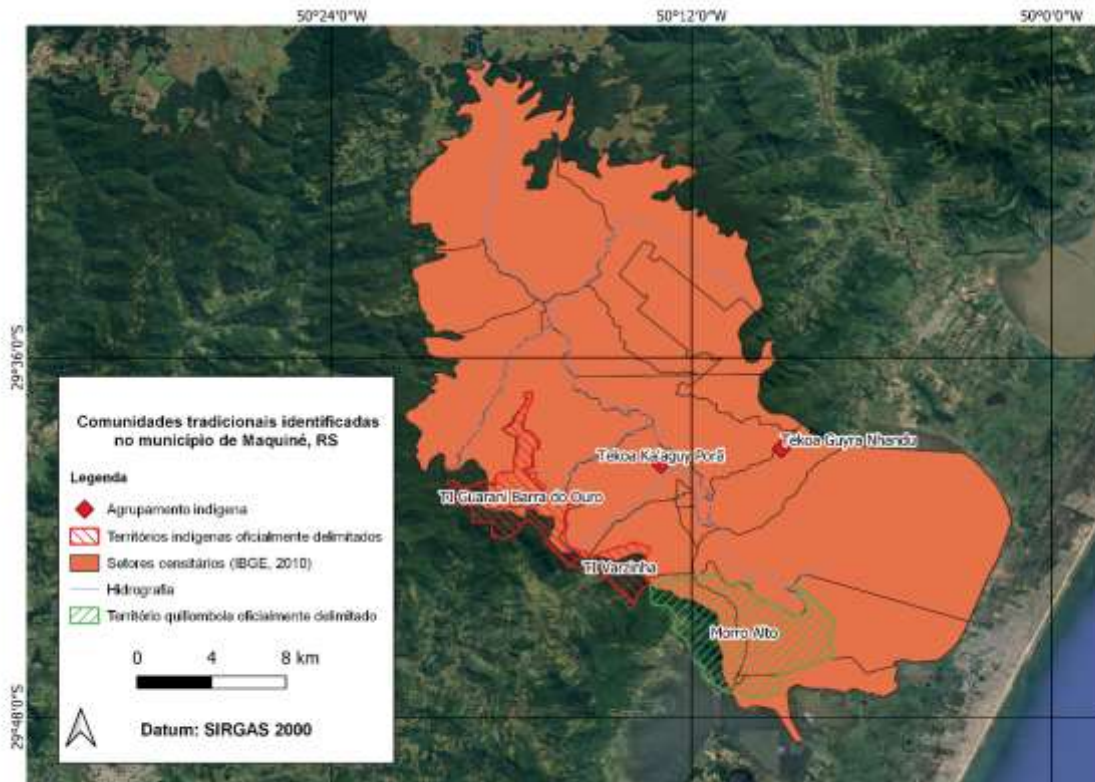
4.3 COMUNIDADES TRADICIONAIS PRESENTES NA ÁREA DE ESTUDO

Comunidades tradicionais “são grupos culturalmente diferenciados e que se reconhecem como tais, que possuem formas próprias de organização social, que ocupam e usam territórios e recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica, utilizando conhecimentos, inovações e práticas gerados e transmitidos pela tradição” (Brasil, 2007). Entre essas comunidades há os territórios indígenas e quilombolas.

No município de Maquiné estão presentes quatro territórios indígenas e um território quilombola (IBGE, 2019). Desses territórios indígenas, dois são oficialmente delimitados: Terra Indígena Guarani Barra do Ouro (código Funai 14101) e Terra Indígena Varzinha (código Funai 49001). Os outros dois territórios são terras indígenas não setorizadas sendo as aldeias Tekoa Guyra Nhandu e Tekoa Ka'aguy

Porã. A comunidade quilombola presente no município é chamada Morro Alto, e é um território oficialmente delimitado. A localização desses territórios pode ser observada na [Figura 15](#). O perigo, vulnerabilidade e risco de inundação será avaliado especialmente nesses territórios em função de suas especificidades na gestão de desastres naturais.

Figura 15- Mapa de localização das comunidades indígenas e quilombolas de Maquiné



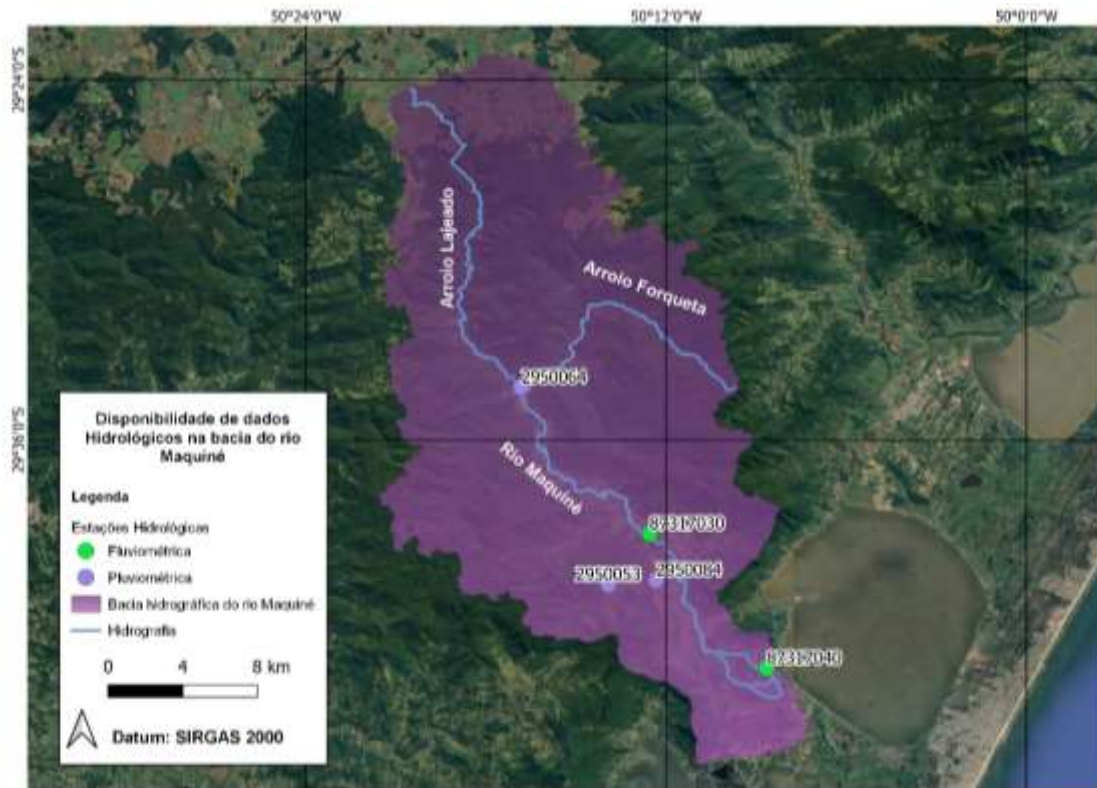
Fonte: Elaboração própria

4.4 DADOS DISPONÍVES

4.4.1 Dados hidrológicos

Para realização de estudos de mapeamento de riscos de inundação, são necessários dados hidrológicos, hidráulicos e topobatimétricos da bacia do rio Maquiné. Em relação aos dados hidrológicos, identificou-se junto ao Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNIRH), a presença de três estações pluviométricas e duas estações fluviométricas na bacia hidrográfica ([Figura 16](#)).

Figura 16- Localização das estações fluviométricas e pluviométricas disponíveis na bacia do rio Maquiné



Fonte: Elaboração própria

A [Tabela 6](#) apresenta as principais informações relevantes a respeito dessas estações. Não foram encontrados dados fluviométricos para o arroio Forqueta ou Lajeado, apenas para o rio Maquiné.

Tabela 6- Informações a respeito das estações fluviométricas e pluviométricas disponíveis na bacia do rio Maquiné

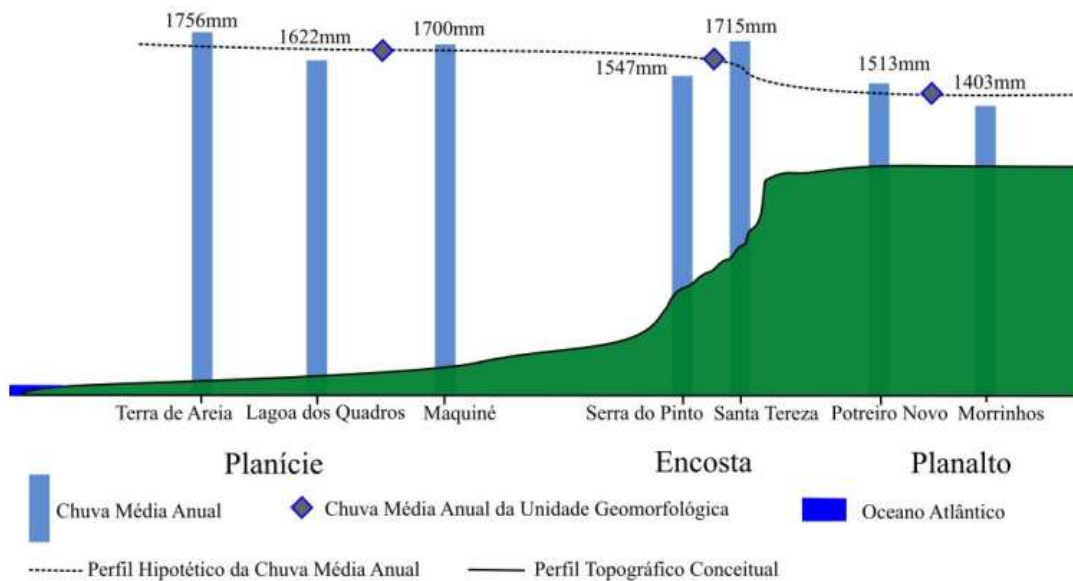
Nome	Código	Tipo	Operador	Corpo hídrico /Município	Área de drenagem	Latitude	Longitude
Maquiné	87317030	Flu	CPRM	Rio Maquiné	436 km ²	29° 39' 8,803" S	50° 12' 34,832" W
Maquiné	87317040	Flu	FEPAM-RS	Rio Maquiné	Não informada	29° 43' 36" S	50° 8' 39" W
Maquiné Centro	2950084	Plu	CEMADEN	Maquiné, RS	Não se aplica	29° 40' 40" S	50° 12' 20" W
Barra do Ouro	2950064	Plu	DEPRC	São Francisco de Paula, RS	Não se aplica	29° 34' 14" S	50° 16' 50" W
Osório - Ipagro	2950053	Plu	INMET	Maquiné, RS	Não se aplica	29° 40' 49" S	50° 13' 56" W

Fonte: Adaptado de ANA (2023)

Em relação a disponibilidade de dados pluviométricos, não foram obtidos dados para nenhuma das estações localizadas no município de Maquiné. Godoy *et al* (2017) realizou uma análise estatística da distribuição de chuva na região da bacia

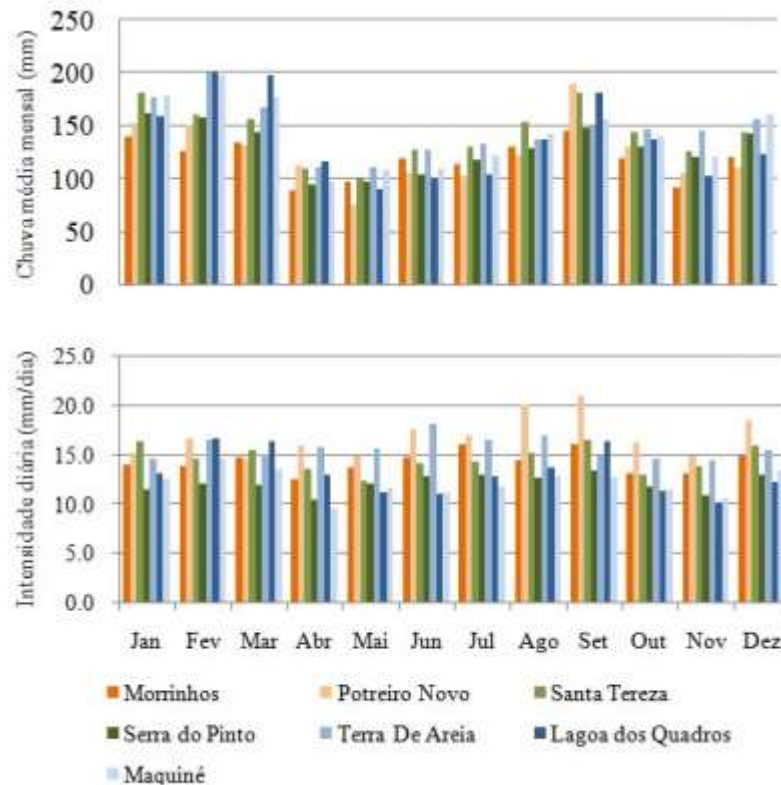
hidrográfica do rio Maquiné utilizando sete estações pluviométricas inseridas dentro e ao entorno da bacia. Foram apontados maiores acumulados das estações de planície (especialmente nos meses de verão), demonstrando a presença do efeito orográfico sobre a distribuição da chuva. As estações pluviométricas utilizadas foram Maquiné, em Maquiné (cujos dados brutos não puderam ser localizados), Potreiro Novo (2950024) e Santa Tereza (2950030), em São Francisco de Paula, Lagoa dos Quadros (2950018) e Terra de Areia (2950038) em Terra de Areia, e Serra do Pinto (2950034) em Itati. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, são ilustradas respectivamente as chuvas médias anuais juntamente com um modelo conceitual de distribuição espacial da chuva ao longo da paisagem e as chuvas médias mensais e a intensidade diária de chuva.

Figura 17- Modelo conceitual da distribuição espacial da chuva anual ao longo da paisagem



Fonte: Godoy et al (2017)

Figura 18- Chuva média mensal (mm) e Intensidade diária da chuva (mm/dia)



Fonte: Adaptado de Godoy et al (2017)

A estação Maquiné (87317030) possui uma série extensa de dados de vazão, de 1981 a 2023, com disponibilidade de dados telemétricos a partir de novembro de 2019. Para a estação Maquiné (87317040) localizada mais a jusante, quase no encontro com a Lagoa dos Quadros, não foi possível obter dados de vazão junto ao SNIRH.

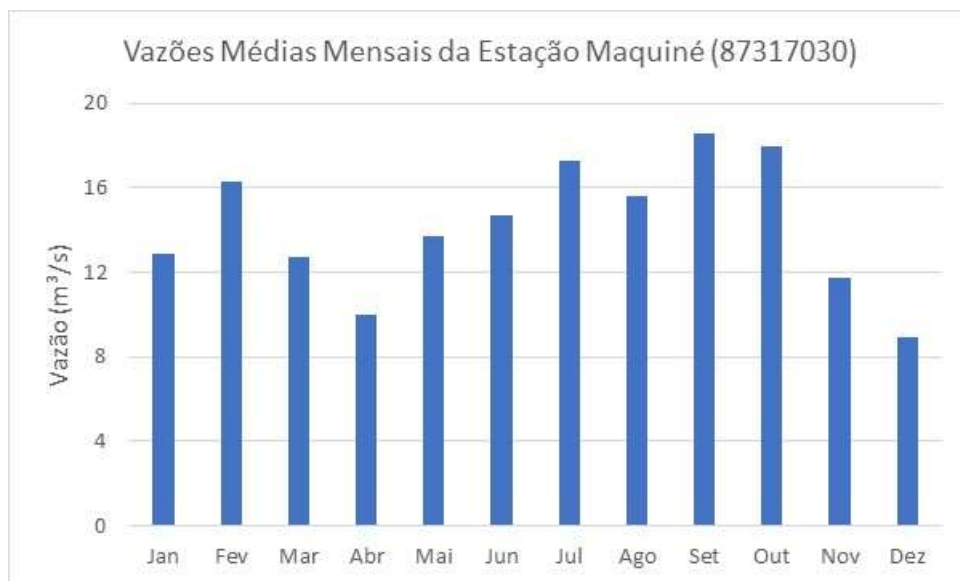
Em relação à estação Maquiné (87317030), a vazão média é por volta de 14 m³/s. A curva de permanência das vazões da estação pode ser visualizada na [Figura 19](#) e suas vazões médias mensais na [Figura 20](#). Percebe-se que os meses de maiores vazões médias são setembro, outubro e julho.

Figura 19- Curva de permanência das vazões da estação Maquiné (87317030)



Fonte: Elaboração própria

Figura 20- Vazões médias mensais da estação Maquiné (87317030)



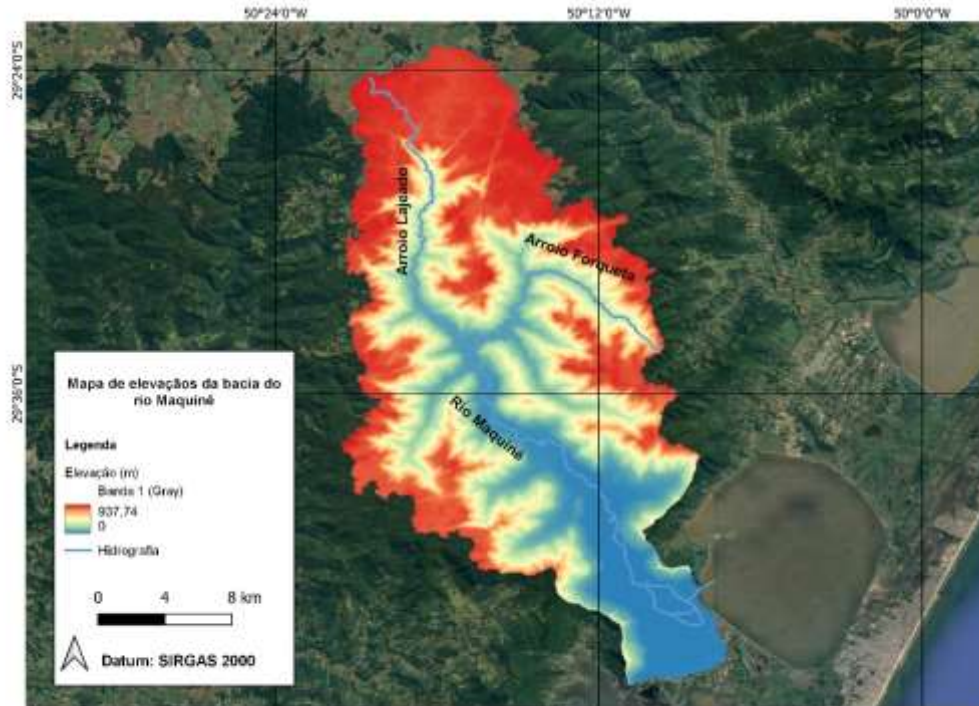
Fonte: Elaboração própria

4.4.2 Dados de elevação

Foram obtidos dados de elevação da região da bacia do rio Maquiné através do Modelo Digital de Terreno (MDT) ANADEM (ANA e UFRGS, 2023). Esse modelo representa a superfície da América do Sul com remoção de viés causado pela vegetação no modelo digital de elevação (MDE) Copernicus GLO-30. O produto foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em parceria com a Agência Nacional de Águas (ANA).

O MDT possui resolução de 30 m, e os dados de elevação da bacia podem ser observados na [Figura 21](#), em que a bacia possui uma variação altimétrica alta em uma bacia pequena.

Figura 21- Dados de elevação com base no MDT ANADEM (ANA e UFRGS, 2023)



Fonte: Elaboração própria

4.5 LEVANTAMENTO EM CAMPO

Em função da resolução do MDE ser de 30 metros, são necessários dados topobatimétricos dos corpos hídricos de interesse, a fim de obter informações mais representativas da profundidade e geometria do canal do rio, das seções transversais. O trabalho de Menezes (2021) realizou o levantamento de 25 seções transversais em um trecho do arroio Forqueta. Essas seções foram disponibilizadas pelo autor para uso no presente trabalho. A localização das seções pode ser observada na [Figura 22](#).

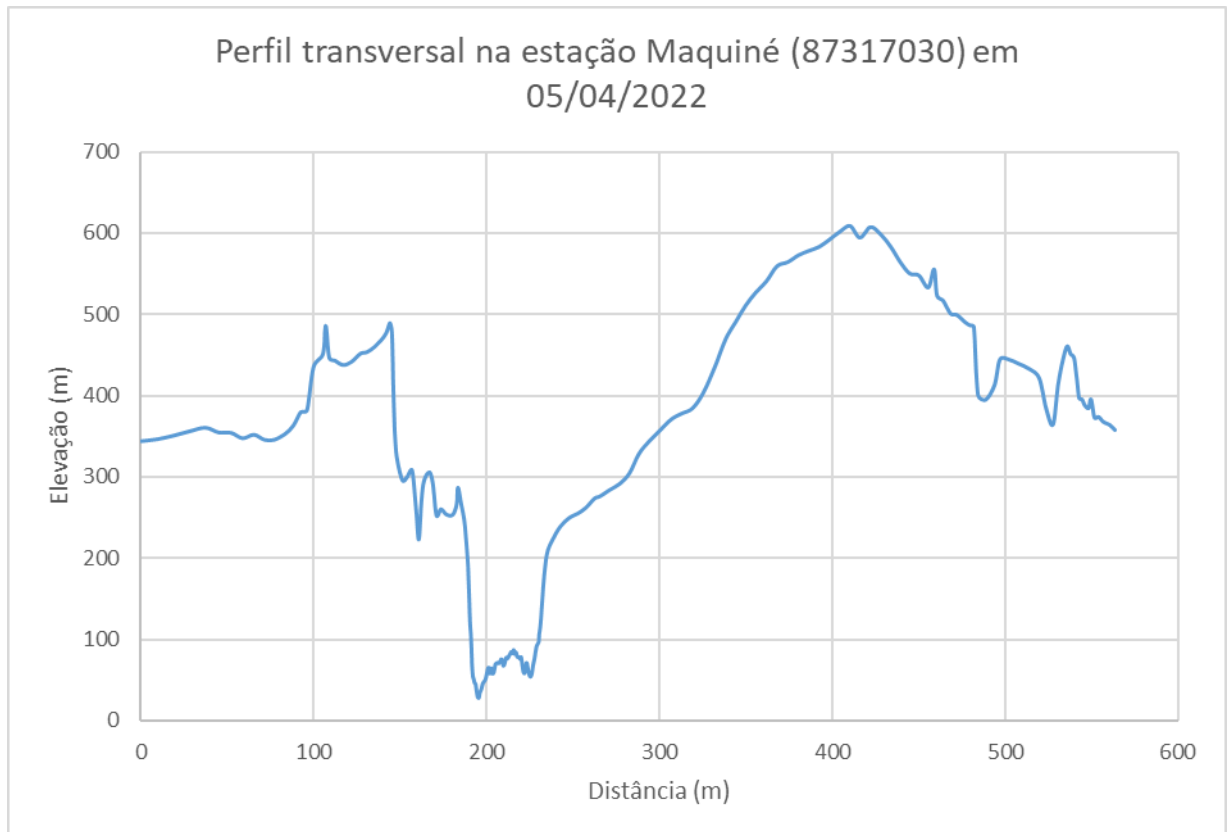
Figura 22- Localização das seções transversais disponíveis no arroio Forqueta (MENEZES, 2021)



Fonte: Elaboração própria

Através do SNIRH (ANA, 2023), foram obtidos também perfis da seção transversal na localização da estação Maquiné (87317030) entre 1981 e 2023. Apesar de não estarem disponíveis valores de longitude e latitude para cada um dos pontos, o perfil ajuda a compreender a geometria das seções no rio Maquiné. O perfil transversal pode ser observado na [Figura 23](#).

