

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E  
SANEAMENTO AMBIENTAL

BENÍCIO EMANOEL OMENA MONTE

CRBi:  
UM ÍNDICE DE RISCO DE INUNDAÇÕES  
DESENVOLVIDO PARA MUNICÍPIOS BRASILEIROS

PORTO ALEGRE

2022

BENÍCIO EMANOEL OMENA MONTE

CRBi:

UM ÍNDICE DE RISCO DE INUNDAÇÕES  
DESENVOLVIDO PARA MUNICÍPIOS BRASILEIROS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de doutor.

Orientador: Joel Avruch Goldenfum

Coorientador: Gean Paulo Michel

PORTO ALEGRE

2022

### CIP - Catalogação na Publicação

Monte, Benício Emanoel Omena  
CRBi: Um índice de risco de inundações  
desenvolvido para municípios brasileiros / Benício  
Emanoel Omena Monte. -- 2022.  
253 f.  
Orientador: Joel Avruch Goldenfum.

Coorientador: Gean Paulo Michel.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas,  
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e  
Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Índice. 2. Inundação. 3. Risco. 4. Perigo. 5.  
Vulnerabilidade. I. Goldenfum, Joel Avruch, orient.  
II. Michel, Gean Paulo, coorient. III. Título.

BENÍCIO EMANOEL OMENA MONTE  
CRBi:  
UM ÍNDICE DE RISCO DE INUNDAÇÕES  
DESENVOLVIDO PARA MUNICÍPIOS BRASILEIROS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de doutor.

Aprovado em: Porto Alegre, 08 de Março de 2022

---

Prof. Dr. Joel Avruch Goldenfum – (PPGRHSA/IPH/UFRGS) (Orientador)

---

Prof. Dr. Gean Paulo Michel – (PPGRHSA/IPH/UFRGS) (Coorientador)

---

Prof. Dr. Masato Kobiyama – (PPGRHSA/IPH/UFRGS)  
Examinador

---

Prof. Dr. Walter Collischonn – (PPGRHSA/IPH/UFRGS)  
Examinador

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Alexandra Cruz Passuello – (CETEC/UFRB)  
Examinadora

---

Prof. Dr. Eduardo Mario Menciondo – (EESC/USP)  
Examinador



Dedico este trabalho ao meu querido tio/padrinho Nairo Alves Freitas, grande homem, médico renomado da oftalmologia alagoana, torcedor fanático do Clube de Regatas Brasil e que está descansando em paz.

## AGRADECIMENTOS

Estes agradecimentos vão para às pessoas que estiveram ao meu lado e que de alguma forma contribuíram para alcançar o título de doutor; seja nos momentos de dificuldade ou de alegrias, foram importantes na caminhada do doutorado, na escrita da tese ou na amizade para manter as forças e o foco no término desse trabalho:

- À minha companheira, Daniele Feitoza, pelo seu comprometimento, paciência, ajuda e força dada; sem você isso não seria possível. Obrigado por me auxiliar incondicionalmente a chegar no meu objetivo;

- Ao meu pai, grande herói, deixou de viver qualquer estilo de vida para poder dar um futuro para os filhos, não tenho palavras para te agradecer por ter me dado as ferramentas, muito conhecimento e conselhos do que deveria ser feito na vida. Nós conseguimos! Serei grato eternamente. Isso se estende as minhas irmãs, amo vocês, e obrigado por darem a chance de conquistar esse sonho;

- Aos meus primos-irmãos Nairo José Freitas, Nairo Júnior e Nairo Henrique, pois sempre me ajudaram junto com a minha tia-madrinha-mãe Liriane Monte Freitas. Essa grande mulher foi a pessoa que me adotou como filho mais novo, e tem grande responsabilidade por tudo que conquistei, sem ela não teria chegado aqui. Obrigado a minha segunda família. Ao meu tio-padrinho querido, Nairo Freitas, de bons momentos e brincadeiras em Japaratinga, o nosso caribe, torcedor do nosso Clube de Regatas Brasil, um grande abraço e sinto muitas saudades;

- À minha sogra-mãe Maria Feitoza e suas filhas Débora e Diana, meu sogro Mário Vieira, e todos os amigos do município de Pariconha, sou muito grato por fazer parte dessa família, fui adotado com muito carinho nos últimos anos e que tranquilamente deixaram mais fácil alcançar os êxitos. Sou muito grato por tudo;

- Ao Prof. Joel Avruch Goldenfum, um profissional que sempre acreditou na finalização do trabalho e sempre me ajudou nas soluções dos caminhos a seguir. Sempre manteve as portas abertas para dar oportunidades de projetos e pesquisas, o seu bom humor e prosa sempre me deixaram tranquilo, e que tudo poderia ser alcançado. Estarei à disposição como um parceiro profissional e amigo, sempre que possível;

- Ao professor Gean, por todo profissionalismo e capacidade que disponibilizou para ajudar em trabalhos acadêmicos, repassando conhecimento na área de

desastres e de conteúdo geral, além disso fomos amigos de doutorado, boas prosas, cantorias e festas, enfim, bons momentos;

- Aos professores Walter, Nilza, David, Alfonso, Guilherme, Lúcia, Juan Martín, André da Silveira, Olavo, Anderson, Edith, Rodrigo, Fernando Dornelles, Fernando Fan e Antônio Benetti pelo conhecimento adquirido, os bons bate-papos. Foi uma grande experiência conviver com esses profissionais renomados e sempre solícitos. Por fim, trago um adendo especial ao professor Masato, pois possibilitou entender de forma profunda as complexidades dos desastres, e que possui todas as características supracitadas dos demais. O meu agradecimento a todos;

- Aos secretários da Pós-Graduação pelos serviços sempre bem prestados;

- Agradeço imensamente a minha professora, mestra e orientadora Professora Rochana Campos de Andrade Lima, pois sem ela, muito provavelmente esse caminho não poderia ter sido finalizado ou aconteceria de forma muito mais difícil, foi quem me estendeu a mão e meu deu norte na área acadêmica;

- Aos meus grandes amigos mais próximos do doutorado de longa jornada, ficaram marcados pelo resto da vida, por terem participado profundamente de toda a minha história no doutorado do IPH. A Franciele Zanandrea, a grande amiga que formei desde primeiros dias de aulas e do dia a dia, amiga para sempre. A turma de Maceió e agregados, que conseguiam diminuir a distância de casa, amigos de todo o sempre: João Paulo, Thiago “Zé”, Cléber, Matheus, Hugo, Sly e Germano.

- Aos meus amigos que dividiram apartamento, alegrias de viver em um novo local e soluções para as questões de doutorado, foram fundamentais no começo e no meio da jornada: Felipe Mamedio, Erick Sebadelhe, Eugênio, Billy, Néelson e Jóbson.

- Grandes amigos gaúchos e do Sul, que foram grandes parceiros de longa data ou mais recentes, pessoas que me receberam de braços abertos já perguntando se gostava de churrasco e chimarrão, primeiro momento para criar a amizade! Vinícius Siqueira, Ayan, Franciele Vanelli, Leonardo Monteiro, Maurício Paixão, Arthur Tschiedel, Camilla, Débora Koller, Caetano, Sofia Royer, Mino Sorribas, meu respeito pelos conhecimentos adquiridos e toda parceria. Ainda cito os demais amigos e colegas: Pedro Jardim, Amada Fadel, Camila Matiuzzi, Guilherme Bartels. Fica o agradecimento especial ao Vinícius Siqueira e a Sofia Royer pela ajuda com dados e informações para conclusão da tese, muito obrigado pela parceria;

- Aos amigos de IPH que também caíram de paraquedas de outros locais do Brasil, pessoas que se criam laços, pois compartilhamos das mesmas tristezas das



distâncias da terra natal e da família: Juliana, Erik, Ada, Adriana, Itzayana, Daniele, Larissa e Leonardo.

- Aos meus amigos dos tempos de mestrado: Cledeílson, Carlos Alberto e Denis Duda por terem construído comigo o alicerce na área de recursos hídricos. Trio parada dura que não descansava para obtermos o grau de mestre.

- Aos amigos do futebol que conseguiram sobreviver as minhas entradas e foram os momentos que mais tivemos histórias engraçadas para contar de ruindade: Fernando Zambrano, Nestor, Alex, Carlos Henrique, Elizandro, Ezequiel, João Vicente, Júnior e Loudi;

- Aos amigos do vôlei, em que é muito divertido a convivência, principalmente nos últimos anos: Bruno Abatti, Marina, Clarissa, Karla, Pedro, Danlei, Thainá, Cayo e Duda;

- Aos meus amigos Mikael Rodrigues, Bruno Rodrigues, Wendell Fialho e Eric Fernando, irmãos dos tempos da geografia, e que continuamos seguindo com a parceria até os dias atuais;

- Aos meus amigos do grupo Poa-Maceió, a vida não seria a mesma em Porto Alegre sem essa embaixada de Alagoas em Porto Alegre, foram bons anos de festas, jogos e muita piada. Hoje estão espalhados pelo mundo, mas seguimos nos grupos de mensagem instantânea. Paulo Rógenes, Marllus Neves, Victor Falcão, Rodrigo Sanches, Will, Aquiles, Rodrigo Downsley, Samuel, João Smith, Marcus Fireman e Tia Minon (Deus está muito feliz com suas gargalhadas, descanse em paz). Isso se estende da mesma forma das vossas companheiras: Rosane, Vivian, Lívia, Vanda, Tamara e Luana. Um adendo ao Rafael Cavalcanti, que é e foi um grande amigo do tempo do mestrado em Maceió, incentivador para fazer o doutorado no IPH, colega do IPH, parceiro que dividia apartamento, amigo, coautor de publicações, sócio em consultorias e hoje dividimos espaço em empresa de recursos hídricos. Obrigado meu caro.

- Agradeço imensamente a Prefeitura de Lajeado/RS, principalmente no nome da funcionária Juliana Henz e a Defesa Civil de Lajeado por ceder dados de forma tão solicita, sem eles, certamente o trabalho demoraria mais.

- E ao meu bom Deus e Jesus Cristo pela força concebida a minha pessoa para lograr êxito nesse doutorado, pois sem fé, os momentos mais difíceis iriam se reverberar em desistências e fraquezas.

*“Mudança e transformação são características essenciais da vida. Cada estado de coisas é passageiro; cada época é uma época de transição. Na vida humana nunca há calma e repouso. A vida é um processo e não a permanência no status quo”*

**Ludwig von Mises**

*“Sucesso não é o final, falhar não é fatal: é a coragem para continuar que conta”*

**Winston Churchill**

## RESUMO

Inundações são um dos desastres que mais causam danos à sociedade. Identificar as áreas com maior risco ao desastre por inundações subsidia as decisões no gerenciamento de riscos. Risco é uma função de duas esferas: o natural (perigo) e o social (vulnerabilidade), e a interação entre ambos é o gatilho para um potencial desastre. O trabalho teve por objetivo propor um índice de risco a inundações em bacias com baixa urbanização, construído por análise multicritério através de uma pesquisa extensa sobre conceitos e termos relacionados a desastres e baseado em uma *meta-análise* de trabalhos acadêmicos. O foco foi um índice replicável em nível municipal brasileiro. Subíndices de perigo, suscetibilidade e de vulnerabilidade com seus indicadores foram propostos e testados. O subíndice de perigo baseado na dinâmica dos processos de inundação influenciou no delineamento do índice de risco, pois replicou a hidrodinâmica da região estudada. O subíndice de suscetibilidade física baseado em indicadores não logrou êxito em ser um substituto ao subíndice de perigo para inundações em grandes bacias. O subíndice de vulnerabilidade possui indicadores de suscetibilidade e exposição bem definidos e que influenciam nos resultados; em que resiliência e capacidade adaptativa são indicadores em evolução e com dados mais difíceis de serem obtidos. A vulnerabilidade não apresentou correlação direta apenas com questão social-econômica, mas também com capacidades da sociedade para enfrentar um potencial desastre. O método de análise multicritério Processo Hierárquico Analítico (AHP) foi replicável e robusto, sendo baseado em uma *meta-análise* de trabalhos acadêmicos. Essa adaptação reduziu subjetividades na pesquisa com especialistas. A Classificação de Risco Brasileira para inundações (CRB<sub>i</sub>) pode ser facilmente replicada para outros tipos de perigo e para outros países, pois a universalidade das variáveis utilizadas contribui para adaptar-se para outras análises. Conclui-se que o essencial no índice de risco é a sua concepção fundamentada nos termos e conceitos adequados, que os dados devem apresentar três características básicas: disponibilidade, custo financeiro e precisão).

**Palavras-chave:** Índice. Risco. Inundação. Perigo. Vulnerabilidade.

## CRBi: A FLOOD RISK INDEX DEVELOPED FOR BRAZILIAN CITIES

### ABSTRACT

Floods are one of the disasters which cause most damage to society. The identification of areas with high risk of flood disaster conduct to risk management decisions. Risk is a function of two elements, the natural (hazard) and the social (vulnerability), being triggered for a potential disaster by their interaction. This work aims to build a low urban flood risk index structured by multicriteria decision making (MCDA) through extensive research of concepts and terms related to disasters and based on a meta-analysis of academic and technical papers. The aim was to produce a replicable index at the Brazilian municipal level. Hazard, susceptibility, and vulnerability sub-indices (and associated indicators) were proposed and evaluated. The hazard sub-index built on the dynamics of flooding processes influenced the design of the risk index, as it seeks to replicate the hydrodynamics of the region studied. The physical susceptibility sub-index based on indicators has not been successful in being a substitute for the hazard sub-index of large river basins flood. The vulnerability sub-index has well-defined susceptibility and exposure indicators that influence the results; otherwise, resilience and adaptive capacity are indicators in development, being more difficult to obtain. The vulnerability has not correlation with social-economic level but also with social capacities to face a potential disaster. For this purpose, the Analytical Hierarchy Process (AHP) method was useful and robust, being based on a meta-analysis of academic research, which reduces subjectivity from experts. The Brazilian Risk Classification for floods (CRBi) can be easily replicated to different types of hazards and countries since database were extracted from academic works from several countries, because the universality of the variables used helps to adapt to other MCDA analyzes. This thesis concluded that working with risk index needs to be based on the appropriate terms and concepts, and the data must present 03 (three) basic characteristics: availability, financial cost, and precision.

**Keywords:** Index. Risk. Flood. Hazard. Vulnerability

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ocorrências de inundações no mundo a cada 10 anos. ....	51
Figura 2 - Ocorrências de inundações no Brasil a cada 10 anos. ....	54
Figura 3 - Pirâmide de etapas para formulação de um índice. ....	66
Figura 4 - Fluxograma da metodologia. ....	73
Figura 5 - Localização da área de estudo. ....	75
Figura 6 – Fluxograma para obtenção do índice. ....	80
Figura 7 - Seleção de indicadores, subindicadores e a origem dos dados. ....	84
Figura 8 – Localização das estações e malha computacional utilizada na simulação hidrodinâmica. ....	87
Figura 9 - Hidrograma do evento de 2020 nas bacias do rio Taquari-Antas, arroio Forqueta e Arroio Boa Vista. ....	90
Figura 10 - Ajuste GEV para cotas em Encantado/RS. ....	92
Figura 11 - Ajuste GEV para vazões em Encantado/RS. ....	93
Figura 12 - Hidrograma dos cenários utilizados para gerar o subíndice de perigo. ....	94
Figura 13 - Seções topobatimétricas utilizadas no estudo. ....	97
Figura 14 - Modelo Digital de Terreno da região estudada. ....	98
Figura 15 - Localização da barragem/eclusa Bom Retiro. ....	99
Figura 16 - Nível da cota 22 m, cota limite em que não há interferência da barragem/eclusa Bom Retiro e desenho da barragem/eclusa no modelo HEC-RAS 5.0.7. ....	100
Figura 17 – Mapa com os coeficientes de rugosidade utilizados na simulação hidrodinâmica. ....	102
Figura 18 – Resultado da simulação do evento de 2020 (evento de calibração). ...	103
Figura 19 - Fluxograma da modelagem de calibração e validação. ....	104
Figura 20 – Diagrama do perigo de inundação baseado metodologia de Stephenson (2002). ....	106
Figura 21 – Níveis de perigo discretizados da metodologia da PREVENE (2001). ..	107
Figura 22 - Fluxograma para obtenção do subíndice de perigo. ....	109
Figura 23 - Ajuste GEV para cotas em Lajeado/RS. ....	111
Figura 24 – Bairros do município de Lajeado/RS. ....	132
Figura 25 - Diagrama do processo de risco e a correlação do termos na área desastres (Adaptado de Monte <i>et al.</i> (2021)). ....	135

Figura 26 - Indicadores que constituem a vulnerabilidade. ....	136
Figura 27 - Subíndice de perigo para cada tempo de retorno retratado em forma de mapa. ....	138
Figura 28 - Subíndice de perigo final em forma de mapa.....	140
Figura 29 – Mapa do subíndice de perigo comparado com o subíndice de suscetibilidade física. ....	143
Figura 30 – Mapa do subíndice de perigo comparado com o subíndice de suscetibilidade física. ....	144
Figura 31 – Resultados dos subindicadores relacionados a exposição. ....	148
Figura 32 – Resultados do indicador de exposição.....	149
Figura 33 – Resultados dos subindicadores relacionados a suscetibilidade.....	153
Figura 34 – Resultados do indicador de suscetibilidade. ....	154
Figura 35 - Resultados dos subindicadores relacionados a resiliência. ....	158
Figura 36 – Resultados do indicador de resiliência. ....	159
Figura 37 – Resultados dos subindicadores relacionados a capacidade adaptativa. ....	163
Figura 38 – Resultados do indicador de capacidade adaptativa. ....	164
Figura 39 – Resultados do subíndice de vulnerabilidade. ....	167
Figura 40 – Resultados do índice de risco. ....	168
Figura 41 – Resultados apresentados para perigo entre o método de GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012) e o CRBi.....	171
Figura 42 – Resultados apresentados para vulnerabilidade pelo método de GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012) e o CRBi.....	172
Figura 43 – Resultados apresentados para risco pelo método de GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012) e o CRBi. ....	173
Figura 44 – Trilema do dado para indicadores. ....	177

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação dos dados de inundações e do total de desastres no mundo desde início da contabilidade da EM-DAT do CRED. ....	51
Tabela 2 – Comparação dos dados de inundações e do total de desastres no Brasil desde a existência de contabilidade pelo EM-DAT do CRED. ....	53
Tabela 3 - Eventos de inundação em comparação aos demais desastres no Brasil.	54
Tabela 4 - Inundações bruscas e seus impactos no Brasil, região Sul e no Rio Grande do Sul (1990-2010).....	55
Tabela 5 - Inundações graduais e seus impactos no Brasil, região Sul e no Rio Grande do Sul (1990-2010).....	55
Tabela 6 - Valoração do ICA para o número de indicadores.....	83
Tabela 7 – Cotas máximas e vazões máximas para Encantado/RS. ....	92
Tabela 8 – Análise de estatísticas de eficiência da simulação. ....	100
Tabela 9 – Período de retornos a serem utilizados e suas probabilidades de superação.....	107
Tabela 10 – Cotas máximas para Lajeado/RS. ....	110
Tabela 11 – Classes do subindicador elevação. ....	111
Tabela 12 - Classes do subindicador declividade. ....	111
Tabela 13 - Classes do subindicador distância para o curso d'água.....	112
Tabela 14 - Classes do subindicador uso do solo. ....	112
Tabela 15 - Classes do subíndice vulnerabilidade. ....	114
Tabela 16 - Classes do subindicador densidade populacional.....	115
Tabela 17 - Classes do subindicador densidade populacional por domicílio. ....	115
Tabela 18 - Classes do subindicador das infraestruturas críticas. ....	115
Tabela 19 - Classes do subindicador habitações em área inundadas. ....	116
Tabela 20 - Classes do subindicador tipo material de construção. ....	116
Tabela 21 – Classes do subindicador de leitos hospitalares.....	118
Tabela 22 – Classes do subindicador de acesso a saneamento.....	119
Tabela 23 - Percentual de mulheres chefes de família. ....	119
Tabela 24 – Classes do subindicador com percentual com renda familiar em salários-mínimos.....	120
Tabela 25 – Classes com o subindicador percentual de pessoas com algum grau de dependência.....	120

Tabela 26 - Classes do subindicador com percentual de pessoas na linha da pobreza. ....	120
Tabela 27 - Classes do subindicador rede de comunicação. ....	122
Tabela 28 - Classes do subindicador de taxa de pessoas não alfabetizadas. ....	123
Tabela 29 - Classes do subindicador de instituições de gestão de riscos de desastres. ....	123
Tabela 30 – Classes do subindicador rotas de evacuação. ....	124
Tabela 31 – Classes do subindicador da quantidade de abrigos. ....	124
Tabela 32 – Classes do subindicador de percentual de população sem residência própria e quitada. ....	124
Tabela 33 – Classes do subindicador da população com necessidade de assistência social. ....	125
Tabela 34 – Classes do subindicador da população com curso superior. ....	127
Tabela 35 - Classes do subindicador da falta de envolvimento da sociedade. ....	127
Tabela 36 - Classes do subindicador de políticas para o meio ambiente. ....	127
Tabela 37 - Classes do subindicador do sistema de alerta. ....	128
Tabela 38 – Percentual de área inundada no setor censitário. ....	130
Tabela 39 – Percentual de área para cada classe de análise do perigo em cada tempo de retorno. ....	137
Tabela 40 – Área em km <sup>2</sup> e percentual das classes do subíndice de perigo final. ...	139
Tabela 41 – Análise <i>fit</i> entre o subíndice de perigo e o subíndice de suscetibilidade física. ....	141
Tabela 42 - Análise <i>kappa</i> entre o subíndice de perigo e o subíndice de suscetibilidade física. ....	141



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Ferramentas para a gestão de riscos de desastres naturais.....	57
Quadro 2 - Etapas para criação de um indicador composto. ....	66
Quadro 3 - Estrutura para construção de índices e indicadores.....	68
Quadro 4 - Compilação de a alguns índices de riscos a desastres.....	69
Quadro 5 - Definição do perigo de inundação. ....	107

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANP	<i>Anlytical Network Process</i>
AHP	Processo de Análise Hierárquica
API	<i>Application Programming Interface</i>
APP	Área de Proteção Permanente
ASF	<i>Alaska Satellite Facility</i>
AVADAN	Avaliação de Danos
BPC-LOAS	Benefício de Prestação Continuada
CAPRA	<i>Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment</i>
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
CODEC/RS	Centro de Operações da Defesa Civil do Rio Grande do Sul
COMDEC	Coordenadoria Municipal de Defesa Civil
CONPDEC	Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CRB <sub>i</sub>	Classificação de Risco Brasileira para Inundações
CRED	<i>Centre for Research on the Epidemiology of Disasters</i>
CREPDEC 8	Corregedoria Regional de Proteção e Defesa Civil de Lajeado
CUB	Custo Unitário Básico de Construção Civil
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CV	Coeficiente de Variação
DAG	Departamento de Articulação e Gestão
DMD	Departamento de Minimização de Desastres
DRI	<i>Disaster Risk Index</i>
DRR	<i>Disaster Risk Reduction</i>
ELECTRE	<i>Elimination and Choice Translating Reality</i>
EM-DAT	<i>Emergency Events Database</i>

EP	Erro Padrão
FIDE	Formulário de Informações do Desastre
GEV	Generalizada de Eventos Extremos
GNSS	<i>Global Navigations Satellite Systems</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IRC	Índice de Risco a Cheias
IRDR	<i>Integrated Research on Disaster Risk</i>
JBN	Jato de Baixos Níveis
JCI	<i>Junior Chamber International</i>
LCD	<i>Liquid-Crystal Display</i>
MCDM	Análise Multicritério
MDT	Modelo Digital de Terreno
MUNICH RE	<i>Munich Reinsurance Company</i>
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOPRED	Notificação Preliminar de Desastres
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PETI	Programa de Erradicação do Trabalho Infantil
PIB	Produto Interno Bruto
PIP	Projetos de Investimento Público
PNPDC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RMSE	Raiz do Erro Médio Quadrático
RS	Rio Grande do Sul
RTK	<i>Real-Time Kinetic</i>
SACE	Sistema Alerta de Eventos Críticos

SEMA-RS	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul
SCM	Sistemas Convectivos de Mesoescala
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINDPEC	Sistema Nacional de Proteção Civil
SPI	<i>Stream Power Index</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
STI	<i>Sediment Transport Index</i>
SWR	<i>Soil Water Retention</i>
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution</i>
TPI	<i>Topographic Position Index</i>
TRI	<i>Terrain Roughness Index</i>
TWI	<i>Topographic Wetness Index</i>
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UNIVATES	Universidade do Vale do Taquari
UTI	Unidade de Terapia Intensiva

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Percentual
US\$	Dólar Americano
$n^{\circ}$	Número
°	Grau
'	Minuto
Km <sup>2</sup>	Quilômetro
$m^3.s^{-1}$	Metros Cúbicos por Segundo
mm	Milímetro
m	Metro
ha	Hectare
&	Sinal Tironiano
$n$	Número de Critérios a Serem Avaliados
$\lambda$	Autovalor Principal
$\sum_{i=1}^n$	Soma com Limites
$M_l$	Média da Linha Correspondente ao l-Ésimo Critério
$S_l$	Soma da Coluna Correspondente ao l-Ésimo Critério
$Peso_{Ind}$	Peso de Cada Indicador ou Subindicador
$N_{Subind}$	Número de Vezes que o Indicador ou Subindicador foi Utilizado nos Artigos Analisados
$N_{SubindEsc}$	Número de Indicadores e Subindicadores Escolhidos para o Estudo
$N_{Art}$	Número Total de Artigos Analisados que Possuíam Análise de Indicadores
$V$	Valores
$V_{escalonado}$	Valor Escalonado
$V_{observado}$	Valor Observado
$V_{máximo}$	Valor Máximo
$V_{mínimo}$	Valor Mínimo
2D	Duas Dimensões

$m.m^{-1}$	Metro por Metro
$Q_{\text{encantado}}$	Vazão em Encantado/RS
$h_{\text{encantado}}$	Profundidade em Encantado/RS
$\alpha$	Parâmetro Alfa
$\gamma$	Parâmetro Gamma
$\beta$	Parâmetro Beta
®	Marca Registrada
KHz	Kilohertz
$h$	Profundidade
$v$	Velocidade
$m.s^{-1}$	Metros por Segundo
$k$	Índice Kappa
U	União
$\cap$	Intersecção
hab/km <sup>2</sup>	Habitantes por Quilômetro Quadrado
R\$	Real brasileiro
$\frac{1}{2}$	Número Racional Fracionário da Divisão de Um por Dois
mi	Milha
mi <sup>2</sup>	Milha Quadrada
km/km <sup>2</sup>	Quilômetro por Quilômetro Quadrado
<i>PE</i>	Perigo Estimado
<i>AI</i>	Área Inundada no Setor Censitário
<i>AT</i>	Área Total do Setor Censitário
<i>IV</i>	Índice de Vulnerabilidade
Dd	Densidade Demográfica
Nm	Número de Moradores no Setor Censitário
Mm	Média de Moradores por Residência
TxD	Taxa de Dependência (idosos (> 60 anos) e jovens (<12 anos)
E	Educação (taxa de analfabetos acima de 12 anos)
R	Renda (responsável sem rendimento ou com até 1 salário-mínimo)
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano do Município

IR  
hrs

Índice de Risco  
Horas

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	27
2 OBJETIVOS .....	29
3 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	30
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
4.1 Conceitos básicos .....	31
4.1.1 Risco.....	32
4.1.2 Desastres.....	33
4.1.3 Perigo .....	35
4.1.4 Suscetibilidade Física .....	36
4.1.5 Vulnerabilidade .....	36
4.1.6 Adaptação.....	44
4.1.7 Inundações .....	46
4.2 Gestão de riscos desastres de inundações.....	56
4.2.1 Prevenção e mitigação .....	60
4.2.2 Preparação .....	61
4.2.3 Resposta .....	62
4.2.4 Recuperação .....	62
4.2.5 Gestão de riscos a desastres no Brasil .....	63
4.3 Metodologias de avaliação de risco .....	65
4.3.1 Indicadores e índices.....	65
4.3.2 Métodos de análise multicritério .....	68
4.3.3 Metodologias de avaliação de risco por índices e indicadores .....	69
5 METODOLOGIAS, INFORMAÇÕES E PROCESSOS EM INVESTIGAÇÃO.....	71
5.1 Estratégia metodológica.....	71
5.2 Área de estudo.....	74
5.2.1 Inundações na bacia hidrográfica do Taquari-Antas e no município de Lajeado/RS .....	75



5.2.2 Estudos e publicações relacionadas a inundação na bacia do Taquari-Antas.....	77
5.3 Princípios básicos para desenvolvimento da metodologia .....	79
5.4 Seleção de indicadores, normalização e atribuição de pesos .....	79
5.4.1 Seleção dos indicadores.....	80
5.4.2 Atribuição de pesos .....	82
5.4.3 Normalização.....	85
5.5 Subíndice de perigo .....	85
5.5.1 Modelagem hidrodinâmica.....	85
5.5.2 Mapa de perigo.....	105
5.6 Indicador de suscetibilidade física.....	110
5.7 Subíndice de vulnerabilidade .....	113
5.7.1 Indicador de exposição.....	114
5.7.2 Indicador de suscetibilidade.....	117
5.7.3 Indicador de falta de resiliência .....	121
5.7.4 Indicador de falta de capacidade adaptativa .....	126
5.8 Índice de risco .....	129
5.9 Metodologias de comparação .....	129
6 APLICAÇÃO, DISCUSSÕES E LIMITAÇÕES .....	131
6.1 Relações entre os termos da área de desastres.....	133
6.2 Representação do fenômeno físico na área de estudo .....	136
6.2.1 A dinâmica do perigo na área de estudo .....	136
6.2.2 O comportamento da suscetibilidade física como possível substituto do perigo .....	141
6.3 Desafiando a complexidade de quantificar os fenômenos sociais com dados acessíveis.....	145
6.3.1 Os indicadores que constroem a vulnerabilidade .....	145
6.3.1.1 A sociedade exposta a fenômenos naturais .....	145

6.3.1.2 A suscetibilidade atingindo as questões essenciais do indivíduo e da sociedade.....	150
6.3.1.3 Resiliência, o indicador que reproduz os potenciais da sociedade para enfrentamento e recuperação .....	155
6.3.1.4 Capacidade adaptativa, o indicador que potencializa a adaptação .....	160
6.3.1.5 A vulnerabilidade, as barreiras para representar a sociedade em números e o índice de risco como norteador das intervenções .....	165
6.4 Método complexo x método simplificado.....	169
6.5 Limitações dos indicadores .....	174
6.5.1 Subíndice de perigo .....	174
6.5.2 Subíndice de suscetibilidade física .....	174
6.5.3 Indicador de exposição.....	174
6.5.4 Indicador de suscetibilidade.....	174
6.5.5 Indicador de resiliência .....	175
6.5.6 Indicador de capacidade adaptativa .....	175
6.5.7 Geral.....	175
7 CONCLUSÕES .....	178
8 RECOMENDAÇÕES.....	180
REFERÊNCIAS.....	181
APÊNDICE A.....	224
APÊNDICE B.....	239
APÊNDICE C .....	241
APÊNDICE D .....	248
APÊNDICE E.....	251

## 1 INTRODUÇÃO

Os desastres causam reveses no desenvolvimento social, ocorrendo principalmente em números absolutos nos países de renda média alta, porém são mais impactantes em países pobres (GUHA-SAPIR; HOYOIS, 2015) ou em desenvolvimento. Mesmo com ações em escalas de local a global organizadas por entidades como a Organização das Nações Unidas (ONU), esses eventos naturais causam prejuízos globais equivalentes ou maiores que uma guerra, afetando populações ao redor do mundo. Por exemplo, desde 1980 até 2020, desastres de origem hidrológica mataram mais de 250.000 pessoas e causaram mais de US\$ 1 trilhão em danos, respondendo por cerca de 40% das perdas por desastres (BAILEY; SAFFIOTI; DRALL, 2021).

No Brasil, até 2020, ocorreram 246 desastres notificados, dos quais, aproximadamente 60% foram oriundos de inundações, sendo responsáveis por quase 61% das pessoas mortas e gerando quase 90% dos desabrigados (CRED, 2020). Fatores como aumento expressivo e contínuo da população urbana nas décadas de 1950, 1960 e 1970 (CARNEIRO; MIGUEZ, 2011; IBGE, 2020), a falta de uma política nacional até meados dos anos 2000, a ineficiência da aplicação ou a má formulação de planos de proteção e defesa civil ou contingência. A materialização desses riscos é quando ocorrem desastres, e os principais efeitos são danos econômicos e sociais, criando mais obstáculos para o desenvolvimento do país.

De forma simples e direta, o risco pode ser definido como uma função de perigo e vulnerabilidade, em que cada uma dessas variáveis necessita ser analisada separadamente, porém estão correlacionadas. O perigo se apresenta como um fenômeno físico associado a uma probabilidade de excedência; já a vulnerabilidade compõe a suscetibilidade de uma comunidade ou ecossistema a um dano advindo do perigo e o poder de resiliência a esse dano, o que torna boa parte dos desastres consequência das relações socioeconômicas. Nessas condições, o risco ocorre de maneira desigual, de acordo com as classes sociais, o que explica a necessidade de um enfoque preciso para identificação desse desequilíbrio. Assim, tal análise permite que os tomadores de decisão priorizem qual ação e em que local deve ocorrer.

A análise qualitativa é usada para avaliações fidedignas ao objeto de estudo, porém não é possível quantificar ou equalizar os resultados da forma como se apresentam. Assim, índices e indicadores normalmente são as ferramentas utilizadas para contornar essa limitação, devido à sua simplicidade, rapidez de implementação e baixo custo para transformá-los em dados quantificáveis. Alguns índices de risco como o *Disaster Risk Index* (DRI) (PEDUZZI *et al.*, 2009), o *Comprehensive Approach*

*for Probabilistic Risk Assessment (CAPRA)* (CARDONA; ORDAZ; REINOSO, 2012) e Índice de Risco a Cheias (IRC) (ZONENSEIN, 2007) são exemplos de aplicações na área de risco de desastres. No entanto, há uma grande dificuldade de aplicar esse tipo de estudo em escalas de maior precisão (e.g., setores censitários e/ou bairros), limitando as análises do tipo intraurbanas.

O foco desse estudo foi construir um índice de risco a inundações com precisão na escala de setor censitário, através de análise multicritério. Foi estruturado a partir de dois subíndices: de perigo (representando processos físicos relacionados ao fenômeno das inundações) e de vulnerabilidade (representando processos socioeconômicos de uma sociedade), em que ainda constam indicadores e subindicadores. O método de escolha de cada parte dessa organização ocorreu por meio de *meta-análise*.

## 2 OBJETIVOS

### - Geral:

Criar um índice de risco com capacidade de representar o risco de inundação em bacias com baixa urbanização e utilizando microescala de setor censitário, nomeando de Classificação de Risco Brasileira a Inundações - CRBi.

### - Específicos:

Construir uma estrutura em que os termos relacionados aos desastres possam se correlacionar de forma quantitativa para aplicação em um índice de risco;

Aplicar um subíndice de perigo a partir da relação de velocidades e profundidades;

Desenvolver um subíndice de suscetibilidade física como substituto do subíndice de perigo;

Desenvolver um subíndice de vulnerabilidade de forma a equiparar e quantificar dados sociais e de capacidades, qualitativos e quantitativos a partir de indicadores e subindicadores.

### 3 ORGANIZAÇÃO DA TESE

A tese, a partir do próximo capítulo está dividida em 5 partes:

A primeira concentra-se na explicação sobre temas voltados a desastres, com enfoque em inundações. Nesse trabalho, entendemos como inundações os fenômenos hidrológicos classificados como inundação e/ou enxurradas (i.e., *flash floods*), dispostos na classificação do COBRADE, do CRED e do IRDR (BELOW; WIRTZ; GUHA-SAPIR, 2009; IRDR, 2014; MIN, 2016)

São temas que abordam conceitos e termos, dados de eventos, gestão, índices, indicadores, normalização, análises multicritério, metodologias de análise e histórico da área de estudo.

A segunda constitui-se no esboço da metodologia para a criação do índice, partindo desde a coleta de dados, definição dos índices e indicadores, simulação hidrodinâmica, além da validação e visualização dos resultados.

Na terceira parte estão contidos os resultados, discussões e limitações, tanto no que se refere aos subíndices, indicadores e subindicadores e validação do modelo.

Por último, constam as conclusões e as recomendações em duas partes.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os itens a seguir, entre 4.1 até 4.1.5, são apresentados resumos de termos e conceitos relacionados ao risco de desastres publicados no artigo de revisão de (MONTE *et al.*, 2021).

### 4.1 Conceitos básicos

Um termo se estabelece quando a sociedade recorrentemente a utiliza, todavia muitas vezes não se sabe o seu verdadeiro conceito. Nos estudos de riscos de desastres, a interpretação dos termos relacionados ao ponto de partida para a convergência, e uma linguagem comum facilita a articulação e sua aplicação, reduzindo o impacto causado pelos riscos. No entanto, há um pequeno esforço para definir e unir termos importantes de maneira abrangente para aplicá-lo quantitativamente (ADGER, 2006; YOON; KANG; BRODY, 2016). Para preencher essa lacuna, aqui são discutidos termos como: desastre, risco, perigo, suscetibilidade física, vulnerabilidade, suscetibilidade, exposição, resiliência, capacidade de enfrentamento, capacidade adaptativa e adaptação. A análise baseou-se desde os termos mais abrangentes aos mais particulares.

Um termo é definido para explicar seu conteúdo e contexto de maneira logicamente consistente, garantindo a aceitação geral pelos pares (THYWISSEN, 2006). Assim, este trabalho não visa imobilizar e limitar nenhuma dessas definições, mas apenas analisá-las de forma concisa. No contexto de riscos de desastres, permanecem muitas perguntas, como: “Qual é a relação entre adaptação, resiliência e vulnerabilidade?”, “Como esses termos são empregados na ciência de riscos de desastres? “Como o risco pode ser estruturado?” e “Onde está localizada a capacidade adaptativa?”. É necessário encontrar uma convergência nos aspectos positivos de todos os campos científicos, para que esse problema urgente da sociedade possa ser resolvido ou pelo menos bem compreendido (MILLER *et al.*, 2010). A padronização de métodos e definições é a principal questão a ser abordada, a fim de melhorar a qualidade e garantir a comparabilidade entre os conjuntos de dados (BELOW; WIRTZ; GUHA-SAPIR, 2009).

Países em desenvolvimento são geralmente os que mais sofrem com os desastres (NORRIS *et al.*, 2008). Uma forma de identificar as causas, é como compreendem os termos através de publicações técnicas ou acadêmicas. Normalmente, será identificado problemas nesses países como heterogeneidade,

confusão, e incompatibilidade entre teoria e prática, todavia, é algo que pode ser identificado em países desenvolvidos, também.

Nos itens a seguir foram abordados termos relacionados a desastres, além do termo inundação, fenômeno natural foco desse trabalho.

#### **4.1.1 Risco**

O termo risco transmite a ideia de incerteza, algo que pode acontecer ou não, e está associado ao significado de perder algum ativo material ou imaterial (CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005; MMA, 2008). Tradicionalmente, o risco foi analisado por algumas escolas de pensamento de maneira tecnocrática e focado apenas no fenômeno natural, ou seja, o perigo. Atualmente, o risco reside nas interações potenciais e reais entre os perigos aos quais uma determinada comunidade está exposta e a vulnerabilidade dos elementos dessa comunidade a essa exposição (EMA, 2004). O risco como produto deve ser gerado de forma aplicável e prática, o que provavelmente conterà limitações, devido à complexidade do universo humano ser quase impossível de quantificar com exatidão. A imprecisão não pode ser mais importante do que a inércia de analisar o risco.

Não há risco sem perigo, mas há perigo sem risco (KOBAYASHI; PORTER, 2012), pois a existência do risco está associada à exposição da sociedade e o seu contexto a um fenômeno natural ou tecnológico, gerador do perigo, e à vulnerabilidade em que a população se encontra. Em termos espaciais, os povos expostos aos perigos são preponderantes nas áreas urbanas (CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005); em termos temporais, o risco precede o desastre (ALMEIDA; WELLE; BIRKMANN, 2016). Um determinado risco não se esgota após o desastre do evento anterior, deverá ser quantificado com suas novas variáveis e aprendizados como componentes para analisar um futuro risco na previsão de um novo desastre (BECK, 1992).

Uma vida desprovida de risco é inconcebível, mas a percepção e a aceitação variam entre os indivíduos (KOHLENER; JÜLICH; BLOEMERTZ, 2004). Embora as ações implementadas previnam riscos, surge a definição de risco aceitável, que requer duas premissas básicas: a) aceitar que o risco tem um caráter de custo/benefício (até que ponto é suportável), e b) esse risco depende do grau de voluntariedade (VRIJLING, 1995). Por exemplo, em alguns casos, o risco tecnológico é viável próximo de risco a zero com custo-benefício viável; no entanto, os riscos naturais exigiriam grandes investimentos e é ideal buscar um limiar de custo razoável (HELM, 1996).