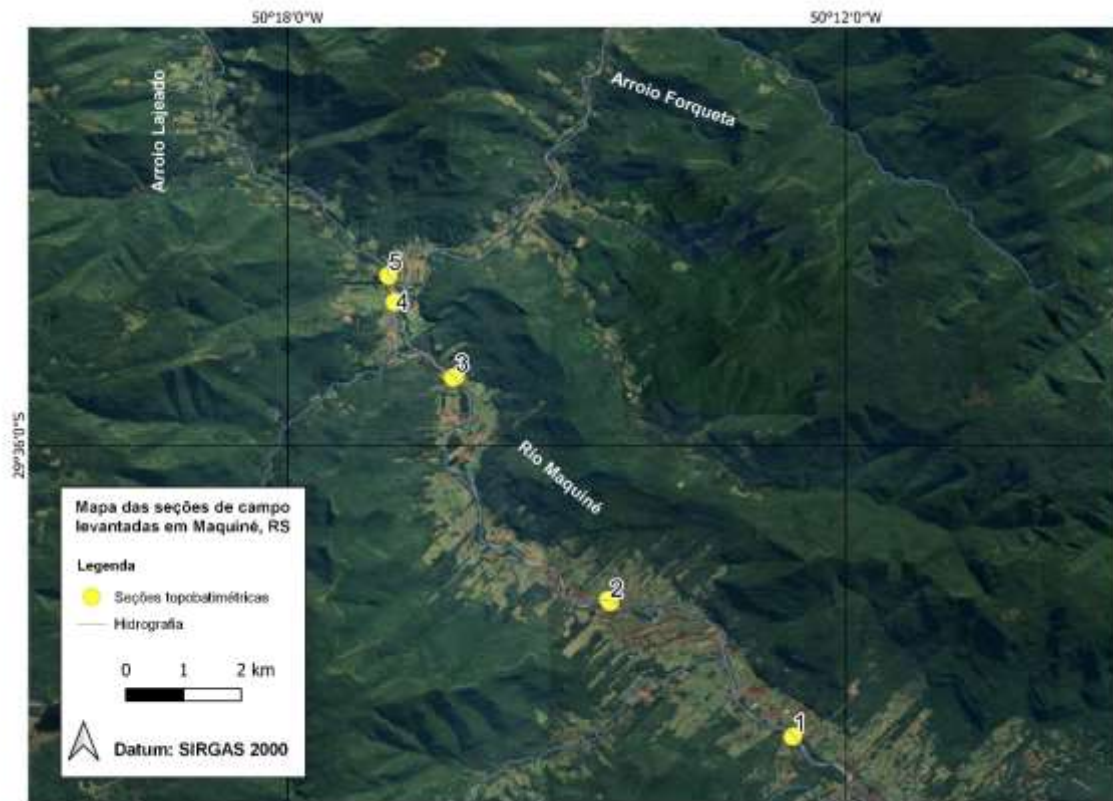
Figura 23- Perfil transversal do rio Maquiné na estação Maquiné (87317030)



Fonte: Adaptado de ANA (2023)

Uma vez que não foram obtidos dados topobatimétricos para o arroio Lajeado e o rio Maquiné, considerou-se necessário o levantamento dessas informações em campo. Os trabalhos de campo foram realizados no dia 27 de outubro de 2023 no município de Maquiné, RS. Levantou-se utilizando estação total, cinco seções transversais, sendo quatro no rio Maquiné e uma no arroio Lajeado. A localização das seções levantadas pode ser observada no mapa da [Figura 24](#) e nas [Figura 25](#), [Figura 26](#), [Figura 27](#), [Figura 28](#) e [Figura 29](#).

Figura 24- Localização das seções transversais levantadas em campo em outubro de 2023



Fonte: Elaboração própria

Figura 25- Seção transversal 1 na estação Maquiné (87317030)



Fonte: Elaboração própria

Figura 26- Seção transversal 2 próxima a ponte dos Biguás



Fonte: Elaboração própria

Figura 27- Seção transversal 3



Fonte: Elaboração própria

Figura 28- Seção transversal 4 logo a jusante da confluência do arroio Lajeado e arroio Forqueta



Fonte: Elaboração própria

Figura 29- Seção transversal 5 no arroio Lajeado



Fonte: Elaboração própria

Para georreferenciar os dados obtidos com a estação total, foram obtidos em campo as coordenadas de localização da estação e da posição de ré em cada seção. A altitude foi amarrada utilizando o MDE, uma vez que não foram obtidos dados mais precisos.

Além do levantamento das seções transversais, foi realizada a medição de vazão utilizando um micromolinete nas seções 1 (rio Maquiné) e 5 (arroio Lajeado). Foi utilizada a hélice 244242 – 3. Mediu-se a profundidade e velocidade nas seções utilizando um espaçamento de 2 m a partir da margem direita. Quando a profundidade foi menor do que 0,6 m, mediu-se a velocidade apenas uma vez, a 60% da profundidade. Quando superou 0,6 m, mediu-se duas vezes a velocidade, nas profundidades de 20% e 80%. A velocidade é medida pelo micro molinete pelo número de rotações a cada 40 segundos. Para converter é necessário utilizar a [Equação 4](#), onde V é a velocidade em m/s e N a velocidade observada, conforme especificação do fabricante.

Equação 4. Equação da velocidade

$$V = 0,26185 \times N + 0,00700$$

Para obter as vazões, utilizou-se a [Equação 5](#) para calcular a vazão em cada seção vertical, onde Q é a vazão em m³/s, V é a velocidade média na vertical e A é a área. Foi utilizado o método da seção média. A área foi calculada pelo produto da profundidade com a largura de cada seção vertical. A vazão total na seção de transversal foi obtida pela soma das vazões nas seções verticais.

Equação 5. Equação da vazão na seção

$$Q = V \times A$$

4.6 MAPEAMENTO DE RISCO

Para o mapeamento das áreas de risco, foi utilizada a Classificação de Risco Brasileira para inundações (CRBi) proposta por Monte (2022). Essa metodologia foi escolhida por ser um método atual (desenvolvido em 2022), ainda pouco explorado. Foi escolhida também pelo uso de modelagem hidrodinâmica para determinação de perigo, e pela ampla variedade de indicadores utilizados na vulnerabilidade.

A CRBi classifica o risco de inundação de um setor censitário em um município, e é dividida em dois subíndices: de perigo e vulnerabilidade (abordados em maior profundidade nos itens 4.6.1 e 4.7.1), com os quais é possível calcular o risco. O risco para cada setor censitário é calculado utilizando a [Equação 6](#), onde *Perigo* é o resultado normalizado do subíndice de perigo para o setor, e *Vulnerabilidade* é o resultado normalizado do subíndice de vulnerabilidade.

Equação 6. Risco de um setor censitário (MONTE, 2022)

$$Risco = Perigo * Vulnerabilidade$$

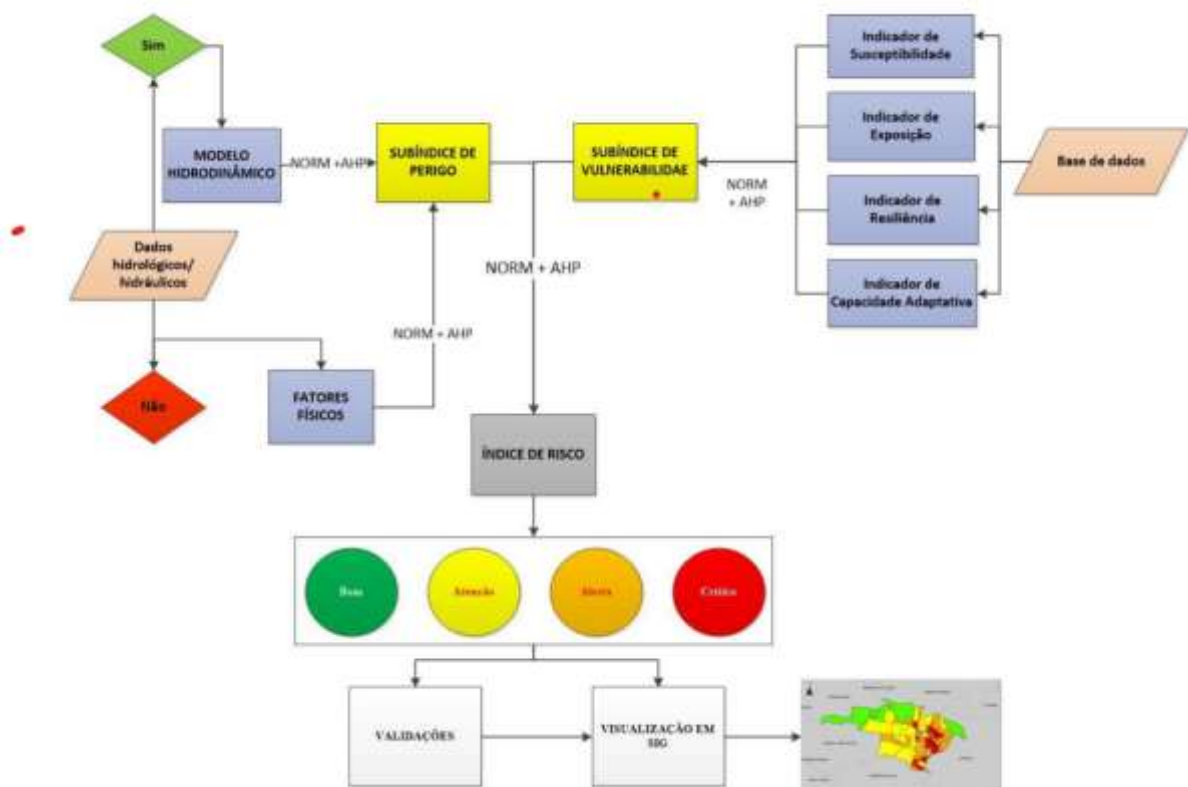
Os resultados são classificados conforme a [Tabela 7](#). O fluxograma de aplicação da metodologia da CRBi pode ser visualizado na [Figura 6](#).

Tabela 7- Classificação dos resultados de risco

Resultado	Classificação	Descrição
$\leq 0,25$	Bom	Resultado satisfatório, normalmente não precisam de intervenções
$> 0,25 e \leq 0,50$	Atenção	Região que necessita de algum nível de intervenção para evitar custos de recuperação muito altos
$> 0,50 e \leq 0,75$	Alerta	Região que necessita de intervenção prioritária
$> 0,75$	Crítico	Região que necessita de intervenção imediata pela criticidade do potencial de risco

Fonte: Adaptado de Monte (2022)

Figura 30- Classificação de Risco Brasileira a Inundações (CRBi)



Fonte: Monte (2022)

Para atribuição de pesos aos subíndices, indicadores e subindicadores, a CRBi utilizou o método de análise *Analytical Hierarchical Process* (AHP), o qual utiliza uma matriz em que se realiza uma comparação par-a-par dos critérios de acordo com uma

escala determinada. Classifica-se entre dois critérios qual o mais relevante, para cada par, e os pesos são obtidos pelo vetor próprio da matriz.

Os subíndices de perigo, subíndice de vulnerabilidade e seus indicadores e subindicadores foram escalonados, a fim de que seus valores (V) se mantivessem entre 0 (valor mínimo) e 1 (valor máximo), conforme a [Equação 7](#).

Equação 7. Normalização (MONTE, 2002)

$$V_{\text{escalonado}} = \frac{V_{\text{observado}} - V_{\text{mínimo}}}{V_{\text{máximo}} - V_{\text{mínimo}}}$$

4.6.1 Mapeamento de perigo

Para o subíndice de perigo, o CRBi utiliza o Índice de Perigo (IP), desenvolvido por Stephenson (2002). O IP é demonstrado na [Equação 2](#), onde h é a profundidade, em metros; v é a velocidade, em m/s, e IP é o índice de perigo, em m^2/s .

Equação 8. Índice de Perigo de Inundação (STEPHENSON, 2002)

$$IP = h \times v$$

Os resultados de profundidade e velocidade para diferentes tempos de retorno foram obtidos através de modelagem hidrodinâmica utilizando o software HEC-RAS 6.1.0. A determinação dos hidrogramas de projeto e estruturação do modelo é descrita na seção 4.7.

As classes de perigo são baseadas na metodologia da PREVENE (2001) e foram feitos mapas de perigo para tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos. Esses tempos de retorno são os definidos pela metodologia CRBi. Entende-se que nas últimas décadas vem sendo observado um aumento na intensidade e frequência de eventos extremos, e que existem incertezas associadas na determinação dos hidrogramas de projeto. Ainda assim, optou-se por utilizar a metodologia da forma como foi desenvolvida.

Tabela 8- Definição do perigo de inundação

Nível do Perigo	Cor do Mapa	Descrição
Alto (4)	Vermelho	As pessoas estão em perigo, tanto dentro quanto fora de suas casas. As construções estão em alta possibilidade de serem destruídas.
Médio (3)	Laranja	As pessoas correm possibilidade de fatalidades fora de suas casas. Construções talvez sofram danos e podem ser destruídas.
Baixo (2)	Amarelo	A possibilidade de fatalidades é baixa ou inexistente. Construções sofrem danos.

Muito baixo (1)	Verde	Danos e fatalidades só ocorrem em eventos muito raros
-----------------	-------	---

Fonte: Adaptado de Monte (2022) e PREVENE (2001)

Os mapas com diferentes tempos de retorno possuem diferentes critérios de elaboração. Esses critérios são:

- Mapa com tempo de retorno de 100 anos
 - Se o índice de perigo (velocidade x profundidade) for maior ou igual $0,5 \text{ m}^2\cdot\text{s}$, a célula terá o subíndice de perigo Crítico;
 - Se o índice de (velocidade x profundidade) for menor do que $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$, a célula terá o subíndice de perigo Atenção;
- Mapa com tempo de retorno de 50 anos
 - Se o índice de perigo (velocidade x profundidade) for maior ou igual $0,5 \text{ m}^2\cdot\text{s}$, a célula terá o subíndice de perigo Crítico;
 - Se a velocidade for maior ou igual a $0,9 \text{ m/s}$ ou a profundidade superior ou igual $0,2 \text{ m}$, a célula terá o subíndice de perigo Alerta;
 - Se a velocidade for inferior a $0,9 \text{ m/s}$ e profundidade menor do que $0,2 \text{ m}$ ou se a profundidade for menor que $0,1 \text{ m}$, a célula terá o subíndice de perigo Atenção;
- Mapa com tempo de retorno de 10 anos
 - Se o índice de perigo (velocidade x profundidade) for maior ou igual $0,5 \text{ m}^2\cdot\text{s}$, a célula terá o subíndice de perigo Crítico;
 - Se a velocidade for maior ou igual a $0,9 \text{ m/s}$ ou a profundidade superior ou igual $0,2 \text{ m}$, a célula terá o subíndice de perigo Alerta;
 - Se a velocidade for inferior a $0,9 \text{ m/s}$ e profundidade menor do que $0,2 \text{ m}$ ou se a profundidade for menor que $0,1 \text{ m}$, a célula terá o subíndice de perigo Atenção;

Para cálculo do subíndice de perigo, foi gerado um único mapa a partir dos mapas anteriores. Esse mapa foi produzido ressaltando-se a as células com o maior nível de perigo. Ou seja, as células com nível de perigo Crítico se sobressaiam às células de nível de perigo Alerta ou Atenção, e assim consecutivamente.

Todos os mapas foram gerados a partir dos resultados da modelagem hidrodinâmica e utilizando o software de geoprocessamento QGIS.

4.6.2 Mapeamento de vulnerabilidade

O subíndice de vulnerabilidade do CRBi utiliza quatro indicadores (exposição, suscetibilidade, falta de resiliência e capacidade adaptativa), todos normalizados nas mesmas subdivisões (bom, atenção alerta e crítico). A vulnerabilidade é formada pela soma normalizada desses indicadores e é classificada conforme na [Tabela 9](#). Cada subindicador é multiplicado por um peso normalizado (atribuído por Monte (2022)), os quais são observados na [Tabela 10](#).

Tabela 9- Classes do subíndice vulnerabilidade

Classificação	Resultado
Bom	$\leq 0,250$
Atenção	$> 0,250 \text{ e } \leq 0,500$
Alerta	$> 0,500 \text{ e } \leq 0,750$
Crítico	$> 0,750$

Fonte: Adaptado de Monte (2022)

Tabela 10- Pesos AHP para os subindicadores da vulnerabilidade

Subindicador	Peso normalizado
Exposição	0,273
Suscetibilidade	0,364
Falta de Resiliência	0,182
Capacidade Adaptativa	0,182

Fonte: Adaptado de Monte (2022)

4.6.2.1 Indicador de Exposição

O indicador de exposição expressa elementos em possível risco entre o uso da terra (infraestrutura) e elementos humanos (população). Ele é formado por 5 subindicadores, cuja classificação e descrição se apresenta na [Tabela 11](#). Os subindicadores são:

- Densidade populacional: é a quantidade de habitantes por km². As classes são estabelecidas considerando os quartis da própria densidade populacional do município;
- Densidade populacional por domicílio: é a quantidade de pessoas por habitação;
- Infraestruturas críticas: são definidas como: “aquelas essenciais em situações de uma inundação: abrigos, escolas, ginásios, delegacia ou batalhão de polícia, corpo de bombeiros, defesa civil, escolas, hospitais e

postos de saúde” (MONTE, 2022). Esse subindicador é analisado a nível municipal, visto que as estruturas servem para mais de um setor censitário. A identificação dessas estruturas foi solicitada junto à prefeitura de Maquiné;

- Percentual de área ocupada: corresponde ao percentual de quadras ocupadas ou de possível ocupação futura em relação à área total do setor censitário. Esse dado foi solicitado junto à prefeitura;
- Tipo de moradia (material de construção): se refere ao percentual de moradias semiadequadas ou não adequadas, segundo a classificação do IBGE, em relação ao total de moradias no setor censitário;

Tabela 11- Classes dos subindicadores do Indicador Exposição

Subindicador	Fonte	Peso normalizado	Classe (classificação)			
			Crítico (4)	Alerta (3)	Atenção (2)	Bom (1)
Densidade populacional (hab/km ²)	IBGE (2010)	0,333	>51,17	>13,81 e ≤51,17	>3,53 e ≤13,81	≤3,53
Densidade populacional por domicílio (pessoas/habitação)	IBGE (2010)	0,083	>4	>3 e ≤4	>2 e ≤3	≤2
Infraestruturas críticas	Prefeitura de Maquiné (2023)	0,167	≥ 4	3	2	≤ 1
Percentual de área ocupado (%)	Prefeitura de Maquiné (2023)	0,333	>75	>50 e ≤75	>25 e ≤50	≤25
Percentual de moradia semi ou inadequada em cada setor censitário (%)	IBGE (2010)	0,083	>75	>50 e ≤75	>25 e ≤50	≤25

Fonte: Adaptado de Monte (2022)

4.6.2.2 Indicador de Suscetibilidade

Este indicador reflete as capacidades dos indivíduos, grupos ou sistemas na área socioeconômica para suportar o evento de desastre. Ele é formado por 6 subindicadores, cuja classificação é demonstrada na [Tabela 12](#). Os subindicadores são:

- Leitos hospitalares por 10.000 habitantes: são considerados o número de leitos do Sistema Único de Saúde (SUS) para cada 100.000 habitantes. Esse subindicador reflete a capacidade do sistema de saúde atender a população atingida no evento de um desastre;
- Falta de acesso a saneamento: são considerados os dados de abastecimento de água, acesso a coleta de esgoto e acessos a coleta de resíduos sólidos, considerando que não há dados de drenagem a nível de setor censitário. Esse subindicador expressa o percentual de pessoas

sem ao menos um dos serviços básicos de saneamento. Foram considerados sem coleta de esgoto os municípios com esgotamento sanitário via fossa rudimentar, vala, rio, lago ou mar ou outro escoadouro. Já em relação ao abastecimento de água, os municípios com água de poço ou nascente na propriedade, água da chuva armazenada na cisterna ou outras formas de abastecimento de água que não através da rede geral foram considerados sem acesso. Por fim, foram considerados sem coleta de resíduos: municípios com coleta em caçambas de serviço de limpeza lixo queimado, enterrado ou jogado em terreno baldio, logradouro, rio, lago ou mar, ou outro destino que não a coleta por serviço de limpeza;

- Percentual de mulheres como chefe de famílias: segundo Monte (2022), esse subindicador é relevante por mulheres de forma geral receberem menor remuneração e possuírem maior responsabilidade no círculo familiar, em função da distribuição desigual das atribuições domésticas e de cuidado na sociedade brasileira;
- Renda familiar média: a classificação leva em consideração as classes sociais por faixas de salário-mínimo do IBGE. O total de rendimento do setor censitário foi dividido pelo total de domicílios existentes, entendendo que a maioria dos domicílios representa um núcleo familiar (Monte, 2022). O salário-mínimo no Brasil em 2010 foi de R\$510,00;
- Percentual de população com dependência: como população com dependência são considerados pessoas com idade igual ou menor que 15 anos e maiores que 60 anos. Não foram consideradas pessoas com deficiência, uma vez que não existe esse levantamento;
- Percentual de pessoas na linha de pobreza: a linha de pobreza em 2010 estabelecida pelo IBGE foi de R\$70 reais per capita considerando o rendimento nominal mensal domiciliar (PASSARINHO, 2011). O percentual de pessoas na linha de pobreza foi considerado pelo número de pessoas com renda até meio salário-mínimo (a linha de pobreza corresponde a aproximadamente 13,7% do salário-mínimo em 2010, porém não há dados mais discretizados no censo);

Tabela 12- Classes dos subindicadores do Indicador Suscetibilidade

Subindicador	Fonte	Peso normalizado	Classe (classificação)			
			Crítico (4)	Alerta (3)	Atenção (2)	Bom (1)
Leitos hospitalares por 100.000 habitantes	IBGE	0,125	≤8	>8,1 e ≤21	>21,1 e ≤40,16	>40,16
Percentual de domicílios sem saneamento básico (%)	IBGE	0,250	>75	>50 e ≤75	>25 e ≤50	≤25
Percentual de mulheres como chefe de famílias (%)	IBGE	0,125	>75	>50 e ≤75	>25 e ≤50	≤25
Renda média familiar (salários-mínimos)	IBGE	0,250	≤2 (Classe E)	>2 e ≤10 (Classe D e C)	>10 e ≤20 (Classe B)	>20 (Classe A)
Percentual de população com dependência (%)	IBGE	0,125	>75	>50 e ≤75	>25 e ≤50	≤25
Percentual de pessoas na linha da pobreza (%)	IBGE	0,125	>75	>50 e ≤75	>25 e ≤50	≤25

Fonte: Adaptado de Monte (2022)

4.6.2.3 Indicador de Falta de Resiliência

Este indicador possui capacidade de identificar dados referentes à capacidade de enfrentamento e recuperação de um desastre. Ele é formado por 7 subindicadores, cuja classificação e descrição é demonstrada na [Tabela 13](#). Os subindicadores são:

- Quantidade de meios de comunicação para alertar a população: esse subindicador avalia como ocorre o contato do município com os moradores em situação de desastres. Esses meios de comunicação podem ser: rádio, celular, jornal, redes sociais ou televisão, por exemplo. Esse subindicador demonstra o grau de relação entre a população e os órgãos responsáveis pela mitigação dos efeitos de desastres;
- Percentual de analfabetismo: é identificado o percentual de pessoas sem a capacidade de ler e escrever com 12 ou mais anos de idade. Esse dado é relevante para avaliar a efetividade de meios de comunicação escritos e de sinalizações de rotas de fuga, por exemplo;
- Quantidade de instituições de gestão de desastres: esse subindicador identifica se existem instituições que trabalham na prevenção, mitigação, resposta e recuperação de desastres. Essas instituições podem ser: centros de pesquisa científica (que possua trabalhos e cooperações com outras esferas da sociedade); sistema ou sala de alerta; secretaria ou coordenadoria de defesa civil, corpo de bombeiros e estrutura médica hospital para resposta e recuperação etc.;
- Rotas de evacuação (km/km²): nesse subindicador identifica-se a extensão das rotas de evacuação, se existentes, por km²;

- Quantidade de abrigos: identifica-se a quantidade de estruturas voltadas para abrigos e apoio psicológico da população;
- Percentual da população sem residência própria ou própria não quitada: é identificado o percentual de pessoas que vivem em residências alugadas, cedidas por empregador ou de outra forma ou não quitadas;
- Percentual de população com necessidade de auxílios financeiros externos como renda: são identificados o percentual de população com rendimento mensal que depende de auxílios sociais governamentais ou outras fontes. O programa bolsa-família é a principal fonte de auxílio financeiro para população de baixa renda do Governo Federal;

Tabela 13- Classes dos subindicadores do Indicador Falta de Resiliência

Subindicador	Fonte	Peso normalizado	Classe (classificação)			
			Crítico (4)	Alerta (3)	Atenção (2)	Bom (1)
Quantidade de meios de comunicação para alertar a população	Prefeitura	0,174	≤1	2	3	≥ 4
Taxa de analfabetismo (%)	IBGE	0,130	>75	>50 e ≤75	>25 e ≤50	≤25
Quantidade de instituições de gestão de desastres	Prefeitura	0,130	≤1	2	3	≥ 4
Rotas de evacuação (km/km ²)	Prefeitura	0,174	≤25	>25 e ≤50	>50 e ≤75	>75
Quantidade de estruturas de abrigos	Prefeitura	0,174	≤1	2	>2 e ≤5	>5
População sem residência própria ou própria não quitada (%)	IBGE	0,130	>75	>50 e ≤75	>25 e ≤50	≤25
População que necessita de auxílios financeiros externos como renda	Ministério da Cidadania	0,087	>75	>50 e ≤75	>25 e ≤50	≤25

Fonte: Adaptado de Monte (2022)

4.6.2.4 Indicador de Falta de Capacidade Adaptativa

Este indicador diz respeito a dados referentes a preparações, mudanças, ajustes e respostas de um desastre. Ele é formado por 4 subindicadores, cuja classificação e descrição é demonstrada na [Tabela 14](#). Os subindicadores são:

- Percentual de população sem curso superior: esse indicador expressa o percentual da população que não concluiu o ensino superior;
- Quantidade de atores sociais envolvidos em eventos de desastre: considera-se a quantidade de atores que atuam para facilitar o fluxo de engajamento, aprendizagem, adaptação, transformação, além de ajudar no suporte à emergência e com capital financeiro (MONTE, 2022);
- Quantidade de políticas para o meio-ambiente: quantifica o número de leis, decretos, normas ou códigos ambientais municipais que contribuam na não ocupação de áreas passíveis de inundação. Nesse contexto inclui-

se plano diretor, código de obras, código de edificações, leis para preservação e recomposição de Área de Preservação Permanente (APP) e/ou lei florestal (MONTE, 2022);

- Qualidade do sistema de alerta: considera-se que um sistema de alerta deva possuir tempo suficiente para retirada de pessoas, repassar conteúdo detalhado, ser considerado confiável e possuir meios de comunicação suficientes para repassar a informação (MONTE, 2022);

Tabela 14- Classes dos subindicadores do Indicador Falta de Capacidade Adaptativa

Subindicador	Fonte	Peso normalizado	Classe (classificação)			
			Crítico (4)	Alerta (3)	Atenção (2)	Bom (1)
Pessoas sem curso superior (%)	IBGE	0,400	≥ 75	>50 e ≤ 75	>25 e ≤ 50	≤ 25
Quantidade de atores sociais envolvidos em eventos de desastres	Prefeitura	0,200	≤ 1	2	3	≥ 4
Quantidade de leis, decretos, normas, código ambientais	Prefeitura	0,200	≤ 1	2	3	≥ 4
Quantidade de características que qualificam o sistema de alerta	Prefeitura	0,200	≤ 1	2	3	≥ 4

Fonte: Adaptado de Monte (2022)

4.7 MODELAGEM HIDRODINÂMICA

O modelo HEC-RAS é um modelo hidrodinâmico baseado nas equações de Saint-Venant que simula escoamento em canais. O modelo possibilita a realização simulações unidimensionais e bidimensionais nos regimes permanente, semipermanente e não-permanente. Todas as equações de desenvolvimento do modelo, variáveis e condições de contorno estão descritas nos seus manuais (BRUNNER, 2016b, 2016a, 2016c).

Foi utilizado o software HEC-RAS 6.1.0 para simular eventos de inundação na bacia do rio Maquiné para tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos. Foi utilizada a modelagem na forma bidimensional (2D). Os itens abaixo descrevem os principais dados de entrada, condições de contorno e características das modelagens realizadas.

4.7.1 Hidrograma de Projeto

Uma das etapas mais importantes da modelagem hidrodinâmica é a determinação dos hidrogramas de projeto, os quais podem ser determinados com base em dados históricos de vazão ou com base na precipitação, com um risco

escolhido (TUCCI, 2012). Os hidrogramas de projeto envolvem três variáveis: a vazão máxima, o volume e a distribuição temporal.

Como citado anteriormente (seção 4.4.1), há disponibilidade de dados fluviométricos na bacia apenas para o rio Maquiné, e não para os arroios Forqueta e Lajeado.

Para determinação das vazões máximas de projeto, assumiu-se que os dados de vazão da estação Maquiné (87317030) seguem a distribuição de probabilidade teórica de Gumbel, a qual é adequada para análise de valores extremos (COLLISCHONN, 2015). Considerando essa distribuição, a vazão para um determinado tempo de retorno pode ser obtida pela [Equação 9](#), onde x é o valor da vazão máxima desejada; \bar{x} é a média das vazões máximas anuais; s é o desvio padrão das vazões máximas anuais e TR é o tempo de retorno, em anos.

Equação 9. Índice de Perigo de Inundação (STEPHENSON, 2002)

$$x = \bar{x} - s \{0,45 + 0,7797 \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{TR}{TR} \right) \right] \}$$

Determinou-se para cada ano entre 1981 e 2023 a vazão máxima observada (considerando-se a partir de 2019 os dados telemétricos), e aplicando a [Equação 9](#) calculou-se a vazão máxima para os tempos de retorno de 10, 25 e 100 anos.

Para definição do volume e distribuição temporal, foi utilizado o método do hidrograma crítico de Sokolov et al (1975), que gera um hidrograma de projeto com base em um evento crítico observado. Essa é uma limitação da determinação, uma vez que não necessariamente um mesmo padrão de hidrograma seria observado para diferentes tempos de retorno.

Nesse método, as ordenadas são calculadas pela [Equação 10](#) onde Q_t é a vazão num determinado intervalo de tempo, Q_i é a vazão do hidrograma observado no mesmo intervalo e K é um coeficiente determinado pela [Equação 11](#). Na [Equação 11](#), Q_p é a vazão máxima instantânea para o tempo de retorno escolhido e Q_x é a vazão máxima o hidrograma observado.

Equação 10. Ordenadas do hidrograma de projeto (TUCCI, 2012)

$$Q_t = K \cdot Q_i$$

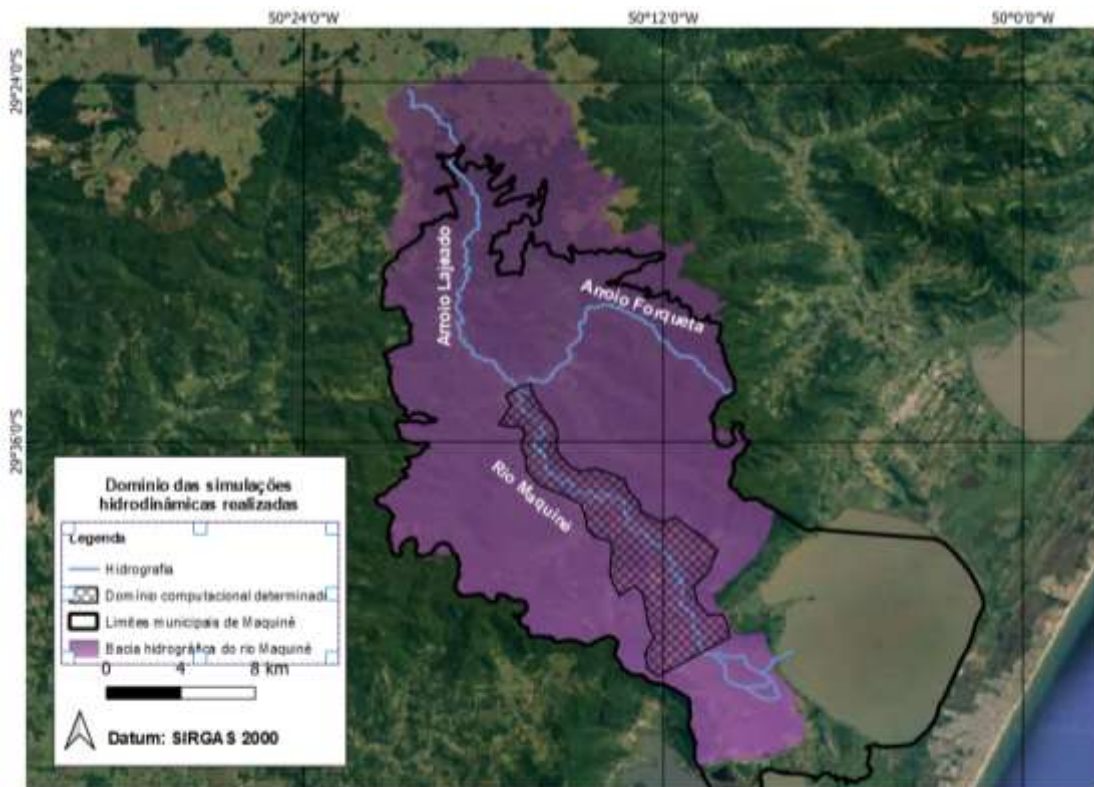
Equação 11. Coeficiente K (TUCCI, 2012)

$$K = \frac{Q_p}{Q_x}$$

4.7.2 Domínio da simulação e dados de terreno

Devido à ausência de dados hidrológicos nas bacias dos arroios Forqueta e Lajeado, e da disponibilidade limitada de dados topobatimétricos nesses corpos hídricos, optou-se por limitar o domínio da simulação ao rio Maquiné e a região mais densamente habitada do município. Foi definida uma malha de simulação com espaçamento de 30 m, a qual inicia logo a montante da confluência dos arroios e termina 6 km antes da foz do rio Maquiné, a jusante da ponte da Rodovia Governador Mario Covas sobre o rio. A malha computacional pode ser observada na [Figura 31](#). A resolução da malha é uma limitação, porém foi aplicada essa simplificação a fim de ganhar celeridade computacional, e considerando que o MDT utilizado possui 30 m de resolução.

Figura 31- Malha computacional utilizada nas simulações hidrodinâmicas



Fonte: Elaboração própria

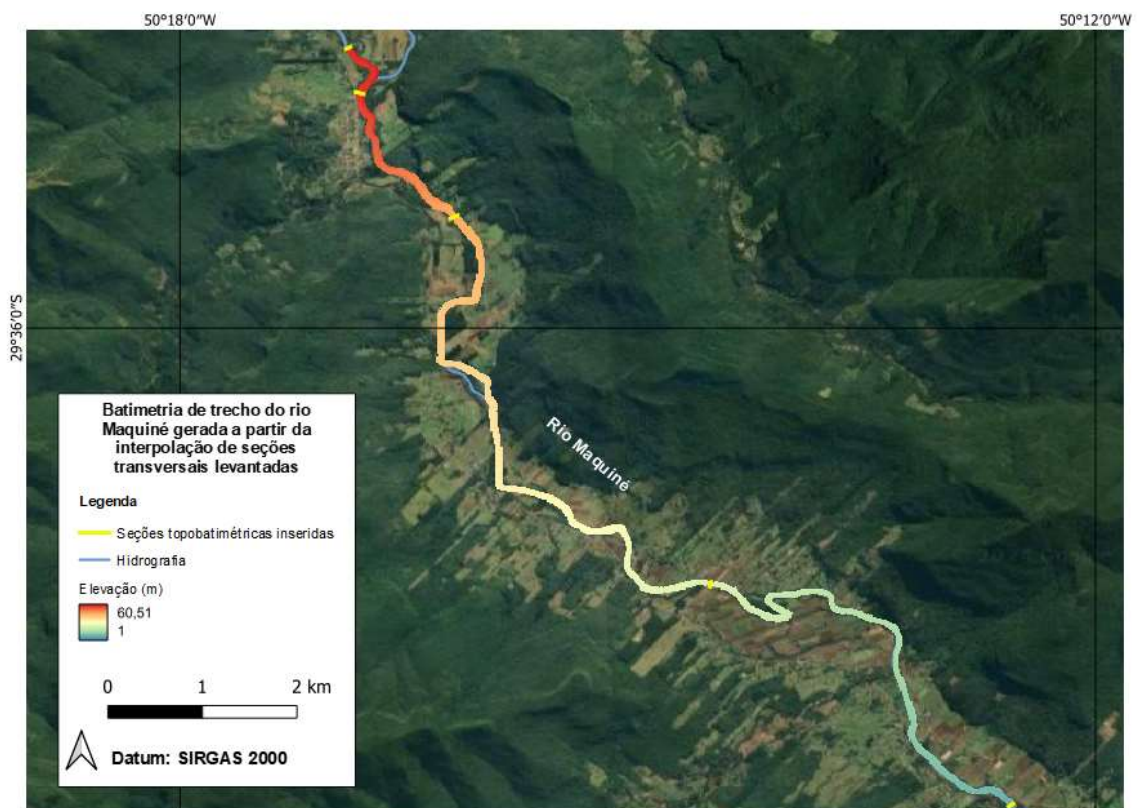
O coeficiente de Manning adotado para toda a malha foi de 0,040 no canal e de 0,045 na planície de inundação. O canal principal foi considerado como “limpo, sinuoso com pedras e piscinas” e a planície de inundação foi considerada como do tipo “área cultivada com culturas agrícolas maduras”. Chow (1959) define

respectivamente valores de 0,040 e 0,045 para o coeficiente de Manning nesses dois tipos de terreno.

Como citado anteriormente, devido à resolução espacial do MDT utilizado ser de 30 m, não há uma boa representação do perfil topobatimétrico das seções do rio Maquiné, uma vez que o rio em diversos trechos possui largura inferior a 30 metros. Dessa forma, foi necessário mesclar as seções topobatimétricas levantadas em campo com os dados do MDT a fim de buscar os dados mais representativos do talvegue do canal e da transição com a planície de inundação.

A mesclagem desses dados foi realizada utilizando o software HEC-RAS 6.1.0. As seções transversais levantadas em campo foram inseridas no e interpoladas dentro do software perpendicularmente ao traçado do rio com uma distância máxima de 50 m. Foram desenhadas as margens do rio Maquiné e as seções interpoladas foram exportadas na forma de um raster com resolução espacial de 2 m, como pode ser observado na [Figura 32](#).

Figura 32- Malha computacional utilizada nas simulações hidrodinâmicas

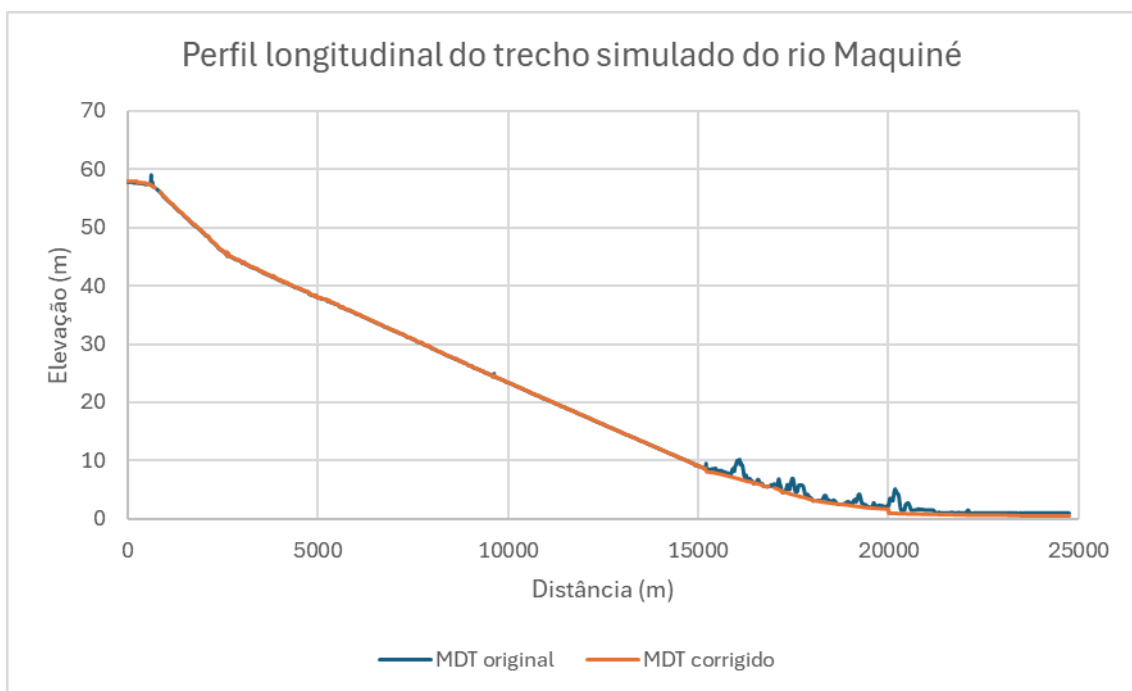


Fonte: Elaboração própria

Essa batimetria foi mesclada com o MDT dentro do HEC-RAS, gerando um novo MDT com maior detalhamento na região do corpo hídrico. Porém, a seção levantada

em campo mais a jusante ainda estava distante do final do domínio computacional. Dessa forma, na porção mais a jusante o canal foi escavado no MDT final utilizando a ferramenta “Terrain Modification” (modificação de terreno). Dentro dessa ferramenta também, a fim de representar com maior precisão o comportamento hidrodinâmico do rio, oscilações no perfil de declividade foram suavizadas. Utilizou-se uma geometria de canal trapezoidal com largura de 30 m e profundidade de 2 m. O perfil original do MDT e o suavizado podem ser observados na [Figura 33](#).

Figura 33- Perfil longitudinal do trecho simulado do rio Maquiné no MDT original e suavizado



Fonte: Elaboração própria

4.7.3 Condições de contorno e simulações

Para as simulações foram definidas duas condições de contorno, uma a montante da confluência dos arroios Lajeado e Forqueta e outra a jusante do limite da malha definida. A condição de contorno de montante definida foi o hidrograma de projeto calculado conforme descrito na seção 4.7.1. Já a condição de contorno de jusante foi a profundidade normal e para tal foi necessário especificar a declividade no trecho final simulado do rio Maquiné que foi de 0,002 m/m.

Foram realizadas três simulações em regime não permanente bidimensionais considerando os hidrogramas dos diferentes tempos de retorno (10, 50 e 100 anos). Essas simulações foram realizadas com intervalo computacional de 30 segundos.