Em resumo, os desastres são a “materialização” do risco, e o risco é a ocorrência potencial de perdas com base em uma relação entre perigo e vulnerabilidade de uma comunidade e o sistema em que vive. O risco não pode ser eliminado, mas pode e deve ser gerenciado (MARCELINO, 2008). Logo após um evento natural extremo com danos a sociedade, isto é, o desastre consolidado, ocorre o processo de recuperação. Esse processo de recuperação determina as possibilidades para a sociedade, como adaptação reativa, má adaptação ou nenhuma adaptação. Ações de planejamento que ocorram antes de um determinado desastre são chamadas de adaptação proativa.

#### 4.1.2 Desastres

Desastres podem ser classificados por sua origem, pois são múltiplos eventos causadores. Normalmente, em nível nacional e internacional, são classificados como tecnológicos, naturais (GUHA-SAPIR; HOYOIS; BELOW, 2014; IRDR, 2014; MIN, 2016), sociais ou híbridos (SHALUF, 2007). A diferença está na intervenção humana. Desastres como os que ocorreram em Chernobyl (1986) (ou seja, o vazamento de vários materiais radioativos) (CARDIS *et al.*, 2005; STEINHAUSER; BRANDL; JOHNSON, 2014) são considerados tecnológicos. Enquanto isso, desastres como o terremoto/tsunami de Sumatra-Andaman (2004) (LAY *et al.*, 2005) são identificados como desastres naturais. Exemplos de desastres híbridos (que envolvem uma relação entre desastres naturais e tecnológicos, em que um causa a ação do outro ocorrer) incluem o rompimento de várias barragens em cascata na região de Zhumadian, na China, devido ao vertimento de água por excesso de chuvas (YAO; LIMIN; JINSHENG, 2017) e o terremoto/tsunami posteriormente com o derretimento do reator atômico de fissão nuclear em Fukushima no Japão . Por fim, um dos maiores exemplos de desastres sociais, são as duas Grandes Guerras Mundiais.

Os estudos sobre desastres iniciaram na década dos anos 1920 nos Estados Unidos de forma mais técnica, quando o Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA decidiu pesquisar e encontrar soluções para problemas de inundação em áreas rurais e urbanas (MACDONALD *et al.*, 2012). Naquela época, os projetos eram focados principalmente em intervenções estruturais e seu custo-benefício já era criticado por Gilbert F. White na publicação “*The Limit of Economic Justification for Flood Protection*” (WHITE, 1936). A preocupação com as relações homem/natureza e o uso de ações não estruturais ocorreram posteriormente. Os grandes nomes dos primeiros estudos sobre desastres são Gilbert White, Robert Kates e Ian Burton, membros da

“*Chicago School*”, responsáveis pela consolidação de perigos de origem natural com os livros “*Natural Hazards local, national, global*”, “*The human ecology of extreme geophysical events*” e “*The environment as hazard*” (CASTRO, 2000; MACDONALD *et al.*, 2012; MARANDOLA JR.; HOGAN, 2004).

Desastre é o processo de construção da sociedade e o fenômeno natural/tecnológico é apenas o processo causal comum. Hewitt (1983) foi um dos primeiros críticos de estudos de desastres que consideraram o fenômeno como um fator natural, considerando um acidente e omitindo a contribuição humana no processo, ou seja, iniciou-se a desnaturalização do desastre. Contudo, é necessário considerar a realidade local. Um desastre expõe os problemas e as fraquezas da sociedade e/ou seus pontos fortes, causando um colapso no bem-estar social e, portanto, é difícil para os estudos acadêmicos cobrir toda a magnitude de um desastre (ALEXANDER, 2000). Um desastre é determinado pelas consequências e não pela intensidade do evento (OLIVEIRA, 2009), embora a intensidade influencie a magnitude do desastre (KOHLENER; JÜLICH; BLOEMERTZ, 2004).

A definição de desastre a nível nacional segue uma estrutura de três níveis para o S2ID: pequena, média e alta intensidade (MDR, 2020):

- Intensidade nível I: Aqueles em que há somente danos humanos consideráveis e que a situação de normalidade pode ser restabelecida com os recursos mobilizados em nível local ou complementados com o aporte de recursos estaduais e federais;
- Intensidade nível II: Aqueles em que os danos e prejuízos são suportáveis e superáveis pelos governos locais e a situação de normalidade pode ser restabelecida com os recursos mobilizados em nível local ou complementados com o aporte de recursos estaduais e federais;
- Intensidade nível III: Aqueles em que os danos e prejuízos não são superáveis e suportáveis pelos governos locais e o restabelecimento da situação de normalidade depende da mobilização e da ação coordenada das três esferas de atuação do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e, em alguns casos, de ajuda internacional.

A definição de desastre a nível internacional pode ser definida por dois institutos o CRED e a MUNICH RE (BELOW; WIRTZ; GUHA-SAPIR, 2009).

- CRED:  $\geq 10$  mortes e/ou  $\geq 100$  afetadas, e/ou declaração de um estado de emergência/pedido de ajuda internacional;
- MUNICH RE: Se for contabilizado qualquer dano à propriedade e/ou qualquer pessoa realmente afetada (ferido, morto).

Sintetizando, desastres podem ser considerados o produto da interação entre fenômeno natural e a comunidade em uma determinada área e tempo, causando rupturas no bem-estar social e exigindo assistência externa (i.e., outros municípios, órgãos estaduais/federais ou mundiais). Os danos são de origem econômica, social, ambiental ou cultural. O tempo da ação do fenômeno natural/tecnológico podem ser medidos em segundos, horas ou até anos, e isso é suficiente para a sociedade organizada interromper abruptamente suas operações.

#### 4.1.3 Perigo

A importância dos trabalhos de Gilbert White já foi mencionada anteriormente e, portanto, ele pode ser citado como pai de estudos sobre perigos de origem natural, por realizar os primeiros estudos. publicações e grupo de pesquisa voltados para esse campo relativamente novo, que cresceu rapidamente nas décadas de 1960 e 1970.

A definição de perigo já está bem consolidada, a premissa é a relação dos fenômenos (naturais ou tecnológicos) que possam causar um potencial dano ao bem-estar de uma comunidade. O perigo é medido e definido por sua natureza (tipo de perigo), localização, extensão, magnitude, intensidade (potencial de dano), frequência e duração (KÖHLER; JÜLICH; BLOEMERTZ, 2004; MITCHELL; CUTTER, 1997).

Também pode ser incluída a predisposição de um determinado local a sofrer impactos de um evento perigoso, que pode ser descrito como suscetibilidade física, uma predisposição de uma certa localidade para ocorrência de perigos. Em resumo, é importante fazer algumas perguntas sobre perigo: “Qual é o fenômeno natural original?”, “Quando ocorrerá novamente?”, “Quanto tempo o evento durará?”, “Qual é a sua extensão?” e “Qual é a sua magnitude?”. O perigo deve ser analisado separadamente, a menos que exista alguma relação, e que um seja o gatilho do outro (por exemplo, incêndios originados de secas).

O potencial de causar danos graves é comum a qualquer tipo de perigo, tornando-se um desastre (THYWISSEN, 2006). De acordo com Gallopín (2006), a origem do processo dependerá da escala espacial utilizada, ou seja, uma inundação pode ocorrer devido à ocorrência de chuvas orográficas, comuns em uma determinada

região, ou o mesmo local pode sofrer um volume de chuva resultante do furacão que formou quilômetros longe. Para mitigar ou impedir que os efeitos de perigos de origem natural se traduzam em desastres, é necessário que a sociedade e o governo os estudem e monitorem a situação atual, a fim de entender e prever possíveis riscos (UNISDR, 2004).

Condensando as ideias apresentadas, o perigo é a ação possível de um evento com potencial para causar consequências indesejáveis a um indivíduo/sistema em cada época e área. Se é de origem natural, é necessário conhecer sua fonte, magnitude, intensidade, frequência, duração, tempo de ascensão, área afetada e dispersão espacial.

#### **4.1.4 Suscetibilidade Física**

Existem estudos que apresentam suscetibilidade envolvendo eventos naturais (ANDERSSON-SKÖLD *et al.*, 2013; FELL *et al.*, 2008; MARTINI *et al.*, 2006; ZÊZERE *et al.*, 2004) e podem ajudar a determinar possíveis locais perigosos quando há falta de dados ou incertezas para identificar perigos (AZAR; RAIN, 2007). Frequentemente é utilizado em estudos envolvendo deslizamentos de terra e é entendido neste campo da ciência como a propensão de uma determinada área a gerar deslizamentos (BRABB, 1984; GUZZETTI *et al.*, 2006; YALCIN, 2008). Alguns pesquisadores acabam usando o termo (DEVKOTA *et al.*, 2013), mas isso se aplica nos estudos estatísticos, sendo mais bem usado para descrever a frequência do perigo. Os estudos de suscetibilidade física não podem ser confundidos com os estudos de perigos, pois há uma gama de dados exigidos pelas análises de perigos, já mencionados anteriormente (GUZZETTI *et al.*, 1999; SOETERS; VAN WESTEN, 1996).

Em resumo, é possível considerar a suscetibilidade física como as características físicas de um determinado local que favoreçam a existência de perigo, ou seja, permite prever locais onde eventos perigosos ocorrerão.

#### **4.1.5 Vulnerabilidade**

A noção de vulnerabilidade contribui para o melhor entendimento das definições de risco e desastre, uma vez que estas definições se concentram apenas no fenômeno natural, enquanto a vulnerabilidade explora a experiência social (CARDONA, 2004). O termo aparece pela primeira vez envolvendo desastres na publicação "*Taking the naturalness out of natural disasters*" (O'KEEFE; WESTGATE;

WISNER, 1976), apresentando a vulnerabilidade como a verdadeira causa dos desastres, não apenas focando na causa natural. Essa definição de vulnerabilidade a desastres pode ser aplicada a qualquer sistema que interaja com a sociedade.

Os cientistas sociais baseiam seu trabalho na análise da “construção social”, enquanto a ciência aplicada se concentra na base “realista”, com quantificação e avaliação objetivas. Um problema comum às ciências aplicadas é a exacerbação do perigo e, quando inclui a vulnerabilidade, concentra-se na exposição, ou no máximo na suscetibilidade a sofrer danos (CARDONA, 2004), esquecendo ou ignorando a falta de resiliência e capacidade suporte. Em estudos de vulnerabilidade, abordagens qualitativas e quantitativas podem ser usadas combinando dados históricos para análises temporais futuras, problemas pragmáticos e suas soluções. As diferenças de escala devem ser levadas em consideração, pois o tomador de decisão pode não ter as informações suficientes e/ou adequadas para gerar o melhor veredito das ações a serem realizadas (CHO; CHANG, 2017; CUNICO; OKA-FIORI, 2014; CUTTER, 2003; DE BRITO; EVERS; HÖLLERMANN, 2017; TURNER *et al.*, 2003).

As notas destacadas nos parágrafos acima refletem a complexidade do termo, indo além dos problemas socioeconômicos de uma determinada população. Abrange todas as questões que contemplam os seres humanos como agentes determinantes de sua própria situação, e isso inclui as definições de resiliência, capacidade, exposição, adaptação e suscetibilidade. Devido a essa complexidade, vulnerabilidade não possui uma definição consensual entre pares, essas muitas vezes se apresentando sobrepostas ou contraditórias (ADGER, *et al.*, 2004; DE BRITO; EVERS; HÖLLERMANN, 2017), portanto, existem várias definições e formas de classificação de vulnerabilidade (ADGER, 2006; ALEXANDER, 2000; BIRKMANN, 2013b; BURTON; CUTTER, 2008; CARDONA *et al.*, 2012; GALLOPÍN, 2006; WISNER *et al.*, 2003), independentemente de sua aplicação.

Além da tipificação, a vulnerabilidade varia entre indivíduos semelhantes e de um indivíduo para outro para um determinado perigo. O inventário de elementos que podem ser danificados por um determinado perigo é geralmente grande (DILLEY *et al.*, 2005), ou seja, isso coloca alguns grupos de pessoas em um nível de risco mais alto que outros, dependendo das variáveis socioeconômicas. Além disso, a vulnerabilidade do sistema varia para cada tipo de perigo, ou seja, a qualidade da habitação será mais determinante na vulnerabilidade da comunidade a inundações e tem menos influência na vulnerabilidade à seca. Portanto, questões como "De quem é a vulnerabilidade?" e "Vulnerável a quê?" devem ser levantadas. No entanto, alguns

sistemas podem ter alta vulnerabilidade a muitos tipos de perigos (ADGER, *et al.*, 2004; GALLOPÍN, 2006). Além de variar de acordo com o indivíduo e o tipo de perigo, as escalas temporal e espacial precisam ser incluídas (SMIT; WANDEL, 2006).

Muitas variáveis de vulnerabilidade são qualitativas e esses dados não possuem as mesmas métricas, o que dificulta sua medição (CUNICO; OKA-FIORI, 2014), além de cada tipo de perigo ter sua própria vulnerabilidade (PEDUZZI *et al.*, 2001). Apesar dessa dimensão complexa, a medição requer a integração de informações pluridisciplinares, que visam produzir indicadores objetivos e sintéticos (BRAGA; OLIVEIRA; GIVISIEZ, 2006). Os fatores de vulnerabilidade podem ser “genéricos” (como pobreza, saúde e acesso a fundos) ou “específicos” (situação da habitação, por exemplo).

Existem muitas pesquisas que ousam quantificar a vulnerabilidade ou indicar como proceder (AHSAN; WARNER, 2014; DE BRITO; EVERS; HÖLLERMANN, 2017; GUILLARD-GONÇALVES *et al.*, 2015; OULAHEN *et al.*, 2015; PAPATHOMA-KÖHLE, 2016; REMO; PINTER; MAHGOUB, 2016; ROGELIS *et al.*, 2015). Entretanto, para este tipo de estudo, a subjetividade não pode pesar decisivamente, e a incerteza deve ser levada em consideração para garantir a confiabilidade, porque a incerteza é indissociável desses índices ou modelos (TATE, 2013), especialmente no que diz respeito ao desenvolvimento humano.

O relacionamento com o elemento social torna a vulnerabilidade mutável e, quando ocorre um grande evento, aumenta ainda mais a vulnerabilidade. No entanto, um pequeno evento pode aumentar a percepção de risco da sociedade e diminuir a vulnerabilidade.

O potencial de diminuir riscos e desastres apresenta maiores oportunidades na vulnerabilidade, pois em muitos casos não é possível reduzir o perigo (CARDONA, 2004). No entanto, implementar as mesmas medidas para eventos de inundação em terremotos, embora algumas demandas possam ser compartilhadas, não é apropriado.

A vulnerabilidade é entendida como um estado do sistema, e não como um produto, pois, mesmo que esteja configurado como um produto do relacionamento de um evento e do sistema, no próximo evento já será estabelecido como estado novamente. Portanto, é possível entender a vulnerabilidade como o estado de fragilidade a um processo perigoso da comunidade e o sistema em que vive, com base em seus aspectos físicos, sociais, culturais, econômicos, tecnológicos e políticos, diminuindo todas as capacidades.

Nos próximos itens serão discutidos termos que estão englobados na estrutura da vulnerabilidade: Suscetibilidade/sensibilidade, exposição, resiliência e capacidade adaptativa alinhado com o conceito de vulnerabilidade.

#### 4.1.5.1 Suscetibilidade/sensibilidade

A suscetibilidade (também chamada sensibilidade) é introduzida como uma condição que deve estar contida na avaliação da vulnerabilidade (ADGER, 2006; ALEXANDER, 2000; CARDONA, 2005; EEA, 2017; JACINTO *et al.*, 2015; THYWISSEN, 2006; UNISDR, 2004), colocando-a como elemento social relacionado ao dano social e econômico (MERZ; THIEKEN; GOCHT, 2007; MESSNER *et al.*, 2007; UNU-EHS, 2016). Existem outras variáveis, como desenvolvimento, condições sociais e processos de governança (instituições) que marginalizam parte da sociedade em um único local e podem aumentar a suscetibilidade (BALICA; WRIGHT; VAN DER MEULEN, 2012; CARDONA, *et al.*, 2012; WATTS; BOHLE, 1993; WISNER *et al.*, 2003). É um elemento que muda constantemente ao longo do tempo (DAMM, 2010).

Constata-se confusão entre ciências aplicadas e sociais (BALICA; WRIGHT; VAN DER MEULEN, 2012) em relação à definição de suscetibilidade. A ciência aplicada, particularmente quando envolve deslizamentos de terra, frequentemente usa o termo, aplicando-o a condições que favorecem eventos perigosos em uma determinada região. Os cientistas sociais se concentram na suscetibilidade como as condições sociais inerentes que tornam a sociedade propensa a danos. Suscetibilidade/sensibilidade pode ser entendida como o grau de dano que um sistema/comunidade pode sofrer como resultado de um perigo.

#### 4.1.5.2 Exposição

É um termo que está diretamente relacionado a exposição da comunidade a uma perturbação (GALLOPÍN, 2003; UNU-EHS, 2016; WILLOWS; CONNELL, 2003) em seus aspectos físicos e sociais, e aos padrões espaciais e temporais (BIRKMANN *et al.*, 2013). Pode ter papel crítico em locais onde a pobreza é alta e, ao se repetir, diminui o desenvolvimento e aumenta a vulnerabilidade a riscos futuros (UNDP, 2004).

Algumas escolas defendem a exposição como componente da vulnerabilidade, uma vez que a exposição é independente das características do perigo (DAMM, 2010). Ainda existem pesquisadores que definem a exposição como parte de uma tríade com vulnerabilidade e perigo (CRICHTON, 1999; DE BRITO; EVERS; HÖLLERMANN, 2017; UNDP, 2004). A abordagem de pesquisa deve determinar a

forma como a exposição será definida e medida (DAMM, 2010), desde que não remova sua essência.

Segundo alguns pesquisadores, é possível ser/estar exposto, mas não vulnerável (por exemplo, viver na região semiárida do litoral e ter dispositivo de dessalinização), mas, para ser vulnerável, é necessário ser exposto (e.g., residir em estruturas com *soft story* sem reforço em áreas próximas ao epicentro de terremotos) (CARDONA, *et al.*, 2012; DAMM, 2010). Thywissen (2006) cita que a exposição determina o tamanho do dano, porque, em condições iguais, a região densamente povoada tem maior potencial de dano do que uma região com poucos habitantes. No entanto, além do local onde as pessoas escolhem (ou são forçadas) a viver, a exposição depende também da estrutura das comunidades e dos meios de subsistência (ADGER *et al.*, 2004). Sob essas condições, Kaspersen *et al.* (2005) resumem que a exposição é determinada por dois fatores: uso da terra e características do evento. A escala de tempo também pode ser um fator importante, pois pode ser decisivo em uma exposição maior ou menor. Uma inundação repentina, por exemplo, se ocorrer à noite, momento em que a maioria das pessoas está dormindo, provavelmente terá mais exposição.

É possível definir a exposição como algo intrínseco à vulnerabilidade, uma vez que tem relação direta com a sociedade e é provavelmente a variável mais perceptível; características como uso e ocupação do solo, deslocamento e infraestrutura de residências e comércio são exemplos dessas conexões diretas com a vulnerabilidade. Se essa conexão for removida, a análise se torna incompleta, porque exclui a base de qualquer estudo voltado para desastres (ser humano exposto), e torna-se apenas um estudo do comportamento do fenômeno natural.

Com base nas discussões acima, defende-se que a exposição pode ser considerada como o elemento exposto do sistema/comunidade ao perigo em determinada escala espacial e temporal e é intrínseco a vulnerabilidade.

#### 4.1.5.3 Resiliência

O termo deriva do latim *resilio* ou *resiliere*, e significa pular para trás, recuperar, voltar ao passado (KLEIN; NICHOLLS; THOMALLA, 2003). No entanto, hoje a definição evoluiu para o foco de absorver o estresse e voltar a ser totalmente operacional, seja para retornar ao estado anterior e/ou evoluir através do aprendizado anterior, com flexibilidade (CUTTER *et al.*, 2008; FOLKE, 2006; KLEIN; NICHOLLS; THOMALLA, 2003; MILLER *et al.*, 2010; TIERNEY; BRUNEAU, 2007; TOMPKINS *et*



*al.*, 2005; ZHOU *et al.*, 2015). O uso da terminologia evoluiu para muitas áreas, passando por mudanças e atingindo desastres (CARDONA *et al.*, 2012) através da ecologia humana, com o princípio de se ajustar às condições ambientais (ALEXANDER, 2013). O termo é viável para avaliação em escalas distintas: individual (BONANNO, 2004) comunitária (ADGER, 2000; AINUDDIN; ROUSTRAY, 2012; QASIM *et al.*, 2016), nacional (YOON; KANG; BRODY, 2016) ou global (AINUDDIN; ROUSTRAY; AINUDDIN, 2015). Todavia, a realidade atual da resiliência é que a abundância de literatura em várias áreas dificulta a compilação e uma definição padrão, gerando ambiguidades (ALEXANDER, 2013). Há alguns trabalhos que fazem compilações de definições, tipos e estruturação de resiliência (GARSCHAGEN, 2013; MANYENA, 2006; NORRIS *et al.*, 2008; REGHEZZA-ZITT *et al.*, 2012; ZHOU *et al.*, 2010).

Aparentemente, uma sociedade menos vulnerável seria mais resiliente e vice-versa (BUCKLE, 1998; FOLKE *et al.*, 2002); no entanto, minimizar a relação entre esses termos é perigoso, uma vez que o torna circular (KLEIN; NICHOLLS; THOMALLA, 2003), ou seja, não podemos afirmar que são inversamente opostas, simplesmente. Um ponto importante é que algumas definições incluem sinônimos de sistemas inalterados ou no estado anterior ao evento como parte da resiliência. Existe uma relação entre resiliência e estabilidade, mas não se pode ver que essa condição seja desejável para processos dinâmicos (ADGER, 2000).

Adaptar-se a uma nova condição e aprender com a experiência de desastres anteriores pode levar a níveis mais altos de funcionamento do sistema/comunidade e, em seguida, a maior resiliência (MAGUIRE; HAGAN, 2007; PFEFFERBAUM *et al.*, 2005). Essa premissa insere a resiliência como um processo ou habilidade (NORRIS *et al.*, 2008; PFEFFERBAUM *et al.*, 2005). Uma comunidade que não aprende com eventos passados acaba se tornando mais frágil do que no estado inicial (MAYUNGA, 2007). Um pós-fenômeno sempre será constituído por mudanças no meio que sofreu a ação e, neste caso, adaptação é o termo ideal, fortalecendo a resiliência (MANYENA, 2006).

Em resumo, o processo de recuperação leva ao "novo" normal, e não significa que seja sempre melhor que a operação pré-evento, mas apenas um sistema modificado (NORRIS *et al.*, 2008). A resiliência aplicada aos desastres é discutida por Zhou *et al.* (2010), que destacam três pontos importantes para a medição: a) definição da resiliência dos desastres; b) quais regiões e localidades são mais resistentes a desastres?; e c) qual é a tendência temporal da resiliência?.

Os pesquisadores direcionam suas análises de resiliência para características como redundância, capacidade de recursos, comunicação eficaz e capacidade de auto-organização ao lidar com requisitos extremos (KENDRA; WACHTENDORF, 2003). A partir dos aspectos citados acima, quantificar a resiliência mostra-se um grande desafio para técnicos e cientistas, pois abrange uma gama de dados que visam entender as capacidades de lidar e recuperar-se de um desastre. No entanto, apesar das dificuldades, os modelos, índices e indicadores de resiliência estão sendo cada vez mais disseminados para ajudar as comunidades (KHALILI; HARRE; MORLEY, 2015; KUSUMASTUTI *et al.*, 2014; MENONI *et al.*, 2012; ORENCIO; FUJII, 2013; SINGH-PETERSON *et al.*, 2014; YOON; KANG; BRODY, 2016). A complexidade da resiliência não pode ser obstáculo à sua quantificação (CAVALLO; IRELAND, 2014).

Um exemplo de complexidade é que o sistema resiliente não significa um indivíduo resiliente, mas aumenta a possibilidade de esse indivíduo ser resiliente. Outra situação, é que a resiliência de uma pessoa, pode ser a fraqueza de outra, uma vez que os sistemas sociais são complexos e difusos (ALEXANDER, 2013).

Uma discussão importante entre os pesquisadores da área de risco concentra-se na relação entre vulnerabilidade e resiliência. Não há acordo no meio científico sobre definir como os termos são estruturados e como eles se comunicam (CUTTER; FINCH, 2008; KLEIN; NICHOLLS; THOMALLA, 2003; MANYENA, 2006). Esse é um desafio para os estudiosos da área de riscos naturais, pois inibe muitos pesquisadores de realizar seus estudos de maneira prática. Muitas vezes, a relação matemática entre eles é desconhecida (THYWISSEN, 2006), o que felizmente já começou a mudar nos últimos anos (BALICA; WRIGHT; VAN DER MEULEN, 2012; MWALE; ADELOYE; BEEVERS, 2015; PEDUZZI *et al.*, 2009; PRASHAR; SHAW, 2012; YOON; KANG; BRODY, 2016). Os debates conceituais ainda estão longe de cessar, pois existe uma falta de compreensão compartilhada das definições. Assim, é necessário que as áreas científicas estabeleçam maior cooperação para usar os termos com maior reflexão e cuidado. Um conjunto de definições leva a uma definição vaga, dificultando a operacionalização da definição na política ou como ferramenta de gerenciamento (FEKETE, HUFSCHMIDT; KRUSE, 2014)

A definição de resiliência deve ser baseada em dois princípios a serem mensuráveis: a capacidade da sociedade de absorver perturbações e a capacidade de se reorganizar como uma sociedade sem ajuda externa (KLEIN; NICHOLLS; THOMALLA, 2003). Desastres grande escala geram mudanças relevantes a tal ponto que a sociedade não mais retornará a um equilíbrio pré-evento, apenas é possível

alcançar um novo nível de bem-estar social e esse novo nível fornecerá a base para a adaptação surgir. As pessoas precisam de mudanças dinâmicas para poderem se proteger de desastres (REGHEZZA-ZITT *et al.*, 2012), a homeostase nos sistemas sociais leva a acomodação e apatia.

Assim, pode-se definir resiliência como a capacidade da comunidade em ter, desenvolver e envolver-se na preparação, enfrentamento, quando e enquanto absorve e se recupera de distúrbios, superando-os sem ajuda externa para atingir o nível de bem-estar e funcionalidade social. Isso divide a resiliência em duas capacidades: a) enfrentamento e b) recuperação.

#### 4.1.5.4 Capacidade adaptativa

Esse termo se proliferou com os estudos de mudanças climáticas e, juntamente com o termo adaptação, se tornaram mais recorrentes após o terceiro relatório do IPCC (SMITH; KLEIN; HUQ, 2003), porém, nos estudos de riscos naturais não é muito proeminente, sendo mitigação o termo mais comum (CUTTER *et al.*, 2008; ENGLE, 2011).

Uma das chaves para o campo conectado à capacidade adaptativa da comunidade ou país é como a infraestrutura, o conhecimento, a natureza das instituições, o compromisso com a equidade e seu capital social são moldados por fatores sociais, políticos, econômicos e tecnológicos (IPCC, 2001). Por um lado, essas variáveis dependem umas das outras e flexibilizam a capacidade de adaptação (SMIT; WANDEL, 2006); por outro, são moldadas de acordo com os riscos de origem natural que os influenciam.

Para entender a diferença entre as capacidades, o enfrentamento está relacionado às ações *ex post* e adaptável às ações *ex ante* (CARDONA *et al.*, 2012) ou seja, elas não devem ser sobrepostas ou consideradas iguais. No entanto, ainda há sobreposição dos termos de capacidade na literatura (ADGER, 2006; CUTTER; FINCH, 2008; NELSON; FINAN, 2009).

A capacidade adaptativa faz parte da mitigação de danos do próximo evento. Esses são ajustes mais duradouros e sustentáveis que diminuem a exposição e a suscetibilidade do local (AKTER; MALLICK, 2013; GALLOPÍN, 2006; TURNER *et al.*, 2003). De acordo com Levina e Tirpak (2006), a capacidade adaptativa pode levar a uma melhor capacidade de enfrentamento.

Outra questão importante é a diferenciação entre capacidade adaptativa e adaptação (a ser discutida no item 4.1.5). Uma vez que os tomadores de decisão

geralmente avaliam apenas a capacidade adaptativa, porque pode ser entendida como a medida do potencial de adaptação e, quando alcançada, a capacidade de enfrentamento aumenta e, conseqüentemente, reduz a vulnerabilidade (BROOKS; ADGER, 2004; JONES; MEARNS, 2004). Em resumo, é possível propor a capacidade adaptativa como parte da vulnerabilidade, pois abrange pessoas e estruturas com potencial para implementar melhorias com o objetivo de levar à adaptação e de mitigar os efeitos do evento. A adaptação, por outro lado, foge da esfera da vulnerabilidade, pois mesmo reduzindo a vulnerabilidade, não a elimina.

Para DKKV (2003); Wang e Blackmore (2009), os principais pontos para construir a capacidade adaptativa são: a) o treinamento de técnicos, b) a criação de planos e normas técnicas de construção e proteção (organização territorial e gestão do uso da terra), c) obtenção e manutenção de informações, d) conscientização (redes e fóruns de discussão), e) recursos financeiros. Ressalta-se que a capacidade não garante sucesso na adaptação, isso dependerá do desenvolvimento e uso de informações novas e existentes (KLEIN; NICHOLLS; THOMALLA, 2003), e por isso, capacidades adaptativas devem ser recursos com atributos dinâmicos (NORRIS *et al.*, 2008).

A definição de capacidade adaptativa pode ser entendida como o potencial de uma comunidade/sistema em ajustar sua estrutura e/ou comportamento, a fim de diminuir o risco que pode ser causado por novos perigos.

#### **4.1.6 Adaptação**

A origem científica do termo adaptação apareceu nos estudos de Darwin (1859) em “Sobre a Origem das Espécies”, para demonstrar a evolução das espécies através de modificações orgânicas de adaptação ao meio ambiente (ORLOVE, 2009; SMIT, *et al.*, 2000). Ao longo dos anos, outras áreas se apropriaram do termo. Seu uso para riscos de origem natural foi estudado por Gilbert F. White e Robert Kates (ENGLE, 2011; ORLOVE, 2009) e mais precisamente Gilbert F. White discorre sobre adaptações (i.e., chamado de ajustes) nos capítulos de seu livro “*Human adjustment to floods*” (WHITE, 1945)

Atualmente, adaptação é um termo popular em estudos de mudanças climáticas e começou a ser usada ao mesmo tempo em que surgiram preocupações acerca do aquecimento global (CARDONA, Omar Darío *et al.*, 2012; FILATOVA, 2014; FORSTER *et al.*, 2007; VAN DER POL; VAN IERLAND; GABBERT, 2015), e sua importância tem aumentado no contexto relacionado a desastres. No âmbito dos

desastres, a adaptação pode ser incluída no campo da prevenção e/ou recuperação (VAN HERK, 2014). A definição está ligada a ações que visam reduzir a vulnerabilidade do sistema, ao mesmo tempo em que apresenta cobenefícios para as pessoas (HERNÁNDEZ-GUERRERO; VIEYRA-MEDRANO; MENDOZA, 2012). Além de reduzir a vulnerabilidade, a adaptação tem capacidade para aumentar a resiliência (TURNER *et al.*, 2003).

As formas de adaptação existentes são variadas: reativas (responsivas) ou proativas (antecipatórias) no tempo; autônomo e/ou planejado com propósito (pode haver interação entre os últimos) (PITTOCK; JONES, 2000; SMIT *et al.*, 2000). Quando se trata da essência da adaptação, pode ser vista como processo ou condição (SMIT *et al.*, 2000). Embora o processo precise de um ator ativo para acionar uma ação, na condição, existe um ator passivo que se adapta à situação imposta a ele. Em resumo, para esses desastres, o processo é proativo e a condição é reativa. Políticas proativas podem ser desenvolvidas em antecipação às consequências futuras, uma vez que a reativa está associada a um grau de incertezas e benefícios (ZHAO, 2013), porque ocorrem em regime de emergência pós-desastre.

Em relação aos custos, Fankhauser (1996) simplifica dizendo que os custos de adaptação devem ser adicionados aos danos residuais do evento e aos efeitos positivos indiretos resultantes da adaptação e, com base nisso, devem ser comparados aos danos se não houver adaptação processo.

De acordo com Smit *et al.* (2000), a adaptação implica em ajustes para tornar a vida da sociedade mais adequada. Em alguns casos, no entanto, os ajustes podem resultar em ações negativas à sociedade (LEBEL *et al.*, 2009). Essa situação pode ser considerada como o "lado sombrio" da adaptação, quando as políticas de adaptação são mal fundamentadas e injustas, e são conhecidas como má adaptação (FEENSTRA *et al.*, 1998).

Quanto à aplicação, a adaptação requer políticas, leis, mudanças organizacionais e ações individuais (TOMPKINS *et al.*, 2005). As modificações e a qualidade da adaptação não ocorrem instantaneamente, levam tempo para ocorrer e serem percebidas (ADGER, *et al.*, 2004). As incertezas da informação são inerentes, porque a adaptação se baseia em algo indefinido no futuro; portanto, é preponderante ter clareza nas incertezas disseminadas à sociedade civil, ainda mais quando a falta de dados primários é recorrente, principalmente em locais menos desenvolvidos.

Podemos entender que a adaptação é o grau de intervenções (criação, aprimoramento e implementação) atingidas pela sociedade (i.e., autônoma ou

planejada), por meio de oportunidades ou lições aprendidas de forma reativa ou proativa para reduzir a vulnerabilidade. As más adaptações são as intervenções para reduzir a vulnerabilidade, ainda que inadequadamente, e acabam prejudicando as comunidades.

#### 4.1.7 Inundações

Inundação é um processo físico natural em que o nível d'água extravasa a calha do rio para o seu leito maior (planície de inundação), de maneira breve (normalmente) ou por longos períodos, nos momentos de cheias. A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) define como: submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas (MIN, 2016). Por último, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) define como transbordamento de água de calha normal de um curso d'água ou acumulação de água, por drenagem, em áreas não habitualmente submersas (ANA, 2014; UNESCO, 1983).

A formação de uma inundação depende de diversos fatores como: fenômenos climáticos desencadeadores de chuvas, condições antecedentes de água armazenada, relevo da bacia hidrográfica, declividade, rugosidade, uso e cobertura do solo, perfil da seção transversal. Além disso, a interação canal-planície de inundação influencia na propagação de uma inundação no tempo e no espaço sobre a planície (COLLISCHONN *et al.*, 2007; PAZ *et al.*, 2011).

As inundações ocorrem normalmente em bacias de médio a grande porte (> 500 km<sup>2</sup>); mais recorrentes em regiões de médio e baixo curso de rios, pois são áreas normalmente mais planas, com menor velocidade e menor capacidade de escoamento (TUCCI, 2007). Inundação não é exclusividade de regiões úmidas com alta pluviometria média anual; rios efêmeros (intermitentes) podem sofrer com o mesmo processo (CAMARASA-BELMONTE; SORIANO-GARCÍA, 2012). Quando há precipitação intensa ou excessiva em um curto espaço de tempo, normalmente se produz escoamento imediato, e, posteriormente criam-se condições de inundação em minutos, no máximo algumas horas, durante ou após a chuva, a esse fenômeno chamamos de inundação brusca (*Flash Flood*) (IRDR, 2014). Todas as planícies de inundação são suscetíveis a esse tipo de inundação, até mesmo áreas secas, pois seus solos podem estar com sua infiltração afetada (WMO, 2016).

A relação do homem com as inundações é histórica. Através delas as civilizações antigas (e.g., de Egito, Mesopotâmia) tiveram sua evolução, graças à sua

proximidade com o rio, e essa situação se perpetua até os dias atuais, em que a maioria das cidades se desenvolveu por estar próximo de um recurso hídrico, ou seja, o homem tem sido afetado positivamente (matéria orgânica para agricultura, pesca, menor gasto energético para obter água, meio de transporte facilitado) e negativamente (desastres, poluição e contaminação da água e vetores de doenças de veiculação hídrica) por esses eventos (DOSWELL, 2003).

A definição de uma inundação como fenômeno causador de um desastre origem natural não tem relação direta com sua magnitude por si só, e sim, sua relação com a organização espacial da sociedade (LA RED, 1992). De forma equivocada, frente a uma bacia hidrográfica, ao não considerar as suas características físicas, gera-se um risco devido ao perigo do evento e a vulnerabilidade da população, podendo produzir danos tangíveis e intangíveis. O desastre pode ser um elemento central criando crises econômicas e sociais, pode chegar ao nível de limitar a retomada das atividades de um local (MACHADO *et al.*, 2005).

#### 4.1.7.1 Inundação e a sua relação com ações antrópicas

Nos últimos anos, estudos relacionados às mudanças climáticas têm sugerido aumento de precipitação em alguns locais do mundo (EASTERLING, 2000), como no caso de algumas partes da América do Sul (CHOU *et al.*, 2014; MARENGO *et al.*, 2009a, 2009b). Esse aumento desperta a capacidade para novas catástrofes, entretanto, a proporcionalidade em relação à quantidade de casos registrados de desastres para a mesma época (1960-2009) é desigual. Houve aumento de 400% na quantidade de desastres hidrometeorológicos e climáticos, superando em muito, qualquer influência no aumento das precipitações por mudança climática (CRED, 2020), o que pode sugerir outros fatores como uma maior exposição da sociedade para eventos extremos, até pela própria explosão demográfica mundial das últimas décadas.

Ao analisarmos a relação entre o número de casos de inundação e o crescimento populacional, observa-se uma similaridade, principalmente nos países que são mais atingidos por inundações, casos de Ásia e Américas. Segundo Pielke e Downton (2000) mesmo que não ocorra um incremento na precipitação, os danos totais da inundação vão continuar aumentando se houver acréscimo populacional e do Produto Interno Bruto (PIB), a menos que a gestão de áreas inundáveis logre êxitos na diminuição da vulnerabilidade.

As incertezas sobre mudanças climáticas ainda são altas e pouco quantificadas, indo desde a complexa simulação do clima até as metodologias utilizadas na avaliação dos impactos da mudança do clima no futuro (DERECZYNSKI; SILVA; MARENGO, 2013; MARENGO; VALVERDE; OBREGON, 2013). Salienta-se também que as mudanças no uso do solo são capazes de se tornar um fator relevante no aumento da recorrência das inundações. Desse modo, faz-se necessário trabalhar com todos os possíveis cenários, pois se ocorrerem as previsões feitas, há uma tendência geral de aumento do volume das precipitações no sul-sudeste da América do Sul (onde se insere o Rio Grande do Sul) (CHOU *et al.*, 2014; MARENGO *et al.*, 2009b).

O acréscimo na população tem ocorrido em áreas costeiras e grandes cidades, propensas a maior dano a vida e a propriedade, aumentando a exposição (NICHOLLS, 2001), além da impermeabilização do solo em bacias hidrográficas em áreas urbanas, ou seja, as mudanças no uso do solo têm sido mais influentes do que mudanças climáticas no aumento da recorrência de desastres. Todas essas afirmações demonstram que o perigo por si só não é único condutor para o risco, a vulnerabilidade (em que se inclui a exposição) influencia diretamente no risco (CARDONA *et al.*, 2012).

Algumas ações acabam por intensificar o poder destrutivo de uma inundação:

- 1) Populações adjacentes em áreas ribeirinhas tendem a aumentar, colocando mais bens e pessoas em perigo;
- 2) Regiões pantanosas (que abrandam inundações) continuam a ser modificadas;
- 3) Poucas ações para diminuir o escoamento a montante (alterações no uso e ocupação do solo);
- 4) Áreas inundáveis que ainda não foram zoneadas, o que leva pessoas a se instalarem em tais locais sem saber o risco que podem sofrer;
- 5) Medidas estruturais que dão falsa sensação de segurança, podendo ocorrer falha por deterioração ou por superar o nível ao qual foi projetado;
- 6) Políticas que incentivam a ocupação de áreas inundáveis através do fornecimento de infraestruturas como rodovias, pontes, serviços de saneamento e luz (OTA, 1993).

Desastres em áreas urbanas potencializam os danos, devido à alta densidade demográfica nessas áreas. Segundo a UN-DESA (2014), 54% da população mundial reside em áreas urbanas, sendo que na América anglo-saxônica esta proporção é estimada em 82% e na América Latina e Caribe 80%, com perspectivas de aumento para próximo de 90% da população em ambos os casos. No caso do Brasil, em 2014 eram 85% da população vivendo em áreas urbanas e a projeção para 2050 é de 90%.