4.7.4 Calibração do modelo

O modelo foi calibrado através das medições de vazão e profundidade levantadas em campo. Foi simulado um evento considerando a vazão constante medida em campo no rio Maquiné na seção 1. Foi comparada a profundidade da simulação e do evento a fim de calibrar o coeficiente de Manning e comparar a representatividade dos resultados da simulação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 LEVANTAMENTOS DE CAMPO

A partir das profundidades e velocidades levantadas em campo foi possível calcular a vazão no dia 27/10/2023 no rio Maquiné e no arroio Lajeado. As vazões calculadas, largura das seções e profundidade média são apresentadas na [Tabela 14](#).

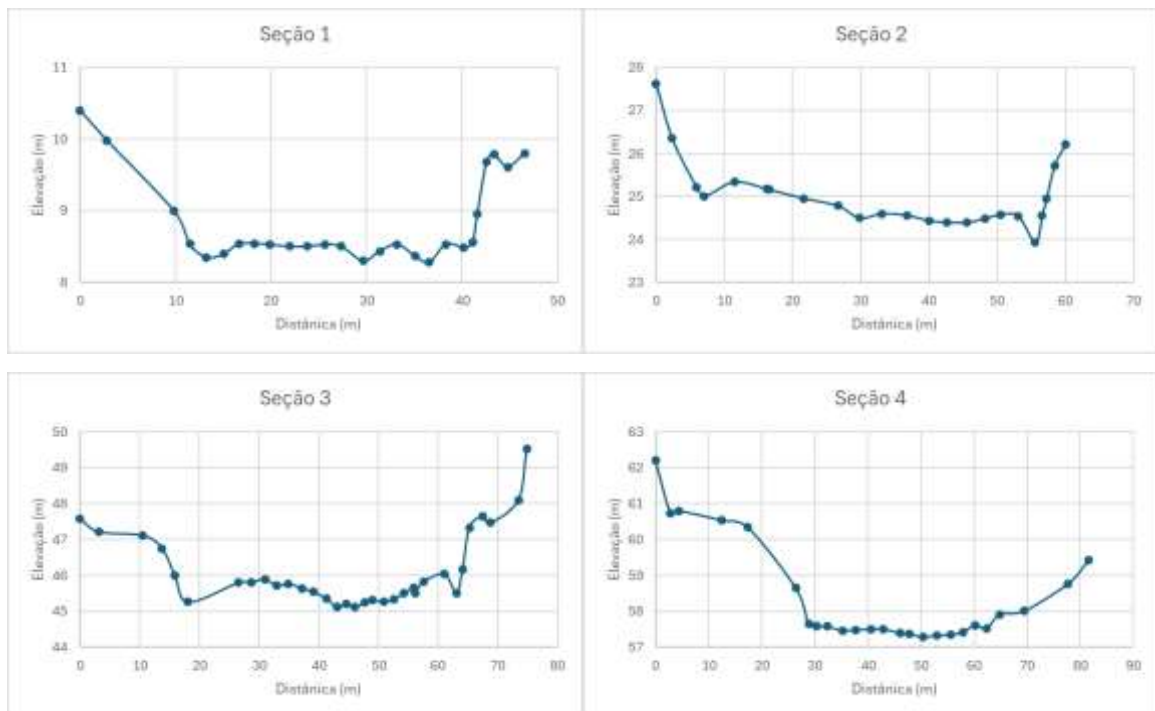
Tabela 15- Vazões medidas em campo

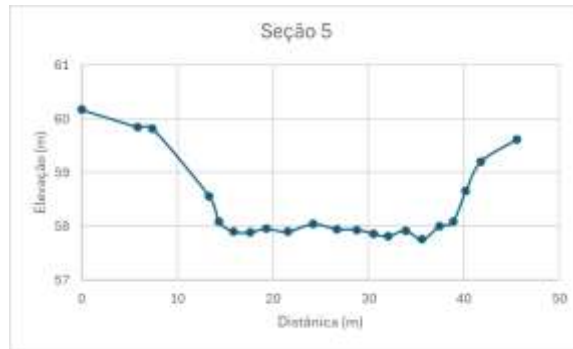
Seção transversal	Corpo hídrico	Largura da seção (m)	Profundidade média (m)	Velocidade média (m/s)	Vazão (m ³ /s)
Seção 1	Rio Maquiné	40,3	0,53	0,39	8,39
Seção 5	Arroio Lajeado	28,0	0,22	0,52	3,19

Fonte: Elaboração própria

Em relação às seções topobatimétricas levantadas, os resultados dos perfis transversais das seções podem ser observados na [Figura 34](#).

Figura 34- Seções topobatimétricas levantadas em campo





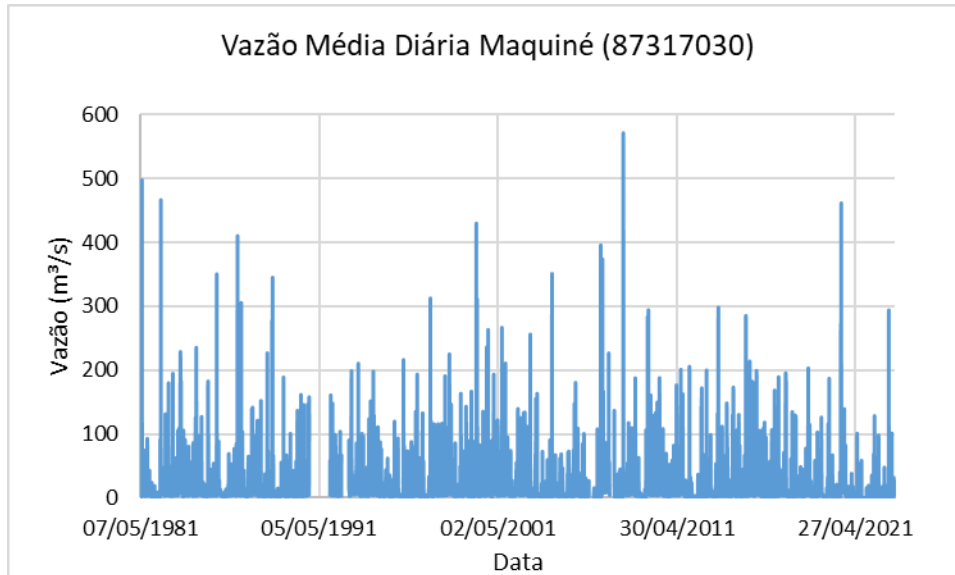
Fonte: Elaboração própria

5.2 MODELAGEM HIDRODINÂMICA

5.2.1 Hidrograma de Projeto

A série da estação Maquiné (87317030) possui dados de vazão a partir do dia 07/05/1981 até 30/06/2023, no momento de elaboração desse projeto, além de uma série de dados telemétricos iniciando em 22/11/2019. O hidrograma de vazões médias diárias de toda a série de dados disponíveis pode ser observado na [Figura 35](#).

Figura 35- Hidrograma de vazões médias diárias Maquiné (87317030)

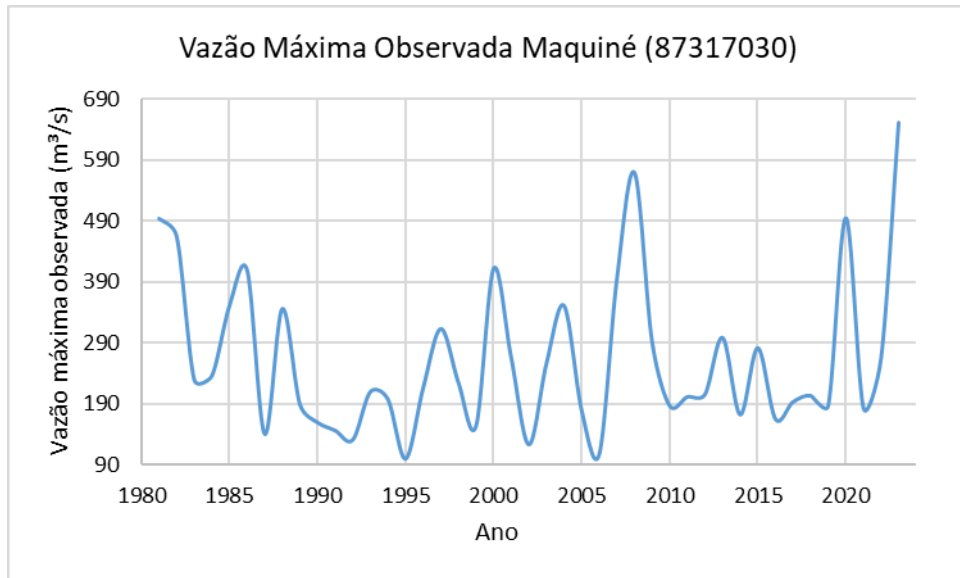


Fonte: Adaptado de ANA (2023)

Assumiu-se que as vazões máximas seguem a distribuição de probabilidade teórica de Gumbel. Escolheu-se para cada ano a vazão máxima observada. Para os anos de 2020, 2021 e 2023 foram utilizados os dados telemétricos, enquanto para os demais anos considerou-se a maior vazão média diária observada. As vazões máximas observadas em cada ano são apresentadas na [Figura 36](#). A vazão máxima

foi observada no dia 16/06/2023 e foi de 650,9 m³/s, o que correspondeu a um tempo de retorno de aproximadamente 89 anos.

Figura 36- Hidrograma de vazões máximas observadas por ano Maquiné (87317030)



Fonte: Adaptado de ANA (2023)

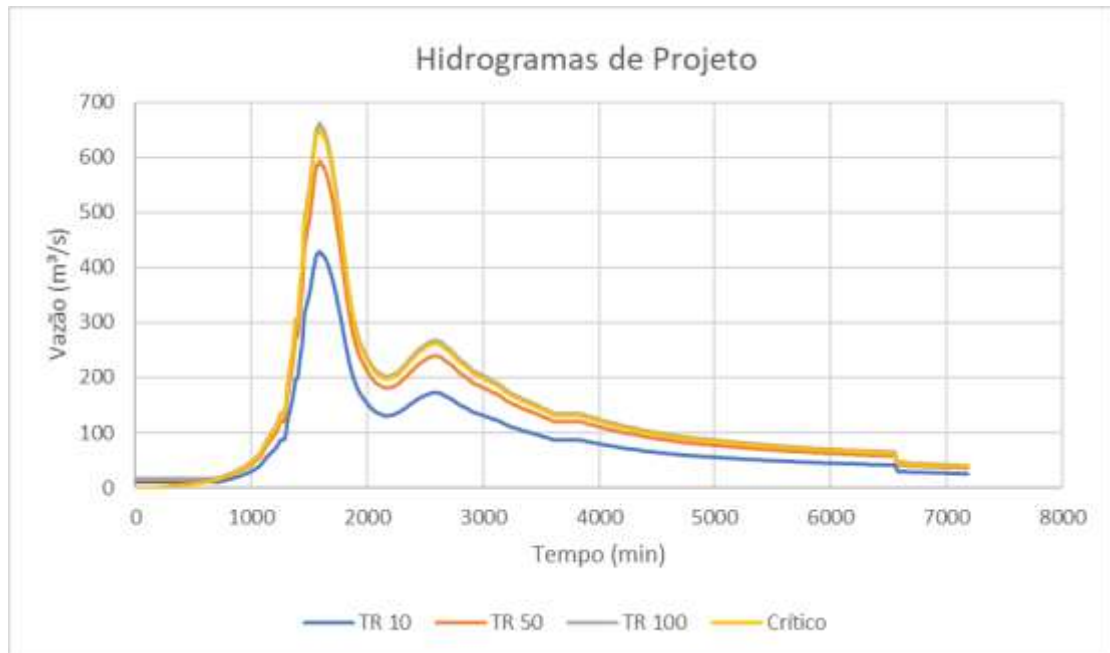
Foram calculadas as vazões de pico para os tempos de retorno de 10, 25 e 100 anos ([Tabela 16](#)). Para definição do volume e distribuição temporal do hidrograma de projeto, foi utilizado o método do hidrograma crítico de Sokolov *et al* (1975). O hidrograma crítico escolhido como base foi o evento ocorrido entre 15/06/2023 e 19/06/2023. O hidrograma crítico e os hidrogramas de projeto calculados para os diferentes tempos de retorno podem ser observados na [Figura 37](#). A vazão nas primeiras 12 horas foi mantida constante a fim de conferir estabilidade ao modelo numérico.

Tabela 16- Vazões máximas para diferentes tempos de retorno

Tempo de retorno (TR)	Probabilidade (%)	Vazão (m³/s)
10	10%	429,52
50	2%	593,37
100	1%	662,64

Fonte: Elaboração própria

Figura 37- Hidrogramas crítico e de projeto



Fonte: Elaboração própria

5.2.2 Resultados simulações

Foram simulados três tempos de retorno (10, 50 e 100 anos), além do cenário de vazão constante observada em campo ($8,39 \text{ m}^3/\text{s}$) utilizado para calibração. A partir das simulações foi possível obter a mancha de inundação para cada cenário, além de dados de velocidade e profundidade a cada 30 minutos do hidrograma simulado.

Em relação ao cenário simulado de vazão constante, foi comparada a profundidade média da água medida em campo na seção 1 no rio Maquiné (0,53 m) com a profundidade média simulada. A profundidade média simulada na seção foi de 0,45 m e a linha d'água na seção pode ser visualizada na [Figura 38](#). A profundidade média simulada apresentou uma diferença de -15% em relação a observada em campo. Essa faixa de diferença foi considerada aceitável considerando todas as limitações associadas ao presente estudo.

Os resultados da mancha de inundação dos cenários de tempo de retorno de 10, 50 e 100 anos considerando os valores máximos de profundidade e velocidade poder ser observados na [Figura 39](#), [Figura 40](#), [Figura 41](#), [Figura 42](#), [Figura 43](#) e [Figura 44](#). Os resultados das manchas são similares em extensão, porém apresentando maiores áreas inundadas nos cenários com maiores tempos de retorno, conforme esperado. As maiores profundidades e velocidade, de forma geral foram observadas dentro da calha do rio Maquiné, com resultados inferiores na planície de inundação,

com exceção de áreas pontuais, as quais podem ser pequenas instabilidades no modelo.

Figura 38- Linha d'água na seção 1 do rio Maquiné simulada no cenário de vazão constante medida em campo



Fonte: Elaboração própria

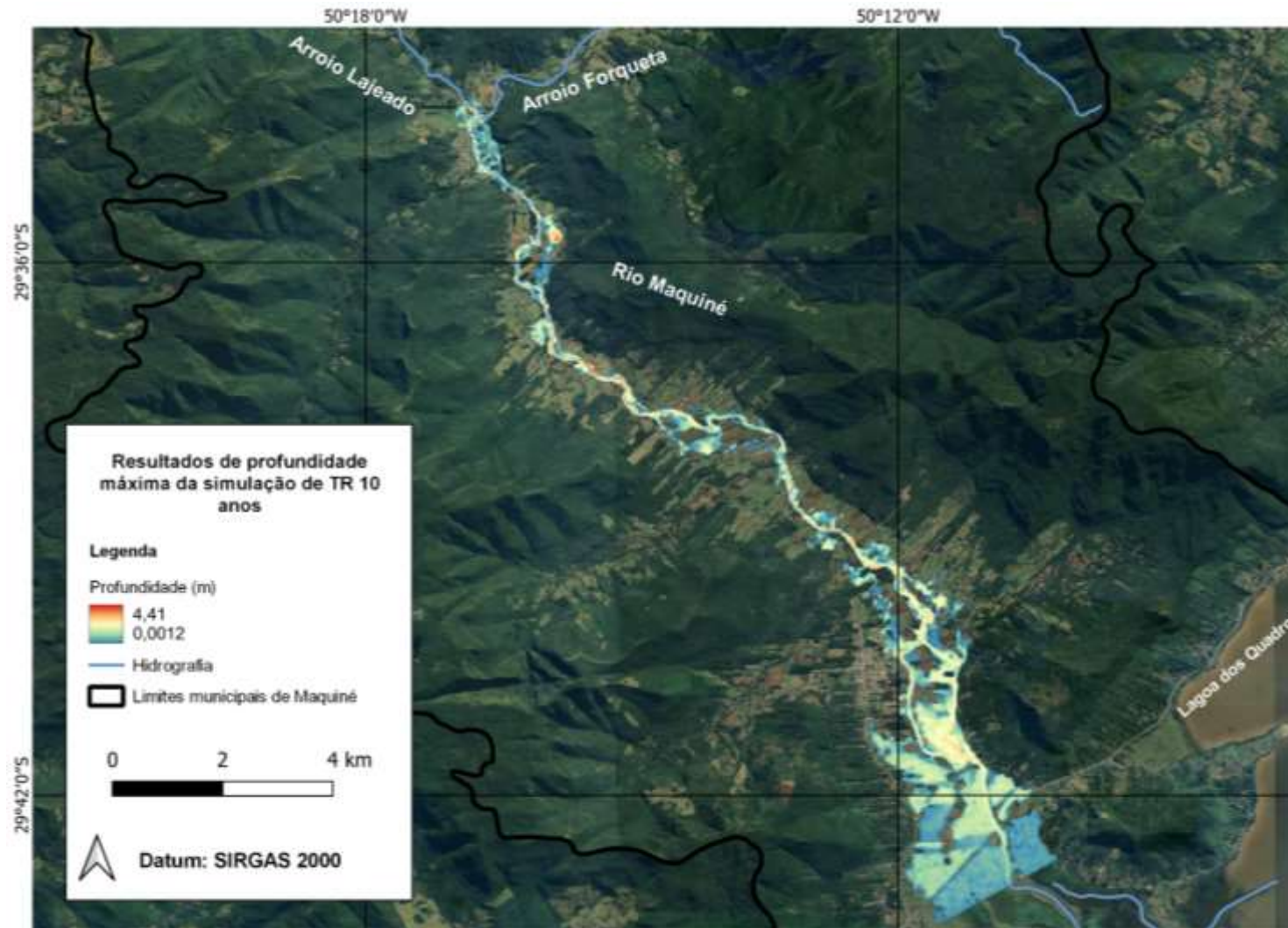
As profundidades e velocidades mínimas, médias e máximas simuladas para cada cenário são apresentadas na [Tabela 17](#). Como esperado, as velocidades médias e máximas aumentam para os cenários mais extremos. A única exceção é a velocidade máxima para o tempo de retorno de 10 anos, que possui um valor superior ao tempo de retorno de 50 anos. Essa diferença, porém, não é tão significativa e pode estar associada a incertezas e instabilidades no modelo numérico.

Tabela 17- Profundidades e velocidades simuladas para os diferentes cenários

Tempo de retorno (TR)	Profundidade (m)			Velocidade (m/s)		
	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima
10	0,001	0,988	3,954	0,0008	0,504	5,246
50	0,001	1,105	4,246	0,001	0,567	5,090
100	0,001	1,144	4,400	0,001	0,594	5,263

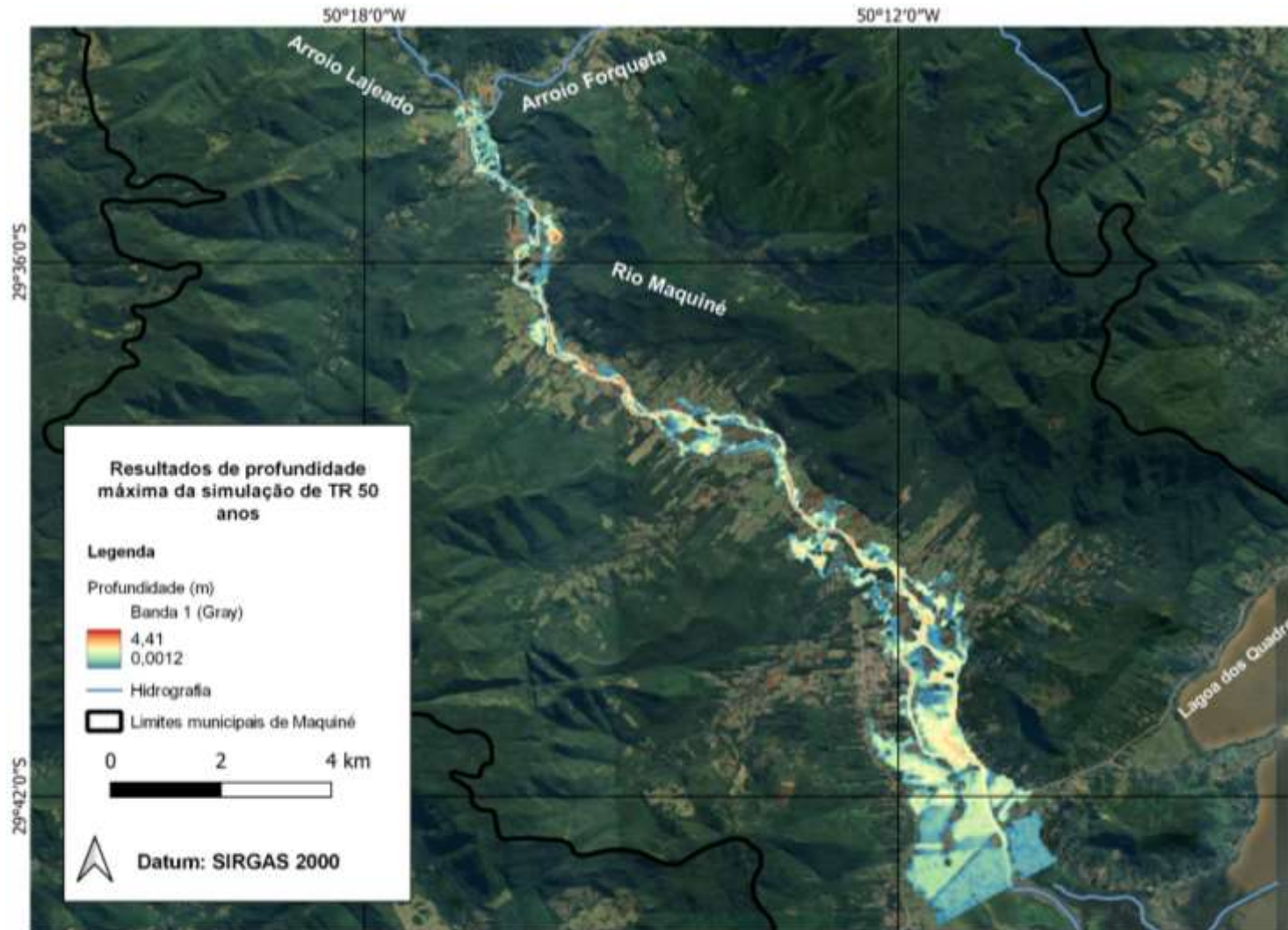
Fonte: Elaboração própria

Figura 39- Resultados de profundidade máxima para TR de 10 anos



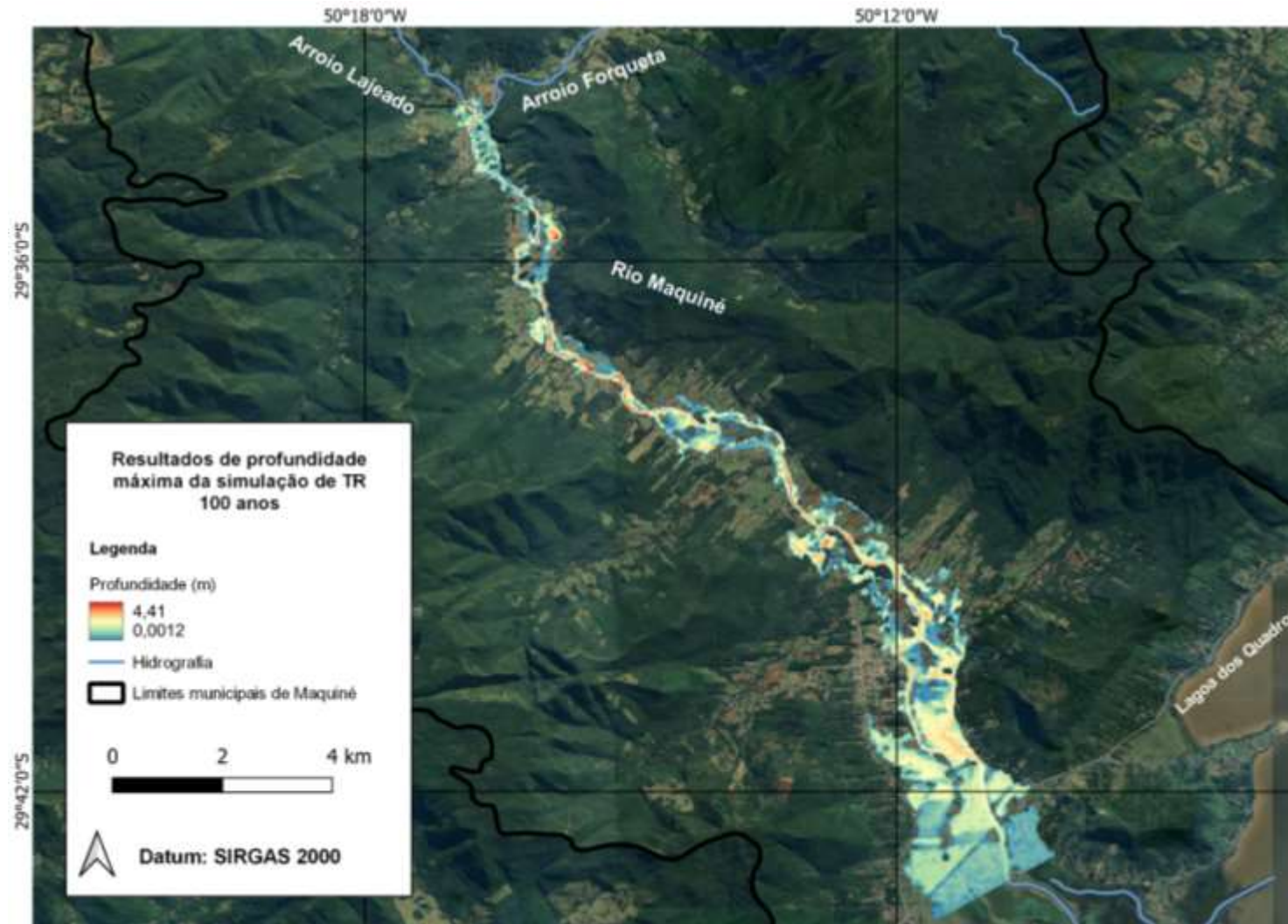
Fonte: Elaboração própria

Figura 40- Resultados de profundidade máxima para TR de 50 anos



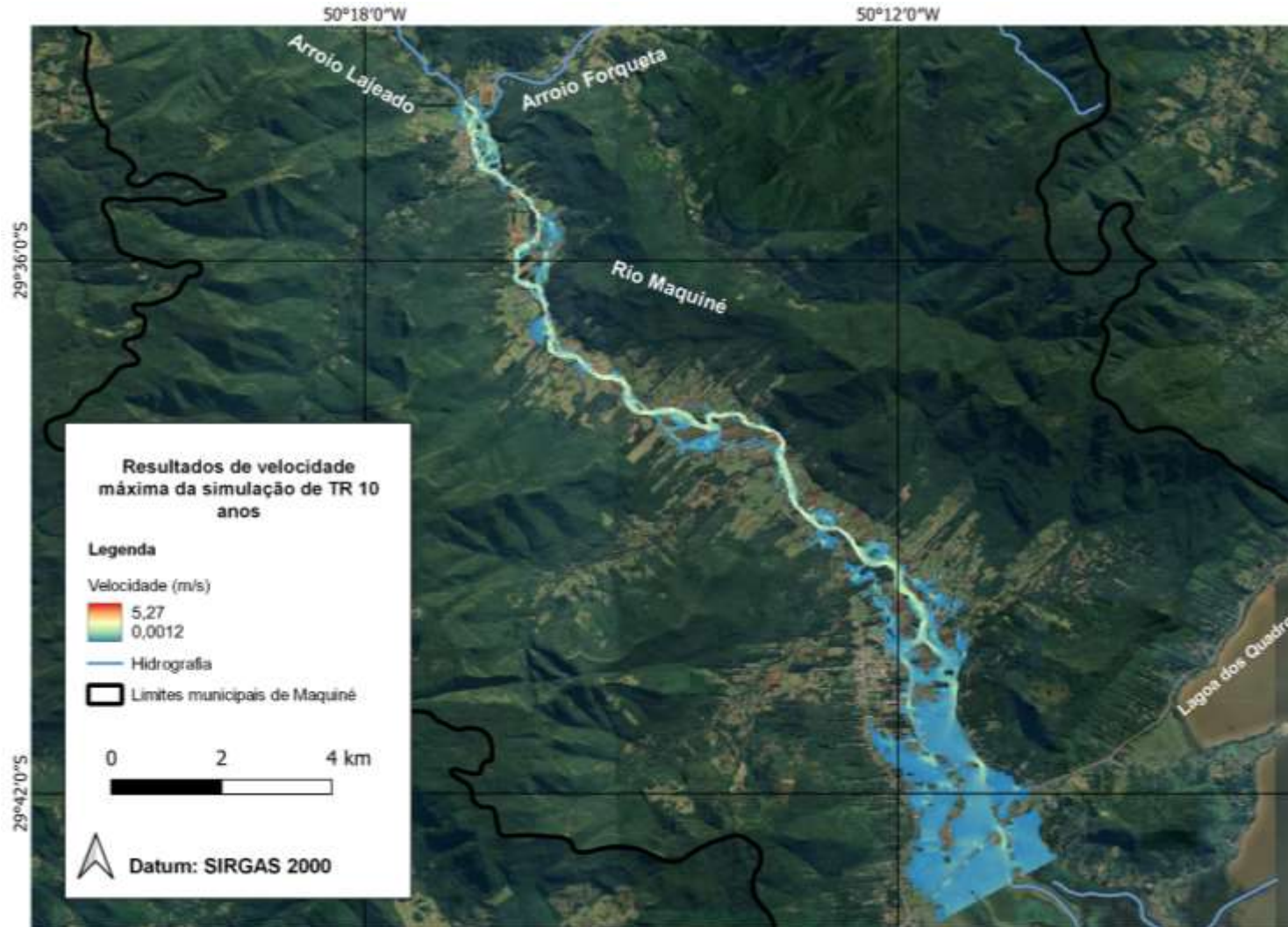
Fonte: Elaboração própria

Figura 41- Resultados de profundidade máxima para TR de 100 anos



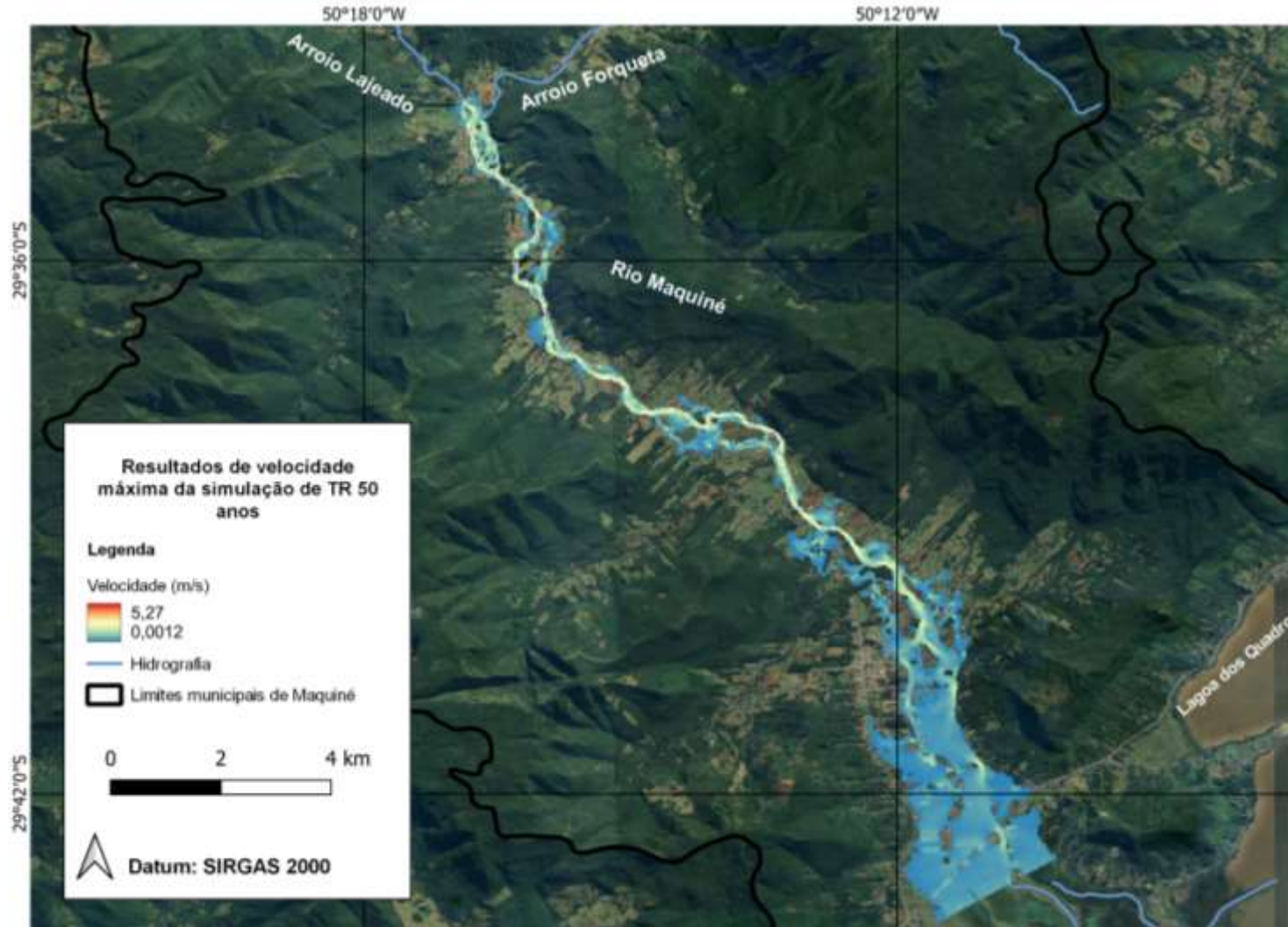
Fonte: Elaboração própria

Figura 42- Resultados de velocidade máxima para TR de 10 anos



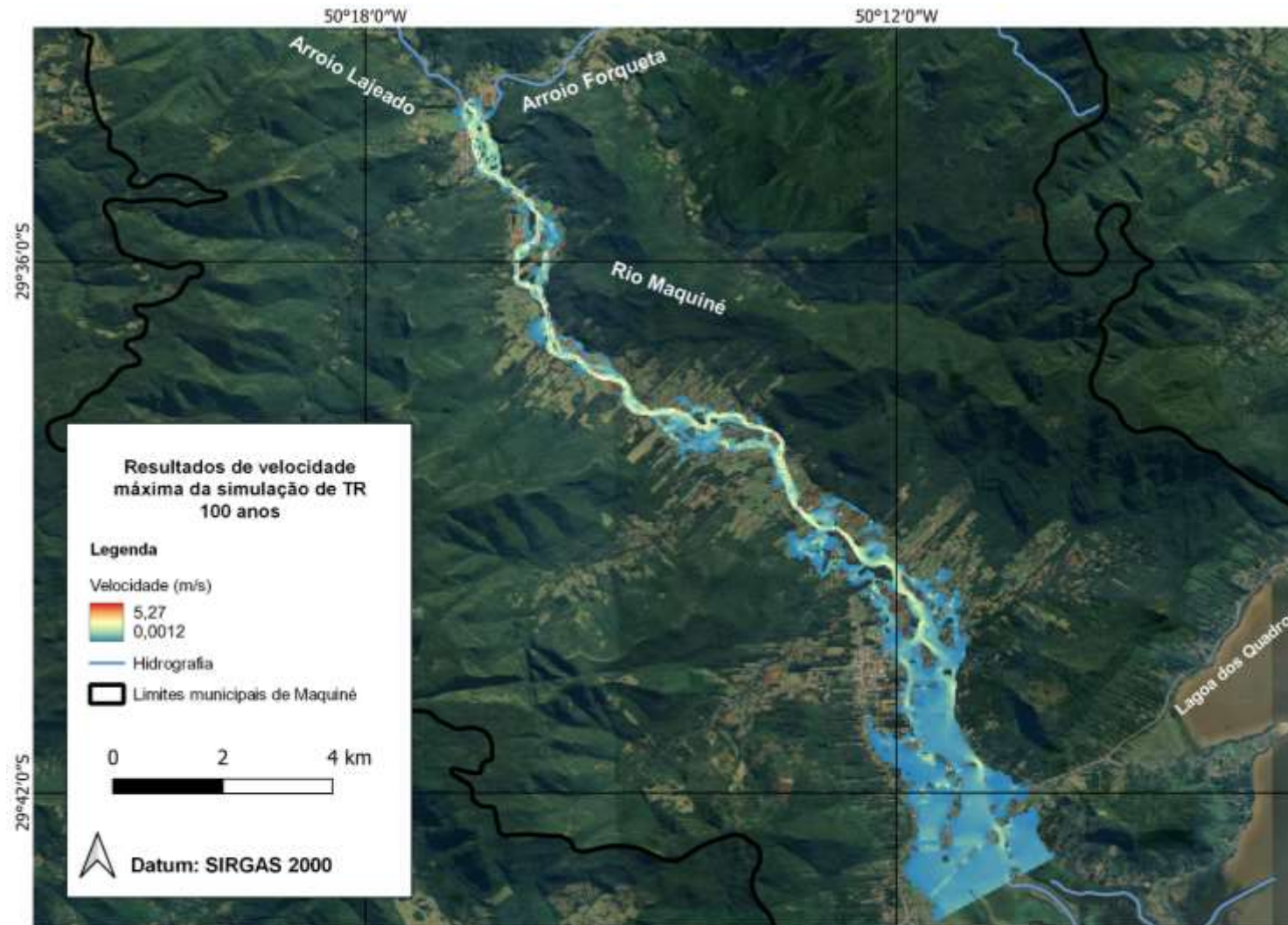
Fonte: Elaboração própria

Figura 43- Resultados de velocidade máxima para TR de 50 anos



Fonte: Elaboração própria

Figura 44- Resultados de velocidade máxima para TR de 100 anos



Fonte: Elaboração própria

5.3 SUB-ÍNDICE DE PERIGO

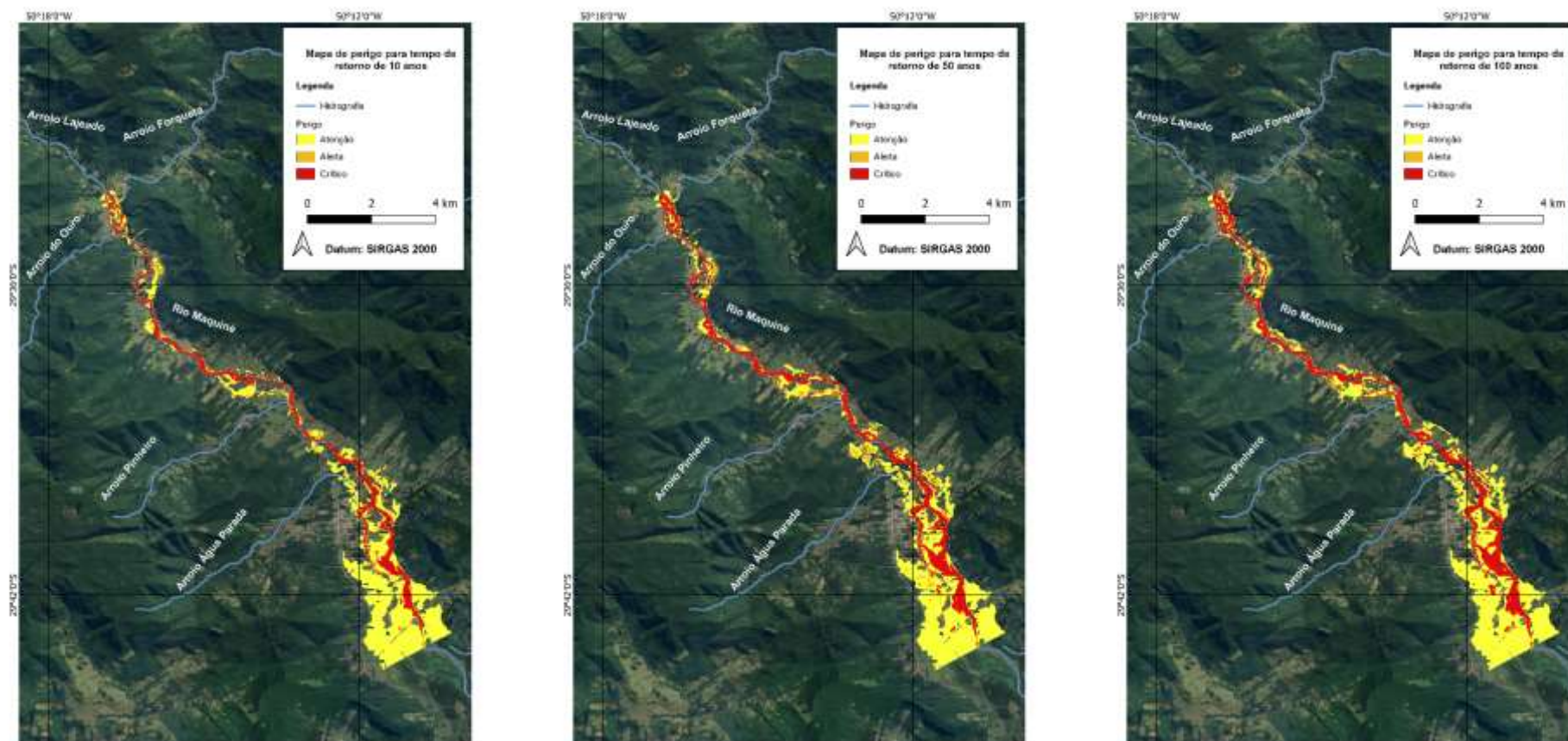
Foram gerados mapas dos subíndices de perigo para os tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos, os quais podem ser observados na [Figura 50](#). Como esperado, os resultados apresentaram maior perigo dentro do canal, região que apresenta maior velocidade e profundidade.

Cabe destacar algumas limitações da análise de perigo:

- i) foi simulada apenas a propagação de um hidrograma de cheia num trecho do rio Maquiné a partir do encontro dos arroios Lajeado e Forqueta e logo a jusante da ponte da Rodovia Governador Mário Covas;
- ii) O presente estudo não mapeou as áreas suscetíveis a inundação relacionada a eventos em outros corpos hídricos (como os arroios: Forqueta, Lajeado, do Ouro, Pinheiro e Água Parada e Lagoa dos Quadros);
- iii) as simulações também não avaliaram o efeito de diferentes vazões nesses corpos hídricos ou níveis da lagoa e seus efeitos nos resultados da propagação de vazões no rio Maquiné.
- iv) não foram consideradas estruturas hidráulicas como pontes ou bueiros existentes no trecho simulado;

Dessa forma, não foi possível mapear as áreas de perigo de inundação para todo o município, e a análise concentrou-se nas regiões mais povoadas setores censitários 1, 2, 11 e 20).