Essa situação demonstra que provavelmente quando ocorrerem inundações, mais pessoas estarão expostas, e conseqüentemente mais danos ocorrerão.

Os processos de urbanização por muitas vezes ocorrem de forma não planejada, com migrações mal estruturadas do campo para a cidade, produzindo exclusões de população de menor poder aquisitivo, que fixam residência em locais pouco seguros e em moradias com estrutura de baixa qualidade. Esta é uma realidade comum a países em desenvolvimento. Isso significa que as mudanças infringidas do homem no meio ambiente são relevantes para que as inundações e os demais desastres apresentem maior frequência e prejuízos significativos, apesar de cada localidade ter suas próprias características. Segundo Nunes (2015), as catástrofes se configuram na maior expressão de incapacidade do ser humano em conviver com a natureza e seus fenômenos nos centros urbanos.

#### 4.1.7.2 Impactos socioeconômicos causados por uma inundação

O pós-fenômeno de inundação causa problemas relevantes e de dimensão muito maior em países em desenvolvimento, que pode comprometer o PIB e a taxa de desenvolvimento econômico, além das perdas ambientais e sociais de difícil aferição (NUNES, 2015).

Dados relacionados ao PIB são relevantes, pois, ao compará-los com os danos econômicos causados por uma inundação, podemos ter uma indicação acerca da capacidade ou não do sistema de reconstruir sem ajuda externa. Por exemplo, (SAUSEN; LACRUZ, 2015) citam que o furacão Katrina (2005) em Nova Orleans no EUA e o terremoto/tsunami (2011) em Sendai (Japão) causaram danos econômicos de 1,1% e 3,5% do valor do PIB, respectivamente; já no caso do terremoto no Haiti (2010), os danos foram da ordem de quase 99% do PIB. Quanto à renda per capita, a capacidade de recuperação é de acordo com o poder aquisitivo da população, e isso influencia no tempo necessário para recompor o prejuízo material frente ao desastre.

As perdas econômicas que podemos traduzir como danos tangíveis (NASCIMENTO *et al.*, 2006), são calculadas de forma conservadora. Alguns prejuízos perduram por longos períodos, e podem não ser computados em sua real extensão. Por isso, pressupõe-se que os danos são possivelmente muito maiores do que os valores citados pela fonte consultada.

Existem dois tipos de danos: danos diretos e danos indiretos. Exemplos de danos diretos são: dias sem trabalhar, perdas de estoques, danos em instalações,

comerciais, industriais, residenciais e desabastecimento de água e energia. Os danos indiretos podem ser problemas de saúde ou passar por perigo de vida (NUNES, 2015).

Prejuízos econômicos advindos de inundações e terremotos superam os demais desastres, comprovando as suas influências no desenvolvimento de alguns países (NUNES, 2015; SAUSEN; LACRUZ, 2015).

#### 4.1.7.3 Dados relacionados a inundações

##### *Dados mundiais*

O banco de dados do *Emergency Events Databases* (EM-DAT) do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED) identifica como desastre apenas os eventos que tenham causado: 10 ou mais pessoas mortas reportadas, 100 ou mais pessoas afetadas reportadas, declaração de estado de emergência ou pedido internacional de ajuda (GUHA-SAPIR; HOYOIS; BELOW, 2014). É a única base de dados que possui ocorrências de desastres de todo o mundo, e seguindo a regra supracitada, possibilita análises. Porém, devido a categorização que cada país usa não ser uniformizada, pode haver discordâncias do tipo de desastre, apesar do fenômeno ser o mesmo (alguns eventos classificados como inundações deveriam ser classificados como movimentos de massa úmida) (Tabela 1).

Uma base de dados completa e atualizada é elemento base para gerar muitos estudos em prol de um ambiente físico mais saudável e uma população mais resiliente. Inundações dominam metade dos afetados e desabrigados de todos os desastres ocorridos no mundo (Tabela 1). Ásia e Américas dominam o cenário de eventos de inundação (NUNES, 2015) em nível mundial, e os dados do CRED (2020) demonstram que não há uma tendência exata de crescimento ou baixa de ocorrências, porém o decênio do início dos anos 2000 foi o mais impactante da série e a partir dele o aumento tem sido progressivo nos últimos decênios (Figura 1).

Tabela 1 – Comparação dos dados de inundações e do total de desastres no mundo desde início da contabilidade da EM-DAT do CRED.

Mundo	Ocorrências	Total de mortos	Afetados	Feridos	Desabrigados	Total de afetados	Total de danos (USD)
<b>Total de desastres</b>	15.398	32.655.589	7.599.996.092	9.899.721	174.691.924	7.784.587.737	3.647.644.564
<b>Inundações</b>	5.264	6.957.537	3.743.292.178	1.349.643	93.269.818	3.837.911.639	865.766.010
<b>% das Inundações</b>	34,19	21,31	49,25	13,63	53,39	49,30	23,73

(Fonte: Adaptado de CRED (2020)).

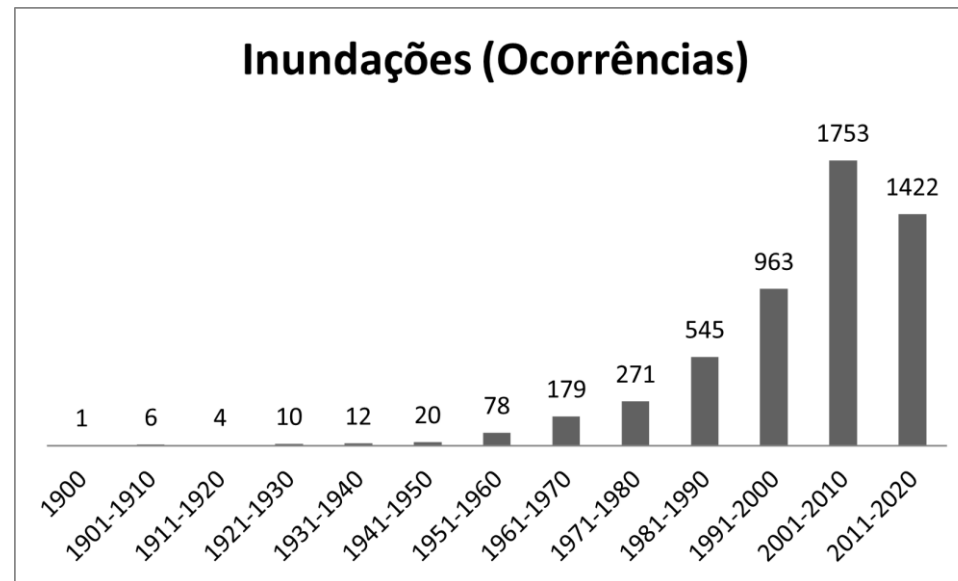


Figura 1 – Ocorrências de inundações no mundo a cada 10 anos.

(Fonte: Adaptado de CRED (2020)).

### *Dados no Brasil e Rio Grande do Sul*

Os dados do EM-DAT para o Brasil, entre os anos de 1948-2019 (CRED, 2020) (Tabela 2), demonstram que esse tipo de fenômeno natural se sobrepõe aos outros, pois o segundo que mais ocorreu foram as secas com 14,29% do total.

Algumas inundações acabam não sendo incluídas nas contabilizações do EM-DAT, devido aos critérios do CRED, porém, com os dados existentes, destaca-se o crescimento do número de ocorrências de inundações no Brasil nas últimas décadas (CRED, 2020) (Figura 2). Para uma análise mais completa em se tratando de Brasil, existe o atlas brasileiro dos desastres, com dados de 1991-2012, em que a base de dados foi de origem dos Formulários de Notificação Preliminar de Desastre (NOPRED) e da Avaliação de Danos (AVADAN), e agora possuindo a nomenclatura de Formulário de Informações do Desastre (FIDE) que gera os dados para o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), base de dados mais atualizada a nível nacional. Quando da ausência de certos dados, dados de relatórios de danos, portarias, decretos, entre outros documentos, desde que não fossem redundantes, foram consultados (CEPED-SC, 2013).

Na Tabela 3 são apresentadas as ocorrências de inundações (i.e., bruscas, graduais e alagamentos) em comparação aos demais tipos de desastres. A Tabela 4 e Tabela 5 mostram dados dessa temporalidade (1991-2012) para inundações bruscas e graduais no Brasil, região Sul e para o Rio Grande do Sul. Em resumo, os dados demonstram o quanto as inundações são o principal desastre no Brasil, causador da maioria dos danos, e que a região sul concentra a maior parte das inundações bruscas e um alto percentual de inundações graduais.

Tabela 2 – Comparação dos dados de inundações e do total de desastres no Brasil desde a existência de contabilidade pelo EM-DAT do CRED.

<b>Brasil</b>	<b>Ocorrências</b>	<b>Total de mortos</b>	<b>Afetados</b>	<b>Lesionados</b>	<b>Desabrigados</b>	<b>Total de afetados</b>	<b>Total de danos</b>
<b>Total de desastres</b>	246	13.108	104.462.242	16.658	1.365.263	105.843.786	26.136.381
<b>Inundações</b>	138	7.827	19.331.017	16.658	1.200.073	20.543.748	9.370.254
<b>% das Inundações</b>	60,98	60,95	18,51	77,75	87,90	19,41	38,17

(Fonte: Adaptado de CRED (2020)).

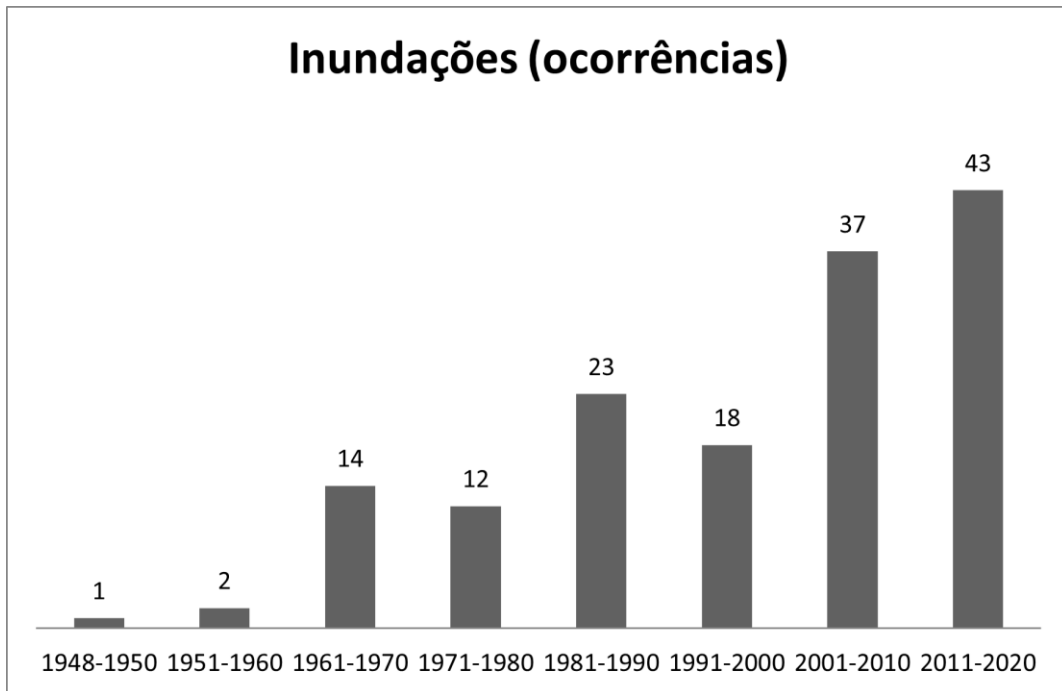


Figura 2 - Ocorrências de inundações no Brasil a cada 10 anos.

(Fonte: Adaptado de (CRED, 2020))

Tabela 3 - Eventos de inundação em comparação aos demais desastres no Brasil.

<b>Brasil</b>	<b>Afetados (%)</b>	<b>Mortos (%)</b>
<b>Inundações (brusca, alagamentos ou gradual)</b>	40,19	61,82

(Fonte: Adaptado de CRED (2020)).

Tabela 4 - Inundações bruscas e seus impactos no Brasil, região Sul e no Rio Grande do Sul (1990-2010).

	Municípios afetados	Ocorrências	% de inundações no Brasil	Mortos	Gravemente feridos	Levemente feridos	Enfermos	Desaparecidas	Deslocadas	Desabrigadas	Desalojadas	Afetados
<b>Rio Grande do Sul</b>	342	832	12,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Região Sul</b>	810	2476	36,57	228	353	7257	4603	242	125581	141393	389038	8348277
<b>Brasil</b>	3027	6771	-	1069	11922	40194	104832	1512	315644	522126	1374776	28440756

(Fonte: Adaptado de CEPED-SC (2013)).

Tabela 5 - Inundações graduais e seus impactos no Brasil, região Sul e no Rio Grande do Sul (1990-2010).

	Municípios afetados	Ocorrências	% de inundações no Brasil	Mortos	Gravemente feridos	Levemente feridos	Enfermos	Desaparecidas	Deslocadas	Desabrigadas	Desalojadas	Afetados
<b>Rio Grande do Sul</b>	199	371	10,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Região Sul</b>	457	832	22,65	60	48	1165	1467	11	23879	97260	185007	1096840
<b>Brasil</b>	2042	3673	-	461	539	12503	137911	262	295120	469281	1185479	7323240

(Fonte: Adaptado de CEPED-SC (2013)).

## 4.2 Gestão de riscos desastres de inundações

Para Vargas *et al.* (2009), a gestão de riscos é um processo social e político pelo qual a sociedade busca controlar os processos de criação e construção do risco, ou diminuir o risco existente com a intenção de fortalecer os processos de desenvolvimento sustentável e a seguridade total da população. No dicionário de terminologias da UNISDR (2009) gestão de riscos é a abordagem sistemática e prática de gerenciar a incerteza para minimizar danos e perdas potenciais.

São também reflexo desse desempenho formas de ações integradas nos diferentes temas e instrumentos do desenvolvimento municipal; ações que englobam o conhecimento e o gerenciamento do risco, assim como o gerenciamento do desastre. Entende-se como gestão de riscos de desastres como a aplicação de políticas de redução de risco de desastres e estratégias para prevenir novos riscos de desastres, reduzir os riscos de desastres existentes e gerenciar risco residual, contribuindo para o reforço da resiliência e redução das perdas de desastres (UNDRR, 2017).

A partir de uma abordagem sistêmica do problema, as ações a serem tomadas partem de questões como:

- Conhecimento do risco e suas causas e consequências;
- Redução do risco atual e futuro;
- Proteção financeira relacionada ao risco;
- Preparação e execução de ações de resposta a emergências e recuperação de desastres;
- Organização em nível interinstitucional e comunitário para fazer frente às necessidades das ações demandadas.

Os cenários de risco consistem na avaliação de causa (principais ações possíveis dos perigos e seus agentes causadores) e efeito (diferentes configurações que um desastre pode assumir) através de simulações que reproduzam os processos causadores e os danos decorrentes (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

As ações de gerenciamento de risco de desastres podem ser distinguidas entre gerenciamento de risco de desastres prospectiva, corretiva e gerenciamento reativa/compensatória/residual. Exemplos desse tipo gestão podem ser analisadas abaixo (SEDEC; UNDP, 2013)

- Gestão prospectiva:



- Metodologias para incluir a gestão de riscos de desastres nos projetos de investimento público (PIP);
- Avaliação do risco;
- Desenvolvimento de normas de uso do solo e de construção.
- Gestão corretiva:
  - Desenho de obras de proteção;
  - Medidas de reforço estrutural de edificações e obras em risco;
  - Realocação de moradias.
- Gestão reativa:
  - Planos de resposta;
  - Alerta e alarme;
  - Planos de recuperação.

Além disso, os mesmos autores citam as ferramentas básicas na gestão de riscos de desastres (Quadro 1).

Quadro 1 - Ferramentas para a gestão de riscos de desastres naturais.

<b>Ferramentas</b>	
<b>Análise de território</b>	<b>Sistemas de informação</b>
(ex. características físicas, climáticas e geográficas, populacionais, urbanas, culturais e de percepção do risco; planos, projetos e programas; histórico de desastres e de gestão)	(ex. sistematização da informação cartográfica e de inventário de perigos, vulnerabilidades e risco; sistemas de alerta imediato; sistematização de ações e gestão de outras entidades em outras escalas territoriais)
<b>Educação e sensibilização</b>	<b>Normas</b>
(ex. incidência política, formação de recursos humanos, educação e capacitação; campanhas de informação pública para o conhecimento do risco e das medidas de gestão; inclusão da gestão do risco de desastres no currículo escolar)	(ex. decretos, métodos, normas, códigos e especificações; regulamentação do uso do solo e ordenamento territorial; decretos para estimular o investimento em gestão de risco de desastres)
<b>Planejamento</b>	<b>Intervenção física do território</b>

(ex. planos de ordenamento territorial; inclusão da gestão de riscos de desastres na gestão territorial e ambiental, e idem para planos de manejo dos projetos de infraestrutura, atividades produtivas de bens e serviços)	(ex. programas de relocação, melhoria e proteção de moradia, intervenção em bacias hidrográficas deterioradas)
<b>Alerta e alarme</b>	<b>Preparação</b>
(ex. rede de observação meteorológica; monitoramento e alerta de bacias hidrográficas em regime torrencial)	(ex. planos de emergência; plano de recuperação)
<b>Gestão financeira</b>	
(ex. retenção do risco; fundos de emergência; créditos contingenciados; transferência dos riscos; estudo e promoção da aplicação de seguros para proteção dos bens e serviços individuais e coletivos)	

(Fonte: SEDEC e UNDP (2013))

A gestão de risco de desastres de inundações tem passado por reflexões com menos foco no uso de medidas estruturais e mais utilização de medidas não estruturais. Entende-se por medidas estruturais e não-estruturais os conceitos definidos por Tucci (2007):

- Medidas estruturais: São aquelas que modificam o sistema fluvial (ou o meio ambiente) através de obras na bacia (medidas extensivas) ou no rio (medidas intensivas) para evitar o extravasamento do escoamento para o leito maior decorrentes das enchentes;
- Medidas não-estruturais: São aquelas que conservam o meio ambiente e os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as inundações através de medidas preventivas como o alerta de inundação, zoneamento, das áreas de risco, seguro contra inundações, e medidas de proteção individual.

Os Estados Unidos, por exemplo, priorizaram durante décadas projetos de armazenamento a montante e de diques locais, ou seja, medidas estruturais. Alguns casos demonstraram que diques ou barragens causaram um aumento considerável de povoamento das planícies, uma falsa sensação de segurança e com a posterior falha, os danos foram muito maiores. A insuficiência dessas estruturas causa a necessidade de mais estruturas, tornando-se um ciclo vicioso (TOBIN, 1995; US

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1995) como casos dos desastres de Chesterfield, Missouri em 1993 e Nova Orleans, Louisiana em 2005.

No sentido de processos e planejamentos globais, o marco de Sendai é a orientação para gestão de riscos de desastres, tem como resultado esperado a redução substancial dos riscos de desastres e de perdas de vida, meios de subsistência, e dos ativos econômicos, físicos, sociais, culturais e ambientais das pessoas, empresas, comunidades e países – delimitou quatro ações prioritárias para que Estados apliquem em todas as esferas: local, nacional, regional e mundial até o ano de 2030 (UNISDR, 2015).

- Prioridade 1 - Compreender o risco de desastres;
- Prioridade 2 - Fortalecer a governança do risco de desastres para gerir o dito risco;
- Prioridade 3 - Investir na redução do risco de desastres para a resiliência;
- Prioridade 4 - Aumentar a preparação para casos de desastre a fim de dar uma resposta eficaz e para “reconstruir melhor” nas áreas de recuperação, reabilitação e reconstrução.

O que o marco de Sendai reforça, seja para qualquer esfera, é que hoje a gestão de desastres necessita de três grandes grupos: o antes (prevenção, mitigação e preparação), durante (resposta) e depois (recuperação) do evento de perigo. Todavia, são metas que já vem do marco anterior, o marco de Hyogo (UNISDR, 2005), e foram a base para construção da lei 12.608, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), também constituída com todas as fases citadas acima.

As prioridades de ação do marco de Sendai devem ser (UNISDR, 2015):

- Conhecer o risco de desastres: As políticas e práticas para gestão de risco de desastres devem ser baseadas em um entendimento de risco de desastres em todas as suas dimensões de vulnerabilidade, capacidade, exposição de pessoas e bens, características de perigo e o meio ambiente. Esse conhecimento pode ser aproveitado para o propósito de avaliação de risco pré-desastre, para prevenção e mitigação e para o desenvolvimento e implementação de preparação adequada e resposta eficaz a desastres;

- Fortalecimento da governança de risco de desastres para gerenciar o risco de desastres: A governança do risco de desastres nos níveis nacional, regional e global é de grande importância para uma gestão eficaz e eficiente do risco de desastres. Visão clara, planos, competência, orientação e coordenação dentro e entre os setores, bem como a participação das partes interessadas relevantes, são essenciais.
- Investir na redução do risco de desastres para resiliência: Investimento público e privado na prevenção e redução do risco de desastres por meio de medidas não estruturais são essenciais para melhorar as condições econômicas, sociais, sanitárias e culturais, resiliência de pessoas, comunidades, países e seus ativos, bem como o meio ambiente. Estes podem ser motores de inovação, crescimento e criação de emprego;
- Melhorar a preparação para desastres buscando uma resposta eficaz e para “Reconstruir Melhor”: O crescimento constante do risco de desastres, incluindo o aumento da exposição de pessoas e ativos, combinado com as lições aprendidas de desastres passados, indica a necessidade de fortalecer ainda mais preparação e resposta para desastres. Deve-se agir de forma antecipada aos eventos, integrar redução de risco de desastres na preparação e resposta, e garantir que as capacidades estejam em vigor para resposta e recuperação em todos os níveis.

#### **4.2.1 Prevenção e mitigação**

Conforme UNDRR (2017) atividades e medidas para evitar riscos de desastres existentes e novos e mitigação é a diminuição ou minimização dos impactos adversos de um evento perigoso.. Para a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil do Brasil (SEDEC) e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), prevenção são as medidas adotadas com antecedência para evitar a instalação de situações de risco (SEDEC; UNDP, 2013).

É preciso destacar que a prevenção provê uma condição perfeita em que não haverá qualquer impacto (UNDRR, 2017); logo, pode-se entender que essa é uma situação muito difícil de ocorrer, visto que um fenômeno natural da magnitude de uma inundação sempre traz algum tipo de impacto. A FEMA (2013), por exemplo, cita que prevenção são as capacidades necessárias para evitar, prevenir ou parar um ato real. Isso é relevante, porque a citação é voltada para ações de terrorismo, e dentro dessa

esfera há sempre algum impacto, podendo-se evitar o ato ou fenômenos, porém não completamente. Haverá sempre um efeito colateral, porém o tamanho desse efeito será maior ou menor dependendo do nível de prevenção.

Uma das ações primordiais da prevenção é o conhecimento dos fenômenos de origem natural ou mista que, quando se manifestam, possuem danos potenciais a sociedade. Por isso, é necessário identificar os gatilhos que disparam o perigo de um fenômeno. Além disso, os grupos mais vulneráveis aos riscos de desastres precisam ser identificados, para que haja respostas mais efetivas e menos danos humanos. Para danos econômicos, é necessário realizar um inventário das infraestruturas expostas como pontes, rodovias e prédios públicos, mitigando os riscos (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

#### **4.2.2 Preparação**

Preparação é o conhecimento e capacidade de governos, profissionais, organizações de resposta e recuperação, comunidades e pessoas de prever, responder e recuperar-se de forma efetiva dos impactos de eventos ou condições prováveis, iminentes ou atuais de um perigo (UNDRR, 2017). Simplificando, é o meio que facilita as ações de mitigação ao redor do impacto, bem como as ações de resposta. Isso pode ser realizado através de planos de contingência, simulações, monitoramento, emissão de alertas e a evacuação da população (CEPED-RS, 2016).

Segundo a SEDEC e UNDP (2013), os componentes de uma preparação são: análise de risco, planejamento, coordenação e marco institucional, sistemas de informação, sistemas de alerta e alarme, mecanismos de preparação e resposta, educação, formação, sensibilização e simulação, prevenção, além de acompanhamento, avaliação, além dos planos de contingência como descritos na lei 12.608 (BRASIL, 2012). Para Sausen e Lacruz (2015), o monitoramento de ameaças está intrinsecamente relacionado ao conhecimento de cenários de risco. O monitoramento eficaz perpassa preferencialmente:

- Dados obtidos da rede de monitoramento, que permitam em tempo quase real, o comportamento dinâmico do perigo, em resolução e precisão compatíveis com os fenômenos observados.

- Resultado de modelagem dos fenômenos naturais que são gatilhos para os desastres, estando com suas calibrações compatíveis com os eventos observados.

- Sistema integrador em base de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para conectar os dados da rede, modelos dos processos e seus parâmetros intrínsecos, gerando os cenários de risco.

No caso dos alertas, a estrutura baseia-se na comunicação formal das autoridades responsáveis para que se inicie a preparação para o desastre, e que mude o estado de “sobreaviso” para “prontidão”, essa comunicação é previamente conhecida pela população, que começa a realizar o procedimento pré-definido para cada tipo de desastre (SEDEC; UNDP, 2013).

#### **4.2.3 Resposta**

Resposta é a prestação de serviços de emergência e assistência pública durante e imediatamente após a ocorrência de um desastre, cuja finalidade é salvar vidas, reduzir impactos na saúde, garantir a segurança pública e suprir as necessidades básicas dos meios de subsistência de uma população afetada (UNDRR, 2017). A resposta se divide em três partes: pré-impacto (intervalo de tempo entre o prenúncio e o desenvolvimento do desastre), impacto (momento em que o evento ocorre em sua plenitude) e limitação de danos (situação imediata ao impacto, quando os efeitos do evento adverso iniciam o processo de atenuação).

A SEDEC e UNDP (2013) abordam uma lista de funções operacionais que uma resposta a um desastre necessita ter na gestão operacional, isso pode ocorrer sobre um plano de contingência: evacuação, salvamento das vítimas, restabelecimento de laços familiares, gestão de cadáveres, serviços de emergência médica, controle sanitário, ajuda humanitária, avaliação de dados e análise das necessidades (FIDE), reabilitação dos serviços básicos, outras intervenções de ajuda humanitária, transporte/comunicações, obras públicas, combate a incêndio, informação e planejamento, gestão de fluxos massivos, logística, saúde, água e alimentação, energia, apoio militar, informação pública, voluntário e doações, cumprimentos de leis, serviços animais e reestabelecimento de negócios, indústria e economia.

#### **4.2.4 Recuperação**

Recuperação é a restauração e melhoria (se forem necessárias) das instalações, dos meios de subsistência e as condições de vida das comunidades atingidas por desastres, o que incluem esforços para reduzir os fatores de risco de desastres (UNDRR, 2017).

A *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) dos EUA cita recuperação como a capacidade necessária para ajudar as comunidades afetadas por um desastre em recuperar-se de forma eficaz, incluindo, mas não limitando, a reconstrução de sistemas de infraestrutura, principalmente de forma visando o “*Built Better*” baseado na recuperação com preparação e mitigação; proporcionar moradia temporária adequada e de longo prazo para os sobreviventes; restaurar serviços de saúde, sociais e comunitários; promoção do desenvolvimento econômico; e recuperação dos recursos naturais e culturais. Ainda, subdividido o processo de recuperação em quatro fases: Preparação, recuperação de curto prazo, recuperação intermediária e recuperação de longo prazo. Dentro dessas estruturas os processos que devem ser abrangidos são: o econômico, saúde e serviços sociais, habitação, sistemas de infraestrutura e recursos naturais (FEMA, 2011).

#### **4.2.5 Gestão de riscos a desastres no Brasil**

A gestão de riscos a desastres ganhou maior relevância no final da década de 80, com o surgimento de experiências pioneiras como o Plano Preventivo de Defesa Civil do Estado de São Paulo, além de algumas ações de origem municipal, a exemplo de Recife, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, São Paulo e Santos. Os debates no âmbito acadêmico também surgiram através de eventos técnico-científicos. Em termos de origem federal, destaca-se a criação do Ministério das Cidades, que incorporou o conceito de riscos na gestão urbana, além de ações de apoio a programas municipais de redução de riscos, suporte técnico e cursos de capacitação (NOGUEIRA, 2008). Devido a uma sequência de desastres nos últimos anos, os esforços empreendidos para evoluir e solidificar a gestão de desastres que vá além da resposta estão se disseminando. O escopo necessita ir além das questões técnicas, e avançar sobre a educação, planejamento territorial e inovação tecnológica (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

A Lei nº 12.608 de 2012 instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC), tornou-se um marco no enfrentamento a desastres, e ainda dispõe do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINDPEC) e do Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC), e determina que todos os entes têm o dever de tomar medidas para redução de desastres.

Dentre as diretrizes do PNPDC, algumas são bastante interessantes como a atuação articulada dos entes componentes da Federação; abordagem sistêmica de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação; prioridade a ações

preventivas a minimização de desastres, planejamento com base em pesquisas e estudos sobre áreas de risco e incidência dos desastres no território nacional.

Os objetivos principais do PNPDC são avanços concretos na área de gestão de desastres, por exemplo:

- Assimila os riscos de desastres e as ações como parte gestão dos territórios;
- Busca por cidades resilientes e com urbanização sustentável;
- Promove a identificação e avaliação dos perigos e vulnerabilidades;
- Criar sistemas de alerta;
- Combate a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco, promovendo a realocação da população e/ou estimular iniciativas que resultem na destinação de moradia em local seguro;
- Capacitação para desenvolver a consciência dos riscos de desastre e dos comportamentos adequados de prevenção e de resposta em situação de desastre, além da autoproteção;
- Integrar informações em um sistema capaz de subsidiar os órgãos do SINPDEC na previsão e no controle dos danos devido a desastres.

Outro ponto importante é o cadastro nacional de municípios suscetíveis a desastres, que obriga o município inserido a uma série de implementações como, por exemplo, mapeamento de áreas suscetíveis, plano de contingência, obras e serviços para redução de risco a desastres, mecanismos para o controle de edificações irregulares, elaboração de carta geotécnica.

Esse cadastro foi regulamentado pelo decreto 10.692/2021 (BRASIL, 2021), e o município cadastro nesse sistema deverão segundo o artigo 5º desse decreto:

- I - Instituir órgãos municipais de defesa civil, de acordo com os procedimentos estabelecidos pelo órgão central do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil;
- II - Elaborar mapeamento das áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, com limites georreferenciados;
- III - Elaborar, no prazo de um ano, contado da data de inclusão no Cadastro Nacional, plano de contingência de proteção e defesa civil, observado o disposto no § 7º do art. 3º-A da Lei nº 12.340, de 2010;



- IV - Elaborar plano de implantação de obras e serviços para a redução de riscos de desastre;
- V - Criar mecanismos de controle e de fiscalização para evitar a edificação em áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos;
- VI - Elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização e estabelecer diretrizes urbanísticas com vistas à segurança dos novos parcelamentos do solo e ao aproveitamento de agregados para a construção civil; e
- VII - Atualizar anualmente o Cadastro Nacional sobre a evolução das ocupações em áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos.

Fazem parte da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC): Departamento de Articulação e Gestão (DAG), Departamento de Reabilitação e Reconstrução (DRR), Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) e Departamento de Minimização de Desastres (DMD).

### **4.3 Metodologias de avaliação de risco**

Para que riscos possam ser identificados, é imperativo que sejam adequadamente medidos e monitorados para determinar intervenções prospectivas e corretivas. Tanto os afetados como os responsáveis pela gestão de risco de desastres devem ter conhecimento do risco, além de identificar as suas causas. Os métodos de avaliação e acompanhamento devem usar procedimentos que facilitem um entendimento do problema; além disso, que possam ajudar como orientação no processo de tomada de decisão (CARDONA, 2005).

#### **4.3.1 Indicadores e índices**

Estudos que envolvam índices e indicadores são importantes, pois tentam identificar tendências e expor questões específicas. Há diferenciação entre indicadores e índices que necessitam ser destacadas, pois há uso por vezes como sinônimos. De forma simplificada, o índice é o resultado de todo um procedimento de cálculo onde se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõem, ou mesmo outros índices SICHE *et al.* (2007), e há toda uma estrutura de organização

que vai dos dados primários até o topo, onde está localizado o índice (Figura 3). Shields (2002) define que um índice identifica o estado de um fenômeno observado.

O índice pode servir como um instrumento de tomada de decisão e previsão. Um índice composto surge da combinação matemática (i.e., agregação) de um conjunto de indicadores (FREUDENBERG, 2003).

O indicador é um termo derivado do verbo em latim *indicare*, que significa "apontar ou proclamar", nesse caso, um nível ou estado. É algo que proporciona a simplificação de algo complexo, estimando quantitativamente ou qualitativamente sua condição de forma representativa, assim facilitando a comunicação e produzindo informação (BRAAT, 1991; FREUDENBERG, 2003; MITCHELL, 1996; PRATT; KALY; MITCHELL, 2004). A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) propõe uma sequência de dez etapas para o desenvolvimento de um indicador composto (Quadro 2). As escolhas feitas em uma única etapa podem ter implicações importantes para as outras (OECD, 2008).

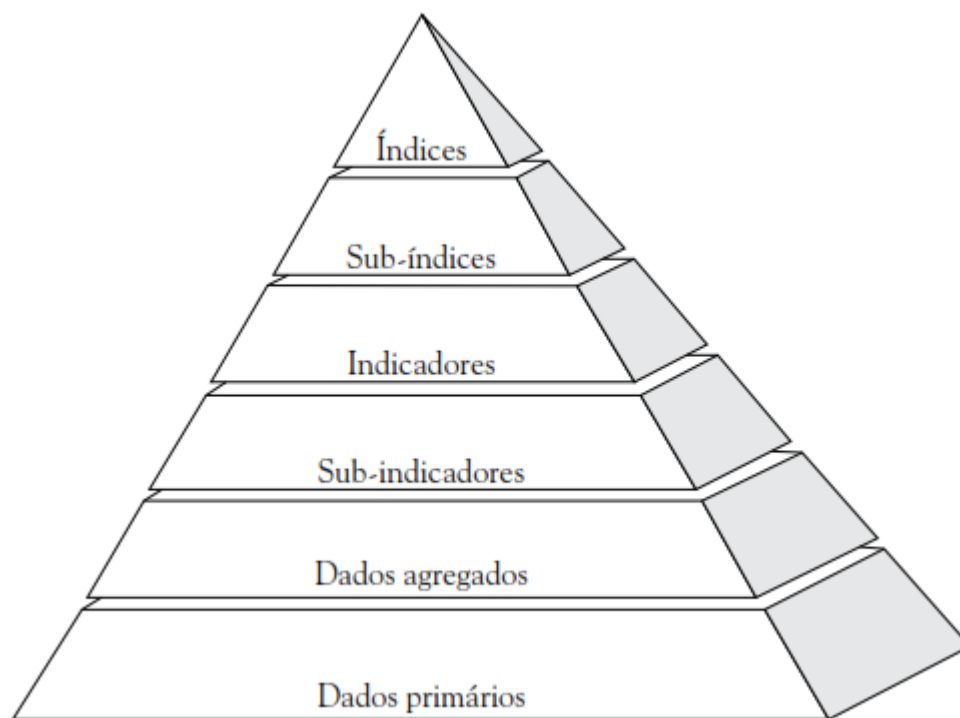


Figura 3 - Pirâmide de etapas para formulação de um índice.

(Fonte: SICHE *et al.* (2007))

Quadro 2 - Etapas para criação de um indicador composto.

Etapas	Utilidade
<b>1. Base teórica (Identificação do problema)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornece a base para a seleção e combinação das variáveis em um indicador composto</li> </ul>

<p><b>2. Seleção de dados</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baseia-se na robustez analítica, mensurabilidade, cobertura e relevância dos indicadores com o fenômeno a ser medido e a relação um com os outros. O uso de variáveis de aproximação deve ser considerado, quando há escassez de dados.</li> </ul>
<p><b>3. Estimação de dados em falta (Definição de alternativas)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessário a fim de identificar os dados indisponíveis para completar a base de dados.</li> </ul>
<p><b>4. A análise multivariada (Definição dos critérios relevantes para o problema de decisão)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizado para estudar a estrutura geral do conjunto de dados, avaliar a sua adequação, e depois orientar as escolhas metodológicas (Ponderação, agregação).</li> </ul>
<p><b>5. Normalização</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizada para tornar possível a comparação de variáveis.</li> </ul>
<p><b>6. Ponderação e agregação (Determinação dos pesos dos critérios)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A partir da estrutura teórica, combinam-se indicadores e pesos utilizados.</li> </ul>
<p><b>7. Análise de incertezas e de sensibilidade de critérios e pesos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessária para avaliar a robustez do indicador composto (para incluir ou excluir um indicador, a normalização, a influência da falta de dados, a escolha de pesos, o método de agrupamento).</li> </ul>
<p><b>8. Voltar aos dados (Nova releitura dos critérios)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aponta os principais fatores para um desempenho bom ou ruim. A transparência é fundamental para uma boa análise e elaboração de políticas.</li> </ul>
<p><b>9. Links para outros indicadores (Recomendações e apresentação de relatório)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correlaciona os indicadores compostos com outros indicadores existentes (simples ou compostos), bem como identificar ligações através de regressões.</li> </ul>
<p><b>10. Visualização dos resultados (Implementação)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Devem receber a devida atenção, uma vez que a visualização pode influenciar e/ou ajudar a interpretação.</li> </ul>

(Fontes: DE PESSÔA (2005), OECD (2008) e TATE (2013))

A construção de um índice requer padrões relacionados ao conceito estrutural (e.g., fuzzy, AHP, ANP, TOPSIS), escala de análise (i.e., local, regional ou nacional), tipo de dado (i.e., primário ou secundário), computação do índice (i.e., qualitativo ou quantitativo) e forma de abordagem (i.e., *top-down* ou *bottom-up*) (NRC, 2015; TATE, 2013). As relações de construção mais comuns podem ser identificadas no Quadro 3, todavia não impedem outras correlações.

Quadro 3 - Estrutura para construção de índices e indicadores.

Abordagem	Tipo de dado	Escala
<b>Top-Down</b>	Agregados	Regional/Nacional
<b>Bottom-Up</b>	Primário	Local

A escolha da abordagem determina o tamanho da influência da sociedade no processo de análise, além de determinar custos, extensão espacial, limitação conceitual e a capacidade de análise padronizada (CUTTER, 2016; PARSONS *et al.*, 2016).

#### 4.3.2 Métodos de análise multicritério

Métodos de análise multicritério (MCDM) é um termo que representa um conjunto de métodos que são aplicados para auxiliar no processo de tomada de decisão baseado em múltiplos critérios, e que, por muitas vezes, são conflitantes (CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014; DE BRITO; EVERS, 2016).

Os MCDM precisam apresentar uma visão global do problema, mas também aglutinar em um produto a avaliação do tomador de decisão com pesos diferentes seja por dados quantitativos e qualitativos. A ideia do método é que o processo de decisão possa ser objetivo, diminuindo ambiguidades, predileções e pontos de vista diferentes. As limitações não impedem a subjetividade, devido à influência do entendimento do decisor a construir a análise, porém a subjetividade é reduzida. Independente do modelo criado, qualquer alteração nos dados de entrada ou nos algoritmos será percebida nos resultados, sendo assim, as análises de sensibilidade e/ou incertezas deveriam ser realizadas, algo pouco realizado para índices de vulnerabilidade, por exemplo (TATE, 2013).

A gestão de recursos hídricos usa esse tipo de metodologia há mais de três décadas, devido à necessidade de correlacionar aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos, sociais e políticos. Elas são especialmente atraentes na gestão integrada de bacia hidrográficas, pois incentivam a adoção de medidas não estruturais, tais como gestão do uso do solo, restrição ao desenvolvimento da bacia de inundação, aumento da percepção e preparo ao risco, entre outras (ZONENSEIN, 2007).

A escala de análise é um fator importante, pois exige métodos diferentes ao avaliar riscos de inundação, sendo a distinção entre as escalas algo subjetivo (DE MOEL *et al.*, 2015).

Por sua capacidade de valorar alternativas ou critérios a partir de comparações par-a-par, o Processo de Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchical Process* – AHP) foi abordado nesse trabalho. O AHP é bastante utilizado na área de desastres, demonstrando sua aplicabilidade, flexibilidade, robustez e fácil compreensão (CHAKRABORTY; JOSHI, 2014; GAO; NICKUM; PAN, 2007; JALAYER *et al.*, 2014; SINHA *et al.*, 2008; WU *et al.*, 2015; ZONSEIN, 2007), pois simplifica macroproblemas, possui significância prática, diminui o grau de incoerência do gerenciador da análise e tem capacidade refletir de forma real todos os componentes de uma inundação (HU *et al.*, 2017; ISLAM; SWAPAN; HAQUE, 2013; SAATY, 1990). Suas limitações e críticas são focadas em possíveis incapacidades de representar o pensamento humano, imprecisões na comparação por pares, independência e número limitado de variáveis (DENG, 1999; KAHRAMAN; CEBECI; ULUKAN, 2003; WANG *et al.*, 2011). Há adaptações do método AHP como I-AHP, AHP Fuzzy Híbrido, AHP Fuzzy trapezoidal, porém podem não apresentar grandes melhorias nos resultados (SAATY, 2006). Um fato é que estudos que envolvam métodos de análise multicritério ainda são concentrados na Ásia e Europa, ou seja, ainda são pouco utilizados na América do Sul (DE BRITO; EVERS, 2016).