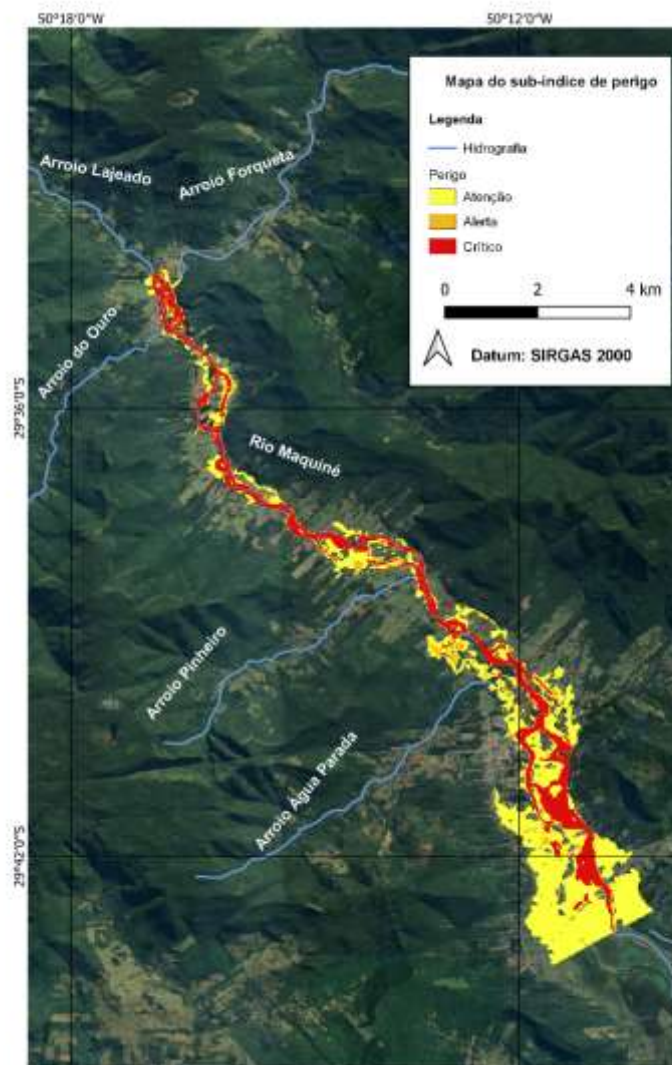
Figura 45- Resultados mapas de perigo para tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos



Fonte: Elaboração própria

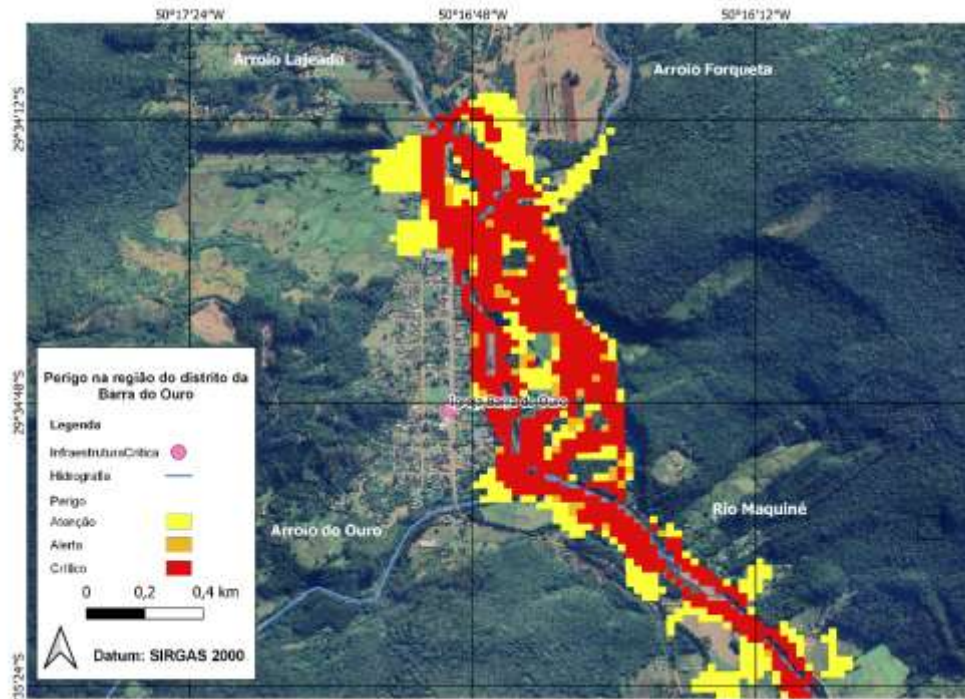
Além dos resultados para cada tempo de retorno, foi calculado o subíndice de perigo, considerando o maior perigo entre os 3 cenários, como proposto pela metodologia CRBi e ilustrado na [Figura 46](#). Também são destacados nas [Figura 47](#) e [Figura 48](#) os resultados do subíndice perigo respectivamente para o distrito da Barra do Ouro e para o centro de Maquiné. Destaca-se novamente que não foram simuladas inundações no arroio do Ouro ou no arroio Água Parada, próximos as regiões. Cabe destacar que estão em regiões de perigo, estruturas como: pontes, estradas (como a RS-484 e Rodovia Governador Mário Covas), regiões residenciais e comerciais e regiões de cultivos agrícolas. As infraestruturas críticas em caso de desastres citadas pelo município (ver seção 5.4.1) não estão em região de perigo.

Figura 46- Resultados subíndice Perigo



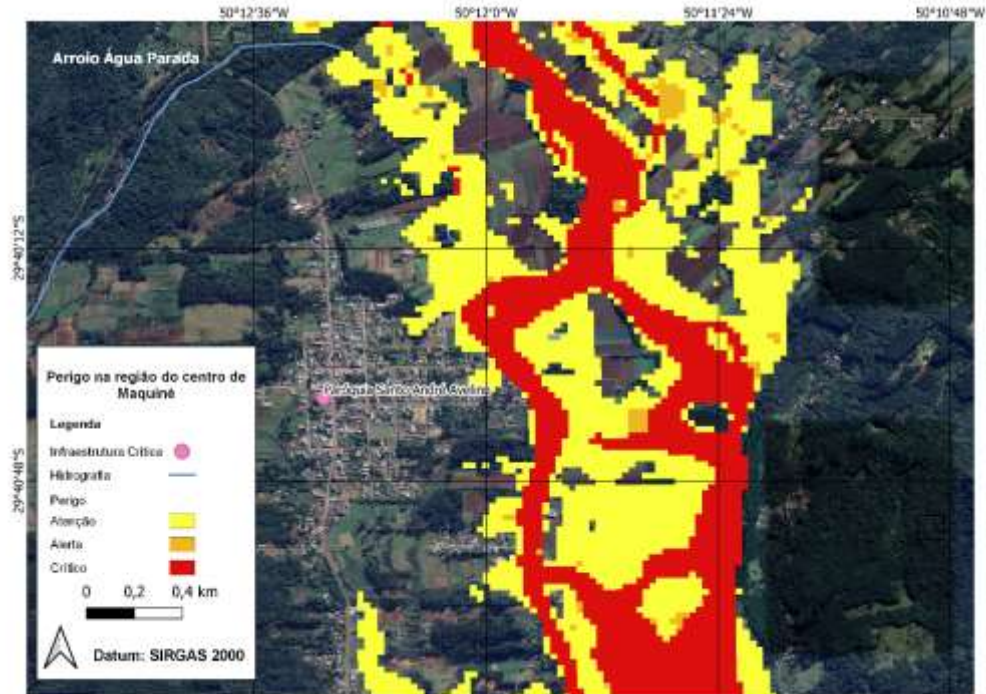
Fonte: Elaboração própria

Figura 47- Resultados subíndice Perigo na região da Barra do ouro



Fonte: Elaboração própria

Figura 48- Resultados subíndice Perigo na região do centro de Maquiné



Fonte: Elaboração própria

5.4 SUB-ÍNDICE DE VULNERABILIDADE

5.4.1 Exposição

Foi calculado o indicador de exposição para cada setor censitário do município de Maquiné. Os subindicadores de densidade populacional, densidade populacional por domicílio e percentual de moradia inadequada foram obtidos juntamente ao IBGE (2010). Cabe destacar que foram obtidos dados a respeito da adequação das moradias para apenas 5 setores censitários.

O subindicador de infraestrutura crítica foi obtido juntamente à prefeitura do município de Maquiné. Foi citado que na inundação de junho de 2023, as principais infraestruturas mobilizadas consistiram nos salões paroquiais: Paróquia Santo André Avelino, localizada no centro de Maquiné, e a Igreja da Barra do Ouro, localizada no bairro homônimo. Também foi citado pela prefeitura que em resposta à inundação registrada em junho, determinadas residências na região da Forqueta foram designadas como Centros de Comando (QG's), devido à inacessibilidade terrestre, requerendo, assim, operações aéreas para o transporte de insumos alimentares, conduzidas por helicópteros. Estas residências, normalmente providas de geradores, desempenharam o papel de depósitos, comunicação e centros de distribuição para os suprimentos aéreos. Em função das informações disponibilizadas foram consideradas duas as infraestruturas críticas no município (Paróquia Santo André Avelino e Igreja da Barra do Ouro). A prefeitura não possui um mapeamento do percentual de área ocupada em cada setor censitário ou do município, dessa forma não foi possível obter resultados para esse indicador. Poderia ter sido feito uma classificação de uso do solo, porém não foram obtidas imagens de satélite de alta precisão para a região que pudessem apresentar um resultado satisfatório.

A [Tabela 18](#) apresenta os resultados dos subindicadores e do indicador de exposição. Em função da ausência de dados de alguns subindicadores os pesos dos subindicadores com dados disponíveis foram redistribuídos igualmente conforme a disponibilidade por setor censitário a fim de calcular o indicador de exposição.

Os setores com maior exposição foram os que apresentaram maior densidade populacional, dado que o subindicador de infraestrutura crítica é de atenção para todo o município e o de adequação do domicílio para todos os setores com dados disponíveis é bom. Os resultados do indicador de exposição especializados podem ser observados na [Figura 49](#).

Tabela 18- Resultados dos subindicadores do indicador exposição

Setor censitário (IBGE, 2010)	Código do setor	Densidade populacional (hab/km²)	Densidade populacional por domicílio (pessoas/habitação)	Infraestruturas críticas	Percentual de área ocupado	Percentual de moradia semi ou inadequada em cada setor censitário	Exposição do setor censitário
431177505000001	1	1021,87	3,06	2	NI	22%	0,750
431177505000002	2	1000,00	2,75	2	NI	3%	0,718
431177505000003	3	14,83	2,83	2	NI	NI	0,642
431177505000004	4	18,94	3,06	2	NI	NI	0,678
431177505000005	5	14,52	2,89	2	NI	NI	0,642
431177505000006	6	4,49	3,16	2	NI	NI	0,535
431177505000007	7	43,77	3,19	2	NI	NI	0,678
431177505000008	8	NI	NI	2	NI	NI	0,500
431177505000009	9	NI	NI	2	NI	NI	0,500
431177505000010	10	53,64	2,56	2	NI	NI	0,785
431177510000001	11	1040,57	2,58	2	NI	4%	0,718
431177510000002	12	2,64	2,61	2	NI	NI	0,357
431177510000003	13	3,46	2,50	2	NI	NI	0,357
431177510000004	14	2,01	2,51	2	NI	NI	0,357
431177510000005	15	2,47	2,70	2	NI	NI	0,357
431177510000006	16	3,73	2,76	2	NI	NI	0,500
431177510000007	17	8,38	3,05	2	NI	NI	0,535
431177510000008	18	NI	NI	2	NI	NI	0,500
431177510000009	19	2,45	6,00	2	NI	NI	0,428
431177515000001	20	1173,08	3,30	2	NI	16%	0,749
431177515000002	21	41,07	3,26	2	NI	NI	0,678
431177515000003	22	8,61	3,13	2	NI	NI	0,535
431177515000004	23	13,10	2,96	2	NI	NI	0,500

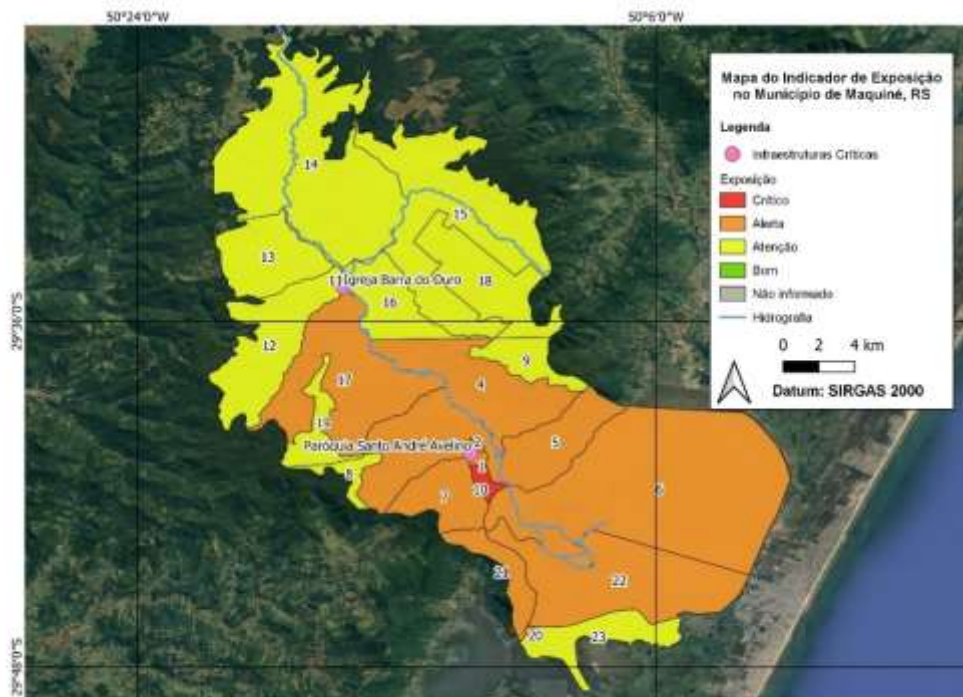
Fonte: Adaptado de IBGE (2010)

Legenda:

NI- Não informado

Crítico
Alerta
Atenção
Bom

Figura 49- Resultados do Indicador de Exposição



Fonte: Elaboração própria

5.4.2 Suscetibilidade

Foi calculado o indicador de suscetibilidade para cada setor censitário do município de Maquiné, porém alguns parâmetros foram obtidos apenas a nível municipal. Em relação ao subindicador leitos hospitalares por 10.000 habitantes, os dados foram obtidos do painel síntese do COVID-19 (IBGE, 2023). Segundo dados de 2019, contudo, o município não apresenta leitos hospitalares no SUS, estando, portanto, todo o município em estado crítico em relação a esse indicador. Os demais parâmetros foram obtidos com base nos resultados do Censo de 2010 (IBGE, 2010). Esses foram os dados mais recentes obtidos, uma vez que não foram publicados todos os resultados do Censo de 2022 ainda. Dos 23 setores censitários foram obtidos dados desses subindicadores para apenas 18, como pode ser observado na [Tabela 19](#), a qual apresenta os resultados dos subindicadores. Para esses setores, adotou-se o resultado do único subindicador disponível: o de leitos hospitalares.

Os parâmetros que apresentaram maior variação entre os setores censitários foram os relacionados as esferas do saneamento. Cabe ressaltar que o município de Maquiné, predominantemente rural, possuía em 2010 grande percentual de domicílios

com abastecimento de água de poço ou nascente. O cálculo de acesso a abastecimento de água leva em consideração apenas os domicílios com abastecimento de água da rede geral, o que explica a ocorrência de percentuais críticos para essa variável, especialmente nos setores em áreas rurais.

Os subindicadores com os piores resultados foram o de leitos hospitalares por 100.000 habitantes (crítico para todos os setores) e renda média familiar (alerta para todos os setores com exceção de um crítico). O indicador de percentual de população sem saneamento apresentou resultados variados, enquanto o percentual de população com dependência permaneceu constante como alerta e o de percentual da população na linha da pobreza constante como bom.

Todos os setores com dados disponíveis para cálculo estão em situação de alerta para o indicador suscetibilidade, com exceção dos que não possuíam dados, e consideraram apenas a quantidade de leitos hospitalares no município, os quais apresentaram resultados críticos, como pode ser observado na [Figura 50](#).

Tabela 19- Resultados dos subindicadores do indicador suscetibilidade

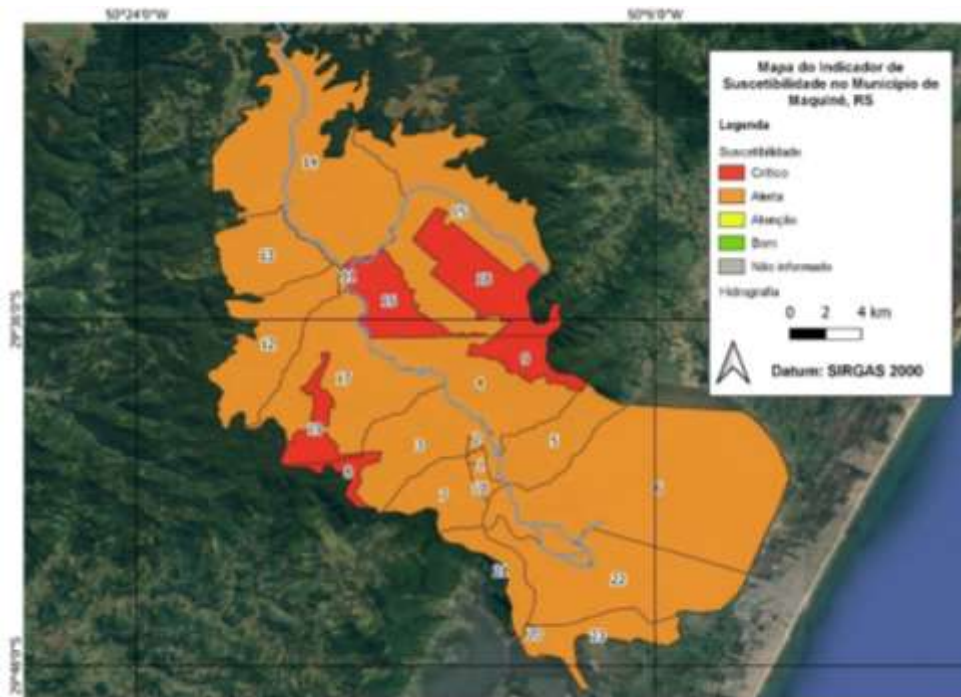
Setor censitário (IBGE, 2010)	Código do setor	Leitos hospitalares por 100.000 habitantes	Sem Tratamento de Esgoto	Sem Água	Sem coleta de resíduos	Percentual de domicílios sem saneamento básico (%)	Percentual de mulheres como chefe de famílias (%)	Renda média familiar (salários-mínimos)	Percentual de população com dependência (%)	Percentual de pessoas na linha da pobreza (%)	Indicador de Suscetibilidade
431177505000001	1	0	18%	5%	9%	11%	48%	3,8258565	40%	4%	0,531
431177505000002	2	0	1%	2%	0%	1%	31%	4,87145299	41%	2%	0,531
431177505000003	3	0	26%	75%	100%	67%	24%	3,19692402	44%	8%	0,625
431177505000004	4	0	13%	100%	12%	41%	20%	2,41685908	42%	7%	0,563
431177505000005	5	0	8%	100%	20%	43%	14%	2,08446033	41%	5%	0,563
431177505000006	6	0	61%	70%	4%	45%	16%	2,19372785	42%	3%	0,563
431177505000007	7	0	44%	37%	9%	30%	14%	3,18110119	38%	7%	0,563
431177505000008	8	0	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	1,000
431177505000009	9	0	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	1,000
431177505000010	10	0	13%	10%	6%	10%	27%	2,74244281	40%	7%	0,531
431177510000001	11	0	1%	2%	0%	1%	27%	3,38483583	46%	4%	0,531
431177510000002	12	0	45%	94%	27%	56%	18%	2,1268568	44%	5%	0,625
431177510000003	13	0	19%	100%	16%	45%	25%	2,40594363	45%	11%	0,594
431177510000004	14	0	18%	100%	100%	73%	31%	1,83558247	49%	5%	0,719
431177510000005	15	0	38%	96%	59%	64%	14%	2,269993	42%	15%	0,625
431177510000006	16	0	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	1,000
431177510000007	17	0	99%	95%	11%	68%	12%	2,6579638	42%	5%	0,625
431177510000008	18	0	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	1,000
431177510000009	19	0	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	1,000
431177515000001	20	0	8%	9%	5%	8%	27%	3,27334393	49%	2%	0,531
431177515000002	21	0	64%	91%	2%	52%	26%	2,81744946	43%	4%	0,656
431177515000003	22	0	1%	96%	2%	33%	17%	3,36403867	41%	3%	0,563
431177515000004	23	0	79%	56%	3%	46%	18%	2,34603701	46%	2%	0,563

Fonte: Adaptado de IBGE (2010) e IBGE (2023)

Legenda:

Crítico
Alerta
Atenção
Bom

Figura 50- Resultados do Indicador de Suscetibilidade



Fonte: Elaboração própria

5.4.3 Falta de Resiliência

Calculou-se o indicador de falta de resiliência para os setores censitários do município de Maquiné. Os subindicadores de quantidade de meios de comunicação para alertar a população, quantidade de instituições de gestão de desastres, rotas de evacuação e quantidade de estruturas de abrigo foram obtidos juntamente a Prefeitura de Maquiné e foram considerados a nível municipal.

Em relação à quantidade de meios de comunicação para alertar a população em caso de desastres, foram identificados 5 pela Prefeitura: redes sociais (Instagram e Facebook), rádio, TV (RBS TV, especificamente), celular (grupos de WhatsApp com a comunidade) e contato local com as equipes e famílias. Considera-se esse um bom indicador para o município, que demonstra diversidade de meios de comunicação.

Em relação a quantidade de instituições de gestão de desastres, foram identificadas 4: i) Departamento de Meio Ambiente – o qual realiza mapeamento dos danos; ii) Setor de Engenharia Civil -responsável por elaborar relatórios, orçamentos e principalmente arrecadar fundos junto à Defesa Civil; iii) Defesa Civil Municipal; iv) Sala de Situação- a qual corresponde ao gabinete do prefeito. Esse também foi considerado um bom indicador para o município.

Em relação às rotas de evacuação, foi informado que o Município não conta com nenhuma rota mapeada. Foi destacado pela Prefeitura que durante as enchentes de junho de 2023 o centro do município ficou ilhado, impossibilitando a entrada ou saída de veículos. Foi destacado também que no distrito da Barra do Ouro é possível a evacuação pela rodovia ERS-239 (Serra da Boa Vista) em direção aos municípios de Riozinho e Rolante, porém existe a possibilidade de estas saídas estarem bloqueadas devido a deslizamentos em caso de fortes chuvas. Em relação à quantidade de estruturas de abrigo para a população em caso de desastres, a Prefeitura solicitou a informação ao coordenador da Defesa Civil municipal, porém o setor não soube informar.

Os subindicadores de taxa de analfabetismo e percentual de população sem residência própria ou própria não quitada foram obtidos do Censo de 2010 (IBGE, 2010). Para esses subindicadores não foi possível obter dados para os setores 8, 9, 16, 18 e 19. Em relação ao percentual de pessoas analfabetas, ainda que o indicador tenha apresentado resultados com a classificação “bom” para todos os setores censitários, cabe ressaltar que 5 setores apresentaram taxas de analfabetismo superiores à média nacional no período (9,6%).