O método AHP parte de uma matriz pareada, em que se comparam critérios de acordo com uma escala de nove pontos. Essa comparação ocorre utilizando dois critérios por vez. Os pesos dos critérios são obtidos pelo vetor próprio da matriz (DE BRITO; EVERS; ALMORADIE, 2018; KARAYALCIN, 1982).

#### **4.3.3 Metodologias de avaliação de risco por índices e indicadores**

Como já definido anteriormente, índices e indicadores proporcionam a simplificação de um conjunto grande de dados, de escalas diferentes, avaliando de forma quantitativa, mesmo algo que seja qualitativo. Essa clareza nas informações possibilita o seu uso na área de riscos e de inundações. A seguir, são descritos alguns desses índices. Cada um possui uma finalidade devido a escala, que vai desde a supranacional, passa pela nacional até a escala em área urbana ou setores censitários, escala menor que um bairro. Neles se incluem informações que agregam perigo, vulnerabilidade, exposição, suscetibilidade e/ou resiliência (Quadro 4).

Quadro 4 - Compilação de alguns índices de riscos a desastres.

<b>Desenvolvedor</b>	<b>Escala</b>	<b>Limitações</b>
----------------------	---------------	-------------------

OKAZAWA <i>et al.</i> (2011); PEDUZZI <i>et al.</i> (2009)	Supranacional	- Dados simplificados para efeito comparativo; - Representação com menor precisão
MUIS <i>et al.</i> (2015); NIÑO; JAIMES e REINOSO, (2015)	Macro (Nacional)	- Falta de dados para validação; - Superestimação dos dados
CHAKRABORTY e JOSHI (2014); GHOSH e KAR (2018)	Meso (Regional)	- Precisão relativa; - Dados de probabilidades, duração e danos imprecisos
LYU <i>et al.</i> (2019); NAIJI <i>et al.</i> (2019); RINCÓN; KHAN e ARMENAKIS, (2018)	Micro (Local)	- Validação de danos e simulações necessitam de alta precisão

A limitação de muitos dos índices é a falta de uma abordagem holística que integre exposição, riscos e vulnerabilidade em uma análise (ALMEIDA; DE ALMEIDA, 2010). Estes acabam por ter uma visão específica para um dos temas específicos citados acima (CEPED, 2015) muitas vezes apenas focam em uma susceptibilidade física ou no perigo, deixando de aglutinar perigo e vulnerabilidade (ALMEIDA; WELLE; BIRKMANN, 2016) ou por vezes tendo uma estruturação que não condiz com uma forma orgânica de análise dos riscos. O resultado pode ser uma má interpretação ou limitação do risco em um determinado local.

A convivência com o risco é inevitável, porém qualquer sociedade necessita desenvolver e/ou melhorar a capacidade de convivência com os riscos. A gestão e os planos não podem ter períodos específicos, pois fenômenos naturais não possuem data para ocorrer, precisam de atualização com o advento de novas metodologias e tecnologias. Além disso, práticas sociais não são coadjuvantes na construção do espaço urbano, e devem ser entendidos para que haja eficácia nas soluções, evitando uma visão unidimensional (apenas técnica) (NUNES, 2015). Quantificar o risco de inundações permite avaliar mudanças nas condições populacionais, do uso da terra, e na mitigação de danos com intuito de reduzir o risco de inundações futuras (OKAZAWA *et al.*, 2011).

## 5 METODOLOGIAS, INFORMAÇÕES E PROCESSOS EM INVESTIGAÇÃO

### 5.1 Estratégia metodológica

A metodologia proposta para as atividades a serem desenvolvidas seguiu como demonstrado pelo fluxograma na Figura 4 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Em resumo, os principais passos foram: selecionar os termos aplicáveis e correlacionáveis seguindo o método de Monte *et al.* (2021), determinar o tipo de análise multicritério e os pesos através de meta-análise. Em sequência, formar os subindicadores, indicadores, subíndices relacionados ao índice de risco. Por último, foi feita uma análise comparativa para validação entre o índice de risco CRB<sub>i</sub> e um método simplificado para obtenção do índice de risco. Foram usados dados de bases nacional (i.e., censo) e municipal (i.e., prefeitura municipal/defesa civil). O objetivo principal foi desenvolver um índice de risco a inundações aplicado a municípios brasileiros, o CRB<sub>i</sub>.

A escala espacial de dados adotada foi baseada em setores censitários, dada a sua representatividade em ser a menor unidade territorial no Brasil em que se obtêm dados socioeconômicos. Alguns dados poderão estar em escala de menor precisão, entretanto foram feitas generalizações. Essa análise pode ser considerada de microescala (i.e., relacionada, a uma cidade ou trecho específico de um rio), possuindo a capacidade de otimizar o custo-benefício de investimentos em medidas estruturais e não-estruturais (DE MOEL *et al.*, 2015).

A seleção dos índices e indicadores ocorreu de forma criteriosa:

- a) Através de vasta literatura de trabalhos acadêmicos;
- b) Utilização em escala do estudo ou se ajustáveis a escala;
- c) Identificação do uso dos dados na realidade brasileira e facilidade de obtenção;
- d) Análise para averiguar sobreposições de indicadores, eliminando redundâncias.

O índice de risco se baseou em dois subíndices, partindo-se da premissa de um subíndice físico (Perigo) e outro subíndice da esfera social (Vulnerabilidade). Indicadores como suscetibilidade, exposição, resiliência e capacidade adaptativa, também foram usados como parte da estrutura da vulnerabilidade.

Na sequência, foi realizada a normalização dos dados de diferentes escalas numéricas ou de gênero (quantitativo ou qualitativo). Foi utilizada a separação por quartis com os resultados variando de 0 a 1. Para avaliar cada índice, subíndice,

indicador e subindicador, utilizou-se a análise de decisão multicritério AHP, cujos pesos foram obtidos através de uma extensa pesquisa de outras publicações que usaram índices e indicadores voltados a desastres (Apêndice A 1 até A 8).

A valoração do risco, dos demais subíndices e indicadores, foram classificadas em bom (i.e., valor mínimo), atenção, alerta ou crítico (i.e., valor máximo).

Ao fim, foi realizada uma validação cruzada com o método de GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012), com o intuito de entender o comportamento do índice criado. Todos os resultados são apresentados através de mapas, produzidos em ambiente Sistema de Informação Geográfica (SIG), para espacializar os dados geograficamente, e compor uma ferramenta com capacidade de fomentar a tomada de decisão.

Como estudo de caso, a aplicação da metodologia ocorreu no município de Lajeado, no estado do Rio Grande do Sul.



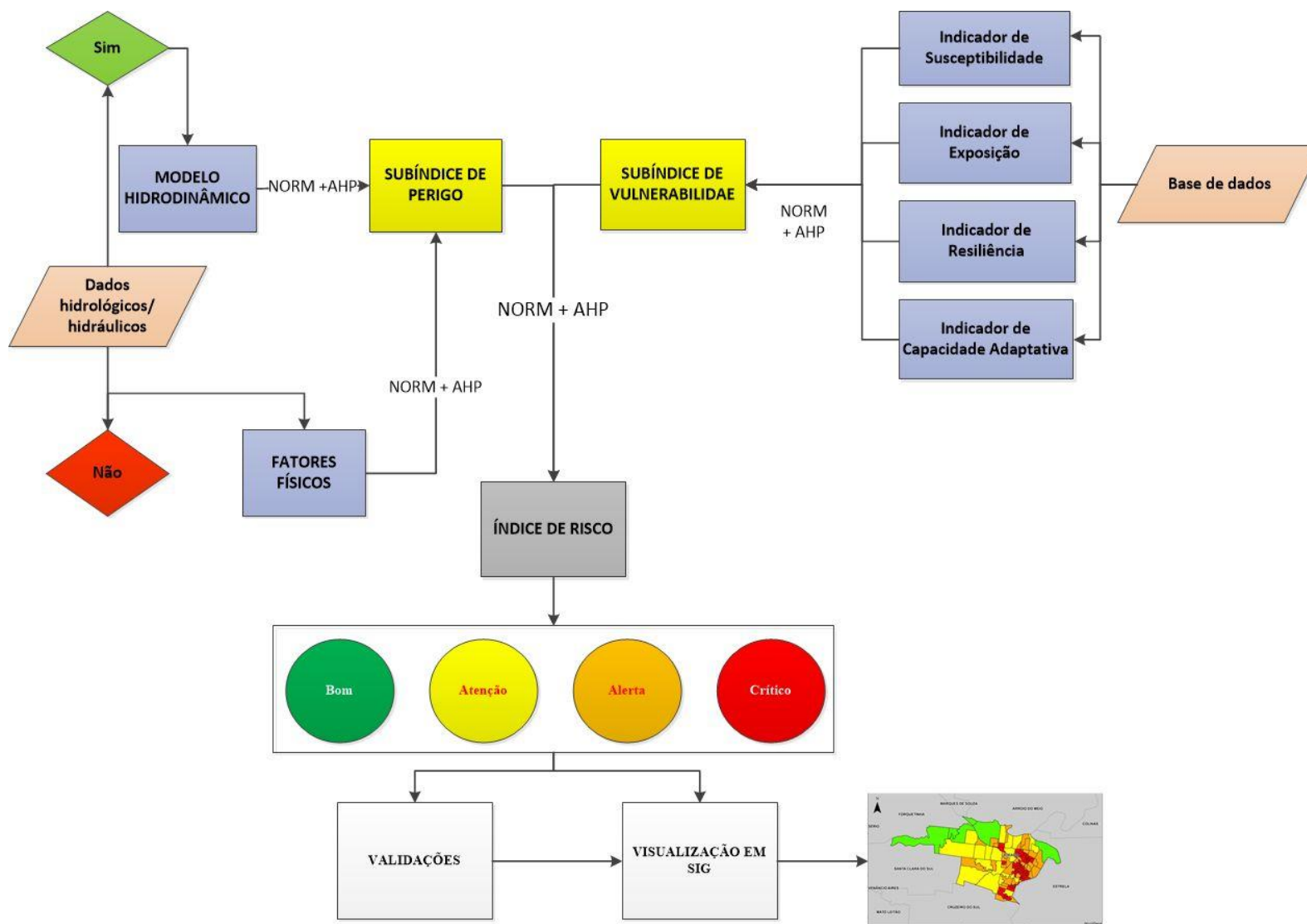


Figura 4 - Fluxograma da metodologia.

## 5.2 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Taquari-Antas está localizada no estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 28°10' a 29°57' de latitude Sul e 49°56' a 52°38' de longitude Oeste, coordenadas geográficas SIRGAS 2000 (DRH; SEMA-RS, 2008). Limita-se ao norte com a bacia do rio Pelotas, a oeste e ao sul com a bacia do rio Jacuí e a Leste com as bacias dos rios Caí e Sinos (FEPAM, 2012). Inclui-se na Região Hidrográfica do Guaíba, inserindo-se inteiramente ou parcialmente em 120 municípios, e ocupando uma área física superior a 26 mil km<sup>2</sup> (aproximadamente 9% do território do Rio Grande do Sul e mais de 1.246.280 milhões de habitantes) (STE, 2012) (Figura 5).

O rio Taquari-Antas nasce no extremo leste do Planalto dos Campos Gerais (nascentes nos municípios de Cambará do Sul, Bom Jesus e São José dos Ausentes), com a denominação de rio das Antas, até o encontro com o rio Carreiro, nos arredores do município de São Valentim do Sul. A partir daí passa a ser chamado de Taquari-Antas, desembocando no rio Jacuí, próximo à cidade de Triunfo. Seus principais afluentes pela margem esquerda são os rios Camisas, Tainhas, Lajeado Grande e São Marcos, e pela margem direita, os rios Quebra-Dentes, da Prata, Carreiro, Guaporé, Forqueta e Taquari-Mirim (FEPAM, 2012). Sua vazão média anual é de, aproximadamente, 606 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (DRH; SEMA-RS, 2006).

O clima na bacia, segundo o método de Köppen, é classificado em dois tipos: Temperado úmido, tipo Cfa (Subtropical) e Temperado Oceânico (Subtropical úmido), principalmente na região nordeste. As temperaturas são maiores que 22°C no verão (CEPED-RS; IPH; GRID, 2015). Os sistemas frontais são os maiores causadores de precipitação na região. Nuvens *cumulonimbus* são recorrentes, formadas de sistemas frontais, devido ao encontro de massas de ar frio, que são originadas da Antártida com massas de ar quente e úmido, situadas na região central e norte do Rio Grande do Sul (CEPED-RS; IPH; GRID, 2015).

A maior parte da bacia (região nordeste) possui precipitações pluviais anuais entre 1.700 e 2.000 mm, distribuídas entre 130 e 150 dias. Já a parte sudoeste (menor) possui pluviosidade anual entre 1.700 e 1.800 mm, distribuída em 100 a 120 dias por ano (ROSSATO, 2011). Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) afetam a região, sendo o Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), o mais impactante. O Jato de Baixos Níveis (JBN) auxilia para convecções severas, por meio de umidade amazônica. Em resumo, são sistemas que elevam a precipitação pluvial em poucas

horas, além de serem capazes de produzir precipitação de granizo, rajadas de vento e descargas elétricas (CEPED-RS; IPH; GRID, 2015).

Sua geomorfologia de morros situa-se nas unidades geomorfológicas Patamares da Serra e Serra Geral, com cotas médias que variam de 400 a 800 m (rio Taquari) (BEROLDT, 2010), porém o rio das Antas possui as nascentes com maiores altitudes, com cerca de 1260 m no município de São José dos Ausentes (DRH; SEMA-RS, 2008). A bacia encontra-se na borda do Planalto Meridional e da Depressão Central Gaúcha, com relevo aplainado a levemente ondulado (DIEDRICH *et al.*, 2010). Geologicamente, destacam-se os grupos Passo Dias, São Bento e Rosário do Sul (STE, 2012).

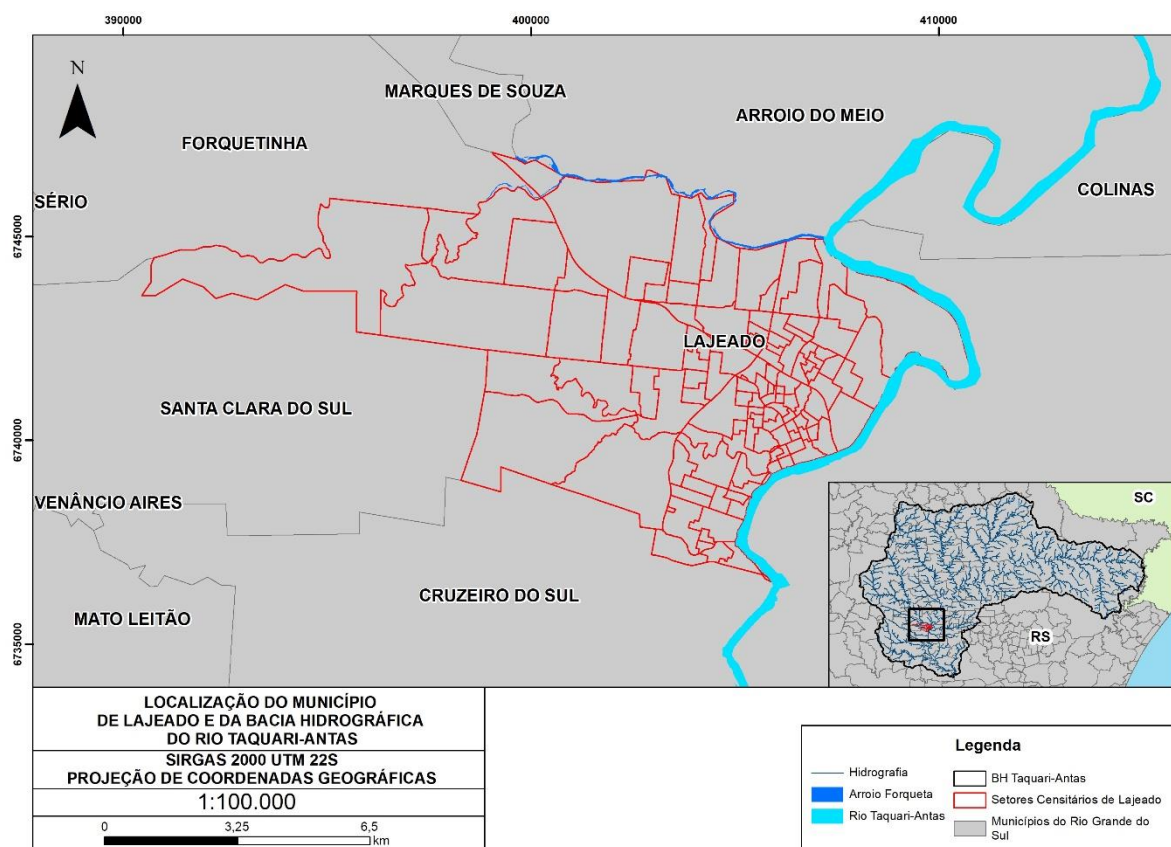


Figura 5 - Localização da área de estudo.

### 5.2.1 Inundações na bacia hidrográfica do Taquari-Antas e no município de Lajeado/RS

O município de Lajeado (RS) fica situado centro-leste do estado do Rio Grande do Sul e dentro da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, no seu baixo curso, em que recorrentemente sofre com inundações do rio mencionado. Bombassaro e Robaina (2010), fizeram um estudo identificando todas as inundações ocorridas entre 1980 e 2007 (total de 20 eventos) na bacia do Taquari-Antas. Os casos de inundações

registrados no período pesquisado foram de 183 notificações, tendo afetado 34 municípios dos 120 da bacia. No período, em muitos casos, foram observados registros de municípios atingidos por mais de um evento durante o mesmo ano. Os anos com mais municípios atingidos foram os anos de 1983, 1989, 1990, 1997 e 2001, e nos meses, julho e outubro.

Os municípios de Lajeado e Estrela foram os mais afetados, pois, juntos, somam mais de 27% do total de casos, seguidos pelas cidades de Taquari, General Câmara e Encantado. Os decretos em situação de emergência municipal ocorreram em 55% dos eventos de inundação (município de Estrela com 14 casos, Lajeado com 12 casos e Taquari com 10 casos, foram os mais afetados) e ocorreram alguns casos de calamidade pública. Isso significa que a maioria dos registros aconteceram na região do Vale do rio Taquari (baixo curso), tornando-a a região mais afetada. O tempo entre o pico máximo de chuva e o registro da cota máxima de inundação, nas cidades de Encantado e Estrela (Vale do Taquari) é aproximadamente de 3 dias a 4 dias (i.e., análise própria) (KUREK, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2018). As condições físicas da bacia como a topografia (possui amplitude máxima em torno 1.000 metros), declividades superiores a 15% em praticamente 90% da bacia), e associados com solo pouco desenvolvido favorecem o escoamento superficial e a ocorrência de significativos eventos de inundações, predominantemente nos períodos de inverno e primavera, quando ocorre os maiores níveis de precipitação acumulada.

Os registros das inundações na bacia do rio Taquari-Antas não são restritos apenas ao período de 1980 a 2017. UNIVATES (2011) apud Ferri e Togni (2012) cita registros de nível da água a partir de marcas em Estrela, Lajeado e Muçum, que remontam de 1873 até 2011. Há também um registro da régua limimétrica no porto do município de Estrela, situado no Vale do Taquari, e mantido pela Administração de Hidrovias do Sul (AHSUL) e a Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES). Os registros dos níveis de inundação são de 1940 até 2007. O nível de 13 m (i.e., referenciada a estação de porto de Estrela) é tido como o nível normal do rio mantido pela barragem/eclusa de Bom Retiro do Sul para navegação e, a partir da cota 19 m (i.e., referenciada a estação de porto de Estrela), se inicia o extravasamento da calha do rio em áreas urbanas (ECKHARDT, 2008).

As inundações no município de Lajeado são fenômenos que ocorrem frequentemente, causando impactos positivos (e.g., nutrientes para planícies) e negativos (e.g., danos econômicos) ao meio ambiente e ao meio antrópico. A evolução da ocupação humana em ambiente urbano não foi planejada, ocorrendo de forma

espontânea às margens do rio Taquari, assim como as demais cidades vizinhas (DIEDRICH *et al.*, 2010). As declividades apontam que até a cota de 19 metros de altitude, os terrenos têm características de declividades moderada a ondulada (8-13% de declividade) e escarpado (mais de 100% de declividade), caracterizando-se, portanto, como áreas de elevada declividade. Essas características geomorfológicas ocorrem devido um aprofundamento do canal do rio Taquari e afluentes, e uma inundação até essa cota abrange uma área sujeita às inundações de 19,18% da bacia hidrográfica. A partir da cota de 19 metros, o terreno passa a ter característica predominante plana (0-3% de declividade) a moderadamente ondulada (8-13% de declividade), propícia a inundações, correspondendo a 61,45% da área sujeita às inundações. Esta característica do relevo favorece a inundação de grandes áreas. Nas áreas de maior declividade (cotas de inundação de 13 - 19 metros), a variação altimétrica de 1 metro resulta em uma área inundada média de 13,32 ha, enquanto nas áreas mais planas (cotas de 20 a 30 metros) a variação altimétrica do terreno em 1 metro resulta em uma área média inundada de 30,63 ha (ECKHARDT, 2008). Esses são fatores que colocam a região de Lajeado propícia a ocorrência de inundações, em que necessita ter uma gestão para riscos de desastres constante e qualificada.

### **5.2.2 Estudos e publicações relacionadas a inundação na bacia do Taquari-Antas**

Estudos e trabalhos técnicos anteriores servem como auxílio em novas pesquisas, assim, facilita-se a compreensão do local de estudo e o prosseguimento da análise, em que o foco se volta para inovações e discussões aprofundadas.

O plano diretor da bacia hidrográfica do Taquari-Antas, publicado em 2012, obteve resultados qualitativos e quantitativos para toda bacia, de acordo com as necessidades da comunidade. O diagnóstico apontou eventuais impactos através das relações de causa e efeito. O plano foi dividido em três etapas: atividades preliminares, diagnóstico e prognóstico dos recursos hídricos, além de cenários futuros para gestão dos recursos hídricos e enquadramento das águas superficiais (STE, 2012).

Com relação a eventos de inundação, um levantamento histórico dos fenômenos é apresentado por Bombassaro e Robaina (2010) em que se identifica locais com recorrência de eventos, níveis marcados em réguas linimétricas e pontos de referência nos municípios afetados.

Alguns estudos foram feitos na região do baixo Taquari-Antas com intuito de analisar diferenças de marcos referenciais geodésicos, instalação de régua linimétrica

automática, falta de dados de vazão, suscetibilidade física a inundações, delineamento de manchas de inundação, sistemas de previsão e alerta, e para obtenção de tempos de retorno (CHAVES, 2014; DIEDRICH *et al.*, 2010; ECKHARDT, 2008; GERHARD, 2017; GREINER, 2014; KUREK, 2012; MORAES, 2015; NECTOUX, 2014; PALAGI *et al.*, 2014; POLIS, 2013; RABAIOLI, 2013; SALINI, 2011; VIANA, 2017).

Uma análise hidrológica importante refere-se a Rezende (1993), em que o autor fez um levantamento das ocorrências de inundações na área urbana da cidade de Lajeado. Destacam-se ainda estudos relacionados a danos econômicos (FADEL, 2015), influência da inundação na valoração de imóveis (PALAGI *et al.*, 2014) e análises de risco no rio Forqueta, tributário do Taquari-Antas (BALD, 2018) e de vulnerabilidade e análises de incertezas nos municípios de Lajeado/RS e Estrela/RS (DE BRITO; EVERS; ALMORADIE, 2018)

Por último, há de ser citado o projeto desenvolvido por CEPED-RS, IPH e GRID, (2015) em que desenvolveram e publicaram o trabalho técnico-científico “Desenvolvimento e apoio à implantação de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na Bacia do Taquari-Antas”. Esse estudo aborda de forma integrada uma série de análises de diversas áreas como climatologia, morfometria, geomorfologia, hidráulica-hidrológica, sócioeconômica, inventário de dados, gestão de riscos de desastres naturais (incluindo sistemas de previsão de curto e médio prazo e rede dados) e avaliação de risco.

### **5.3 Princípios básicos para desenvolvimento da metodologia**

Criar um sistema de medição baseado em indicadores é um grande desafio conceitual e técnico. Os princípios básicos são: transparência, robustez, representatividade, replicação, comparabilidade e fácil compreensão. Apesar destes princípios, é comum que haja limitações, reflexos da complexidade das medições. Além disso, indicadores de risco necessitam de 3 pilares essenciais para obter êxito na sua utilização (CARDONA, 2005)

1 – Devem conduzir a uma melhoria na utilização e na apresentação de informações sobre risco de inundações, o que irá suceder em direcionamentos de investimentos prioritários na redução de risco pelos formuladores de políticas;

2 - A metodologia precisa fornecer subsídios para orientações para elementos-chave da vulnerabilidade em resposta a fenômenos naturais;

3 – A aplicação da metodologia deve promover a troca de informação técnica entre órgãos institucionais e a sociedade civil para a formulação de políticas públicas e programas de gestão de risco de desastres naturais de uma região.

Além disso, os indicadores servem para preencher uma lacuna de informação, quando são decompostos. para tomada de decisão nos setores financeiro, econômico, meio ambiente, saúde pública, organização territorial, habitação e infraestrutura.

### **5.4 Seleção de indicadores, normalização e atribuição de pesos**

O levantamento de indicadores aplicáveis a análise de risco ocorreu através da literatura científica relacionada. Foram utilizados artigos científicos, estudos técnicos ou relatórios publicados para o levantamento dos indicadores (Apêndice A 1 até A 8).. Posteriormente, a seleção dos indicadores foi conduzida com base na disponibilidade de dados, precisão da aplicabilidade (escala) e redundância. Seleccionados os indicadores, dadas as variadas grandezas ou respostas dos indicadores, realizou-se uma normalização dos dados. Ao fim, foram estimados os pesos para a análise de decisão multicritério (i.e., AHP) e montagem do índice. Esta atividade foi conduzida com base em uma meta-análise, obtida por literatura acadêmica revisada por pares e contabilizando a recorrência de cada indicador e subindicador (Figura 6).

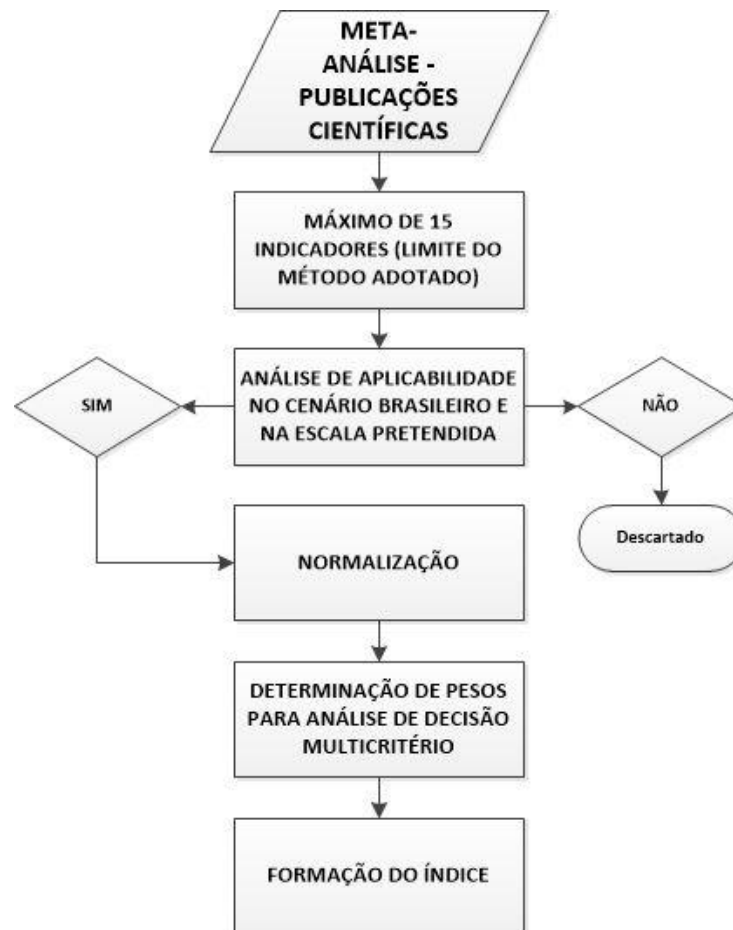


Figura 6 – Fluxograma para obtenção do índice.

#### 5.4.1 Seleção dos indicadores

O processo de seleção partiu de uma meta-análise de publicações científicas; assim, os próprios trabalhos foram base para determinar quais indicadores são relevantes e qual a correlação de peso entre eles. Esse método foi aplicado pela dificuldade de implementação de uma pesquisa por especialistas, devido ao início da pandemia de SARS-COVID 19. As bases dos trabalhos científicos foram obtidas através de bases acadêmicas como: Web of Science, Sage Publications, Taylor & Francis Group, Springer, Science Direct, Scopus, SciELO, Google Scholar, JSTOR, Research Gate, Academia, PubMed, Wiley Library e repositórios de universidades. Os resultados quantificados estão disponíveis no Apêndice A. Para cada indicador o máximo de 15 subindicadores, número limite de aplicação do método AHP (ZOU *et al.*, 2013), Posteriormente, foi analisado quais dos subindicadores são passíveis de utilização, devido a acessibilidade em banco de dados de várias entidades, da aplicabilidade de microescala, redundância entre os indicadores ou enquadramento aos conceitos do termo.



Essa análise foi aplicada para os indicadores de vulnerabilidade, os subindicadores de suscetibilidade física, suscetibilidade, exposição, resiliência e capacidade adaptativa. O subíndice de perigo, por ser um conceito baseado em variáveis físicas, sua estruturação foi determinada de acordo com métodos da revisão bibliográfica feita; entretanto também foram analisados. Apenas o subíndice de perigo não foi completamente analisado via outros indicadores, sendo relacionado entre tempos de retorno, profundidade e velocidade (ARONICA *et al.*, 2012; MONTEIRO *et al.*, 2021; MONTEIRO; KOBAYAMA, 2013; STEPHENSON, 2002).

### 5.4.2 Atribuição de pesos

A definição de pesos exige, além do conhecimento técnico, a percepção do risco pelo tomador de decisão, da sociedade civil ou da política de gestão de risco de desastres adotada. Por isso, cada instituição ou gestor deve tomar essa decisão, o que a torna complexa e impossível de separar a subjetividade (ZONENSEIN, 2007). Porém, há como obter uma análise aproximada de uma base técnica que a torna confiável para análises multicritério e de suporte a decisão, sendo a mais utilizada AHP.

O método AHP se baseia na comparação par-a-par dos critérios. Existe uma escala própria de comparação de 3 (três) a 15 (quinze) divisões que indicam o grau de importância de cada critério (SAATY, 1977; ZOU *et al.*, 2013). Com a ajuda do AHP, informações de origem qualitativa podem ser convertidas em informações quantitativas por comparação entre indicadores na análise multicritério (CHAKRABORTY; JOSHI, 2014). O AHP foi usado como uma ferramenta multicritério de decisão para desenvolver prioridades que melhor representam o elemento respectivo. A metodologia parte de 7 passos principais (ZONENSEIN, 2007).

1 – Cria-se uma matriz de avaliação (*payoff*) de  $n \times n$ , onde  $n$  é o número de critérios a serem avaliados;

2 - A tabela é preenchida comparando os critérios par-a-par de acordo com a escala determinada, valendo-se de que o critério na linha é preferível ao critério da coluna. Para comparações recíprocas, é atribuído o valor inverso: se C1 é muito mais importante (5 vezes mais) que C3, C3 deve ser muito menos importante (1/5) que C1. Os valores da diagonal principal são necessariamente 1 (C1 linha é igual a C1 coluna);

3 – Os valores da matriz são divididos pela soma das colunas para a normalização;

4 – Calcula-se a média dos valores de cada linha da nova matriz, e o resultado será o valor do peso de cada critério;

5 – Para que o julgamento dos pesos seja consistente, é preciso primariamente determinar o parâmetro  $\lambda$ , através da Equação (1):

$$\lambda = \sum_{i=1}^n M_i \cdot S_i \quad (1)$$

onde  $\lambda$  é o autovalor principal;  $M_i$  é a média da linha correspondente ao  $i$ -ésimo critério;  $S_i$  é a soma da coluna correspondente ao  $i$ -ésimo critério;  $n$  é o número total de critérios.

6 – Assim, com esse parâmetro pode-se calcular a consistência pela Equação (2):

$$IC = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (2)$$

onde  $IC$  é o índice de consistência.

7 – Para finalizar obtém-se o Grau de Consistência (GC) (Equação (3)):

$$GC = \frac{IC}{ICA} \quad (3)$$

onde  $GC$  é o Grau de Consistência e  $ICA$  é o Índice de Consistência Aleatório, um valor que é função do número de indicadores.

Os valores de  $ICA$  são demonstrados na Tabela 6. Para haver coerência nessa consistência, é necessário que o valor de  $GC$  seja  $\leq 0,10$ . Ocorrendo valor superior, a análise tende a uma alta subjetividade e precisará ser refeita.

Tabela 6 - Valoração do ICA para o número de indicadores.

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ICA	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,19	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

O peso de importância de cada indicador ou subindicador foi decidido a partir da relação abaixo Equação (4):

$$Peso_{Ind} = \frac{N_{Subind} * N_{SubindEsc}}{N_{Art}} \quad (4)$$

Onde  $Peso_{Ind}$  é o peso de cada indicador ou subindicador, sendo função de  $N_{Subind}$ , que é o número de vezes que o indicador ou subindicador foi utilizado nos artigos analisados, e de  $N_{SubindEsc}$ , que é o número de indicadores e subindicadores escolhidos para o estudo, dividido por  $N_{Art}$ , que é o número total de artigos analisados que possuíam análise de indicadores (Figura 7). As tabelas com os pesos de cada indicador e subindicador são apresentados no Apêndice B.

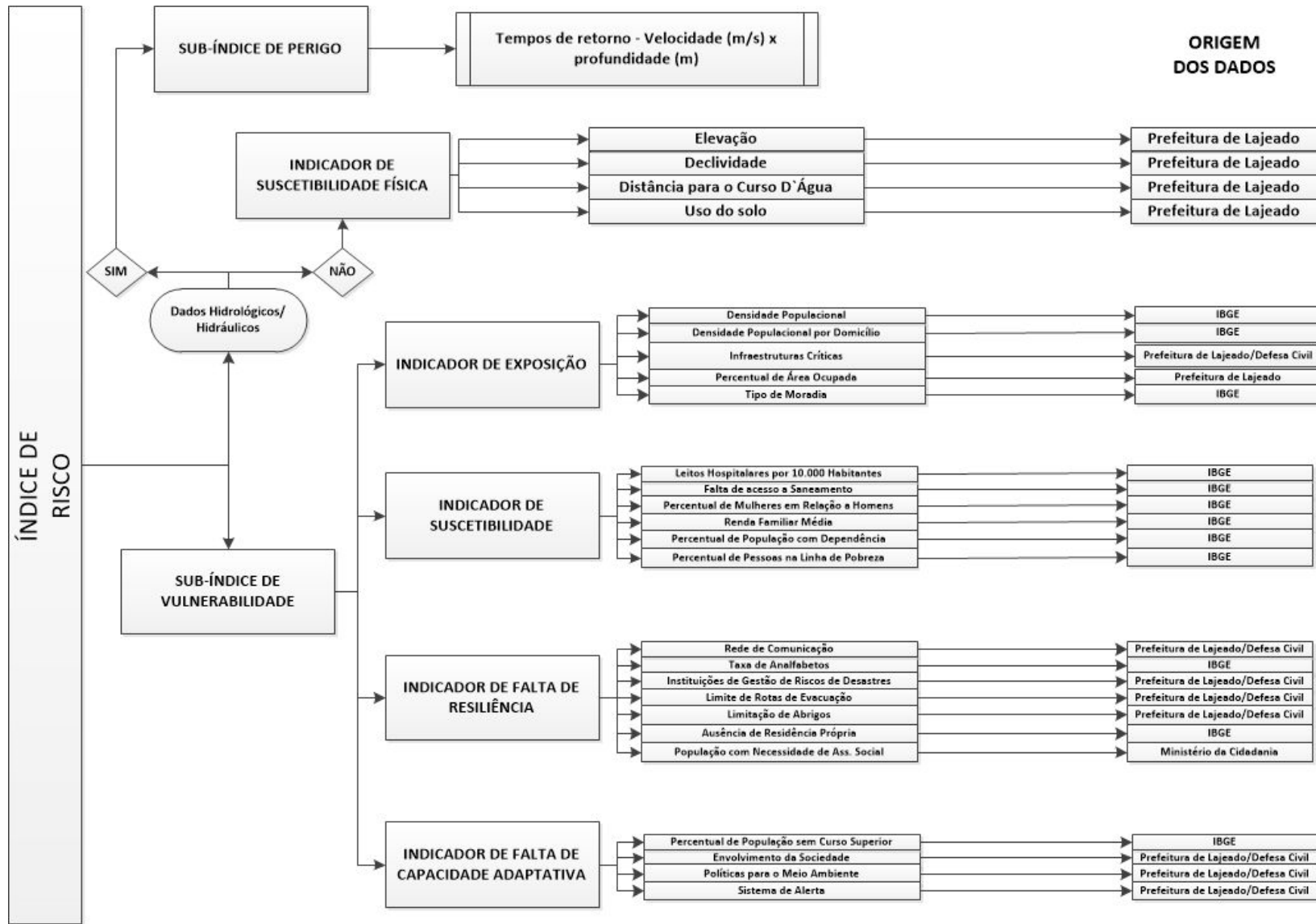


Figura 7 - Seleção de indicadores, subindicadores e a origem dos dados.

### 5.4.3 Normalização

O escalonamento tanto do subíndice de perigo, do subíndice de vulnerabilidade e de seus indicadores e subindicadores foi realizado para que os valores ( $V$ ) fiquem entre 0 (valor mínimo) e 1 (valor máximo) Equação (5):

$$V_{\text{escalonado}} = \frac{V_{\text{observado}} - V_{\text{mínimo}}}{V_{\text{máximo}} - V_{\text{mínimo}}} \quad (5)$$

Depois de escalonado, foram agrupados em 4 (quatro) classes: bom, atenção, alerta e crítico, sendo definidos pelo desvio quartílico. Divide-se a série de dados em quatro grupos com igual número de ocorrências, cada um compreendendo 25% do total dos valores (RAMOS; SANCHEZ, 2000). Assim, o limiar de corte define-se de forma quantitativa, retirando a subjetividade (GOERL; KOBAYAMA; PELLERIN, 2012; MARCELINO; NUNES; KOBAYAMA, 2006).

## 5.5 Subíndice de perigo

Esse subíndice foi produto de modelagem hidrodinâmica, a partir dos resultados de velocidade, profundidades e limite das manchas de inundação.

### 5.5.1 Modelagem hidrodinâmica

O modelo HEC-RAS 5.0.7 foi utilizado para simular os eventos de inundação na cidade Lajeado na bacia do rio Taquari-Antas para diferentes períodos de retorno (i.e., 10, 50 e 100 anos), a análise ocorreu na forma bidimensional (2D). O modelo foi desenvolvido pela *Hydrologic Engineering Center* (HEC). HEC-RAS® é um modelo hidrodinâmico que simula em escoamento supercrítico, subcrítico ou misto em canais naturais ou artificiais (BRUNNER, 2016a). Todas as variáveis, condições de contorno e demais análises são descritas nos seus manuais (BRUNNER, 2016b, 2016a, 2016c). Abaixo está descrito a estruturação do modelo para este estudo.

#### 5.5.1.1 Características básicas da modelagem

O domínio de simulação iniciou-se a montante da confluência entre o arroio Forqueta e o rio Taquari-Antas e o ponto limite foi um pouco a jusante da barragem/eclusa de Bom Retiro do Sul, devido a possíveis de remanso que podem ser causados por sua existência (Figura 8). O curso final do arroio Forqueta e do Boa Vista também consta na área simulada. e O tamanho das células da malha computacional foi de 25 m. O equacionamento base da simulação foi o da onda dinâmica. O efeito de coriolis foi adicionado para latitude  $-29^\circ$ . O fator de ponderação implícito (theta) foi de 0,7. Os dados de vazão para o rio Taquari-Antas foram obtido

s da estação de Encantado (86720000) que dista cerca de aproximadamente 40 km a montante de Lajeado/RS, todavia não há grandes contribuições no curso d'água do Taquari-Antas. Para os arroios Forqueta e Boa Vista, os dados para calibração do modelo foram obtidos através do modelo chuva-vazão MGB-IPH. Todos esses dados de vazão foram posteriormente inseridos no modelo hidrodinâmico HEC-RAS.

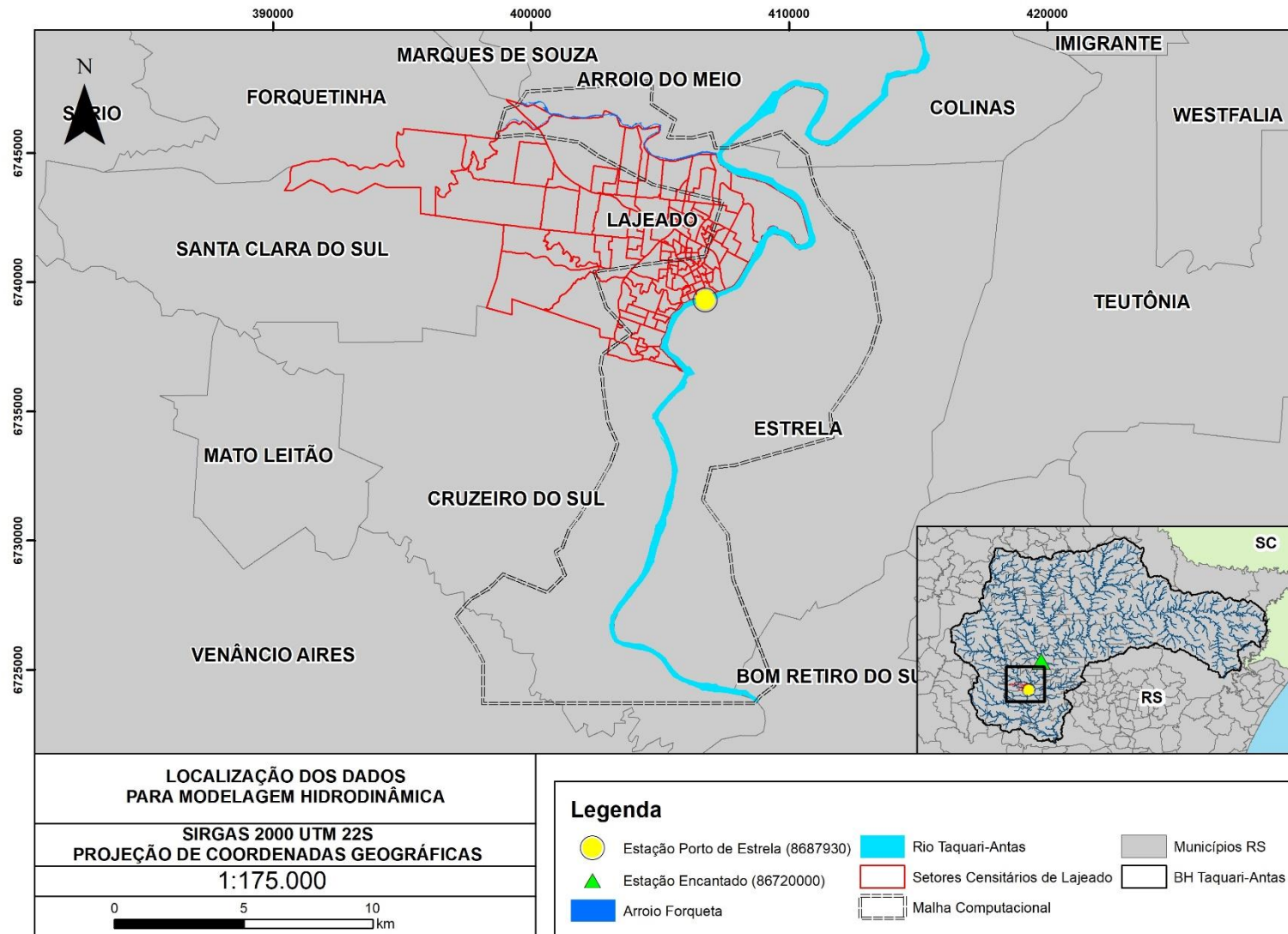


Figura 8 – Localização das estações e malha computacional utilizada na simulação hidrodinâmica.

#### 5.5.1.2 Condição de contorno de jusante

Para todos os eventos simulados, a condição de jusante inserida foi a declividade da linha de energia que pode ser igualada a declividade do fundo do canal, no caso,  $0,000279 \text{ m.m}^{-1}$ , obtido através dos dados disponibilizados pela seções topobatimétricas utilizadas nesse estudo até a região da barragem/eclusa de Bom Retiro do Sul (AGROSIG; FEENG, 2016). As simulações ocorreram em regime de fluxo não-permanente, com passo de tempo de 15 segundos nos momentos de ascensão e recessão do hidrograma; em momento de normalização do hidrograma, foi considerado um passo de tempo de 1 minuto.

#### 5.5.1.3 Hidrogramas (Condição de contorno de montante)

##### a) Calibração

Para calibração, o hidrograma do evento de julho de 2020 foi utilizado (Figura 9), sendo possível obter os dados de quinze em quinze minutos, são 2997 dados de vazão (Período de 29/06/2020 até 01/08/2021) da estação Encantado (86720000) (Figura 9), com o maior valor de vazão sendo  $15.415,20 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . O pico da inundação foi o quarto maior desde o ano de 1873 (FOLHA POPULAR, 2020) em Lajeado/RS, com cota de 27,39 m (i.e., referenciada a estação do porto de Estrela) lida e corrigida para 26,83 m de acordo com o levantamento da AGROSIG e FEENG (2016) na régua linimétrica de Estrela/RS. Além dos dados da estação 86720000, foram inseridos dados de vazão obtidos através de um modelo chuva-vazão para os arroios Forqueta e Boa Vista para o mesmo período. Cursos d'água estes que contribuem até a região de interesse. O tempo de concentração da bacia hidrográfica do Taquari-Antas, varia de 3 a 4 dias de acordo com a equação utilizada (KUREK, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2018), todavia utilizou-se um hidrograma de 1 mês para identificar todas as ascensões e recessões do hidrograma do evento que poderiam causar situações de remanso e aumento do tempo de residência da inundação, por exemplo.

O modelo utilizado para estimar o hidrograma de montante dos arroios Forqueta e Boa Vista foi o MGB (Modelo de Grandes Bacias), modelo construído para representar processo físicos chuva-vazão em grandes bacias com áreas superiores a  $10.000 \text{ km}^2$  (COLLISCHONN *et al.*, 2007) e com vários aprimoramentos já realizados. Consiste em um modelo distribuído baseado em processos e simulação do ciclo hidrológico terrestre através de relações físicas e conceituais.

O modelo MGB é dividido em 4 módulos: balanço de água no solo, evapotranspiração, escoamentos (superficial, sub superficial e subterrâneo) e



propagação das vazões na rede de drenagem. O modelo divide a bacia em mini bacias com características de tipo, uso e cobertura dos solos, drenagem e estão categorizados em URH (Unidades de Resposta Hidrológica) (KOUWEN *et al.*, 1993). Os valores dos parâmetros fixos e calibráveis foram baseados nas características URH, seguindo a recomendação do manual do MGB-IPH.

Toda estrutura, parâmetros, calibração e validação do modelo hidrológico foi baseada no artigo de Siqueira *et al.* (2016). Os dados que diferem do apresentado no artigo são:

- Os dados sub-horários (15 min) foram acumulados para 1 hora;
- Não há calibração especificamente para os arroios Forqueta e Boa Vista; todavia, os parâmetros estão coerentes com as demais sub-bacias do Taquari-Antas;
- Foram utilizadas as estações fluviométricas semelhantes à do estudo realizado por Siqueira *et al.* (2016): Bom Retiro do Sul-Montante (86881000), Encantado (86720000), Estrela (86879300), Linha José Júlio (86472000), Muçum (86510000), Passo Tainhas (86160000 e 2850047), Porto Mariante (86895000), Serafina Correa (2851073), Taquari (86950000). Não foram utilizadas as estações da UNIVATES. Além das estações pluviométricas: Auler (2852004), Passo Tainhas (2850047), Linha José Júlio (2951092), Muçum (2951070), Encantado (2951010), Bom Retiro do Sul (2951004), Bento Gonçalves (A840), Canela (A879), Lagoa Vermelha (83916), Passo Fundo (A839), São José dos Ausentes (A829), Soledade (A837), Teutônia (A882), Vacaria (A880) e Cambará do Sul (A897).

Somando os hidrogramas dos 3 cursos d'água, o pico da inundação no dia 8/7/2020 foi de  $17.310 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Figura 9).

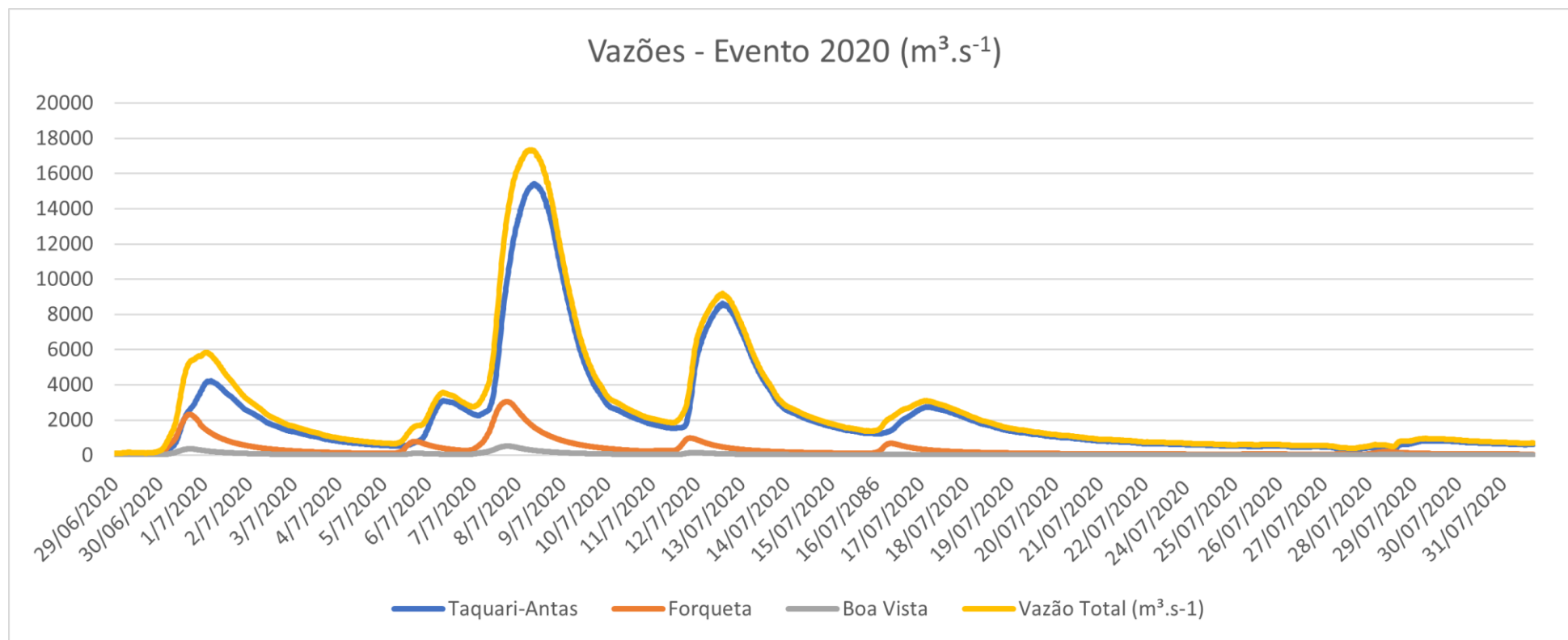


Figura 9 - Hidrograma do evento de 2020 nas bacias do rio Taquari-Antas, arroio Forqueta e Arroio Boa Vista.

## b) Cenários

Foram utilizados hidrogramas adimensionalizados a partir do evento de setembro de 2020, para os tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos. Para inserir a influência dos arroios Forqueta e Boa Vista, foi identificado no evento de setembro de 2020, o percentual de influência dos arroios em termos de vazão no pico do hidrograma do rio Taquari-Antas, pois, como já comentado anteriormente, os arroios não possuem estações fluviométricas. Assim, a influência do arroio Forqueta foi de 10,47% e o arroio Boa Vista com 1,82%.

Para o mapa de perigo, foram obtidos os tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos para a estação Encantado (86720000), série de dados de vazão 1942 até 2020 (Apêndice C 1 e Apêndice C 2). Para o ano de 1942, que não havia dados de vazão, utilizou-se da conversão de cotas em vazão por meio de curvas-chave (Equação (5), Equação (6) e Equação (7)).

$$Q_{Encantado} = 109,8811 \cdot (h_{encantado} - 1,27)^{1,679} \quad (5)$$

$$Q_{Encantado} = 64,9577 \cdot (h_{encantado} + 1,41)^{1,769} \quad (6)$$

$$Q_{Encantado} = 193,3014 \cdot (h_{encantado} - 0,54)^{1,451} \quad (7)$$

Em que  $h_{encantado}$  está em metros, a equação 5 refere-se a cota acima de 17,09 m até 20,30, a equação 6 refere-se a cotas acima de 5,63 m até 17,09 m e a equação 7 refere-se a cotas acima de 3,75 m até 5,63 m.

Como a distribuição de chuvas é relativamente harmonizada durante todo o ano civil, o ano hidrológico foi igualado ao calendário gregoriano. Os dados foram obtidos entre 1942 e 2020, somando um total de 58 anos válidos, porém, alguns anos foram excluídos por falhas na série: 1971 até 1982, 1998 até 2002, 2015, 2016 e 2017.

A distribuição estatística de máximos utilizada foi a Generalizada de Valores Extremos (GEV). Os dados foram estimados pelo método da máxima verossimilhança. Não ocorreu rejeição da hipótese nula nos testes de estacionaridade, independência, homogeneidade e aleatoriedade, além do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov ter aceitado que os dados foram extraídos de uma população de GEV com intervalo de confiança de 95%. Parâmetros da análise para cotas foram: posição ( $\alpha= 11,1461$ ), escala ( $\beta= 3,9388$ ) e forma ( $\gamma= -0,3121$ ). Parâmetros da análise para vazões foram: posição ( $\alpha= 5620,2315$ ), escala ( $\beta= 3138,9170$ ) e forma ( $\gamma= -0,0708$ ). A distribuição estatística de máximos utilizada foi a Generalizada de Valores Extremos (GEV). Os dados foram estimados pelo método da máxima verossimilhança. Não ocorreu

rejeição da hipótese nula nos testes de estacionaridade, independência, homogeneidade e aleatoriedade, além do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov ter aceitado que os dados foram extraídos de uma população de GEV com intervalo de confiança de 95%. Parâmetros da análise foram: posição ( $\alpha=0,378$ ), escala ( $\beta=2,844$ ) e forma ( $\gamma=20,32$ ) e os testes foram realizados tanto para cotas quanto para vazões (Tabela 7, Figura 10 e Figura 11). Os hidrogramas adimensionalizados de cada tempo de retorno são demonstrados na Figura 12.

Tabela 7 – Cotas máximas e vazões máximas para Encantado/RS.

Evento (Ano)	TR (Anos) - Cota	Cota (m)	Intervalo de confiança (95%) – Cota (m)		TR (Anos) - Vazão	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Intervalo de confiança (95%) – Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	
Sintético	10	17,51	16,27	18,76	10	11926,67	9869,08	13984,26
Sintético	50	20,03	17,73	22,34	50	16507,41	10936,98	22077,84
Sintético	100	20,76	17,83	23,70	100	18379,34	10573,08	26185,61
<b>2020</b>	≈ 62	20,27	17,83	23,64	33,65	15415,24	11130	20027

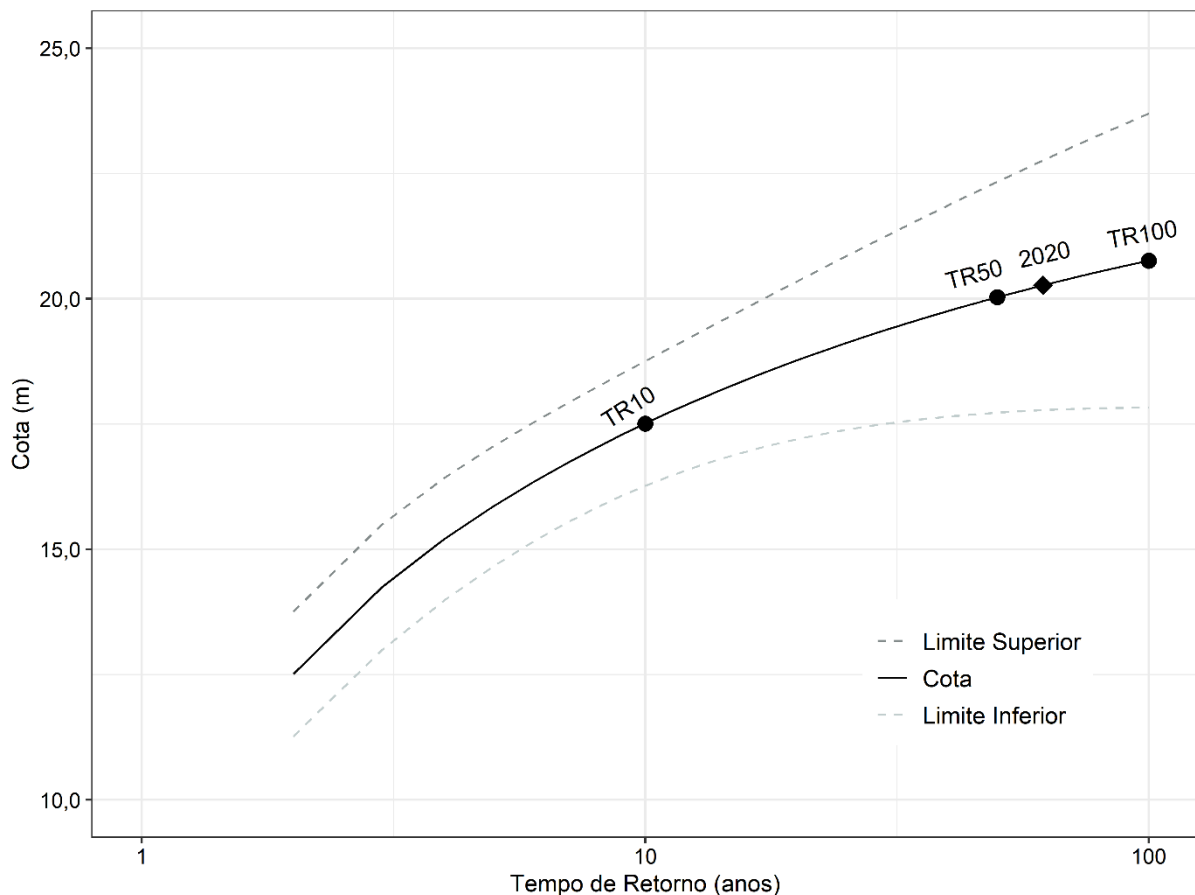


Figura 10 - Ajuste GEV para cotas em Encantado/RS.

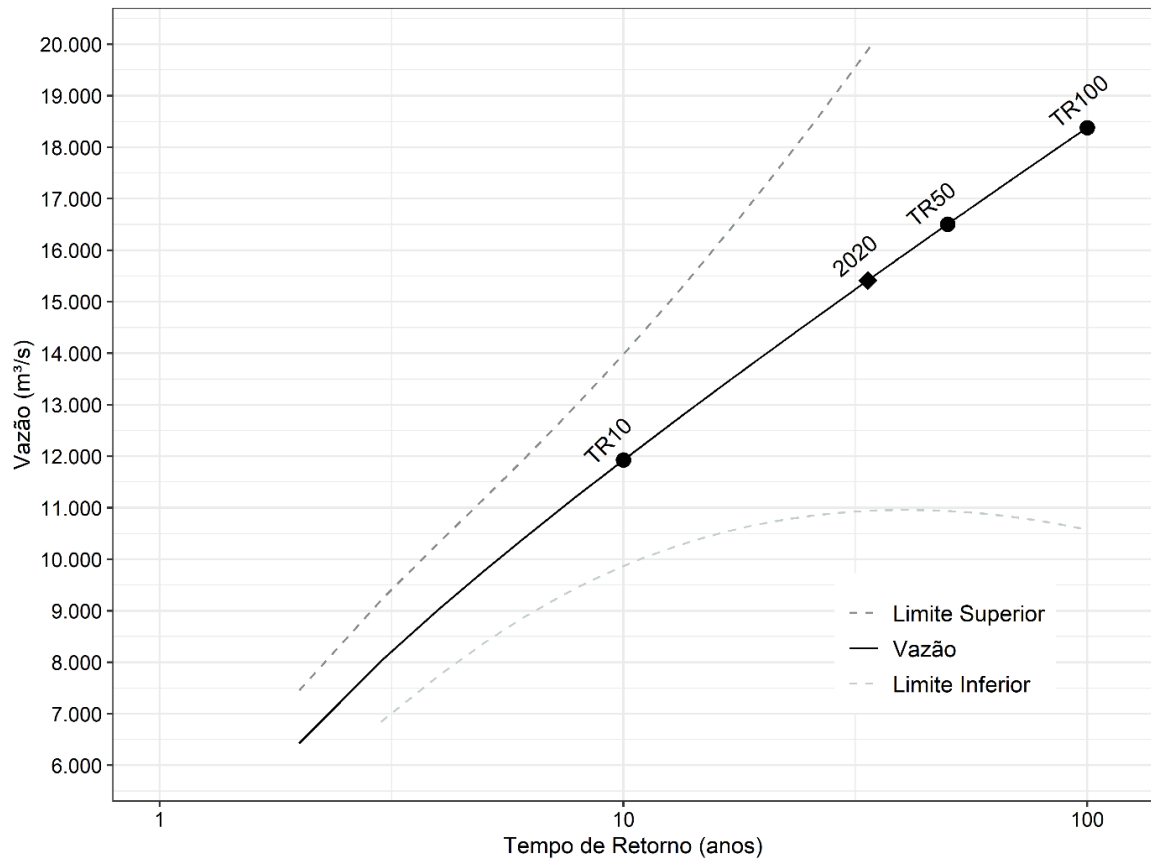


Figura 11 - Ajuste GEV para vazões em Encantado/RS.

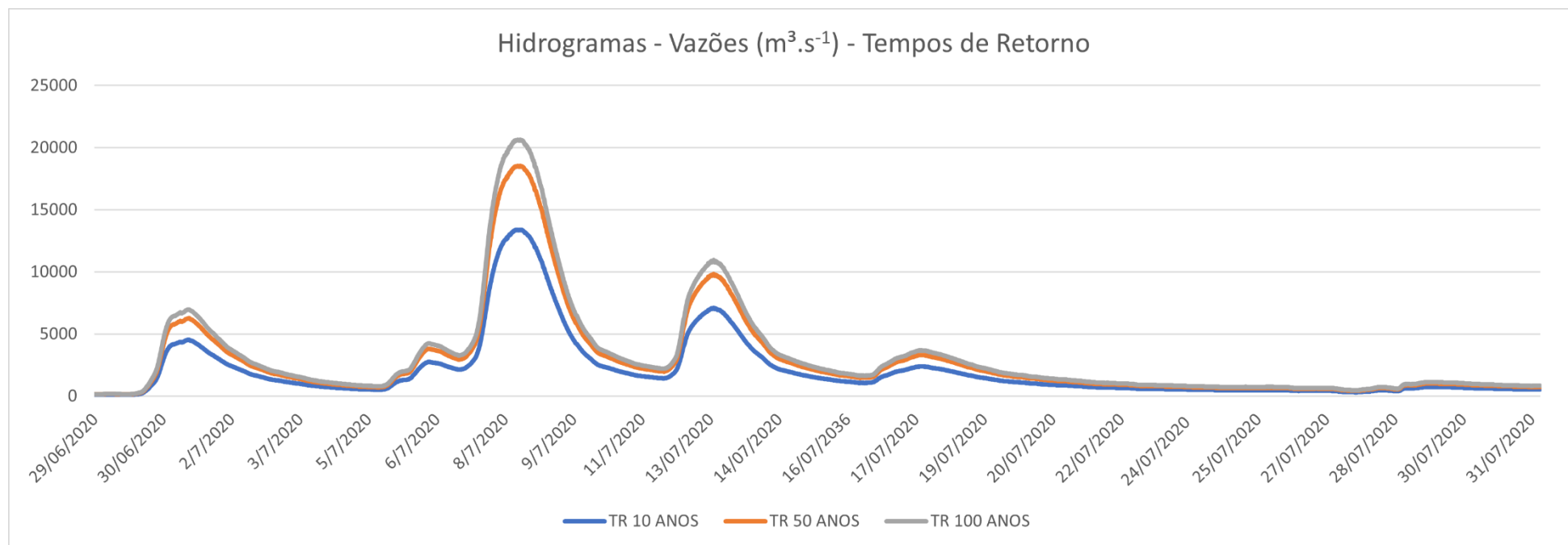


Figura 12 - Hidrograma dos cenários utilizados para gerar o subíndice de perigo.

#### 5.5.1.4 Hidrograma descartado

A localidade do município de Lajeado não possui dados medidos de vazão, apenas de níveis. A primeira solução utilizada, trata-se do estudo de Rezende (1993) que a partir de medições sistemáticas de níveis d'água situadas na estação Porto de Estrela (8687930) da CPRM e na barragem/eclusa de Bom Retiro do Sul (a jusante de Lajeado), determinou curvas-chaves para a região.

Apesar de não ser possível a identificação de uma curva-chave confiável para o município de Lajeado, detectou-se bons ajustes obtidos pelo autor tanto para a curva-chave das vazões na barragem/eclusa de Bom Retiro, quanto para a relação entre os níveis de Bom Retiro e de Lajeado (régua do Porto). Rezende (1993) ainda criou duas equações para averiguar a influência da barragem/eclusa nas inundações de Lajeado/RS.

Adaptamos o valor da cota, pois ocorreu uma correção das cotas da régua do Porto de Estrela (8687930) (Figura 8). O levantamento da AGROSIG e FEENG (2016) corrigiu as cotas em -0,559 m. A régua linimétrica do Porto de Estrela (8687930) não possui uma amarração correta ao Datum vertical do marégrafo Imbituba (DVB-I), por isso a necessidade de correção, o valor identificado no local de referência mínima é 17 m, corrigido pela análise da AGROSIG e FEENG (2016), o valor encontrado foi de 16,441 m, assim, essa é a cota ortométrica base da estação.

A análise aplicada por Fadel (2015), foi aproveitada nesse trabalho, em que as equações de regionalização supracitadas foram utilizadas em um processo inverso de Rezende (1993), pois não há grandes contribuições de afluentes entre Lajeado e a barragem/eclusa de Bom Retiro do Sul, então considerou-se que a vazão em Bom Retiro do Sul é igual a de Lajeado.

Todavia, com um bom detalhamento das seções topobatimétricas e o uso de um MDT com alta precisão, diferentemente do estudo de Fadel (2015), averiguou-se que a curva-chave está desatualizada e subestima os resultados de eventos de inundação históricos. O pico de vazão do evento de 2020 pela curva-chave de Rezende (1993) foi de  $10.410,38 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , na estação telemétrica de Encantado (86720000), a montante, a maior vazão medida foi de  $15.415,20 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Nestas condições, o hidrograma pelo método de Rezende (1993) subestime os resultados reais de vazão ocorridos em Lajeado/RS, então, foi descartado.

#### 5.5.1.5 Topobatimetria e Modelo Digital de Terreno (MDT)

Para que áreas inundadas tenham uma boa representatividade é preciso replicar as condições de escoamento no canal e seu espraiamento nas planícies de inundação nos modelos. Para isso, faz-se necessário o levantamento de seções topobatimétricas (i.e., seções que integram a batimetria do canal com o MDT).

Foram utilizadas seções topobatimétricas disponibilizadas pelo projeto: Desenvolvimento e apoio à implantação de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na Bacia do Taquari-Antas, e obtidas em campo pela empresa consultora AGROSIG - Engenharia e meio ambiente EIRELI® (AGROSIG; FEENG, 2016). São 35 seções topobatimétricas que estão localizadas no curso do rio Taquari-Antas entre os municípios de Encantado/RS e a barragem/eclusa de Bom Retiro/RS. No total, foram aproveitadas 18 seções topobatimétricas que se incluíam na região do domínio computacional da simulação (AGROSIG; FEENG, 2016) (Figura 13).

A análise da AGROSIG e FEENG (2016) utilizou nos levantamentos batimétricos e topográficos georreferenciados dois receptores *Global Navigation Satellite System* (GNSS) marca SOUTH modelo S82T no modo de levantamento cinemático em tempo real (RTK). Na execução do levantamento batimétrico no trecho molhado da seção foi utilizado o ecobatímetro marca SOUTH modelo SDE-28S, cujo conjunto é composto por ecobatímetro em display LCD, transdutor monofeixe com frequência de 200 KHz e bastão de fixação, mais cabeamentos associados e unidade de controle com CPU integrada. O ecobatímetro funcionou acoplado ao GNSS para coleta simultânea da posição georreferenciada dos pontos do percurso realizado. Para realizar os levantamentos planialtimétricos das seções em locais de difícil acesso e recobrimento do sinal GNSS, foi utilizado como forma complementar a Estação Total. O equipamento utilizado é da marca CYGNUS modelo KS-102, com aumento de 30 vezes imageamento direta e precisão de 2 polegadas.

O MDT foi concebido a partir de uma junção de dados de 4 origens: Para o município de Lajeado (lado direito do rio Taquari-Antas, no sentido montante-jusante) foi obtida uma carta digitalizada com curvas de nível com equidistância de 1 metro, escala de 1:2000 (MORAES *et al.*, 2018), o que significa um Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) Classe D com erro padrão (EP) de 0,60 m (DSG, 2016) obtido junto à Prefeitura Municipal de Lajeado/RS. Tal mapeamento deu origem a um *Triangulated Irregular Network* (TIN), e posteriormente, o MDT do local. A segunda fonte de dados foi no município de Estrela/RS (lado esquerdo do rio Taquari-Antas,



no sentido montante-jusante), de origem do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)/Serviço Geológico do Brasil (CPRM). O MDT possui 2,5 metros de resolução, escala de 1:10000 e PEC altimétrica classe B com EP de 1,67 m (IPT; CPRM, 2014). São necessários dados topográficos até a barragem/eclusa de Bom Retiro, algumas partes são abrangidas pelas fontes acima citadas, há essa necessidade pela condição de contorno da Barragem/Eclusa Bom Retiro. A fonte disponível para cobrir as demais áreas possui origem nos dados matriciais da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) chamado *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com 30 metros de resolução, escala de 1:100000 e PEC altimétrica classe C com EP de 20 m, disponibilizado pela *United States Geological Survey* (USGS). A última fonte é simplesmente a seções topobatimétricas interpoladas de 50 m em 50 m, e “rasterizadas” no próprio modelo HEC-RAS com resolução de 1 m, melhorando a qualidade dos dados na área do canal. O produto foi um MDT com *downscaling* de 1 m (Figura 14).

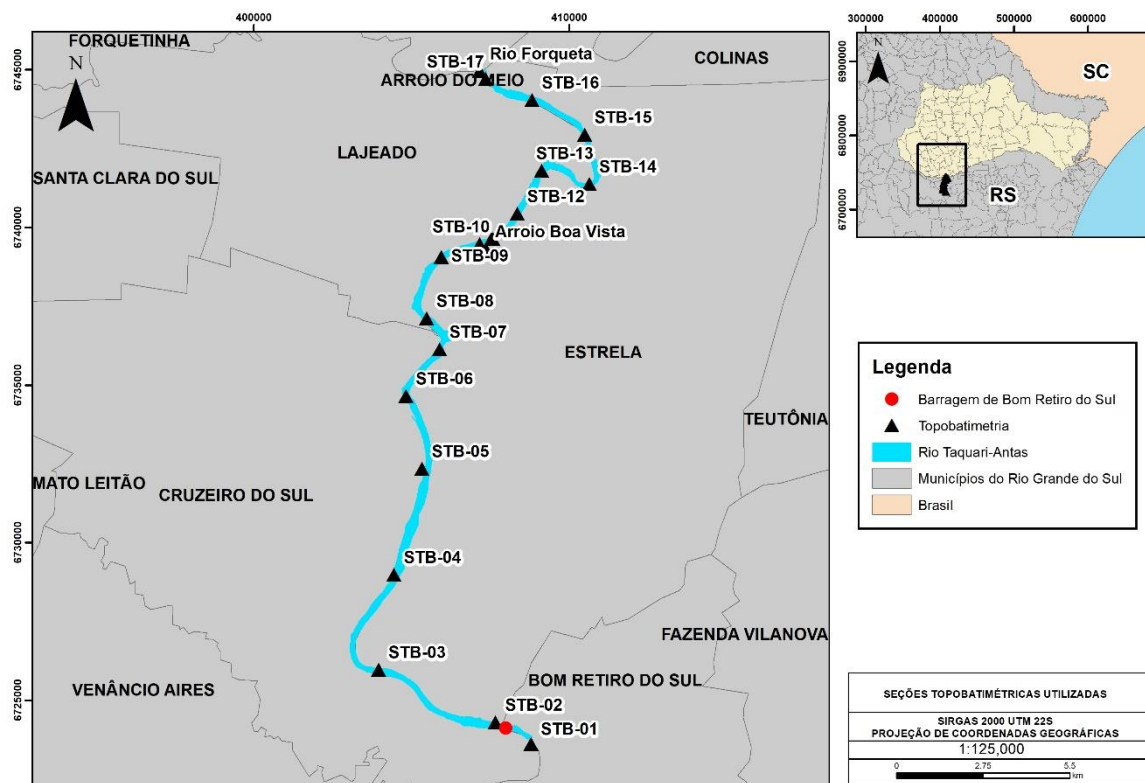


Figura 13 - Seções topobatimétricas utilizadas no estudo.

(Fonte: Adaptado de AGROSIG e FEENG (2016))

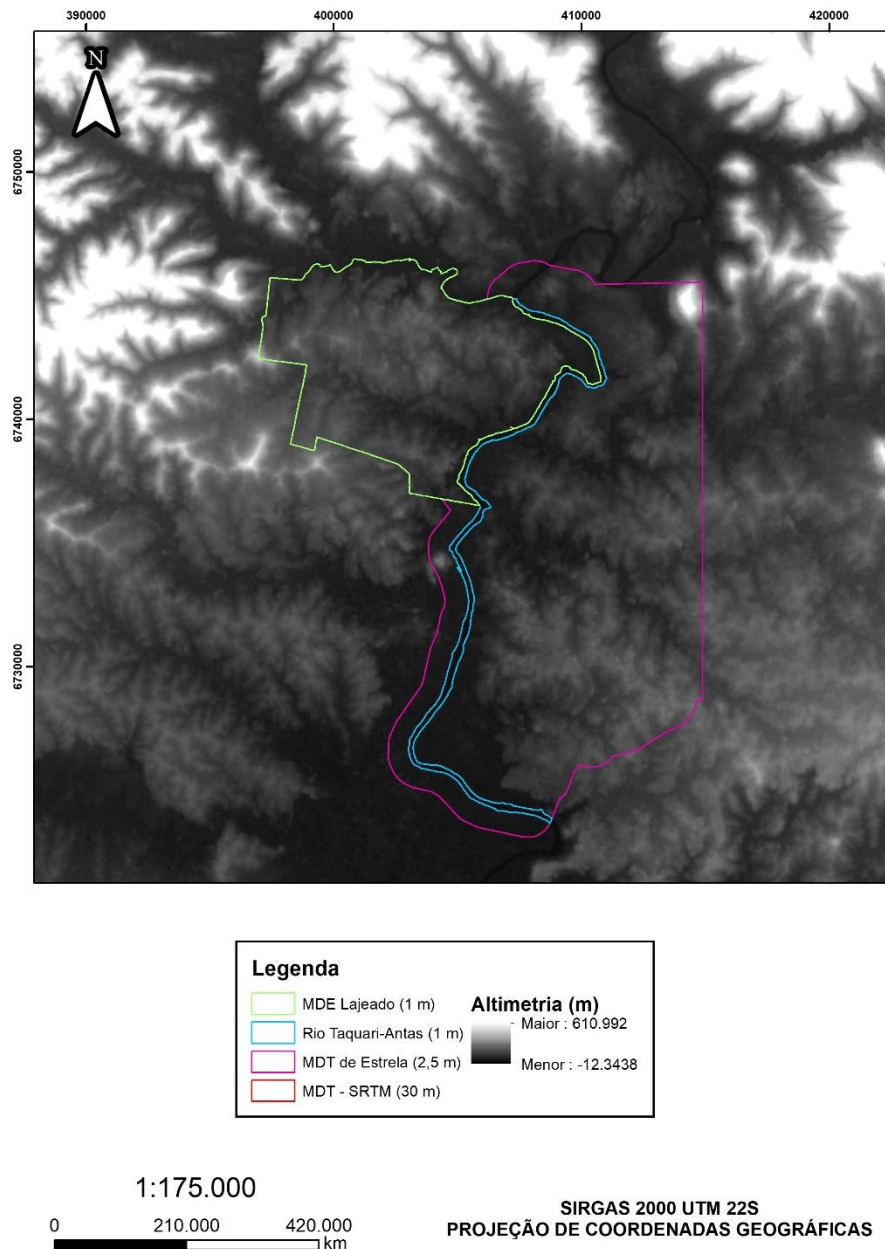


Figura 14 - Modelo Digital de Terreno da região estudada.

#### 5.5.1.6 Condições de contorno internas

Os dados construtivos da barragem/eclusa de Bom Retiro do Sul/RS localizada à jusante de Lajeado/RS (Figura 15) foram incluídas na modelagem hidrodinâmica, devido a possibilidade de influência no regime do rio Taquari-Antas.

As informações de operação foram obtidas *in loco* com os operadores da barragem/eclusa. A operação da eclusa funciona para manter o nível à montante sempre em 13 metros (i.e., referenciada a estação de porto de Estrela), para a navegabilidade. Por isso, como regra geral, as seis comportas são mantidas fechadas. Contudo, quando informados sobre uma onda de cheia, o funcionamento da eclusa é

interrompido e todas as comportas são abertas ao máximo, ou seja, o escoamento ocorre sem interferências até a cota 22 (Figura 16). A barragem foi dimensionada baseada no evento extremo de 1941, em que a cota da água alcançou 21,5 metros no local.

A última condição de contorno inserida, foi a ponte existente na BR-386, cruzando as cidades de Lajeado e Estrela. O HEC-RAS 2D 5.0.7 possui limitações para inserção de pontes, as 3 soluções possíveis são: inserir uma barragem com operação de comportas sempre abertas, inserir bueiros ou elevar o MDT, todas apresentam pontos negativos. Devido aos problemas de instabilidades nas duas primeiras, foi utilizada a opção do MDT, todavia sua limitação é a impossibilidade de inserir os dados do *deck* da ponte.

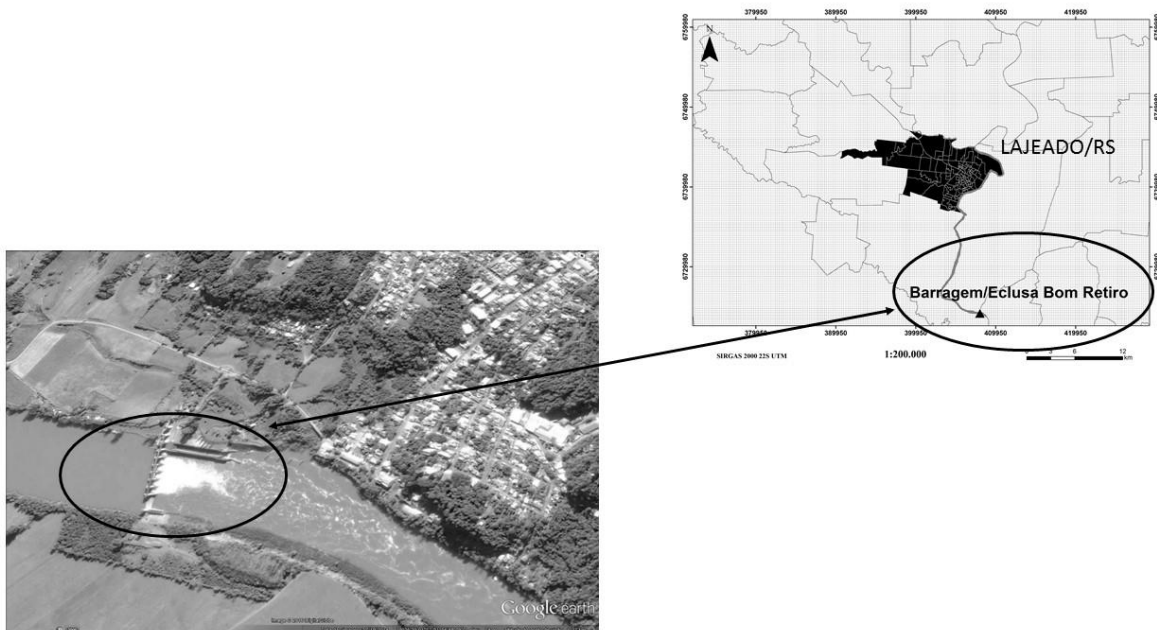


Figura 15 - Localização da barragem/eclusa Bom Retiro.