Em relação ao subindicador de população com necessidade de assistência social, considerou-se que o programa Bolsa Família como principal fonte desse auxílio. Segundo dados do Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (2023), 1.569 pessoas (21% da população) foram beneficiadas em 2023 pelo programa.

Os resultados dos subindicadores e do indicador de falta de resiliência são apresentados na [Tabela 20](#). O indicador de falta de resiliência indicou situação de atenção para todo os setores censitários do município. Quando não foi possível obter dados para algum subindicador, redistribuiu-se igualmente os pesos entre as variáveis a fim de calcular a falta de resiliência. Os resultados do indicador de falta de resiliência especializados podem ser observados na [Figura 51](#).

Tabela 20- Resultados dos subindicadores do indicador falta de resiliência

Setor censitário (IBGE, 2010)	Código do setor	Quantidade de meios de comunicação	Percentual de pessoas analfabetas (%)	Quantidade de instituições de gestão de desastres	Rotas de evacuação (km/km ²)	Quantidade de estruturas de abrigo	População sem residência própria ou própria não quitada (%)	População que necessita de auxílios financeiros externos como renda	Falta de resiliência do setor censitário
431177505000001	1	5	3%	4	0	NI	26,37%	21%	0,442
431177505000002	2	5	2%	4	0	NI	21,03%	21%	0,402
431177505000003	3	5	11%	4	0	NI	16,88%	21%	0,402
431177505000004	4	5	9%	4	0	NI	3,74%	21%	0,402
431177505000005	5	5	9%	4	0	NI	8,41%	21%	0,402
431177505000006	6	5	10%	4	0	NI	10,24%	21%	0,402
431177505000007	7	5	9%	4	0	NI	8,04%	21%	0,402
431177505000008	8	5	NI	4	0	NI	NI	21%	0,462
431177505000009	9	5	NI	4	0	NI	NI	21%	0,462
431177505000010	10	5	3%	4	0	NI	18,75%	21%	0,402
431177510000001	11	5	6%	4	0	NI	12,43%	21%	0,402
431177510000002	12	5	8%	4	0	NI	15,15%	21%	0,402
431177510000003	13	5	14%	4	0	NI	0,00%	21%	0,402
431177510000004	14	5	6%	4	0	NI	7,35%	21%	0,402
431177510000005	15	5	15%	4	0	NI	7,14%	21%	0,402
431177510000006	16	5	NI	4	0	NI	NI	21%	0,462
431177510000007	17	5	3%	4	0	NI	9,23%	21%	0,402
431177510000008	18	5	NI	4	0	NI	NI	21%	0,462
431177510000009	19	5	NI	4	0	NI	NI	21%	0,462
431177515000001	20	5	6%	4	0	NI	13,51%	21%	0,402
431177515000002	21	5	10%	4	0	NI	13,95%	21%	0,402
431177515000003	22	5	8%	4	0	NI	22,22%	21%	0,402
431177515000004	23	5	7%	4	0	NI	25,35%	21%	0,442

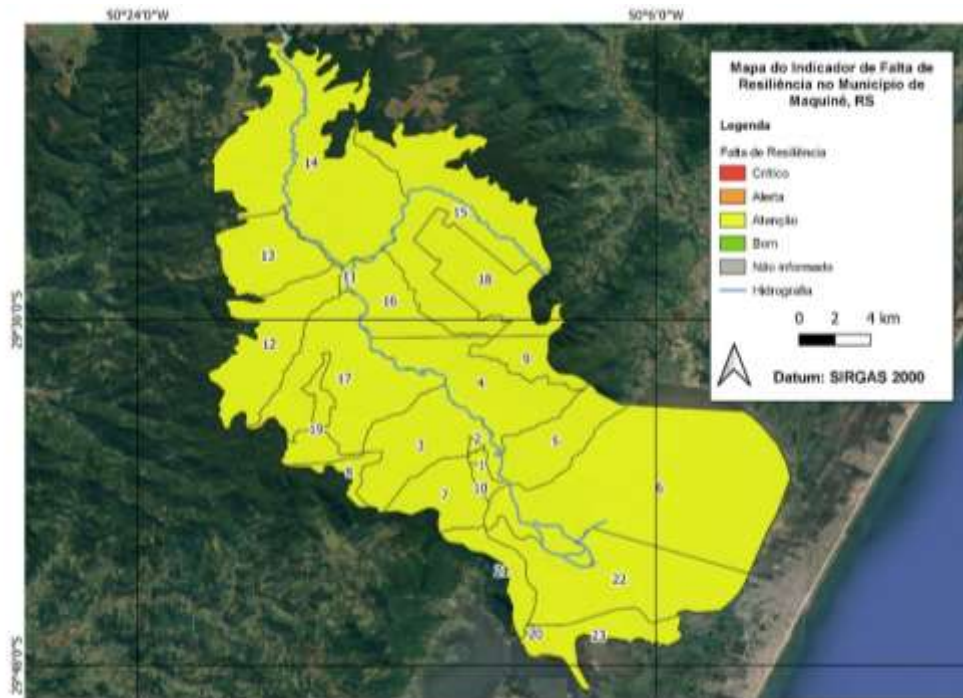
Fonte: Adaptado de IBGE (2010) e Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (2023)

Legenda:

NI- Não informado

Crítico
Alerta
Atenção
Bom

Figura 51- Resultados do Indicador de Falta de Resiliência



Fonte: Elaboração própria

5.4.4 Falta de Capacidade Adaptativa

Calculou-se o indicador de falta de capacidade adaptativa para os setores censitários do município de Maquiné. Todos os subindicadores, porém, foram considerados a nível municipal.

O subindicador de percentual da população sem curso superior foi obtido do Censo do IBGE de 2010, onde o dado está disponível apenas a nível municipal. Em 2010, 96% da população de Maquiné não possuía ensino superior completo, sendo considerado, portanto, um resultado crítico para o município.

Os demais subindicadores foram obtidos juntamente à Prefeitura de Maquiné. Em relação a quantidade de atores sociais envolvidos em eventos de desastres, foram identificados 10 pelo município. Foi informado que Maquiné possui grupos específicos para o controle do nível da água. O grupo é representado pela comunidade, gestores e técnicos. Durante um evento de chuvas, o grupo mantém relatos frequentes a fim de acompanhar o nível das águas, o que permite com que sejam acionadas medidas mitigatórias, como evacuação da população. Segundo a Prefeitura:

“Os principais envolvidos durante tais eventos [de inundações] são: moradores, comunidade (alto engajamento, conhecimento local, resgates, distribuição de alimentos, roupas); Prefeito Municipal (alto engajamento, realiza diversas *lives* e

mantém a população atualizada); Departamento de Meio Ambiente (responsável pelo reconhecimento dos danos, georreferenciamento, relatórios); Setor de Engenharia Civil (Estimativa monetária dos danos, produção de relatórios e arrecadação de fundos da defesa civil); Defesa civil (distribuição de cestas básicas, roupas, verbas de restabelecimento e reconstrução); Bombeiros (Terra de Areia, responsável pelo resgate e distribuição de cestas básicas e roupas); Secretaria de Obras (altíssimo engajamento, atua removendo os resíduos, cortando árvores, desassoreamento de rios, drenagens); Secretaria de Saúde (abrigos); Igreja (abrigos, distribuição de alimentos, roupas); Secretaria de Agricultura (auxílio aos agricultores, principalmente arrecadando verbas Estaduais e Federais)".

Em relação a quantidade de leis ambientais foram identificadas duas, sendo elas: Lei nº 1.426, de 11 de junho de 2019 (Plano Diretor); Lei nº 1399, de 04 de dezembro 2018 (Código de Obras). Maquiné não possui legislações municipais relativas às Áreas de Proteção Permanente (APPs). Destaca-se que através de imagens de satélite e nas visitas de campo realizadas pode-se perceber regiões de mata ciliar desmatada ao longo do rio Maquiné e que é frequente a prática de cultivos agrícolas nas margens do rio.

Em relação à qualidade do sistema de alerta, foi considerado que o sistema do município possui duas características das quatro fundamentais: conteúdo repassado é detalhado e há meios de comunicação suficientes para repassar a comunicação. O município informou que a população é alertada por meio de "lives" e mensagens nos grupos da comunidade. Esses alertas são lançados obedecendo os dados disponibilizados pela Defesa Civil do Rio Grande do Sul, bem como do acompanhamento da previsão do tempo. O sistema, porém, não foi considerado confiável e não apresentou tempo suficiente para a retirada de pessoas. Segundo dados informados pela própria Prefeitura: "Quando o nível da água sobe mais rápido do que o normal, os moradores das regiões mais distantes sinalizam, dando tempo para as regiões mais populosas serem evacuadas (principalmente núcleos urbanos próximos a rios). Entretanto, os moradores mais distantes ficam ilhados rapidamente, mantendo contato apenas via internet. Se a conexão da internet for mantida o sistema pode ser considerado confiável, uma vez que as regiões mais distantes não possuem sinal de telefone. A perda do sinal da internet faz com que não tenhamos informações do nível do rio, diminuindo a ação de resposta."

Os resultados dos subindicadores e do indicador de falta de capacidade adaptativa são apresentados na [Tabela 21](#). O indicador de falta de capacidade adaptativa indicou situação de alerta para todo os setores censitários do município. Os resultados do indicador de capacidade adaptativa especializados podem ser observados na [Figura 52](#).

Tabela 21- Resultados dos subindicadores do indicador falta de capacidade adaptativa

Setor censitário (IBGE, 2010)	Código do setor	Pessoas sem curso superior (%)	Quantidade de atores sociais envolvidos em eventos de desastres	Quantidade de leis, decretos, normas, código ambientais	Quantidade de características que qualificam o sistema de alerta	Indicador de Falta de Capacidade Adaptativa
431177505000001	1	96%	10	2	2	0,750
431177505000002	2	96%	10	2	2	0,750
431177505000003	3	96%	10	2	2	0,750
431177505000004	4	96%	10	2	2	0,750
431177505000005	5	96%	10	2	2	0,750
431177505000006	6	96%	10	2	2	0,750
431177505000007	7	96%	10	2	2	0,750
431177505000008	8	96%	10	2	2	0,750
431177505000009	9	96%	10	2	2	0,750
431177505000010	10	96%	10	2	2	0,750
431177510000001	11	96%	10	2	2	0,750
431177510000002	12	96%	10	2	2	0,750
431177510000003	13	96%	10	2	2	0,750
431177510000004	14	96%	10	2	2	0,750
431177510000005	15	96%	10	2	2	0,750
431177510000006	16	96%	10	2	2	0,750
431177510000007	17	96%	10	2	2	0,750
431177510000008	18	96%	10	2	2	0,750
431177510000009	19	96%	10	2	2	0,750
431177515000001	20	96%	10	2	2	0,750
431177515000002	21	96%	10	2	2	0,750
431177515000003	22	96%	10	2	2	0,750
431177515000004	23	96%	10	2	2	0,750

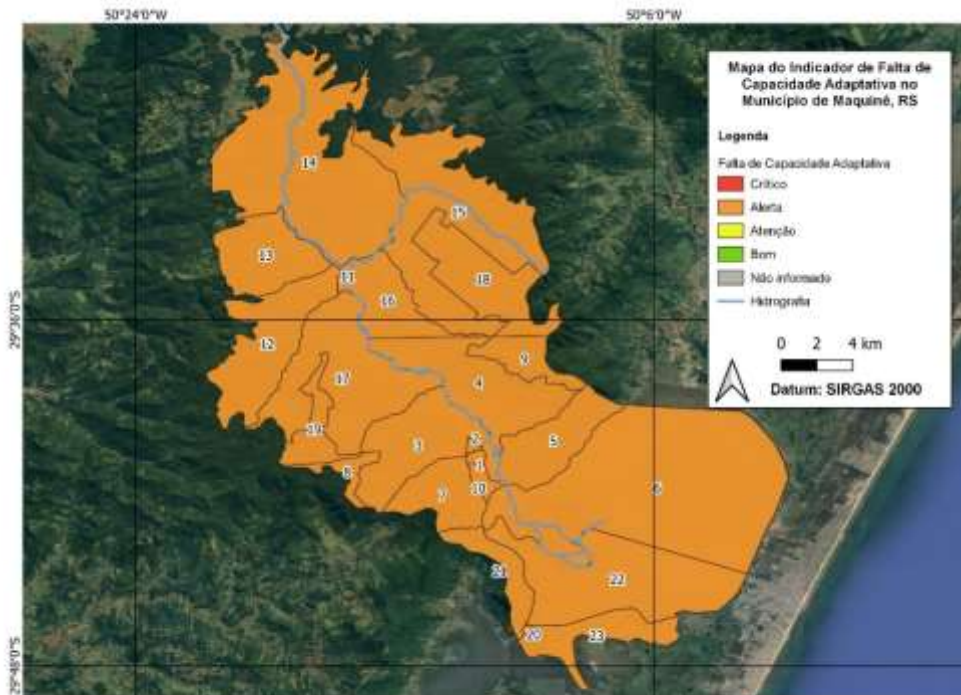
Fonte: Adaptado de IBGE (2010)

Legenda:

NI- Não informado

Crítico
Alerta
Atenção
Bom

Figura 52- Resultados do Indicador de Falta de Capacidade Adaptativa



Fonte: Elaboração própria

5.4.5 Vulnerabilidade

A partir dos quatro indicadores analisados (exposição, suscetibilidade, falta de resiliência e falta de capacidade adaptativa), calculou-se a vulnerabilidade para cada setor censitário do município. Os resultados foram similares, uma vez que todos os setores apresentaram estado de alerta, como pode ser observado na [Figura 53](#) e na [Tabela 22](#).

Os setores que apresentaram maior vulnerabilidade, porém, foram os que possuíam menor quantidade de dados disponível (setor 8, 9, 16, 18 e 19). Esses setores apresentaram resultados críticos para o indicador de suscetibilidade, indicador com maior peso atribuído. Os setores com menor densidade populacional apresentaram menor vulnerabilidade (12, 13 e 15), com exceção do setor 14, o qual apesar de possuir a menor densidade populacional entre todos, possui a menor renda média familiar e os piores índices de saneamento.

Tabela 22- Resultados dos indicadores e subíndice Vulnerabilidade

Setor censitário (IBGE, 2010)	Código do setor	Exposição	Suscetibilidade	Resiliência	Capacidade Adaptativa	Vulnerabilidade
431177505000001	1	0,750	0,531	0,442	0,750	0,614
431177505000002	2	0,718	0,531	0,402	0,750	0,599
431177505000003	3	0,642	0,625	0,402	0,750	0,612
431177505000004	4	0,678	0,563	0,402	0,750	0,599
431177505000005	5	0,642	0,563	0,402	0,750	0,589
431177505000006	6	0,535	0,563	0,402	0,750	0,560
431177505000007	7	0,678	0,563	0,402	0,750	0,599
431177505000008	8	0,500	1,000	0,462	0,750	0,720
431177505000009	9	0,500	1,000	0,462	0,750	0,720
431177505000010	10	0,785	0,531	0,402	0,750	0,617
431177510000001	11	0,718	0,531	0,402	0,750	0,599
431177510000002	12	0,357	0,625	0,402	0,750	0,534
431177510000003	13	0,357	0,594	0,402	0,750	0,523
431177510000004	14	0,357	0,719	0,402	0,750	0,568
431177510000005	15	0,357	0,625	0,402	0,750	0,534
431177510000006	16	0,500	1,000	0,462	0,750	0,720
431177510000007	17	0,535	0,625	0,402	0,750	0,583
431177510000008	18	0,500	1,000	0,462	0,750	0,720
431177510000009	19	0,428	1,000	0,462	0,750	0,701
431177515000001	20	0,749	0,531	0,402	0,750	0,607
431177515000002	21	0,678	0,656	0,402	0,750	0,633
431177515000003	22	0,535	0,563	0,402	0,750	0,560
431177515000004	23	0,500	0,563	0,442	0,750	0,558

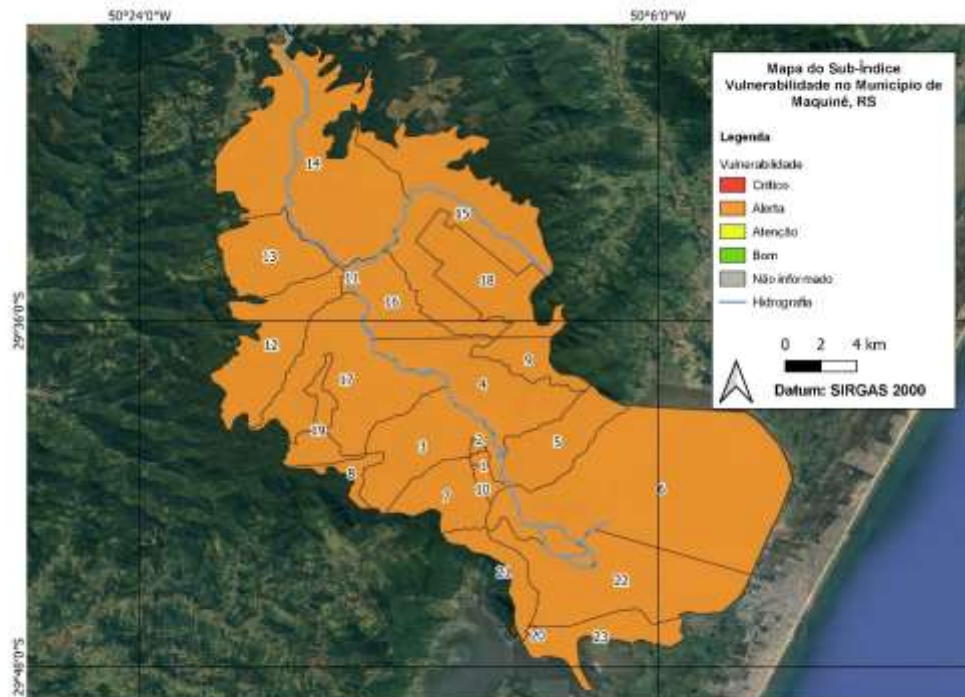
Fonte: Adaptado de IBGE (2010)

Legenda:

NI- Não informado

Crítico
Alerta
Atenção
Bom

Figura 53- Resultados do Subíndice Vulnerabilidade



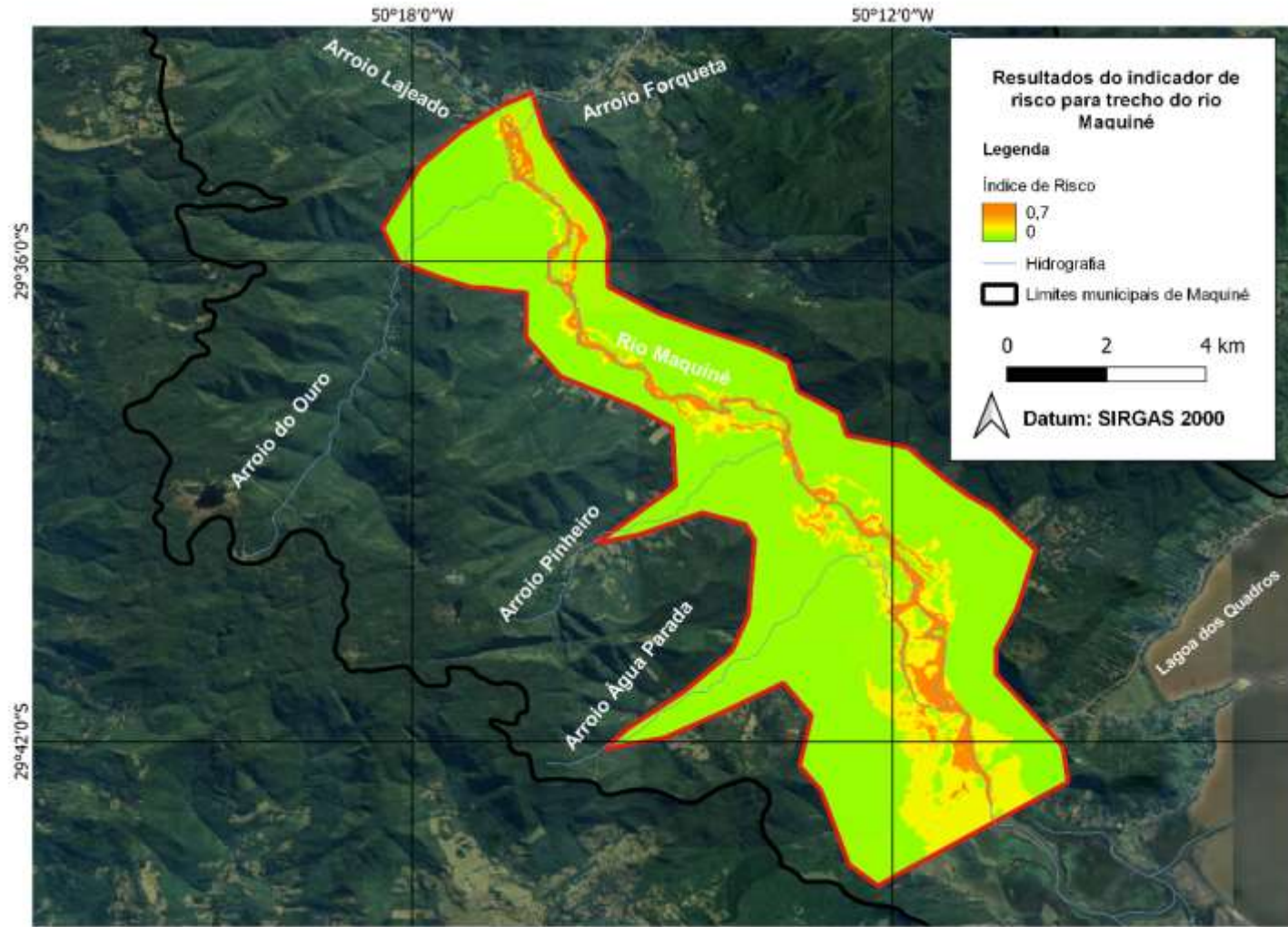
Fonte: Elaboração própria

5.5 ÍNDICE DE RISCO

Como citado anteriormente, o índice de risco da CRBi, é obtido por meio do produto normalizado dos subíndices de vulnerabilidade e perigo. Uma vez que o perigo pode ser calculado apenas para um trecho do rio Maquiné, o risco foi calculado apenas para a área de simulação. O resultado do índice de risco pode ser observado na

[Figura 54](#). Os maiores valores de risco ocorrem na calha do rio e nas suas margens em especial nas áreas de maior declividade. O valor mínimo de risco apresentado foi de 0,07 e o valor máximo 0,70. Dessa forma, não há valores de risco crítico, porém há áreas de risco de alerta e atenção.