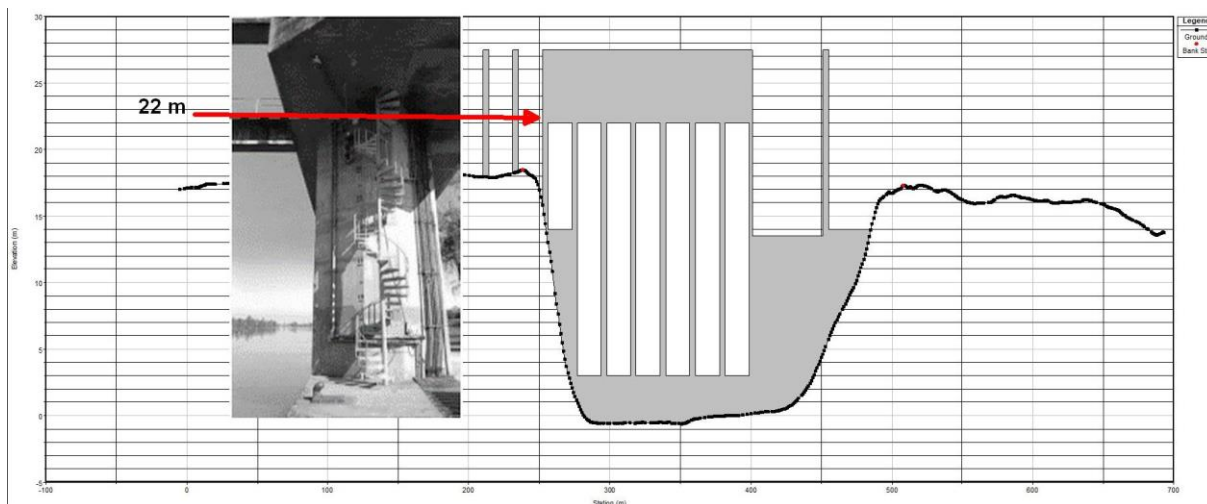


Figura 16 - Nível da cota 22 m, cota limite em que não há interferência da barragem/eclusa Bom Retiro e desenho da barragem/eclusa no modelo HEC-RAS 5.0.7.

#### 5.5.1.7 Calibração e validação do modelo

O elemento primordial para calibrar o modelo é usar áreas inundadas de eventos históricos, todavia, na falta desses elementos, podem ser usadas cotas alcançadas durante os eventos críticos. Os registros são de origem das Defesas Civis de Estrela/RS e Lajeado/RS em parceria firmada com a Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES) ou do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), imagens obtidas por moradores em períodos de inundação, além de levantamentos de campo na região.

Para calibrar o modelo, o evento utilizado foi o evento com pico no dia 9/07/2020 (cota 26,83 m, cota corrigida pelo levantamento da AGROSIG em relação a régua de estrela) obtido dos dados da CPRM (Apêndice C 3 e Apêndice C 4).

Para certificar os dados e parâmetros utilizados no modelo hidrodinâmico, foram analisados pontos do pico da inundação ou em horas próximas *in situ* comparado com a mancha de inundação no pico simulada no modelo (i.e., discrepância horizontal) (Apêndice C 5). Além disso, analisamos a cota na régua do Porto de Estrela (8687930) lida com a cota da célula da malha computacional do modelo hidrodinâmico no mesmo local da régua (Tabela 8). Não foi possível utilizar outros indicadores como a equação de ajuste (SARHADI; SOLTANI; MODARRES, 2012) devido à impossibilidade comparar machas de inundação do evento e simulada, pois não há dados deste tipo.

Tabela 8 – Análise de estatísticas de eficiência da simulação.

Discrepância horizontal	Valor (m)	Discrepância vertical	Valor (m)
-------------------------	-----------	-----------------------	-----------

<b>Média</b>	9,73	Cota do evento de 2020	26,83
<b>Mediana</b>	7,07	Cota do evento de 2020 simulada	26,847
<b>RMSE</b>	13,13		
<b>Desvio Padrão</b>	10,88		
<b>Erro Padrão</b>	0,9		

Com os resultados acima, os valores do coeficiente de rugosidade foram determinados para todas as áreas, com seis classes: Canal, Corpo D'Água, Solo Exposto, Vegetação Rasteira, Mata e Área Urbana e baseado nos valores padrões de (CHOW, 1959) (Figura 17). Os dados possuem origem nas ortofotos cedidas pela Prefeitura de Lajeado/RS com resolução de 0,5 m, escala de 1:2500 e PEC planimétrica aproximadamente A com EP de 0,34 m. Os dados fora dos disponibilizados pela Prefeitura foram obtidos através dos dados vetoriais de uso do solo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) com escala de 1:250000 e resolução de 50 m.

No geral, foi observada boa correspondência da mancha de inundação simulada com as marcas de cheia obtidas em campo (i.e., evento de 2020), na área urbana da cidade de Lajeado-RS. No entanto, ocorreram maiores desconformidades em pontos em algumas regiões próximas ao arroio Forqueta e mais ao sul do município. As diferenças se devem à hora da obtenção, mais distante do pico do hidrograma, e à qualidade limitada de representação do canal do arroio Forqueta, em que apenas estavam disponíveis seções topobatimétricas na região das proximidades da confluência com o rio Taquari-Antas. Além disso, há uma representação do MDT limitada ao sul do município de Lajeado, pois o MDT não apresenta uma qualidade de levantamento com maior precisão, diminuindo a credibilidade da mancha a jusante de Lajeado-RS (Figura 18).

O fluxograma com as etapas de calibração e validação do modelo hidrodinâmico é apresentado na Figura 19.

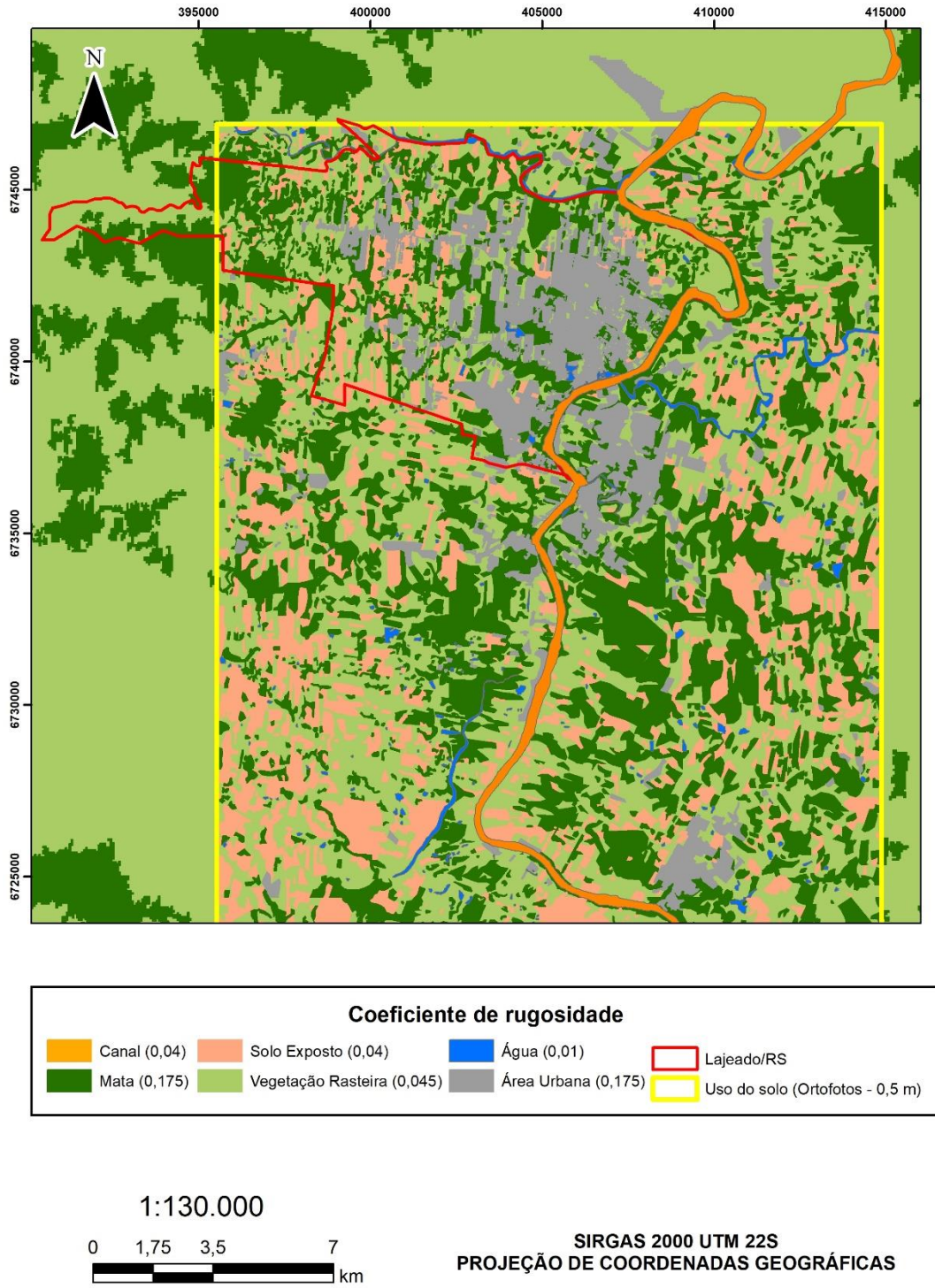


Figura 17 – Mapa com os coeficientes de rugosidade utilizados na simulação hidrodinâmica.

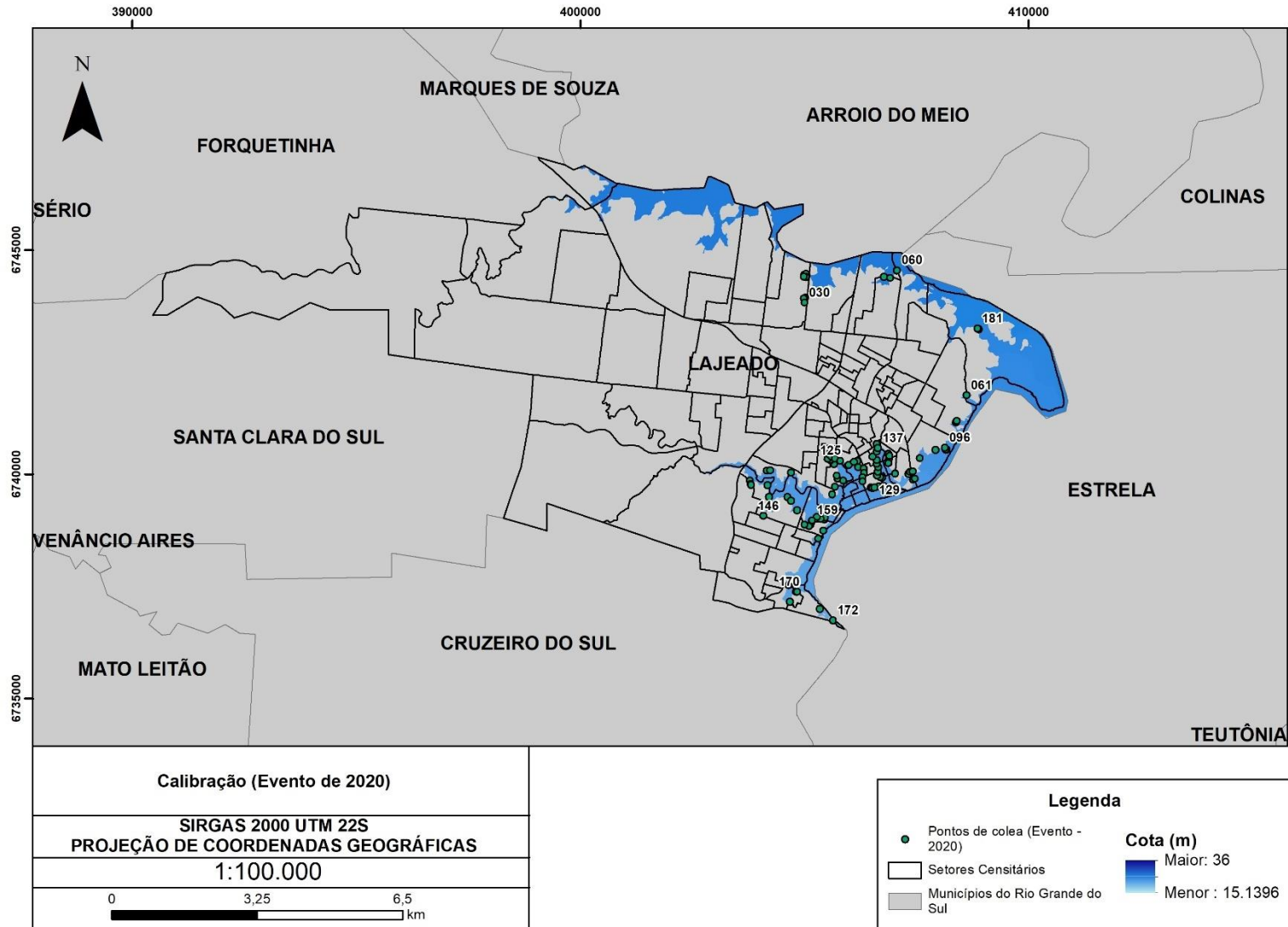


Figura 18 – Resultado da simulação do evento de 2020 (evento de calibração).

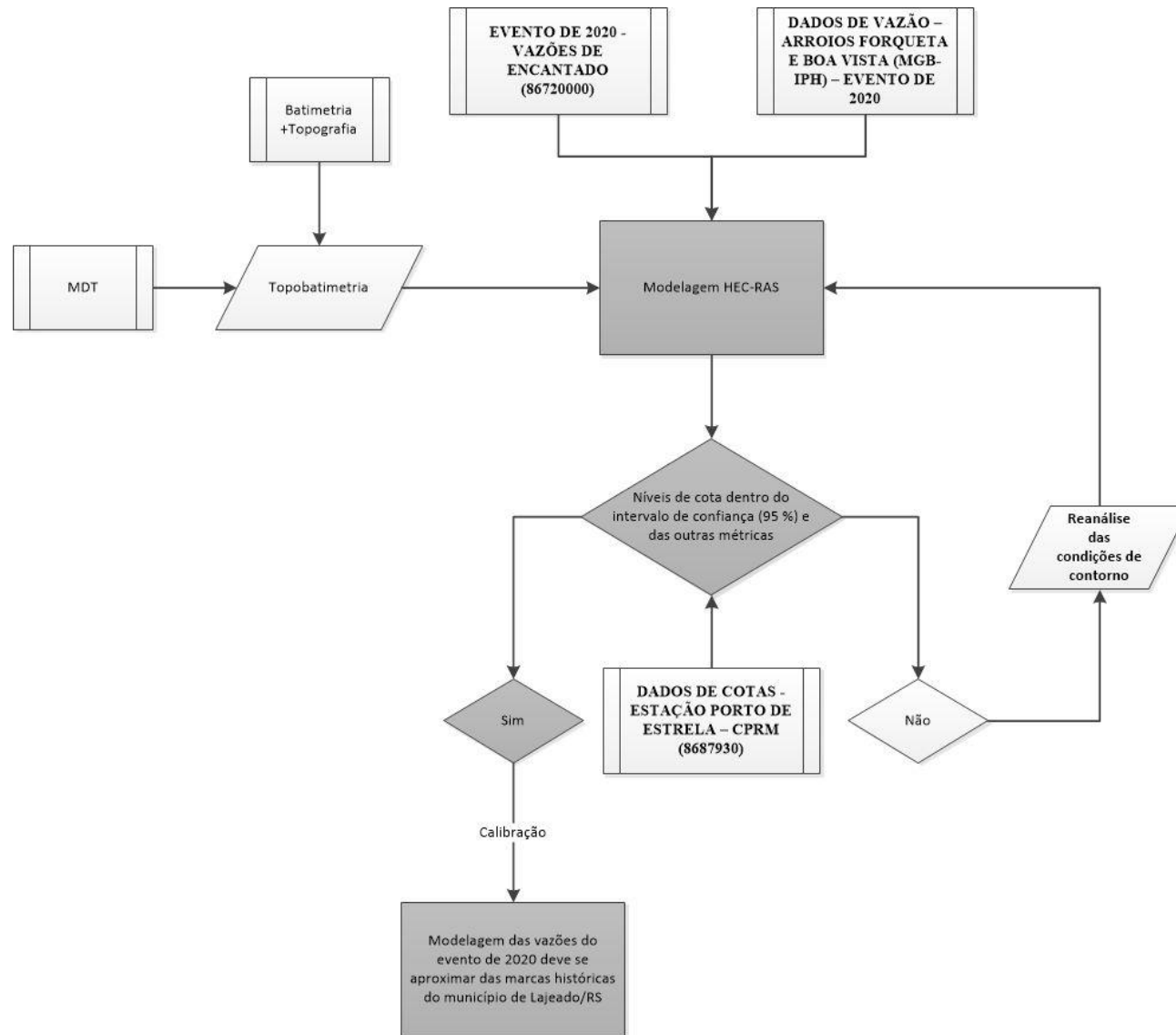


Figura 19 - Fluxograma da modelagem de calibração e validação.



#### 5.5.1.8 Limitações

A calibração apresenta limitação quanto ao uso de um modelo chuva-vazão para inserir aportes de vazão dos arroios Forqueta e Boa Vista, por causa da ausência de estações fluviométricas nos arroios. O levantamento dos pontos do evento de inundação de 2020 pode não ter ocorrido no pico da inundação e isto pode causar distorções nas análises estáticas para qualificar a calibração.

O hidrograma dos cenários sofre de algumas limitações, como a própria curva adimensional que foi baseada em um evento TR aproximadamente de 30 a 35 anos, o que pode superestimar ou subestimar para os cenários estudados (i.e., TR de 10, 50 e 100 anos). A estimativa dos tempos de retorno possui certa confiabilidade no máximo em 4 vezes o tamanho da amostra de dados (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Outras questões são relacionadas à contribuição dos Arroios, principalmente do Forqueta, que pode ter maior ou menor contribuição em futuros eventos.

Tanto para a calibração quanto para os cenários, o início do hidrograma está localizado nas proximidades de Arroio do Meio, e não em Encantado, o local de obtenção de hidrograma no rio Taquari-Antas. Isto adiantou em algumas horas o pico do hidrograma em comparação com a realidade do evento de 2020. Além disso, toda hidrodinâmica de montante não foi calculada no modelo. Em contrapartida, foi tentado simular todo o curso d'água desde Encantado até a barragem/eclusa de Bom Retiro do Sul, porém no modelo 2D, áreas com grade computacional grande causam instabilidade no modelo, principalmente pela falta de um MDT de alta precisão na maioria das planícies de inundação.

Sobre o MDT, a junção de fontes diferentes limita a qualidade das análises principalmente nas localidades em que há o uso do SRTM 30 m, uma resolução pouca precisa para este tipo de estudo. Entretanto, as regiões de maior influência na análise das inundações (i.e., áreas urbanas de Lajeado/RS e Estrela/RS) encontra-se com alta precisão, variando entre 1 m e 2,5 m, além de uma boa discretização do canal com várias seções topobatimétricas.

#### 5.5.2 Mapa de perigo

O desenvolvimento de edifícios públicos e privados é indesejável dentro de áreas de inundação não apenas devido ao fato de colocar em potencial perigo vidas e propriedades, mas também porque os edifícios obstruem o fluxo e fazem um barramento do rio. Rios profundos e com fluxo rápido têm potencial de destruir edifícios e propriedades, além de afogar pessoas. Quando há velocidades baixas com

menores profundidades, a água dificilmente colocará a vida em perigo, mas pode resultar em danos à propriedade. Profundidades rasas podem ser mitigadas através de medidas de proteção. O perigo associado ao fluxo é mais bem expresso em diagramas entre velocidade e profundidade (Figura 20).

Para mapear área de perigo, foi utilizado o modelo HEC-RAS 5.0.7 em módulo 2D, e posteriormente, o sistema de informação geográfica (SIG) para cruzamento de dados. Assim, foi possível obter a vazão unitária, conforme desenvolvido por Stephenson (2002), e aplicado por Monteiro e Kobiyama (2013) com nome de “Índice de Perigo” é demonstrado na Equação (8):

$$IP = h \cdot v \quad (8)$$

onde:  $h$  é a profundidade de inundação em metros; e  $v$  é a velocidade do escoamento em m/s. Observa-se que o IP é expresso pela vazão unitária.

A partir dos resultados obtidos das relações supracitadas, as classes de perigo foram baseadas na metodologia da PREVENE (2001) (Quadro 5, Tabela 9 e Figura 21), porém adaptados com a inserção da área de muito baixo perigo. Os mapas de perigo foram feitos para os tempos de retorno de 10, 50, 100 e acima de 100 anos conforme procedimento descrito na Figura 22.

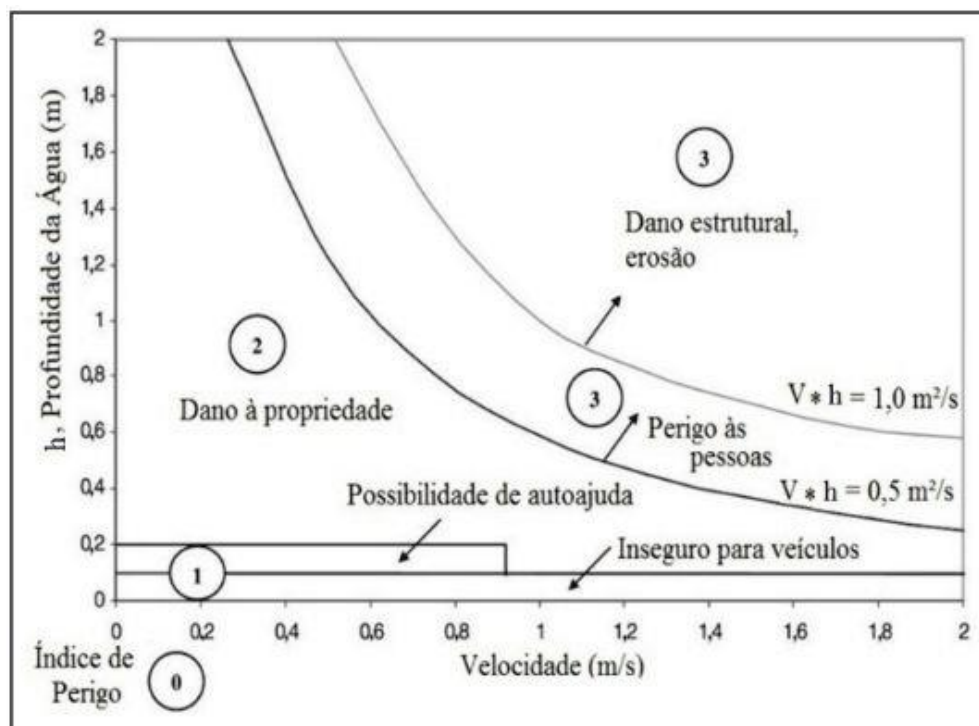


Figura 20 – Diagrama do perigo de inundação baseado metodologia de Stephenson (2002).

(Fonte: Monteiro e Kobiyama (2013))

Quadro 5 - Definição do perigo de inundação.

Nível do Perigo	Cor do Mapa	Descrição
<b>Alto (4)</b>	Vermelho	As pessoas estão em perigo, tanto dentro quanto fora de suas casas. As construções estão em alta possibilidade de serem destruídas.
<b>Médio (3)</b>	Laranja	As pessoas correm possibilidade de fatalidades fora de suas casas. Construções talvez sofram danos e podem ser destruídas.
<b>Baixo (2)</b>	Amarelo	A possibilidade de fatalidades é baixa ou inexistente. Construções sofrem danos.
<b>Muito baixo (1)</b>	Verde	Danos e fatalidades só ocorrem em eventos muito raros

(Fonte: Adaptado de PREVENE (2001))

Tabela 9 – Período de retornos a serem utilizados e suas probabilidades de superação.

Probabilidade	Período de Retorno (anos)	Probabilidade de Superar
<b>Alta</b>	10	10%
<b>Média</b>	50	2%
<b>Baixa</b>	100	1%
<b>Muito Baixa</b>	> 100	< 1%

(Fonte: Baseado em PREVENE (2001)).

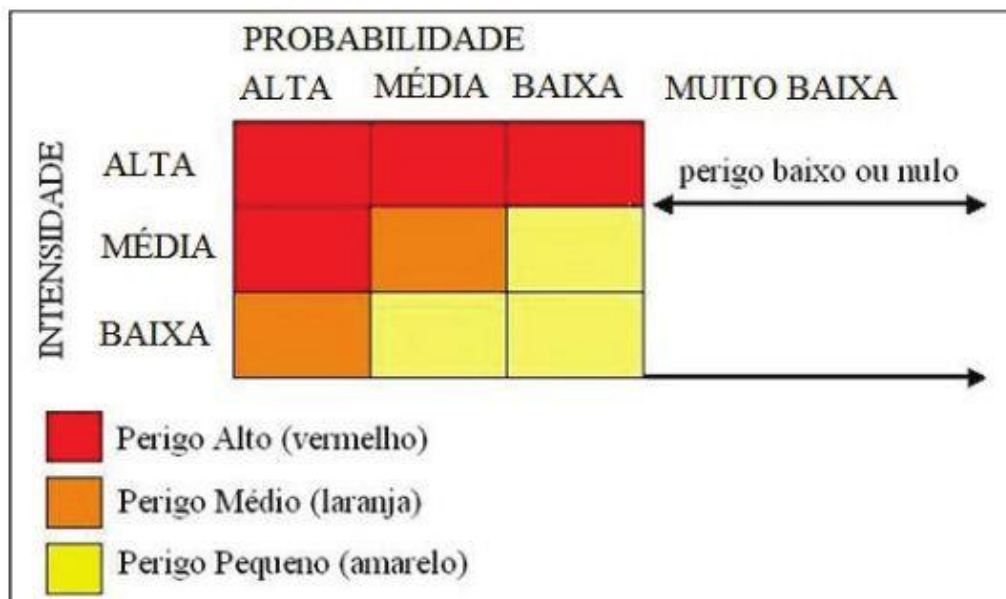


Figura 21 – Níveis de perigo discretizados da metodologia da PREVENE (2001).

(Fonte: Monteiro e Kobiyama (2013))

As condicionantes para geração dos mapas de perigo são demonstradas abaixo (MONTEIRO; KOBIYAMA; ZAMBRANO, 2015):

- Para o mapa com TR de 100 anos, uma única condição existe para o nível de perigo: velocidade x profundidade  $\geq 0,5 \text{ m.s}^{-1}$ , assim a célula terá o subíndice de perigo Crítico, do contrário, nível de perigo Atenção;
- Para o mapa com TR de 50 anos, é necessário um condicional simples e uma condicional dupla: velocidade  $< 0,9 \text{ m.s}^{-1}$  e profundidade  $< 0,2 \text{ m}$  ou se profundidade  $< 0,1 \text{ m}$ , assim, a célula terá o subíndice de perigo Atenção. O subíndice de perigo será crítico se velocidade x profundidade  $\geq 0,5$ , do contrário, haverá células com nível de perigo Alerta;
- Para o mapa com TR de 10 anos, são necessárias uma condicional simples e uma condicional dupla: velocidade  $< 0,9 \text{ m.s}^{-1}$  e profundidade  $< 0,2 \text{ m}$  ou se a profundidade  $< 0,1 \text{ m}$ , com isso, a célula terá subíndice de perigo Alerta, se não, terá subíndice de perigo será Atenção.

Por último foi gerado um único mapa de perigo a partir dos mapas anteriores, sendo unidos de uma forma que as células com o nível de perigo crítico se sobressaiam às células com nível de perigo Alerta ou Atenção. Consecutivamente, as células com nível de perigo Alerta precisam estar ressaltadas sobre as células com nível de perigo Atenção. Esse dado foi utilizado para compor o índice de risco junto com subíndice de vulnerabilidade.

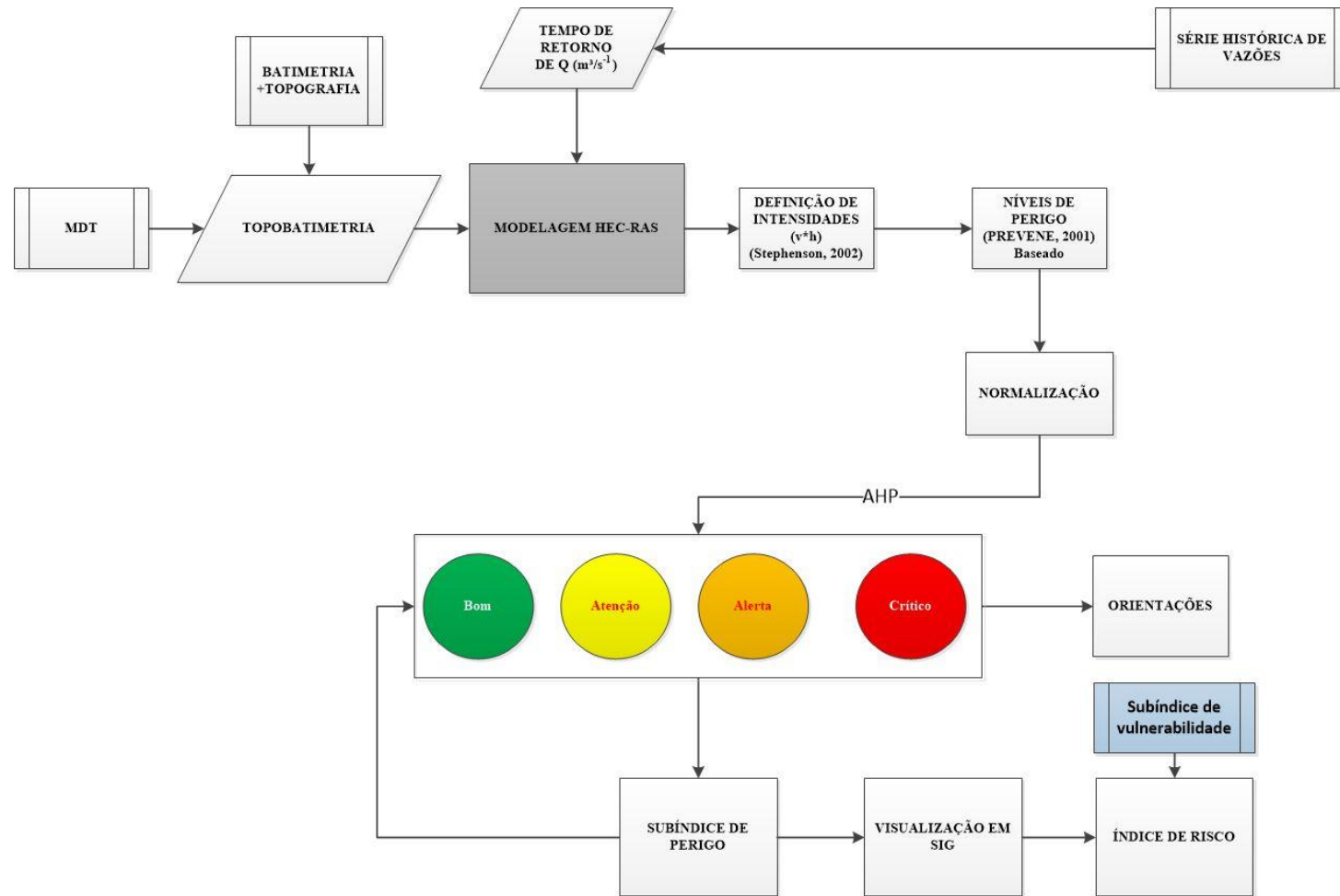


Figura 22 - Fluxograma para obtenção do subíndice de perigo.

## 5.6 Indicador de suscetibilidade física

O alcance das abordagens convencionais para mapear inundações, como análise de dados históricos, estatísticas e modelos de simulação numérica (i.e., hidrológico e hidrodinâmico) frequentemente apresenta limitações devido à falta de dados, principalmente em países em desenvolvimento. Além disso, o mapeamento implica em custos financeiros e temporais altos (AL-ABADI; SHAHID; AL-ALI, 2016; XIAO; YI; TANG, 2017; YANG, X. L.; DING; HOU, 2013)

Para suprir essas lacunas, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possuem a capacidade de armazenar e processar dados de múltiplas fontes, assim podem ser a ferramenta meio para Análise Multicritério (MCDM) (DAS, 2018; KHOSRAVI *et al.*, 2016).

Isso torna o subíndice de suscetibilidade física uma saída viável na falta de dados para simular inundações, e posteriormente construir um subíndice de perigo. São 4 indicadores como forma de analisar os resultados, e cada indicador com 4 classes diferentes para se igualar aos demais índices, subíndices e indicadores. As fontes são o MDT e ortofotos obtidas da Prefeitura de Lajeado (resolução 1 m e 0,5 m, respectivamente).

Os indicadores são descritos a seguir:

- **Elevação:** Obtido a partir dos dados de altimetria do MDT da prefeitura de Lajeado e as quatro classes são baseadas nos tempos de retorno das cotas (m) (Tabela 10) obtidas por método de estimação GEV e apresentadas na Figura 23 e Tabela 11. Parâmetros da análise foram: posição ( $\alpha=0,378$ ), escala ( $\beta=2,844$ ) e forma ( $\gamma=20,32$ ) e os testes foram realizados tanto para cotas quanto para vazões

Tabela 10 – Cotas máximas para Lajeado/RS.

Evento (Ano)	TR Cota (Anos)	Cota (m)	Intervalo de confiança (95%) – Cota (m)	
Sintético	10	26,15	27,00	25,30
Sintético	50	28,17	29,15	27,19
Sintético	100	28,71	29,82	27,60

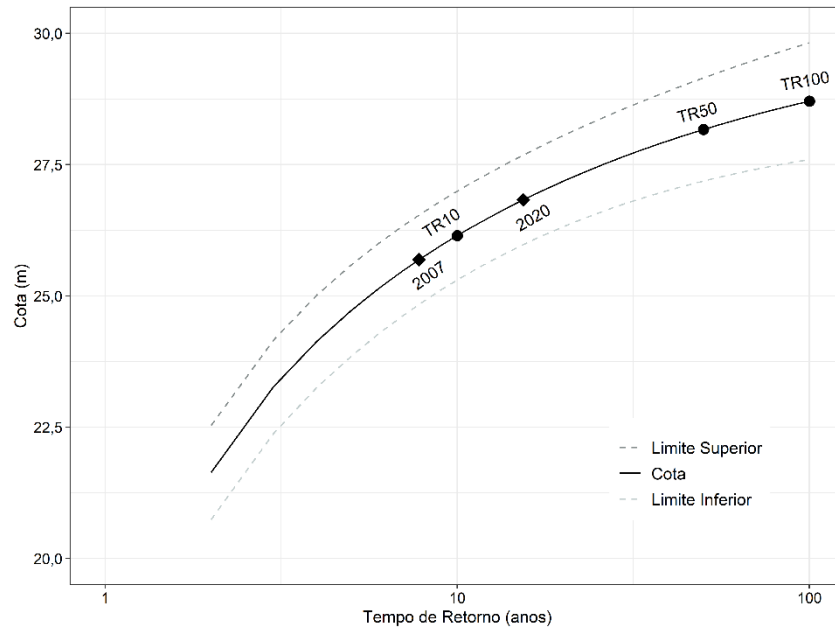


Figura 23 - Ajuste GEV para cotas em Lajeado/RS.

Tabela 11 – Classes do subindicador elevação.

Classe	Período de Retorno (anos)	Cota (m)	Classificação
<b>Crítico</b>	10	$\leq 26,15$	4
<b>Alerta</b>	50	$>26,15$ e $\leq 28,17$	3
<b>Atenção</b>	100	$>28,17$ e $\leq 28,71$	2
<b>Bom</b>	$> 100$	$> 28,71$	1

- Declividade: Obtido a partir dos dados de altimetria do MDT da prefeitura de Lajeado. As quatro classes foram adaptadas da classificação do manual de geomorfologia do IBGE (IBGE, 1995) (Tabela 12).

Tabela 12 - Classes do subindicador declividade.

Classe	Declividade (Graus)	Classe no manual de geomorfologia	Classificação
<b>Crítico</b>	$\leq 10$	Muito fraca e fraca	4
<b>Alerta</b>	$> 10$ e $\leq 50$	Média	3
<b>Atenção</b>	$> 50$ e $\leq 100$	Forte	2
<b>Bom</b>	$> 100$	Muito Forte e extremamente forte	1

- Distância para o curso d`água: Obtido a partir dos dados de altimetria do MDT da prefeitura de Lajeado e baseado na divisão de classes de alguns estudos (GIGOVIĆ *et al.*, 2017; LEE, 2008; RAZAVI TERMEH *et al.*, 2018; SHAFAPOUR TEHRANY *et al.*, 2017) (Tabela 13);

Tabela 13 - Classes do subindicador distância para o curso d'água.

<b>Classe</b>	<b>Distância para o rio (m)</b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	$\geq 0$ e $\leq 100$	4
<b>Alerta</b>	$>100$ e $\leq 300$	3
<b>Atenção</b>	$>300$ e $\leq 600$	2
<b>Bom</b>	$> 600$	1

- Uso do solo (Município): Obtido a partir de ortofotos cedidas pela prefeitura de Lajeado e baseado na divisão de classes de alguns estudos (GIGOVIĆ *et al.*, 2017; RAZAVI TERMEH *et al.*, 2018; SHAFAPOUR TEHRANY *et al.*, 2019) (Tabela 14).

Tabela 14 - Classes do subindicador uso do solo.

<b>Classe</b>	<b>Tipo de uso</b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	Área urbanas e corpos d'água	4
<b>Alerta</b>	Áreas agrícolas	3
<b>Atenção</b>	Vegetação rasteira e solo exposto	2
<b>Bom</b>	Mata	1

Abaixo descrevemos os subindicadores que estavam dentro do limite dos 15 escolhidos para o método AHP, porém não se enquadram para aplicação em uma análise de risco em área urbana em um curso d'água de uma bacia hidrográfica rural:

- Precipitação: Aplicado para análises em toda bacia hidrográfica ou bacia hidrográfica urbana;
- Aspecto de declividade: Aplicado para análises em toda bacia hidrográfica e sobreposição com declividade;
- Tipo de solo: Aplicado para análises em toda bacia hidrográfica ou bacia hidrográfica urbana;
- Geologia/Hidrogeologia: Aplicado para análises em toda bacia hidrográfica ou bacia hidrográfica urbana;
- Drenagem do solo: Aplicado para análises em toda bacia hidrográfica ou bacia hidrográfica urbana.
- Vegetação: Sobreposição com uso do solo e aplicado para análises em toda bacia hidrográfica ou bacia hidrográfica urbana.



Para validar o subíndice de suscetibilidade se torna necessário construir análises comparando as extensões das 4 (quatro) classes com a análise do subíndice de perigo.

A primeira análise parte da intersecção de áreas da mesma classe dos dois métodos (i.e., suscetibilidade física e perigo) dividido pela união delas, nomeada de medida de ajuste (*fit*) (BATES; DE ROO, 2000; SARHADI; SOLTANI; MODARRES, 2012) (9). Quanto maior o percentual, maior a proximidade entre a área de inundação testada e a área de inundação modelo.

$$Fit (\%) = \frac{A_o \cap A_m}{A_o \cup A_m} \quad (9)$$

Onde:  $A_o$  é a área de uma classe de perigo usando o mapa de perigo e  $A_m$  é a área de uma classe de perigo usando o subíndice de suscetibilidade.

Além disso, utilizou-se da estatística *Kappa* ( $\kappa$ ) (10) (AFSHARI *et al.*, 2018; YU; LANE, 2006) para medir a similaridade das extensões de inundação.

$$\kappa = \frac{n \cdot (n_{w_1, w_2} + n_{d_1, d_2}) - (n_{w_1 + d_1, w_2} n_{w_1, w_2 + d_2} + n_{w_1 + d_1, d_2} n_{d_1, w_2 + d_2})}{n^2 - (n_{w_1 + d_1, w_2} n_{w_1, w_2 + d_2} + n_{w_1 + d_1, d_2} n_{d_1, w_2 + d_2})} \quad (10)$$

Onde:  $n$  é o número total de células;  $w_1$ ;  $w_2$  é o número de células previstas com mesma classe por ambos os resultados de inundação;  $n_{d_1}$ ;  $d_2$  é o número de células previstas com classes diferentes por ambos os modelos de inundação;  $n_{d_1}$ ;  $w_2$  é o número de células previstas como uma classe pelo modelo 1, mas outra classe pelo modelo 2;  $n_{w_1}$ ;  $d_2$  é o número de células de uma classe pelo modelo 1, mas de outra classe pelo modelo 2;  $n_{w_1}$ ;  $w_2 + d_2$  é o número de células por uma classe no modelo 1, enquanto o modelo 2 previu como da mesma classe ou outra classe;  $n_{w_1 + d_1}$ ;  $d_2$  é o número de células em que o modelo 2 as previu como uma classe, enquanto o modelo 1 previu como da mesma classe ou de outra classe;  $n_{d_1}$ ;  $w_2 + d_2$  e  $n_{w_1 + d_1}$ ;  $w_2$  estão sendo lidos da mesma maneira para  $n_{w_1}$ ;  $w_2 + d_2$  e  $n_{w_1 + d_1}$ ;  $d_2$ , respectivamente. Ambas as métricas de inundação variam de 0 a 1 denotando conformidade menor ou maior respectivamente.

## 5.7 Subíndice de vulnerabilidade

Indicadores de vulnerabilidades devem seguir alguns preceitos: mensurável, pertinente politicamente, de fácil entendimento, possui condição analítica e estatística, ser reproduzível, ter validade/precisão, base de dados disponível, dados comparáveis,

finalidade apropriada, custo efetivo e ser mensurável em várias escalas para perigos naturais (BIRKMANN, 2013a).

Por definição para o caso de desastres, a vulnerabilidade perpassa pelas características da sociedade. Algumas variáveis principais explicam as diferenças de uma comunidade, por exemplo: classes sociais, ocupação, etnia, gênero, deficiência, estado de saúde, idade e formas de comunicação, por exemplo. O conceito de vulnerabilidade envolve claramente magnitudes diferentes: algumas pessoas experimentam níveis mais elevados do que outros (WISNER, 2001).

A capacidade de enfrentar os efeitos negativos dos desastres está ligada aos processos sociais, históricos e políticos que determinam como um grupo social é capaz de se prevenir, mitigar, preparar, enfrentar e responder para a ocorrência recente de desastres. Assim, ela reflete as decisões e ações passadas no tempo presente. A vulnerabilidade é construída ao longo do tempo e, conseqüentemente varia no tempo e no espaço, o que torna ainda mais difícil a tarefa de determiná-la (GOERL, 2010). Sintetizando, podemos dizer que indicadores associados a vulnerabilidade determinam o nível que um desastre pode causar em um determinado local.

Partindo das discussões apresentadas na seção 4 foram selecionados indicadores a serem utilizados, sendo eles: indicador de exposição, suscetibilidade, resiliência e capacidade adaptativa, e todos (inclusive a vulnerabilidade) foram estruturados nas mesmas subdivisões: bom, atenção, alerta e crítico (Tabela 15).

Tabela 15 - Classes do subíndice vulnerabilidade.

<b>Classe</b>	<b>Vulnerabilidade Normalizada</b>
<b>Crítico</b>	> 0,750
<b>Alerta</b>	> 0,500 e ≤ 0,750
<b>Atenção</b>	> 0,250 e ≤ 0,500
<b>Bom</b>	≤ 0,250

### 5.7.1 Indicador de exposição

Esse indicador possui a capacidade de identificar elementos em possível risco entre o uso da terra (infraestrutura) e elementos humanos (população) (FOUDI; OSÉS-ERASO; TAMAYO, 2015). Partindo das discussões apresentadas na seção 4, o indicador de exposição constará de 5 subindicadores:

- Densidade populacional: Obtido a partir dos dados do censo 2010 (IBGE, 2010b) da variável geográfica V001, do arquivo cor, raça, idade e gênero

(IBGE, 2010b) (Tabela 16). As classes foram separadas de acordo com os quartis da própria densidade populacional do município.

Tabela 16 - Classes do subindicador densidade populacional.

<b>Classe</b>	<b>Hab/km<sup>2</sup></b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	> 4995,79	4
<b>Alerta</b>	> 2620,75 e ≤ 4995,79	3
<b>Atenção</b>	> 933,72 e ≤ 2620,75	2
<b>Bom</b>	≤ 933,72	1

- Densidade populacional por domicílio: Obtido a partir dos dados do censo 2010 (IBGE, 2010b) e adaptado por 4 classes, que foram arredondados. Maior concentração populacional, mais pessoas expostas em cada setor censitário, variáveis V001 e V002 do arquivo básico (IBGE, 2010b) (Tabela 17).

Tabela 17 - Classes do subindicador densidade populacional por domicílio.

<b>Classe</b>	<b>Pessoas por habitação</b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	> 4	4
<b>Alerta</b>	> 3 e ≤ 4	3
<b>Atenção</b>	> 2 e ≤ 3	2
<b>Bom</b>	≤ 2	1

- Infraestruturas críticas: Obtido a partir dos dados junto a prefeitura de Lajeado e por levantamento próprio, utilizamos métrica simples de 1 a 4 ou mais infraestruturas. Infraestruturas críticas são estabelecidas 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 (Tabela 18). Os valores foram extrapolados para todo os setores censitários, visto que cada infraestrutura pode servir em todo o município, e a sua inutilização será sentida por toda comunidade.

Tabela 18 - Classes do subindicador das infraestruturas críticas.

<b>Classe</b>	<b>Quantidade de estruturas críticas</b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	≥ 4	4
<b>Alerta</b>	3	3
<b>Atenção</b>	2	2
<b>Bom</b>	≤ 1	1

- Percentual de área ocupada: Obtido a partir de dados junto a prefeitura de Lajeado. São dados relacionados quadra ocupadas ou possíveis de ocupação futura. Esse percentual será definido em relação a área total do setor censitário (Tabela 19).

Tabela 19 - Classes do subindicador habitações em área inundadas.

<b>Classe</b>	<b>Percentual de área habitada ou possível de habitação (%) em relação ao total da área do setor censitário</b>
<b>Crítico</b>	> 75
<b>Alerta</b>	> 50 e ≤ 75
<b>Atenção</b>	> 25 e ≤ 50
<b>Bom</b>	≤ 25

- Tipo de moradia (material de construção): Obtido a partir dos dados do censo 2010 do IBGE (IBGE, 2010b), mais precisamente as variáveis geográficas V204, V205, V206,207 do arquivo entorno 02 (IBGE, 2010c) e separados de acordo o revestimento das paredes. A metodologia baseia-se no percentual de moradia semiadequada e inadequada de cada setor censitário, materiais como concreto reforçado e metal, e alvenaria com tijolos seriam materiais adequados (GODFREY *et al.*, 2015; MIRANDA; FERREIRA, 2019). Todavia foi preciso adaptar aos dados encontrados no censo brasileiro, separando em moradias inadequadas e adequadas (Tabela 20).

Tabela 20 - Classes do subindicador tipo material de construção.

<b>Classe</b>	<b>Percentual de moradia semi ou inadequada em cada setor censitário</b>
<b>Crítico</b>	> 75
<b>Alerta</b>	> 50 e ≤ 75
<b>Atenção</b>	> 25 e ≤ 50
<b>Bom</b>	≤ 25

Abaixo descrevemos os subindicadores que estavam dentro do limite dos 15 escolhidos para o método AHP, porém não se enquadram para aplicação nesse indicador:

- Área protegidas ambientais/Áreas verdes: Sobreposição com o subindicador percentual de áreas urbanizada;
- Atividades econômicas: Adequado no indicador de suscetibilidade;

- Área protegida/Vegetação natural/Árvores/Usos do solo (%): Sobreposição com o subindicador percentual de áreas ocupadas;
- Tipo de propriedade (Moradia, Comercial, Industrial): Difícil aplicação, pois não é todo município que possui cadastramento do tipo de propriedade;
- Quantidade de pavimentos da habitação: Difícil aplicação, pois não é todo município que possui cadastramento do tipo de propriedade;
- Idade da habitação: Difícil aplicação, pois não é todo município que possui cadastramento das propriedades;
- Tamanho da construção/Área construída (%): Difícil aplicação, pois não é todo município que possui cadastramento das propriedades;
- Elevação/Profundidade: Utilizado no indicador de suscetibilidade física;
- Valor médio da propriedade: Difícil aplicação, necessita de pesquisa profunda sobre preços;
- Uso do Solo: Sobreposição com o subindicador percentual de área ocupada;
- Percentual de área urbanizada: Sobreposição com o subindicador de percentual de área ocupada;
- Produto Interno Bruto (PIB): Aplicação que se encaixa melhor no indicador de suscetibilidade;
- População (Densidade) /Família por Casa/Densidade residencial/Densidade de Domicílios: Sobreposição com o subindicador percentual de densidade populacional e densidade populacional por residência.

### **5.7.2 Indicador de suscetibilidade**

Esse indicador possui refletir as capacidades dos indivíduos, grupos ou sistemas na área socioeconômica para suportar o evento de desastre (ROY; BLASCHKE, 2014). Partindo das discussões apresentadas na seção 4, o indicador de suscetibilidade constará de 6 subindicadores:

- Leitos hospitalares por 10.000 habitantes: Os dados foram obtidos do painel síntese do COVID-19 do (IBGE, 2011) em que se identifica o número de leitos por 100.000 habitantes. Não há classes definidas por nenhum órgão da área que realizam esse tipo de levantamento, como os casos de Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OCDE) e da Organização Mundial da Saúde (OMS). Então, foi feito um cruzamento entre os dados da OMS para número de leitos hospitalares em cada país (WHO, 2020) cruzando

com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (UNDP, 2020) (i.e., muito alto, alto, médio e baixo) (Apêndice D 1). Assim, utilizou-se o terceiro percentil do número de leitos hospitalares dos países, calculados separadamente de acordo com o seu respectivo IDH, para definir os limites das 4 classes (Apêndice D 2). O valor de leitos hospitalares foi equivalente para todo o município de Lajeado, significando que foi igualado para todos os setores censitários (Tabela 21).

Tabela 21 – Classes do subindicador de leitos hospitalares.

<b>Classe</b>	<b>Leitos hospitalares por 10.000 habitantes</b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	≤ 8	4
<b>Alerta</b>	> 8,1 e ≤ 21	3
<b>Atenção</b>	> 21,1 e ≤ 40,16	2
<b>Bom</b>	> 40,16	1

- Falta de acesso a saneamento: Das 4 vertentes do saneamento básico, foram utilizados dados de 3 vertentes (abastecimento de água, acesso a coleta de esgoto e acessos a coleta de resíduo sólido), infelizmente não há dados robustos sobre drenagem urbana por setor censitário. Foi determinado o percentual de domicílios que não possuíam ao menos 1 (um) das 3 (três) esferas principais do saneamento básico (abastecimento de água, esgotamento sanitário e/ou coleta de lixo). São 3 análises diferentes, em que a média das pontuações determina o valor desse indicador. O arquivo do censo é o domicílio 01. As variáveis para esgotamento sanitário foram: domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa rudimentar (V019), via vala (V020), via rio, lago ou mar (V021) e via outro escoadouro (V022). Para abastecimento de água: domicílios particulares permanentes com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade (V013), de água da chuva armazenada em cisterna (V014) e com outra forma de abastecimento de água (V015). E para coleta de resíduo sólido: domicílios particulares permanentes em caçamba de serviço de limpeza (V037), com lixo queimado na propriedade (V038), com lixo enterrado na propriedade (V039), com lixo jogado em terreno baldio ou logradouro (V040), com lixo jogado em rio, lago ou mar (V041) e com outro destino do lixo (V042). Assim, foi determinado o percentual médio de domicílios

sem ao menos 1(um) dos 3 (três) serviços principais de saneamento básico (IBGE, 2010b) (Tabela 22).

Tabela 22 – Classes do subindicador de acesso a saneamento.

<b>Classe</b>	<b>Percentual médio de moradias sem as 3 (três) principais áreas do saneamento básico por setor censitário</b>
<b>Crítico</b>	> 75
<b>Alerta</b>	> 50 e ≤ 75
<b>Atenção</b>	> 25 e ≤ 50
<b>Bom</b>	≤ 25

- Percentual de mulheres como chefe de famílias: Mulheres normalmente possuem maior percepção de riscos (FEKETE, 2009; FERNANDEZ; MOURATO; MOREIRA, 2016). Todavia, as dificuldades podem ser maiores para elas na recuperação a desastres por normalmente terem salários mais baixos e mais responsabilidades no círculo familiar (CUTTER, 2003; HEWITT; BURTON, 1971). Os dados foram obtidos do censo 2010 (IBGE, 2010b), variáveis geográficas V081 até V087 do arquivo domicílio 01, além da variável geográfica V001 do arquivo Domicilio01 (IBGE, 2010b) (Tabela 23).

Tabela 23 - Percentual de mulheres chefes de família.

<b>Classe</b>	<b>Percentual de mulheres em cada setor censitário (%)</b>
<b>Crítico</b>	> 75
<b>Alerta</b>	> 50 e ≤ 75
<b>Atenção</b>	> 25 e ≤ 50
<b>Bom</b>	≤ 25

- Renda familiar média: A renda familiar é um dos indicadores chave para a recuperação dos desastres (BIRKMANN, 2013a; CUTTER, 2003) atuando fortemente na determinação do futuro de cada família no pós-desastre. A classificação leva em consideração as classes sociais por faixas de salário-mínimo do IBGE (IBGE, 2010b). Os dados foram obtidos do censo 2010 (IBGE, 2010b), variável geográfica V002 do arquivo DomicílioRenda, e variável geográfica V001 do arquivo Pessoa13 (IBGE, 2010b). O salário-mínimo no Brasil em 2010 foi de R\$ 510,00. O total de rendimento do setor censitário foi dividido pelo total de domicílios existentes, entendendo que a maioria dos domicílios representa um núcleo familiar (Tabela 24).

Tabela 24 – Classes do subindicador com percentual com renda familiar em salários-mínimos.

<b>Classe</b>	<b>Renda familiar média</b>	<b>Classe socioeconômica</b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	≤ 2	E	4
<b>Alerta</b>	> 2 e ≤ 10	D, C	3
<b>Atenção</b>	> 10 e ≤ 20	B	2
<b>Bom</b>	> 20	A	1

- Percentual de população com dependência: Nesse subindicador unimos análises que calculavam número de crianças e idosos. Esse cálculo insere pessoas com idade igual ou menor que 15 anos e maiores que 60 anos. Os dados foram obtidos do censo 2010 (IBGE, 2010b), variáveis geográficas de V022 a V049, e de V094 até V134 do arquivo Pessoa13, total (Tabela 25).

Tabela 25 – Classes com o subindicador percentual de pessoas com algum grau de dependência.

<b>Classe</b>	<b>% de pessoas com algum grau de dependência</b>
<b>Crítico</b>	> 75
<b>Alerta</b>	> 50 e ≤ 75
<b>Atenção</b>	> 25 e ≤ 50
<b>Bom</b>	≤ 25

- Percentual de pessoas na linha de pobreza: Levou-se em consideração o patamar adotado pelo Banco Mundial para determinar a linha de pobreza para países com rendimento médio-alto (IBGE, 2019). O valor refere-se a US\$ 5,50 Dólares norte-americano por dia (FERREIRA; SÁNCHEZ-PÁRAMO, 2017) que convertido para o Real brasileiro (R\$) em 31 de dezembro de 2010 (US\$ 1 = R\$ 1,6654), significaria aproximadamente R\$ 9,16 reais por dia e uma renda mensal média de R\$ 274,80. Utilizando os dados do censo 2010 (IBGE, 2010b), identificamos o percentual de pessoas que recebem  $\frac{1}{2}$  salário-mínimo e entre  $\frac{1}{2}$  a 1 salário-mínimo, variável V001 e V002 do arquivo PessoaRenda\_UF (IBGE, 2010b) (Tabela 26).

Tabela 26 - Classes do subindicador com percentual de pessoas na linha da pobreza.

<b>Classe</b>	<b>% de pessoas na linha da pobreza (Recebem menos de US\$ 5,50 por dia)</b>
---------------	--



<b>Crítico</b>	> 75
<b>Alerta</b>	> 50 e ≤ 75
<b>Atenção</b>	> 25 e ≤ 50
<b>Bom</b>	≤ 25

Abaixo descrevemos os subindicadores que estavam dentro do limite dos 15 escolhidos para o método AHP, porém não se enquadram para aplicação nesse indicador:

- Percentual de emprego por setor econômico: Dados possíveis de ser aplicado em escala municipal, porém em setores censitários, seria preciso uma pesquisa extensa e custosa. Além disso, o dado é dinâmico;
- Densidade populacional: Aplicado no indicador de exposição;
- Tipo de propriedade (Moradia, Comercial, Industrial): Difícil aplicação, pois não é todo município que possui cadastramento do tipo de propriedade;
- Material da parede/Qualidade da construção: Aplicado no indicador de exposição;
- Submoradia: Sobreposição com qualidade de material da parede e adequado no indicador da exposição;
- Infraestrutura críticas: Aplicado no indicador de falta de resiliência;
- Nível de educação/Taxa de Analfabeto: Aplicado no indicador de falta de resiliência;
- Família por casa/Densidade residencial: Aplicado no indicador de exposição;
- Taxa de desemprego/Taxa de emprego: Dados possíveis de ser aplicado em escala municipal, porém em setores censitários, seria preciso uma pesquisa extensa e custosa. Além disso, o dado é dinâmico;
- Pessoas com deficiência ou doente: Incluído no subindicador Percentual de população com dependência;
- Acesso a Veículo: Dados em nível municipal;

### 5.7.3 Indicador de falta de resiliência

A resiliência, como anteriormente já discutido, tem certa complexidade na sua definição por apresentar diferentes conceitos (KONTOKOSTA; MALIK, 2018). Se a conceitualização possui certa dificuldade, a quantificação e, posterior, indexação torna a aplicação de resiliência desafiadora, alguns estudos tentam fazer esse tipo de aplicação, porém também com visões diferentes (BRUNEAU *et al.*, 2003; KHALILI;

HARRE; MORLEY, 2015; SINGH-PETERSON *et al.*, 2014; YOON; KANG; BRODY, 2016). Os principais desafios que um pesquisador se depara na área de resiliência são relacionadas pelas interações complexas entre sistemas, *feedbacks* não lineares, variação espacial, variação temporal e as dificuldades práticas de medir a resiliência (DAVIDSON *et al.*, 2013; KOTZEE; REYERS, 2016; MARSHALL, 2007). Resiliência voltada para desastres possui suas especificações quando comparado a outras resiliências como a econômica e a estrutural. Essa especificidade é importante para que a aplicação seja otimizada, pois os domínios de atuação e indicadores são distintos (KONTOKOSTA; MALIK, 2018).

O indicador de falta de resiliência possui a capacidade de identificar dados referentes a enfrentamento e recuperação de um desastre e constará de 7 indicadores:

- Rede de comunicação: Nesse subindicador foram utilizados dados como ocorre o contato com os moradores. Identifica-se em que há pelo menos 4 meios de comunicação disponíveis (i.e., rádio, celular, jornal internet (redes sociais) e televisão, por exemplo). Esse número, além de ter a flexibilidade de vários meios de comunicação, demonstra o grau de relação entre a população e os órgãos responsáveis pela mitigação dos efeitos de uma inundação. Os dados foram obtidos através da defesa civil de Lajeado/RS (Tabela 27).

Tabela 27 - Classes do subindicador rede de comunicação.

Classe	Quantidade de meios de comunicação para alertar a população	Classificação
<b>Crítico</b>	$\leq 1$	4
<b>Alerta</b>	2	3
<b>Atenção</b>	3	2
<b>Bom</b>	$\geq 4$	1

- Taxa de analfabetos: Nesse subindicador identificamos o percentual de pessoas com capacidade de ler e escrever. Assim, esse subindicador tenta esclarecer a capacidade mínima das pessoas em conseguir ler e entender algum documento com 12 anos de idade ou mais (GOERL, 2010). Os dados foram obtidos do censo de 2010, variável geográfica V009 até V0077, do arquivo Pessoas01 (IBGE, 2010b) (Tabela 28).

Tabela 28 - Classes do subindicador de taxa de pessoas não alfabetizadas.

<b>Classe</b>	<b>% de pessoas analfabetas</b>
<b>Crítico</b>	> 75
<b>Alerta</b>	> 50 e ≤ 75
<b>Atenção</b>	> 25 e ≤ 50
<b>Bom</b>	≤ 25

- Ausência de instituições de gestão de riscos de desastres: Nesse subindicador identificamos se existem instituições que trabalham na prevenção e mitigação, preparação, resposta e recuperação de desastres. Assim, entendemos que ter entre 1 (uma) a 4 (quatro) instituições contribuem para diminuir os efeitos de uma inundação. Categorizamos da seguinte maneira: Centro de pesquisa científica (i.e., universidade ou centro de pesquisa na região que possua trabalhos e cooperações com outras esferas da sociedade) para prevenção e mitigação; Sistema ou sala de alerta em qualquer esfera executiva para preparação; Secretaria ou coordenadoria de defesa civil, corpo de bombeiros e estrutura médica hospitalar para resposta e para recuperação. Os dados serão generalizados para todos os setores censitários (Tabela 29).

Tabela 29 - Classes do subindicador de instituições de gestão de riscos de desastres.

<b>Classe</b>	<b>Quantidade de instituições de gestão de desastres</b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	≤ 1	4
<b>Alerta</b>	2	3
<b>Atenção</b>	3	2
<b>Bom</b>	≥ 4	1

- Limite de rotas de evacuação: Nesse subindicador identificamos se existem rotas de evacuação, partindo da quantidade de km de vias arteriais ou de trânsito rápido por km<sup>2</sup>. Um alto valor de km por km<sup>2</sup> garante possibilidades de múltiplas fugas para as pessoas, mesmo que alguma esteja bloqueada. O método é adaptado de estudos que usam milhas (mi) por milhas ao quadrado (mi<sup>2</sup>) (BURTON, 2015; CUTTER; BURTON; EMRICH, 2010; KOTZEE e REYERS, 2016; MOGHADAS *et al.*, 2019). Os dados foram obtidos da Prefeitura de Lajeado (Tabela 30).

Tabela 30 – Classes do subindicador rotas de evacuação.

<b>Classe</b>	<b>Rotas de evacuação (km/km<sup>2</sup>)</b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	≤ 25	4
<b>Alerta</b>	> 25 e ≤ 50	3
<b>Atenção</b>	> 50 e ≤ 75	2
<b>Bom</b>	> 75	1

- Limitação de abrigos: Nesse subindicador identificamos se existem abrigos suficientes para toda a população. Os dados foram generalizados para todos os setores censitários e a quantidade de abrigos obtidos da Prefeitura de Lajeado. A metodologia segue aproximadamente o pensamento de (ANDRADE; SZLAFSZTEIN, 2018). São estruturas voltadas para abrigos e apoio psicológico por setor censitário (Tabela 31).

Tabela 31 – Classes do subindicador da quantidade de abrigos.

<b>Classe</b>	<b>Quantidade de estruturas</b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	≤1	4
<b>Alerta</b>	2	3
<b>Atenção</b>	> 2 e ≤ 5	2
<b>Bom</b>	> 5	1

- Ausência de residência própria: Nesse subindicador identificamos o percentual de residências que não são próprias e não quitadas. Nesse tipo de residência encontram-se as alugadas, as cedidas por empregador, cedidas de outra forma, próprias não quitadas e outras. Esse subindicador identifica que quanto maior for o percentual, maior é a população que pode sofrer por não possuir a posse sobre a residência e ter que dividir a sua renda para arcar com os custos de uma, além de adquirir outros bens perdidos durante uma inundação. Assim, podendo ocorrer somas altas de recursos financeiros até alcançar uma normalidade no bem-estar social. Os dados foram obtidos do censo de 2010 (IBGE, 2010b), variável geográfica V007 até V010, arquivo Domicilio01 (Tabela 32).

Tabela 32 – Classes do subindicador de percentual de população sem residência própria e quitada.

**Classe**    % da população sem residência própria ou própria não quitada

<b>Crítico</b>	> 75
<b>Alerta</b>	> 50 e ≤ 75
<b>Atenção</b>	> 25 e ≤ 50
<b>Bom</b>	≤ 25

- População com necessidade de assistência social: Nesse subindicador identificamos o percentual da população com rendimento mensal que depende auxílio sociais governamentais ou de outras fontes. No Brasil, identificamos o bolsa-família como principal fonte de auxílio. Esse subindicador quanto maior for, demonstra que a população pode ter maior dificuldade para se recuperar de um desastre originado de uma inundação. Os dados foram obtidos do ministério da cidadania (MINISTÉRIO DA CIDADANIA, 2020) (Tabela 33). Os dados estão a nível municipal.

Tabela 33 – Classes do subindicador da população com necessidade de assistência social.

<b>Classe</b>	<b>% da população que necessita de auxílios financeiros externos como renda</b>
<b>Crítico</b>	> 75
<b>Alerta</b>	> 50 e ≤ 75
<b>Atenção</b>	> 25,1 e ≤ 50
<b>Bom</b>	≤ 25

Abaixo descrevemos os subindicadores que estavam dentro do limite dos 15 escolhidos para o método AHP, porém não se enquadram para aplicação nesse indicador:

- Percentual da população com curso superior: Aplicado no indicador de falta de capacidade adaptativa;
- Acesso a veículos: Dados inviáveis, apenas em nível municipal, sem possibilidade de delimitar percentuais de acesso a veículos;
- População dependente: Aplicado no indicador de suscetibilidade;
- Serviço de Emergência/Saúde por 10.000 habitantes/Total de leitos hospitalares: Aplicado como subindicador Leitos hospitalares por 10.000 habitantes no indicador suscetibilidade;
- Total de agentes de saúde/ou médicos: Aplicado como subindicador Leitos hospitalares por 10.000 habitantes no indicador suscetibilidade;
- Plano de Saúde: Seria preciso uma pesquisa extensa e custosa;

- Taxa de desemprego/Taxa de emprego: Dados possíveis de ser aplicado em escala municipal, porém em setores censitários, seria preciso uma pesquisa extensa e custosa. Além disso, o dado é dinâmico;
- Renda familiar/Renda Per Capita/Renda por ano familiar: Aplicado no indicador de suscetibilidade;
- Percentual de população com pertencimento do Bairro/Comunidade/Vivendo mais de 10 anos no local/Vivendo mais 5 anos no local/Unidades ocupadas: Seria necessária uma pesquisa extensa e custosa;
- População (Densidade)/Família por casa/Densidade residencial: Aplicado indicador de exposição.

#### **5.7.4 Indicador de falta de capacidade adaptativa**

Os estudos de mudanças climáticas foram preponderantes para o surgimento de novos termos e áreas de estudos. Esse tipo de estudo tem agregado em suas análises de forma recorrente os conceitos de adaptação, todavia para alcançar uma adaptação efetiva é preciso ter capacidades, que são chamadas de capacidade adaptativas. Essa capacidade deve captar preparações para o stress que um evento pode causar ou mudanças antecipadas pré-evento. Além disso, capta ajustes e respostas aos efeitos causados pelo stress do evento (ENGLE, 2011).

Em resumo, as capacidades são os primeiros conjuntos de recursos internos que as pessoas possuem para lidar com os perigos (GAILLARD; CADAG; RAMPENGAN, 2019), podendo ser aplicados a comunidades e a um sistema de maior escala.

Partindo dessas premissas, o indicador de falta de capacidade adaptativa se encaixa com dados referentes a preparações, mudanças, ajustes e respostas de um desastre e consta de 4 indicadores:

- Percentual de população sem curso superior: Nesse subindicador identificamos o percentual da população com ensino superior completo. Uma sociedade com maior capacidade de conhecimento tende a ter um maior discernimento de percepção de risco, possibilitando participar mais ativamente na construção de uma adaptação, contribuindo para uma menor vulnerabilidade. Os dados foram obtidos do censo de 2010 (IBGE, 2010b), no sítio com infográfico (IBGE, 2010a) (Tabela 34). É um dado que apenas está disponível em nível municipal, por isso, foi generalizado para todo município.

Tabela 34 – Classes do subindicador da população com curso superior.

<b>Classe</b>	<b>% de pessoas sem curso superior</b>
<b>Crítico</b>	$\geq 75$
<b>Alerta</b>	$> 50$ e $\leq 75$
<b>Atenção</b>	$> 25$ e $\leq 50$
<b>Bom</b>	$\leq 25$

- **Envolvimento da sociedade:** Esse subindicador tem a capacidade de identificar a quantidade atores sociais que atuam para facilitar o fluxo de engajamento, aprendizagem, adaptação, transformação, além de ajudar no suporte à emergência e com capital financeiro (ANDRADE; SZLAFSZTEIN, 2018; PARSONS *et al.*, 2016). Os dados dos atores foram obtidos junto à prefeitura de Lajeado e seguindo a metodologia de Andrade e Szlafsztein (2018) (Tabela 35).

Tabela 35 - Classes do subindicador da falta de envolvimento da sociedade.

<b>Classe</b>	<b>Quantidade de atores sociais envolvidos em eventos de desastres</b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	$\leq 1$	4
<b>Alerta</b>	2	3
<b>Atenção</b>	3	2
<b>Bom</b>	$\geq 4$	1

- **Políticas para o meio ambiente:** O subindicador tem por objetivo identificar se o município possui legislações 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. Dados obtidos das legislações municipal (Tabela 36).

Tabela 36 - Classes do subindicador de políticas para o meio ambiente.

<b>Classe</b>	<b>Quantidade de leis, decretos, normas ou código ambientais</b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	$\leq 1$	4
<b>Alerta</b>	2	2
<b>Atenção</b>	3	3

**Bom**  $\geq 4$  1

- Sistema de alerta: Um sistema de alerta antecipado pode ajudar uma comunidade para iniciar um comportamento proativo, se preparar e/ou iniciar medidas de preventivas (SHAH *et al.*, 2018). Os indicadores que são importantes para determinar se o sistema de alerta possui tempo suficiente para retirada de pessoas, se o conteúdo repassado é detalhado, se o sistema é considerado confiável (GAIN *et al.*, 2015) e se os meios de comunicação para repassar a informação são suficientes. Os dados foram obtidos da prefeitura de Lajeado (Tabela 37).

Tabela 37 - Classes do subindicador do sistema de alerta.

<b>Classe</b>	<b>Quantidade de características que qualificam o sistema de alerta</b>	<b>Classificação</b>
<b>Crítico</b>	$\leq 1$	4
<b>Alerta</b>	2	3
<b>Atenção</b>	3	2
<b>Bom</b>	$\geq 4$	1

Abaixo descrevemos os subindicadores que estavam dentro do limite dos 15 escolhidos para o método AHP, porém não se enquadram para aplicação nesse indicador:

- Acesso à Energia: Baseado no que é discutido na seção 4, não se aplica ao indicador de falta de capacidade adaptativa;
- Taxa de desemprego/Taxa de emprego: Dados possíveis de ser aplicado em escala municipal, porém em setores censitários, seria preciso uma pesquisa extensa e custosa. Além disso, o dado é dinâmico;
- Infraestruturas críticas: Aplicado no indicador de exposição;
- Rede de Comunicação: Aplicado no indicador de falta de resiliência;
- Leitos hospitalares: Aplicado no indicador de suscetibilidade;
- Sexo do chefe de família: Baseado no que é discutido na seção 4, não se aplica ao indicador de falta de capacidade adaptativa;
- Recursos Econômicos: Aplicado através de outros subindicadores em indicadores como suscetibilidade;



## 5.8 Índice de risco

Entendendo que risco é função de perigo multiplicado pela vulnerabilidade (Equação (11)), serão definidos os valores do índice de risco para cada setor censitário, após ponderação e hierarquização.

$$Risco = Perigo \cdot Vulnerabilidade \quad (11)$$

A divisão dos resultados foi realizada da seguinte maneira, tanto para o subíndice de perigo, subíndice de vulnerabilidade e índice de risco, além dos subindicadores, é importante a visualização de cada resultado, pois quando há agregação dos resultados sempre há uma perda de informação (BIRKMANN *et al.*, 2011). Os resultados irão variar de 0 a 1:

Bom:  $\leq 0,25$  - Resultado satisfatório, normalmente não precisam de intervenções;

Atenção:  $> 0,25$  e  $\leq 0,50$  - Região que necessita de algum nível de intervenção para evitar custos de recuperação muito altos;

Alerta:  $> 0,50$  e  $\leq 0,75$  - Região que necessita de intervenção prioritária;

Crítico:  $> 0,75$  - Região que necessita de intervenção imediata pela criticidade do potencial de risco.

## 5.9 Metodologias de comparação

A metodologia de GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012) foi escolhida para desenvolver uma análise de tendência de correlação dos resultados, e quais índices ou indicadores são mais sensíveis no índice de risco proposto.

A escolha dessa metodologia se deve a proximidade de ideias, pois as duas análises entendem que risco é função de perigo pela vulnerabilidade, utiliza a escala de melhor precisão atualmente no Brasil (e.g., setor censitário) para nível municipal, além da facilidade replicação.

De acordo com a proposta GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012), o índice de perigo é determinado a partir do percentual de área inundada em relação ao total da área do setor censitário, descrito na Equação (12).

$$PE = \frac{AI}{AT} \quad (12)$$

Em que: *PE* é o perigo estimado, *AI* é a área inundada no setor e *AT* é a área total do setor censitário.

O percentual de área inundada será determinante para estruturar as classes de perigo (Tabela 38).

Tabela 38 – Percentual de área inundada no setor censitário.

Classe	% de área inundada do setor censitário
Muito alta	> 75
Alta	> 50 e ≤ 75
Média	> 25 e ≤ 50
Baixa	≤ 25

O índice de vulnerabilidade é determinado a partir de 6 (seis) variáveis sociais divididas pelo Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M). O resultado será normalizado a partir do pior resultado para o melhor resultado. Assim, o estudo generaliza o IDHM para todo os setores (Equação (13)).

$$IV = \frac{Dd + Nm + Mm + TxD + E + R}{IDHM} \quad (13)$$

Em que:  $Dd$  é a densidade demográfica (hab/km<sup>2</sup>),  $Nm$  é o número de moradores no setor,  $Mm$  é a média de moradores por residência,  $TxD$  é a taxa de dependência (idosos (> 60 anos) e jovens (<12 anos),  $E$  é a educação (taxa de analfabetos acima de 12 anos),  $R$  é a renda (responsável sem rendimento ou com até 1 salário-mínimo) e  $IDH-M$  é o Índice de Desenvolvimento Humano do Município. O  $IDH-M$  é obtido pela média aritmética de três subíndices, referentes às dimensões Longevidade (IDH-Longevidade), Educação (IDH-Educação) e Renda (IDH-Renda). Ressalta-se que IDHM é um valor único para todo o município.

Por fim, destaca-se que o índice de risco é igual ao apresentado por esse trabalho anteriormente, sendo descrito pela Equação (14).

$$IR = PE \cdot IV \quad (14)$$

Em que:  $IP$  é o índice de risco,  $PE$  é o perigo estimado e  $IV$  é o índice de vulnerabilidade.

## 6 APLICAÇÃO, DISCUSSÕES E LIMITAÇÕES

Os itens a seguir apresentam uma análise dos produtos obtidos nesse estudo, a partir de uma aplicação da metodologia proposta à Bacia do Taquari-Antas, no Rio Grande do Sul. Esses itens se encontram divididos em 4 (quatro) grandes marcos. Primeiramente, é apresentado o produto das relações entre os termos e conceitos relacionados ao risco de desastres (item 6.1). Essa análise fundamentou os índices e indicadores utilizados nesse estudo e contribuiu em uma publicação em periódico sobre essas terminologias (MONTE *et al.*, 2021). Posteriormente, são apresentados os produtos relacionados ao subíndice de perigo e, também, sobre a suscetibilidade física como um substitutivo do Perigo, quando da falta de dados da representação física do fenômeno. O terceiro ponto foca na análise da dinâmica da esfera do social do sistema analisado, que neste trabalho se refere à escala municipal e respectivos setores censitários. O último passo é voltado para análises comparativas com outras metodologias.

Para os itens 6.2, 6.3 e 6.4, a Figura 24 servirá como guia para identificar os bairros relacionados com os setores censitários e o Apêndice E 1 lista todos os setores censitários e os bairros associados no município de Lajeado/RS.

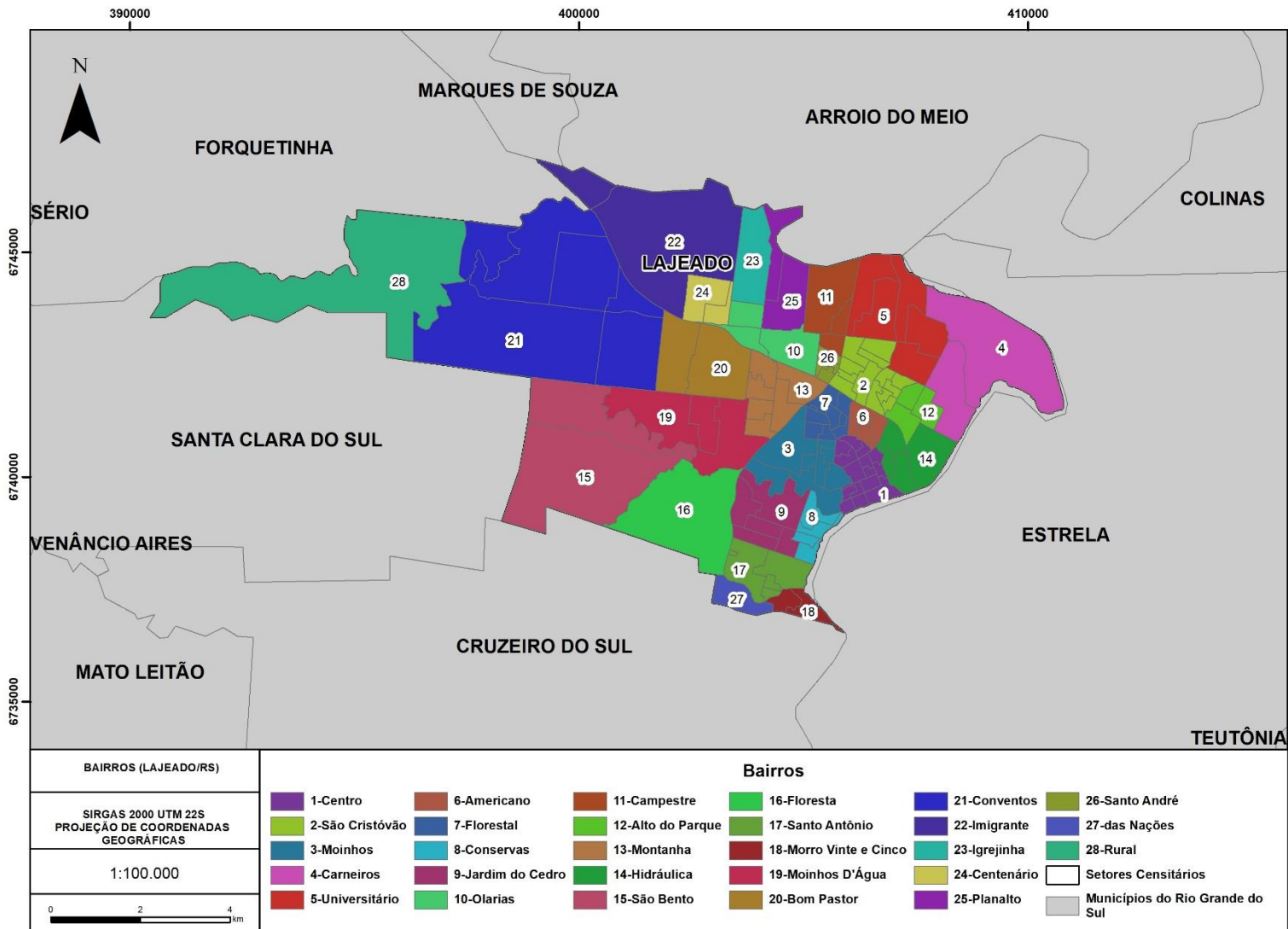


Figura 24 – Bairros do município de Lajeado/RS.

## 6.1 Relações entre os termos da área de desastres

As conexões entre os termos nas áreas de desastres fundamentam e direcionam o pesquisador e/ou técnico a estruturar o estudo, o método a ser utilizado e sua finalidade. Em outras palavras, saber usar os termos corretos melhora o direcionamento de recursos financeiros e esforços, evita redundâncias, ineficiência e a falsa segurança, esta que pode levar até a desastres piores. Abaixo será discutido de forma sucinta o que é entendido para cada termo, algo que já foi discutido com maior profundidade no item 4 ou uma análise mais completa pode ser obtida na publicação (MONTE *et al.*, 2021).

Analisando que o estudo aqui proposto é algo projetado ou simulado, o termo risco, que se traduz em incerteza, é reprodução de um potencial desastre. E o desastre nada mais é que a efetivação de um possível risco.