Figura 54- Resultados do Índice de Risco



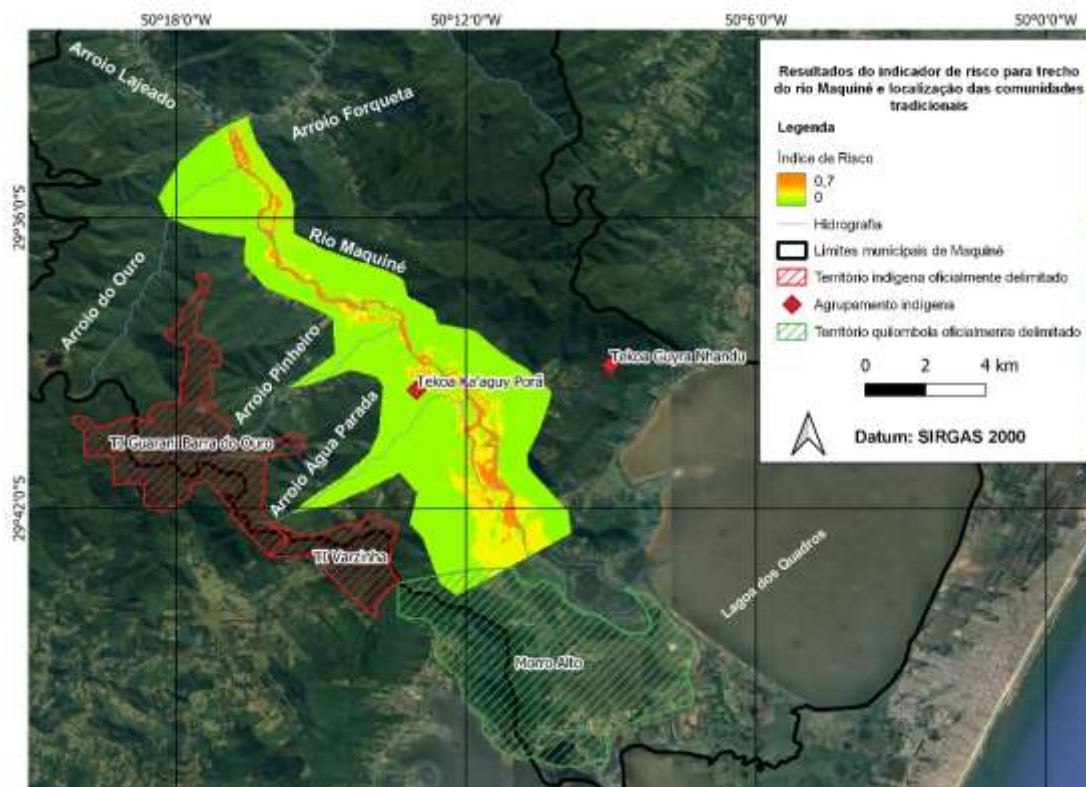
Fonte: Elaboração própria

5.6 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE, PERIGO E RISCO EM TERRITÓRIOS INDÍGENAS E QUILOMBOLAS DE MAQUINÉ

Na área em que foi determinado o perigo estão presentes parte dos territórios de 2 das 5 comunidades tradicionais presentes no município de Maquiné, a Tekoa Ka'aguy Porã e o quilombo Morro Alto. Em relação ao território indígena, está localizado em uma região que apresentou perigo de inundação muito baixo nas simulações realizadas. Em relação ao risco, o território apresentou resultados de risco baixo. Cabe destacar, porém, que o território está localizado a 500 m do arroio Pinheiro, onde não foram realizadas simulações hidrodinâmicas, e, portanto, não deve ser excluída a hipótese de a comunidade estar inserida em uma área de maior perigo e risco de inundação.

Para o quilombo Morro Alto, foi possível calcular o perigo para uma área do seu território. Há áreas de perigo e risco de nível de atenção na planície de inundação do rio Maquiné. Cabe destacar que parte do território quilombola que não foi simulada está localizada na margem direita do rio Maquiné próxima ao encontro com a Lagoa dos Quadros, e não pode ser descartada a probabilidade de existirem áreas de maior risco de inundação no território. A localização das comunidades tradicionais e os resultados do índice de risco calculado pode ser observado na [Figura 55](#).

Figura 55- Resultados do Índice de Risco e localização das comunidades tradicionais do município



Fonte: Elaboração própria

Em relação à vulnerabilidade, a terra indígena Guarani Barra do Ouro está localizada nos setores censitários 431177505000008 e 431177510000009, estando ambos entre os setores mais vulneráveis do município. Cabe destacar que não há dados disponíveis para diversos dos subindicadores que compõem o subíndice de vulnerabilidade. Já a terra indígena Varzinha está localizada no setor censitário 431177505000007, o qual apesar de apresentar uma vulnerabilidade um pouco menor ainda está em nível de alerta (assim como todo o município). O mesmo ocorre para a Tekoa Ka'aguy Porã localizada no setor 431177505000003 e para a Tekoa Guyra Nhand localizada no setor 431177505000005. Cabe ressaltar que esses três territórios ocupam apenas uma parte do respectivo setor censitário, enquanto na Guarani Barra do Ouro, o setor é composto quase que inteiramente pela terra indígena.

O quilombo Morro Alto possui áreas nos setores censitários 431177515000001; 431177515000002; 431177515000003 e 431177515000004, estando os dois primeiros quase que totalmente inseridos dentro do território quilombola. O setor 431177515000002 é um dos que apresentou a maior vulnerabilidade. Esse setor apresentou falta de saneamento para mais de 50% da população e renda familiar média de menos de 3 salários-mínimos.

6 LIMITAÇÕES

O presente trabalho se propôs a mapear e quantificar perigo, vulnerabilidade e risco de inundação no município de Maquiné através da metodologia CRBi. Em relação a qualidade dos dados disponíveis para realizar o estudo, contatou-se que a bacia do rio Maquiné carece de dados hidrológicos, apresentando dados fluviométricos apenas para o rio Maquiné e não para seus afluentes. Também não há dados pluviométricos nas bacias dos arroios Forqueta e Lajeado e apesar da existência de estações pluviométricas na bacia do rio Maquiné, não foi possível obter seus dados. A ausência desses dados limitou os resultados do presente estudo. Não foi objetivo deste estudo realizar uma caracterização hidrológica dos afluentes ou estimar sua vazão de contribuição.

Em relação aos dados de elevação, foram identificadas seções topobatimétricas levantadas por Menezes (2021), porém apenas para um trecho pequeno do arroio Forqueta. Também estavam disponíveis perfis transversais da estação Maquiné (87317030), porém não georreferenciadas. Em relação a modelos digitais de terreno, não foram identificados MDTs de melhor resolução que os disponíveis a nível nacional. Ainda que tenha sido utilizado o ANADEM, que busca corrigir o efeito da vegetação, percebe-se que ainda há regiões do MDT mais florestadas que não representam fielmente a superfície do terreno.

Em função da baixa disponibilidade de dados hidrológicos e topobatimétricos na região, a fim de conseguir representar mais fielmente o comportamento hidrodinâmico do corpo hídrico nas modelagens realizadas, foram realizados trabalhos de campo. Esse trabalho levantou 5 perfis topobatimétricos, sendo 4 no rio Maquiné e um no arroio Lajeado, além de uma medição de vazão em cada rio. Ainda assim, a quantidade de seções levantadas foi pequena e representa uma limitação dos resultados do presente estudo.

Não foram consideradas na simulação as estruturas hidráulicas (como pontes e bueiros) presentes na região simulada. Essa é uma limitação relevante uma vez que essas estruturas impactam o comportamento hidrodinâmico da onda de cheia, não sendo objetivo do presente trabalho avaliar o impacto sofrido por essas estruturas em eventos de inundações.

Em função da baixa disponibilidade de dados, optou-se por simular a propagação de uma onda de cheia apenas no trecho mais densamente povoado do

rio Maquiné. Foi possível calibrar o modelo através da medição de vazão realizada em campo. Essas simulações desconsideraram os afluentes do rio principal e, portanto, apresentam limitações. Ainda assim, foi possível identificar áreas de perigo crítico, de alerta e atenção.

Em relação a vulnerabilidade, foram considerados dados do IBGE, do Ministério da Cidadania e dados obtidos diretamente com a Prefeitura de Maquiné. Uma limitação foi que grande parte dos resultados considerou o Censo de 2010, dado que os resultados do Censo de 2022 ainda não estavam disponíveis no momento da elaboração do presente estudo. Essa é uma limitação dos resultados apresentados, visto que os dados de 2010 podem não mais representar fielmente o perfil da população atual. Também se destaca que não foi possível obter informações para alguns setores censitários, o que limita a avaliação de vulnerabilidade nessas regiões.

O risco foi calculado apenas para a região onde foi realizada a simulação hidrodinâmica, não sendo possível avaliá-lo em todo o município.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Apesar de todas as limitações presentes nesse trabalho, mais bem descritas no item 6, acredita-se que os resultados obtidos podem contribuir na melhoria da gestão de desastres do município de Maquiné, RS. A partir dos resultados da modelagem hidrodinâmica e do mapeamento de perigo, constatou-se que existem estruturas relevantes em áreas de perigo de inundação, como rodovias, residências, estabelecimentos comerciais, além de áreas agrícolas. Considerando-se os dados disponíveis, todos os setores censitários do município estão em estado de alerta para vulnerabilidade, e, portanto, é interessante que sejam consideradas intervenções. Destaca-se principalmente a ausência de leitos hospitalares do SUS, a inexistência de rotas de evacuação, índices acima de 50% em alguns setores de domicílios sem algum serviço de saneamento básico, a ausência de legislações específicas de ocupação de áreas de risco de inundação e a dependência do acesso à internet dos sistemas de alerta da população, uma vez que há regiões de Maquiné sem sinal telefônico. Destaca-se também que não foram disponibilizadas informações a respeito da quantidade de abrigos disponíveis nem do percentual de área ocupado em cada setor. Foram obtidos dados a respeito de adequação das moradias apenas para quatro setores.

O setor que apresentou a maior vulnerabilidade (431177505000008) está localizado na terra indígena Guarani Barra do Ouro. Esse setor apresentou poucos dados, o que também compromete a análise de vulnerabilidade.

Foi possível mapear áreas de risco de nível atenção e alerta, ou seja, regiões que necessitam de níveis de intervenção para evitar perdas humanas e custos de reparação.

A partir dos resultados do presente trabalho, é ressaltada a necessidade de maior monitoramento hidrológico na região, principalmente na região do rio Maquiné mais próxima da Lagoa dos Quadros, e nos afluentes do rio. A obtenção de MDTs de melhor resolução e mais dados topobatimétricos das regiões também são importantes para a obtenção de resultados mais representativos nas modelagens hidrodinâmicas.

A determinação do perigo e risco de inundação para todo o município, além da atualização dos dados de vulnerabilidade em trabalhos futuros traria maiores informações a fim de melhorar a gestão de desastres na cidade. Porém, o presente trabalho conseguiu identificar áreas de risco significativo e estruturas e regiões possivelmente afetadas, nas quais se faz necessário avaliar as intervenções pelos tomadores de decisão das entidades públicas e privadas.

Os resultados desse trabalho podem ser utilizados pelo município como ferramenta auxiliar no gerenciamento de risco de inundações. Contudo, todas as limitações descritas devem ser observadas. Propõem-se que sejam avaliadas possibilidades de intervenções nas áreas de maior risco identificadas, porém esse trabalho não deve ser utilizado para áreas seguras, uma vez que diversas variáveis não foram considerados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Disponível em <https://www.snirh.gov.br/>. Acesso em novembro de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Lista de Termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas. Brasília. 2014. Disponível em: < https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300_Portaria_149-2015.pdf>. Acesso em janeiro de 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA); UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). Nota técnica: ANADEM – Modelo digital do terreno para a América do Sul. Brasília: Porto Alegre, 2023.

BELLETTINI, Angela da Silva; MENDONÇA, Renato. Setorização de áreas de risco geológico: Maquiné, Rio Grande do Sul. [Belo Horizonte]: CPRM, 2022.

BRASIL. Decreto nº 6.040, de 7 de fevereiro de 2007. Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 fev. 2007. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 abr. 2012. Seção 1, p. 1.

Brasil. Decreto nº 10.692, de 3 de maio de 2021. Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande Impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 maio 2021. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. Atlas Digital de Desastres no Brasil. Brasília: MIDR, 2023a.

BRASIL. DEFESA CIVIL. Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. CEPED UFSC. 2023b.

BRUNNER, G. W. HEC-RAS river analysis system: 2D modeling user's manual. Davis (CA): [s. n.], 2016a. Available at: [https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS 5.0 2D Modeling Users Manual.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%202D%20Modeling%20Users%20Manual.pdf).

BRUNNER, G. W. HEC-RAS River Analysis System: Applications Guide. Davis (CA): [s. n.], 2016b. Available at: [https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS 5.0 Applications Guide.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Applications%20Guide.pdf).

BRUNNER, G. W. HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual. Davis (CA): [s. n.], 2016c. Available at: [https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS 5.0 Reference Manual.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf).

CASTRO, A. L. C. Glossário de defesa civil: estudo de riscos e medicina de desastres. Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil. 283 p, 1998.

CASTRO, Dilton de; MELLO, et al. História Natural e Cultural de Maquiné de tempos muito antigos até o século XXI. Porto Alegre: Maquiné, RS: Via Sapiens; Anama, Ação Nascente Maquiné, 2009.

CASTRO, Dilton de; MELLO, Ricardo Silva Pereira; AÇÃO NASCENTE MAQUINÉ (ORGANIZATION : RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL) (Orgs.). Atlas ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Porto Alegre: Maquiné, RS: Via Sapiens; Anama, Ação Nascente Maquiné, 2013.

CHOW, Ven Te. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, 1959.

COLLISCHONN, Walter. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre. 2º Edição revisada e ampliada, Associação Brasileiras de Recursos Hídricos (ABRH), 2015. 366p.

GODOY, J. V. et al. 2017. Análise Estatística Da Distribuição De Chuva Na Região Da Bacia Hidrográfica Do Rio Maquiné, RS. Anais do XXII Simpósio de Recursos Hídricos. Florianópolis.

GAÚCHAZH. “Maior cheia dos últimos 50 anos”, diz prefeito de Maquiné; veja imagens da cidade. Junho de 2023. Disponível em: <
<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2023/06/maior-cheia-dos-ultimos-50-anos-diz-prefeito-de-maquine-veja-imagens-da-cidade-cliy03qgv001e01560ebeexiz.html>>. Acesso em fevereiro de 2024.

GODOY, J. V. Z.; BAUMBACH, M.F.; MELO, C. M.; KOBAYAMA, M. Análise estatística da distribuição de chuva na região da Bacia Hidrográfica do Rio Maquiné, RS. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (22.: Florianópolis, 2017). Anais [recurso eletrônico]. [Porto Alegre : ABRH, 2017]

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, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 81–100, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Base de Informações Geográficas e Estatísticas sobre os Indígenas e Quilombolas para Enfrentamento à COVID-19. 2019. Disponível em: <
https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/tipologias_do_territorio/base_de_informacoes_sobre_os_povos_indigenas_e_quilombolas/indigenas_e_quilombolas_2019/Leia_me.pdf>. Acesso em janeiro de 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Painel Síntese por Município COVID=19. Disponível em <https://covid19.ibge.gov.br/paineis-sintese/>. Acesso em novembro de 2023.

Integrated Research on Disaster Risk (IRDR). Peril Classification and Hazard Glossary (IRDR DATA Publication No. 1). Beijing: Integrated Research on Disaster Risk, 2014.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F. Identificação dos riscos. *Emergência*, fev/mar, p.4851, 2011.

Kobiyama, M.; Paixão, M.A.; Zambrano, F.C.; Mazzali, L.H.; Michel, R.D.L.; Godoy, J.V.Z. Mapeamento de Áreas de Risco para Prevenção de Desastres Hidrológicos com Ênfase em Modelagem Hidrogeomorfológica. 4ª edição – Porto Alegre: UFRGS/IPH/GPDEN, 2017. 4º edição 442p, 2017.

LAVAGNOLI MOREIRA, Luana; KOBIYAMA, Masato. PANORAMA DE ESTUDOS SOBRE ÍNDICE DE VULNERABILIDADE ÀS INUNDAÇÕES NO BRASIL ATRAVÉS DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. *Caminhos de Geografia*, v. 22, n. 79, p. 309–320, 2021.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO E ASSISTÊNCIA SOCIAL, FAMÍLIA E COMBATE À FOME. Relatório Completo Maquiné/RS. Programa Bolsa Família e Cadastro Único no seu Município. Disponível em: <https://aplicacoes.cidadania.gov.br/ri/pbfcad/relatorio-completo.html>. Acesso em janeiro de 2024.

Ministério do Desenvolvimento Regional. Classificação e codificação brasileira de desastres (Cobrade): categoria, grupo, subgrupo, tipo, subtipo. Brasília: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, 2012.

Menezes, Danrlei de. Caracterização hidrossedimentológica de trecho do rio Forqueta, Maquiné/RS. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 119p 2021.

MENEZES, Danrlei de.; KOBIYAMA, Masato; VANELLI, Franciele Maria; MOREIRA, Luana L. Impacto dos Processos Hidrossedimentológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Maquiné/RS. 5º Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis, 2019a.

MENEZES, Danrlei de; MOREIRA, Luana Lavagnoli; KOBIYAMA, Masato. É sempre adequado o uso de dados de reanálise (CFSR)? Estudo de caso na bacia do rio Maquiné/RS. XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 2019b.

Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR). Entenda a diferença entre os tipos de desastres naturais e tecnológicos registrados no Brasil. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/ultimas-noticias/entenda-a-diferenca-entre-os-tipos-de-desastres-naturais-e-tecnologicos-registrados-no-brasil>>. Acesso em: 17 set. 2023.

MOREIRA, Luana Lavagnoli; KOBIYAMA, Masato; BRITO, Mariana Madruga de. Efeito do Uso de Diferentes Métodos de Normalização na Construção de Índices de Vulnerabilidade a Inundações. In: II END - Encontro Nacional de Desastres da ABRHidro, 2020, Virtual. Anais do II END, Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/iiend>. Acesso em: 25 de setembro de 2023.

MONTE, Benício Emanuel Omena *et al*, Terminology of natural hazards and disasters: A review and the case of Brazil, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 52, p. 101970, 2021.

MONTE, Benício Emanuel Omena. CRBi: UM ÍNDICE DE RISCO DE INUNDAÇÕES DESENVOLVIDO PARA MUNICÍPIOS BRASILEIROS. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 253p 2022.

MONTEIRO, L.R.; KOBIYAMA, M. Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundação. *REGA*, v.10, n.2, p.13-25, 2013.

O'KEEFE, P.; WESTGATE, K.; WISNER, B. Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature*, [s. l.], v. 260, n. 5552, p. 566–567, 1976. Available at: <https://doi.org/10.1038/260566a0>. Acesso em: setembro 2023

PAIXÃO, Maurício Andrades; KOBIYAMA, Masato. Relevant parameters for characterizing mountain rivers: A review. *Revista Brasileira de Recursos Hidricos*, [s. l.], v. 24, 2019.

PASSARINHO, Nathalia. Brasil tem 16,27 milhões de pessoas em extrema pobreza, diz governo. *G1*, Brasília. Maio de 2011. Disponível em: < [G1 - Brasil tem 16,27 milhões de pessoas em extrema pobreza, diz governo - notícias em Política \(globo.com\)](https://g1.globo.com/brasil/noticia/2011/05/16/brasil-tem-16-27-milhoes-de-pessoas-em-extrema-pobreza-diz-governo-noticias-em-politica-globo.com)>. Acesso em novembro de 2023.

PREVENE. Contribution to “Natural” Disaster Prevention in Venezuela Cooperation: Venezuela – Switzerland-PNUD. [S. l.: s. n.], 2001.

RIO GRANDE DO SUL, Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Relatório Executivo. 2020. Disponível em: < https://rsgovbr-my.sharepoint.com/personal/raiza-schuster_sema_rs_gov_br/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Ffraiza%2FDocuments%2FBiblioteca%20DIPLA%2FPBHs%2FL010%20%2D%20Bacia%20Hidrogr%C3%A1fica%20do%20Rio%20Tramanda%C3%AD%2F12%5FRExec%5FRel%5FExecutivo%2Epdf&parent=%2Fpersonal%2Ffraiza%2FDocuments%2FBiblioteca%20DIPLA%2FPBHs%2FL010%20%2D%20Bacia%20Hidrogr%C3%A1fica%20do%20Rio%20Tramanda%C3%AD&ga=1>. Acesso em outubro de 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Relatório da Fase A (RFA) do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. 2019. Disponível em: < https://5e9028af-c7af-4f9d-aa63-0aad1e0463e3.filesusr.com/ugd/fa6722_8eedb472dcf54ddda22ab5057bd7bde4.pdf>. Acesso em janeiro de 2024.

SOKOLOV, A.A., RANTZ, S.E, ROCHE, M. Flood flow computation. Paris Unesco. 1975. 194p.

STEPHENSON, D. Integrated flood plain management strategy for the Vaal. *Urban Water*, 4, pp. 425-430, 2002.

TUCCI, Carlos E. M. Modelos Hidrológicos. Porto Alegre. Editora da Universidade UFRGS Associação Brasileira de Recursos Hídricos 609p, 1998.

TUCCI, Carlos E. M. Hidrologia Ciência e Aplicação. Porto Alegre. Editora da Universidade UFRGS Associação Brasileira de Recursos Hídricos 943p, 2012.

US Army Corps of Engineers (USACE) – Hydrologic Engineering Center. HECRAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual version 6.4. September 2023

UNDP (Org.). Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report. New York: United Nations Development Programme, 2015.

WOHL, Ellen. Human impacts to mountain streams. *Geomorphology*, [s. l.], v. 79, n. 3–4, p. 217–248, 2006.