O risco sendo um potencial desastre, e um desastre sendo algo que inerentemente precisa do contexto social para existir, é possível resumir a ideia do risco como uma função entre perigo e vulnerabilidade.

Perigo e vulnerabilidade são produtos de duas esferas que se complementam. Perigo aborda apenas a questão de um potencial fenômeno natural causando efeitos prejudiciais a sociedade, a partir de características específicas. Quando não há os dados necessários para reproduzir um perigo, soluções podem ser buscadas através da suscetibilidade física, conceito que reúne características físicas que possam favorecer a existência de um perigo.

Vulnerabilidade está conectada com o fator da sociedade e as dinâmicas ao qual estão envolvidos, a partir de seus aspectos físicos, sociais, culturais, econômicos, tecnológicos e políticos. Essas questões podem ser traduzidas em indicadores de exposição, suscetibilidade, resiliência e capacidade adaptativa. Isso exemplifica como a vulnerabilidade é uma questão complexa exatamente por envolver o fator humano no seu foco, algo que torna a análise da vulnerabilidade um desafio para sua quantificação de forma assertiva.

Adentrando os indicadores de vulnerabilidade, a exposição pode ser conceituada como os elementos desprotegidos de uma sociedade frente a um perigo, que neste caso, inclui a própria população e as suas estruturas. No caso da suscetibilidade/sensibilidade, a sua relação se dá pelo potencial dano que uma sociedade pode sofrer como resultado de um evento perigoso, e isso pode estar atrelado a questões sociais, econômicas e culturais, por exemplo. A resiliência, apesar de ser um conceito relativamente novo, e muitas vezes difícil de entender como se

insere no conceito de desastres, ou até confundido com a vulnerabilidade, é a capacidade que uma sociedade possui, sem auxílios externos, para perpassar pelo antes, durante e depois de um evento perigoso e retornar para um estado de bem-estar semelhante ao existente antes do evento. A definição de capacidade adaptativa, um termo também novo, é relacionada a uma sociedade com capacidade de corrigir a estrutura e/ou comportamento, diminuindo o potencial para novos perigos.

Em complemento aos termos e conceitos acima, é essencial destacar que o termo adaptação, muito utilizado nos estudos de mudança climática, possui o potencial de intervir na sociedade, partindo de oportunidades ou lições aprendidas, para diminuir a vulnerabilidade. São 3 (três) possibilidades: adaptação reativa (ocorrer após o desastre), adaptação proativa (ocorre de forma antecipada baseada em conhecimento teórico ou conhecimento antigo) e a má adaptação (resultados de intervenções que produzem piora da vulnerabilidade da sociedade), conforme representado na Figura 25 e na Figura 26.

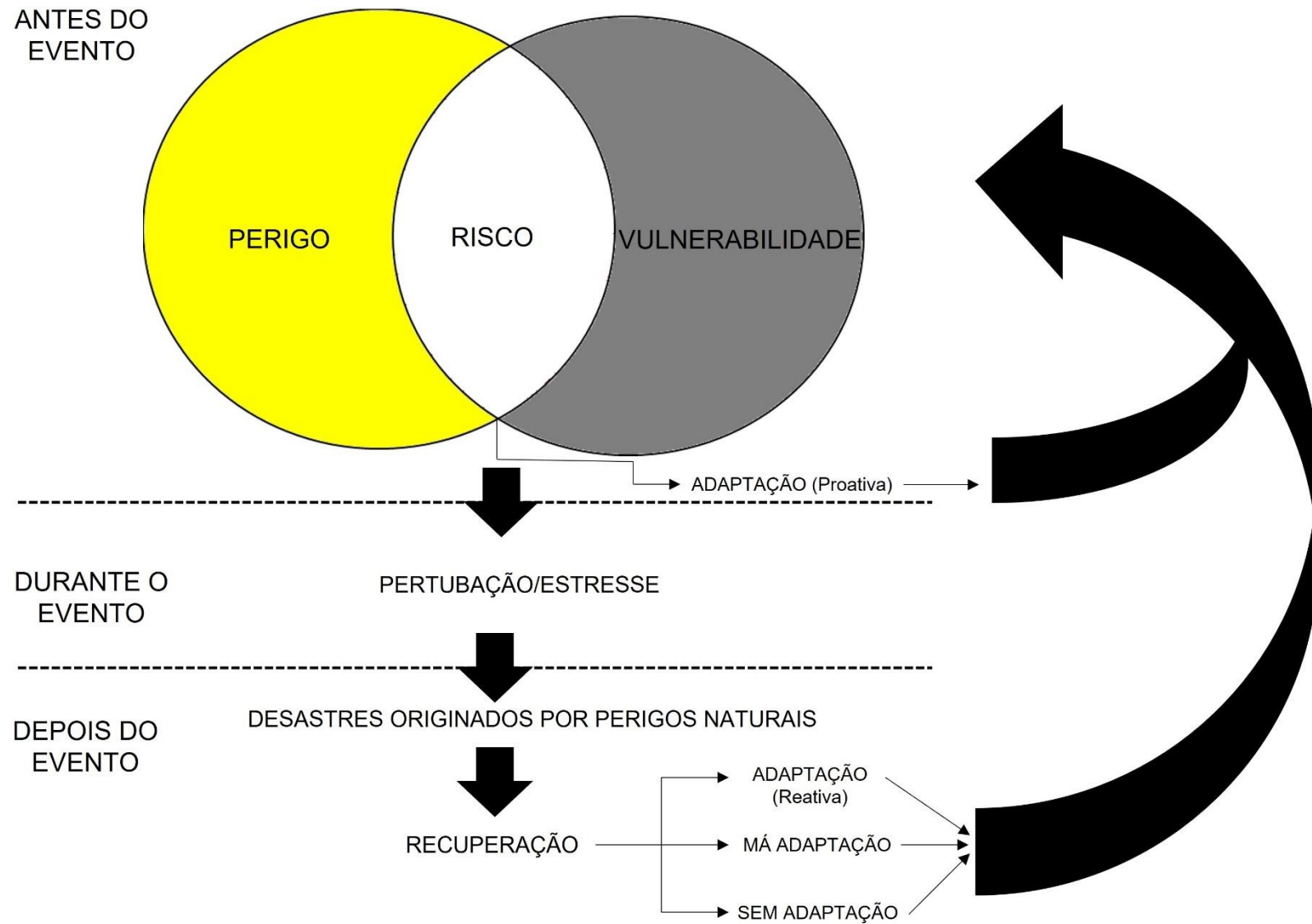


Figura 25 - Diagrama do processo de risco e a correlação dos termos na área de desastres (Adaptado de Monte *et al.* (2021)).

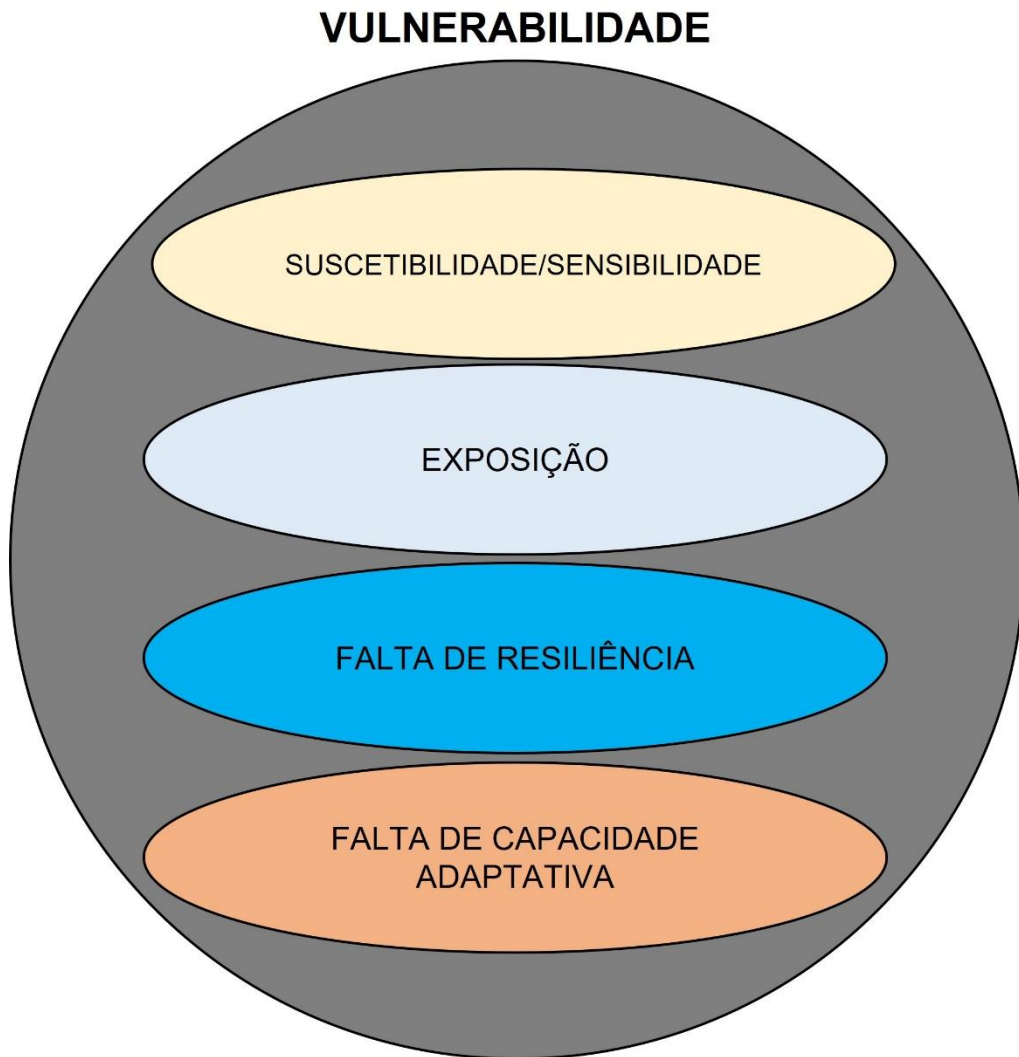


Figura 26 - Indicadores que constituem a vulnerabilidade.

## 6.2 Representação do fenômeno físico na área de estudo

### 6.2.1 A dinâmica do perigo na área de estudo

No intuito de obter 4 (quatro) classes para o índice de risco, foram gerados 3 eventos para os tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos, e a quarta classe ficou denominada para qualquer evento acima de 100 anos, a qual representaria a classe com menor perigo, devido a menor probabilidade de ocorrência. Os valores de vazão, os parâmetros e variáveis são apresentados no capítulo 5.5.1.

As manchas de inundação simuladas e as classificações de perigo podem ser analisadas na Figura 27. A área urbana inundada difere relativamente pouco entre os eventos, o que demonstra que uma baixa recorrência (i.e., TR 10 anos) já causa danos consideráveis. Além disso, destaca-se que a classe crítica domina a maior parte da mancha de inundação para qualquer dos eventos (i.e., excetuando a classe Bom), todavia predomina com maior área no tempo de retorno de 10 anos (Tabela 39 e Figura 27).



Os dados utilizados para o índice de risco foram originados da junção dos dados dos 3 (três) mapas de perigos citados anteriormente, em que o método foi demonstrado no item 5.5.2. De acordo com a Figura 27, a maior parte das áreas que são inundadas e que se dividem entre as classes crítica, alerta e atenção, tem uma maioria considerável na classe crítica, seguida por alerta e atenção para as demais áreas, que são pequenas bordas entre as classes crítica e bom. Os setores censitários mais afetados são de bairros ribeirinhos do rio Taquari-Antas (i.e., Jardim do Cedro, Conservas, Moinhos, Centro, Hidráulica e Carneiros) e ribeirinhos do arroio Forqueta (i.e., Planalto, Igrejinha, Campestre, Imigrante, Universitário e Carneiros), que, quando afetados pela inundação, provavelmente possam estar em perigo crítico (Tabela 39, Tabela 40 e Figura 28).

A dinâmica principal das inundações em Lajeado/RS ocorre quando o aumento progressivo de vazões causa remanso nos pequenos arroios da área urbana da cidade, iniciando o processo de inundação gradual que, ao atingir cotas maiores, promove a inundação da área de planície do rio Taquari-Antas e arroio Forqueta.

Tabela 39 – Percentual de área para cada classe de análise do perigo em cada tempo de retorno.

Classe	Área (%)		
	TR 10 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
<b>Crítico</b>	4,83	5,63	6,13
<b>Alerta</b>	0,13	0,84	0,00
<b>Atenção</b>	0,00	0,08	0,80
<b>Bom</b>	95,04	93,45	93,07

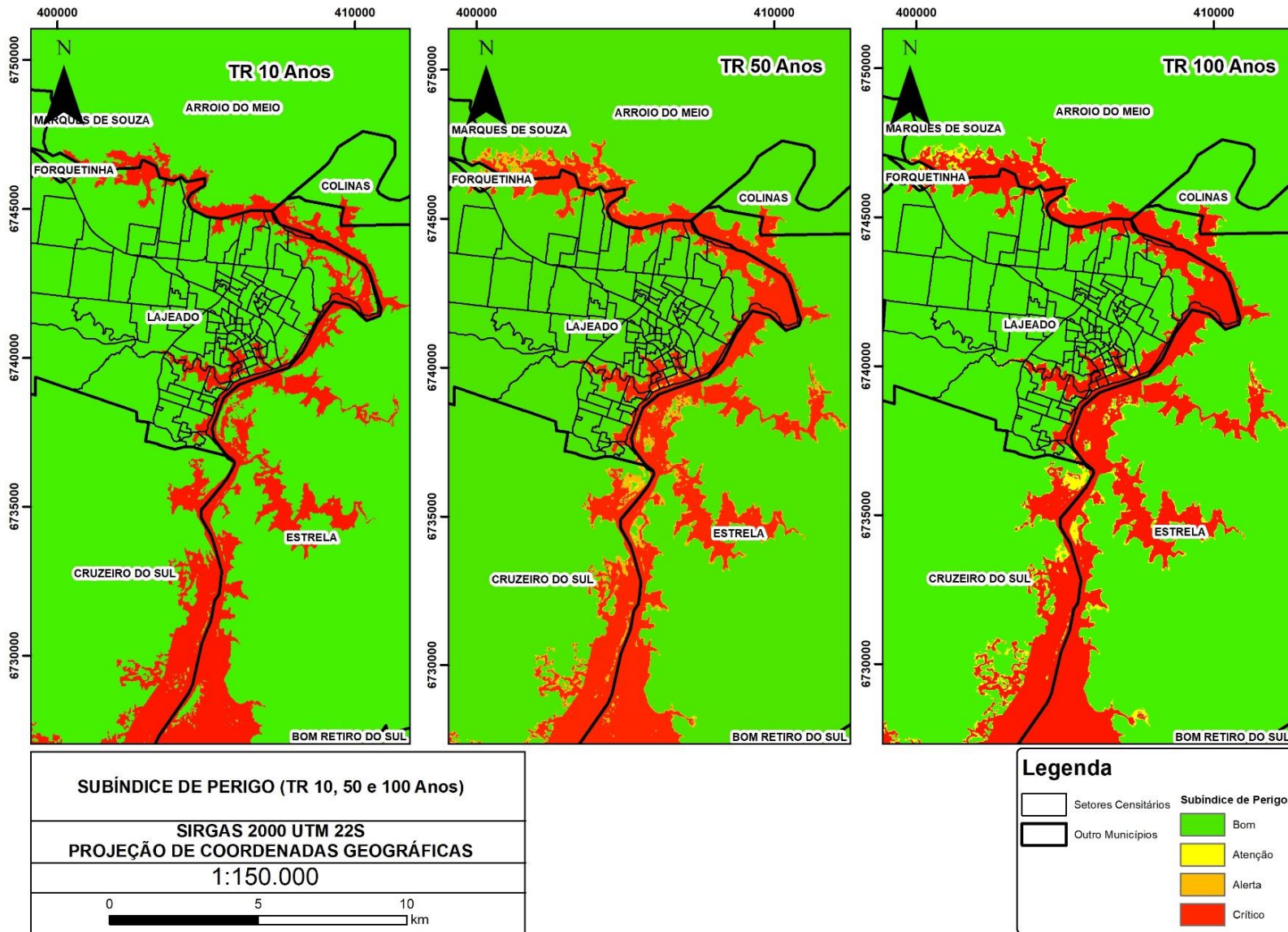


Figura 27 - Subíndice de perigo para cada tempo de retorno retratado em forma de mapa.

É importante ressaltar que nenhum nível de perigo (Crítico, Alerta ou Atenção) foi identificado em locais como vias de transporte, geralmente usadas para escoamento; além disso, estruturas de uso público múltiplo com hospitais e escolas, devem no máximo, estar em áreas de perigo baixo (MONTEIRO; KOBİYAMA, 2013).

As limitações quanto ao subíndice de perigo têm relação direta com os dados disponíveis para simulação hidrodinâmica da inundação, sendo delimitadas ao fim do item 5.5.1. Contudo, é possível identificar que o delineamento do canal dos rios através de topobatimetria, dados de nível e vazão dos cursos d'água mais relevantes, condições de contorno de montante e jusante adequadas, estruturas hidráulicas que influenciem a dinâmica das inundações (i.e., pontes, barragens, diques, bombas) e MDTs, quando não disponíveis ou com qualidade limitada para escala estudada, podem causar variações nos resultados de velocidade e profundidade, e por consequência, obtendo resultados de perigo deturpados.

Tabela 40 – Área em km<sup>2</sup> e percentual das classes do subíndice de perigo final.

Classe	Subíndice de Perigo	
	Área (km <sup>2</sup> )	%
<b>Crítico</b>	76,65	6,12
<b>Alerta</b>	5,56	0,37
<b>Atenção</b>	4,59	0,44
<b>Bom</b>	1165,16	93,07
<b>TOTAL</b>	1251,96	100,00

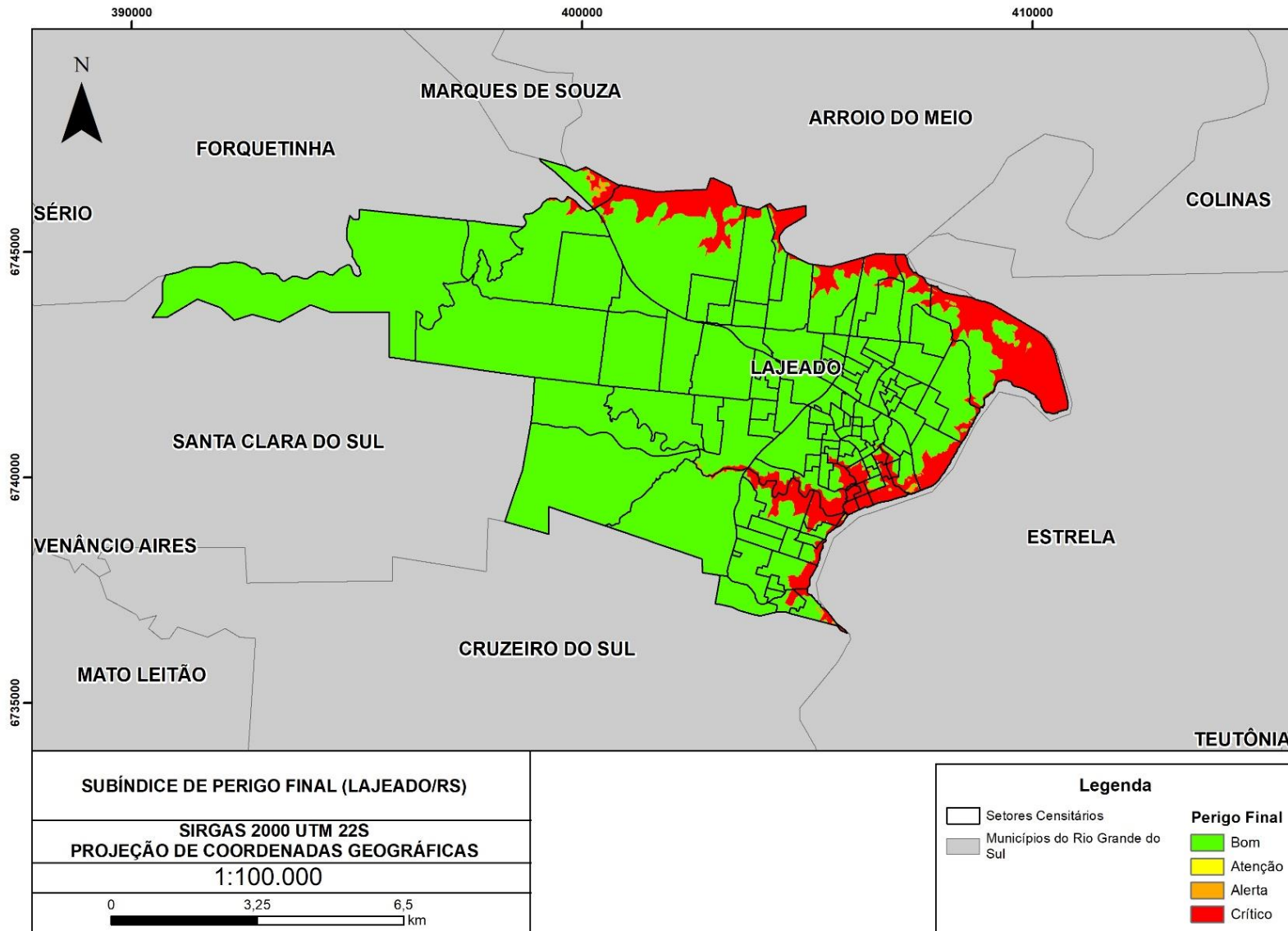


Figura 28 - Subíndice de perigo final em forma de mapa.

## 6.2.2 O comportamento da suscetibilidade física como possível substituto do perigo

Devido às limitações em dados que capacitem a reprodução de uma inundação através de modelos hidrodinâmicos, pequenas localidades ou localidades pouco habitadas podem não ter capacidade de gerar índices de risco. Nesse intuito, soluções alternativas podem tentar replicar as condições para um mapa de perigo. Assim, pode-se classificar o perigo como subíndice de suscetibilidade física, utilizando análise multicritério. Os resultados são demonstrados através das análises *fit*, *kappa*, conforme descritas no item 5.6, (Tabela 41, Tabela 42, Figura 29 e Figura 30).

Tabela 41 – Análise *fit* entre o subíndice de perigo e o subíndice de suscetibilidade física.

<i>Fit</i>	Percentual de paridade de cada classe (%)
<b>Crítico</b>	0,00
<b>Alerta</b>	0,33
<b>Atenção</b>	1,77
<b>Bom</b>	43,32

Tabela 42 - Análise *kappa* entre o subíndice de perigo e o subíndice de suscetibilidade física.

<i>Kappa</i>	Crítico	Alerta	Atenção	Bom
<b>Crítico</b>	2280	18642873	58927788	279463
<b>Alerta</b>	0	64683	589007	86971
<b>Atenção</b>	0	104092	1161588	317178
<b>Bom</b>	0	242403	4226811	3939650
<b>Total de células</b>	88584787			
<b>Índice Global (%)</b>	5,83			
<b>Índice Kappa (%)</b>	0,04			

Na prática, os valores visualmente e estatisticamente apresentados mostraram alta variabilidade entre o subíndice de perigo e subíndice de suscetibilidade física, demonstrando que, para a presente aplicação, o subíndice de suscetibilidade física com os indicadores utilizados, não foi um bom substituto. Dentre as causas, é possível afirmar que os indicadores utilizados são apropriados para estudos drenagem urbana

(e.g., pontos de alagamento ou inundação em bacias hidrográficas urbanizadas) e alguns estudos usados como base para achar os indicadores ocorreram em área com alto adensamento urbano (ABEBE; KABIR; TESFAMARIAM, 2018; GIGOVIC *et al.*, 2017; LEE *et al.*, 2017; LIN; WU; LIANG, 2019; MAHMOUD; GAN, 2018; XU *et al.*, 2018) (Figura 29). Simplificando, pode ser um subíndice utilizado para áreas de alagamentos pontuais ou bacias urbanas, do qual, não é o foco desse estudo. Os indicadores de declividade, distância para o curso d'água e, principalmente, área urbanizada são exemplos. De fato, o resultado do subíndice de suscetibilidade física deveria seguir a tendência de interação dos rios e arroios e suas zonas ripárias, ou seja, áreas com médias e altas cotas em relação aos cursos d'água dificilmente seriam classificadas com perigo diferente de bom, e inclusive, esta é a que possui maior relação nas análises realizadas no indicador elevação (Figura 30).

Apesar dos resultados apresentados neste estudo serem negativos, salienta-se que a aplicação deve ser replicada em outros municípios com características similares e antagônicas para afirmar com maior propriedade que não é possível utilizar esse método como substituto do subíndice de perigo. Em resumo, eventos de inundação em bacia rural, urbana, alagamentos pontuais, além de serem graduais ou bruscas, possuem características únicas. Por isso, determinar sua dinâmica com poucos indicadores ou indicadores que não repliquem o fenômeno específico pode não refletir a dinâmica de um possível evento perigoso (JI *et al.*, 2013).

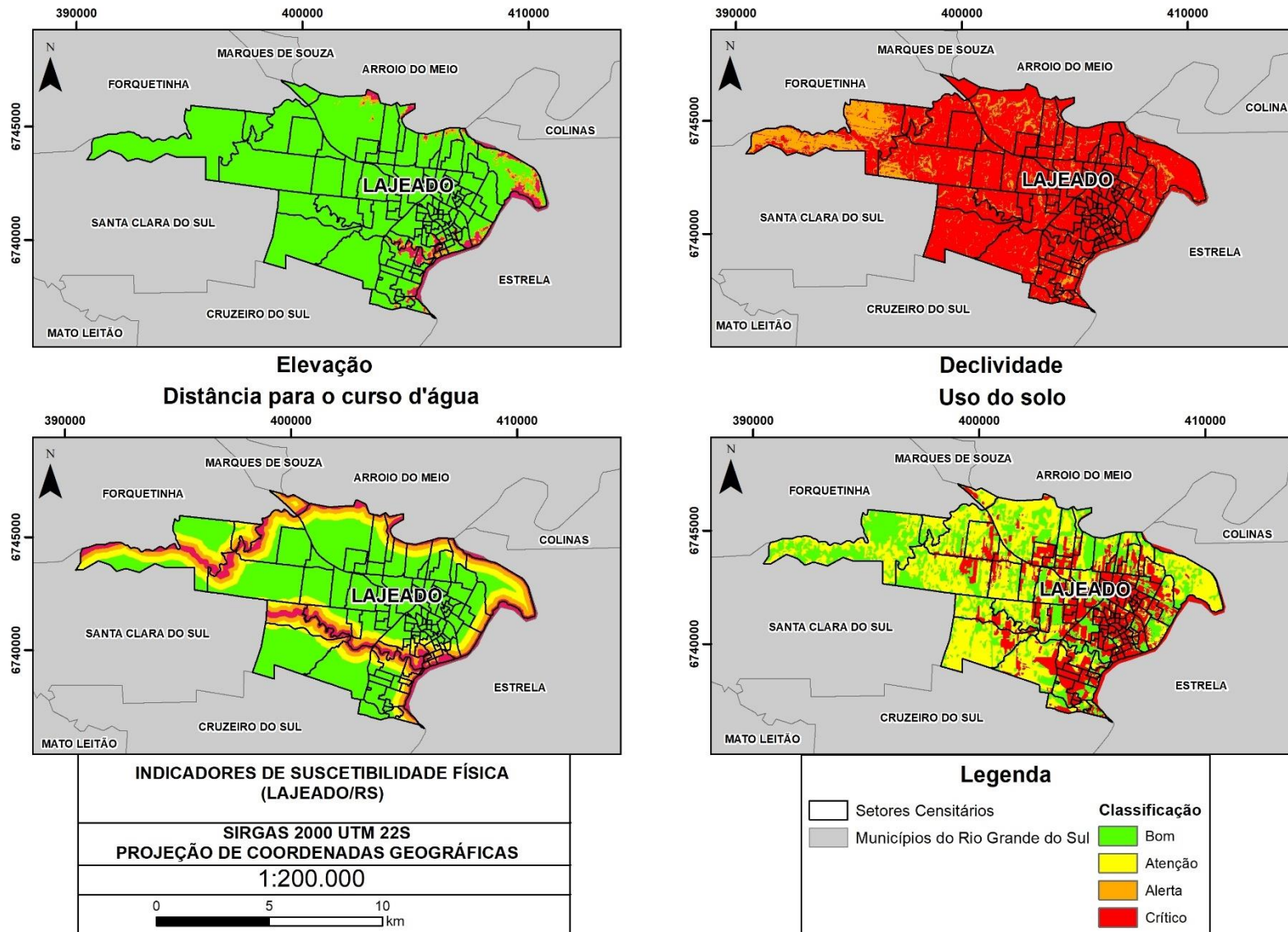


Figura 29 – Mapa do subíndice de perigo comparado com o subíndice de suscetibilidade física.

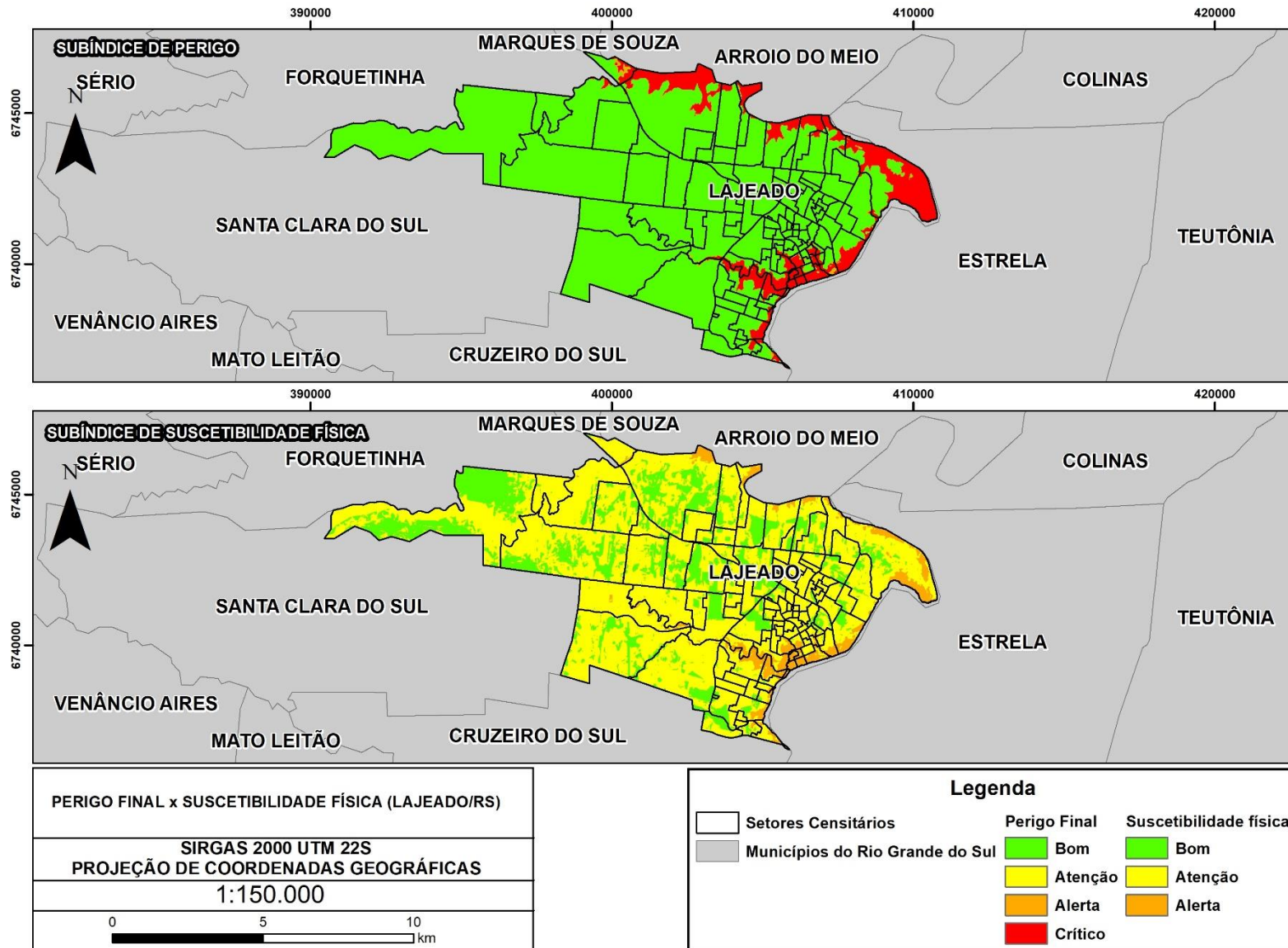


Figura 30 – Mapa do subíndice de perigo comparado com o subíndice de suscetibilidade física.



### **6.3 Desafiando a complexidade de quantificar os fenômenos sociais com dados acessíveis.**

#### **6.3.1 Os indicadores que constroem a vulnerabilidade**

##### **6.3.1.1 A sociedade exposta a fenômenos naturais**

A exposição dentro da estrutura de vulnerabilidade replica o quanto a sociedade ou o indivíduo está exposto a um evento perigoso. A Figura 31 apresenta o comportamento de cada subindicador selecionado para quantificar o efeito da exposição no município de Lajeado/RS:

- Densidade populacional: Bairros como Centro, Moinhos, Americano e Florestal possuem um nível crítico para alerta. Esse era um resultado previsível, por esses bairros serem centro de atividades econômicas e populacionais (ROGELIS *et al.*, 2015), até mesmo perceptível pelo tamanho dos setores censitários. Algo parecido ocorre com os bairros Morro Vinte e Cinco, Santo Antônio e das Nações, porém em menos setores censitários. Os resultados demonstram que os bairros com maiores concentrações populacionais estão próximo ao rio Taquari-Antas, algo que já não ocorre nas áreas ribeirinhas do arroio Forqueta, embora seja uma área em expansão urbana.
- Densidade populacional por domicílio: Bairros com densidade populacional alta não apresentam relação direta com densidade populacional por domicílios, pois questões econômicas, sociais e culturais influenciam essa densidade. Além disso, a retirada de pessoas em localidades com alta densidade por domicílio tende a ser mais demorada. Os bairros com índice de alerta são Santo Antônio, Morro Vinte e Cinco, Conservas, Jardim do Cedro, Hidráulica e Carneiros na região do rio Taquari-Antas. Na região do arroio Forqueta destacam-se Igrejinha, Planalto, Campestre e Universitário. Há também alguns bairros para oeste, porém são distantes dos grandes cursos d'água principais.
- Infraestruturas críticas: Esse dado relaciona quais setores censitários concentram maiores quantidades de infraestruturas essenciais para o funcionamento da sociedade. Os setores mais críticos e alerta se

localizam nos bairros como o Centro, Morro Vinte e Cinco, Carneiros, Campestre e Universitário. De uma forma geral, as infraestruturas estão relativamente bem distribuídas. Também é um indicador influenciado pela concentração em bairros com maior disponibilidade de serviços, em sua maioria.

- Percentual de área ocupada: Esse indicador retorna resultados importantes para entender não só em que locais a população está situada, mas também as infraestruturas, e até identificar em que locais podem ter potencial crescimento populacional futuro. Os bairros com maior área ocupada em situação crítica ou alerta (i.e., urbanizada ou em processo de urbanização) estão os bairros: Centro, Americano, Jardim do Cedro, Moinhos, São Cristóvão, Alto Parque, Florestal, Olarias, Bom Pastor e Montanha. Na vertente do arroio Forqueta, o bairro Universitário se destaca com situação crítica.
- Tipo de moradia: A qualidade da moradia influencia diretamente se aquela estrutura é capaz de ser reutilizável após um evento de inundação. Moradias com material que alteram suas propriedades físicas e/ou químicas são destruídas ou ficam impossíveis de serem usadas novamente. Os bairros com qualidade crítica estão situados nas proximidades do arroio Forqueta: Igrejinha, Planalto e Campestre. Na área oeste há o bairro São Bento. Nas proximidades do arroio Taquari-Antas, os bairros com maior preocupação são Conservas, Santo Antônio e das Nações.

De maneira geral, o indicador de exposição apresentou um aspecto positivo que está relacionado à maioria dos dados serem determinados através de quantificação percentual, possibilitando mais clareza na variação de dados. São dados provenientes do IBGE ou da Prefeitura Municipal de Lajeado/RS. Apenas o subindicador de infraestruturas críticas precisou de uma classificação para normalizar com os demais subindicadores. Outro ponto importante é que nenhum dos subindicadores precisou ser diluído para todo o município, são dados que puderam ser diretamente identificados por setores censitários, o que facilita sua aplicação.

É perceptível na Figura 32 que a exposição é um indicador maduro (i.e., em termos de dados) e fácil de ser replicável na realidade brasileira, de modo que as variações entre setores censitários estão identificáveis. Os bairros na região próxima

ao rio Taquari-Antas estão mais expostos aos eventos perigosos, de forma crítica ou alerta. Para região do arroio Forqueta, essa questão varia de alerta para atenção, mas também requer uma preocupação, pois se demonstra uma área em expansão urbana.

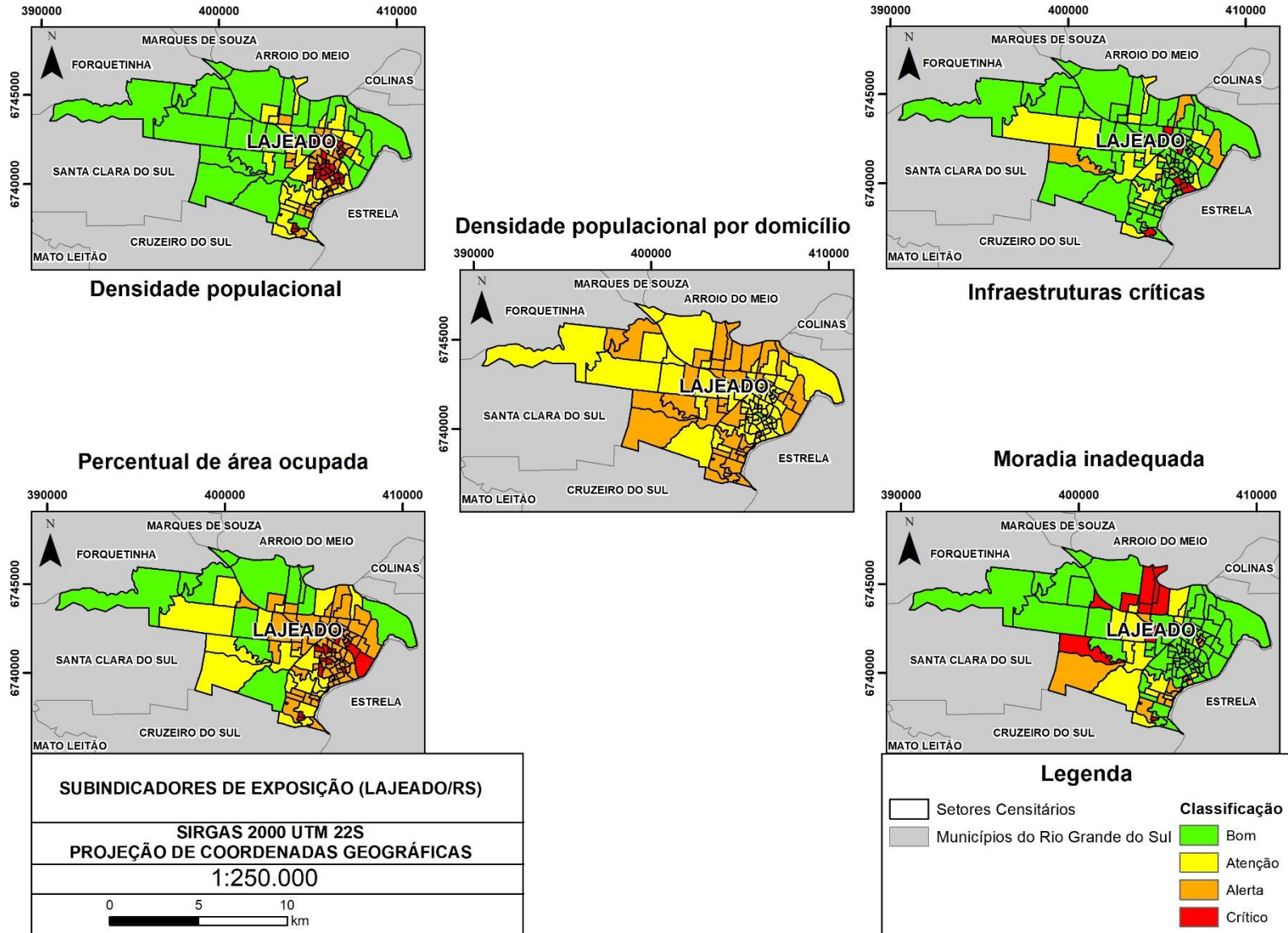


Figura 31 – Resultados dos subindicadores relacionados a exposição.

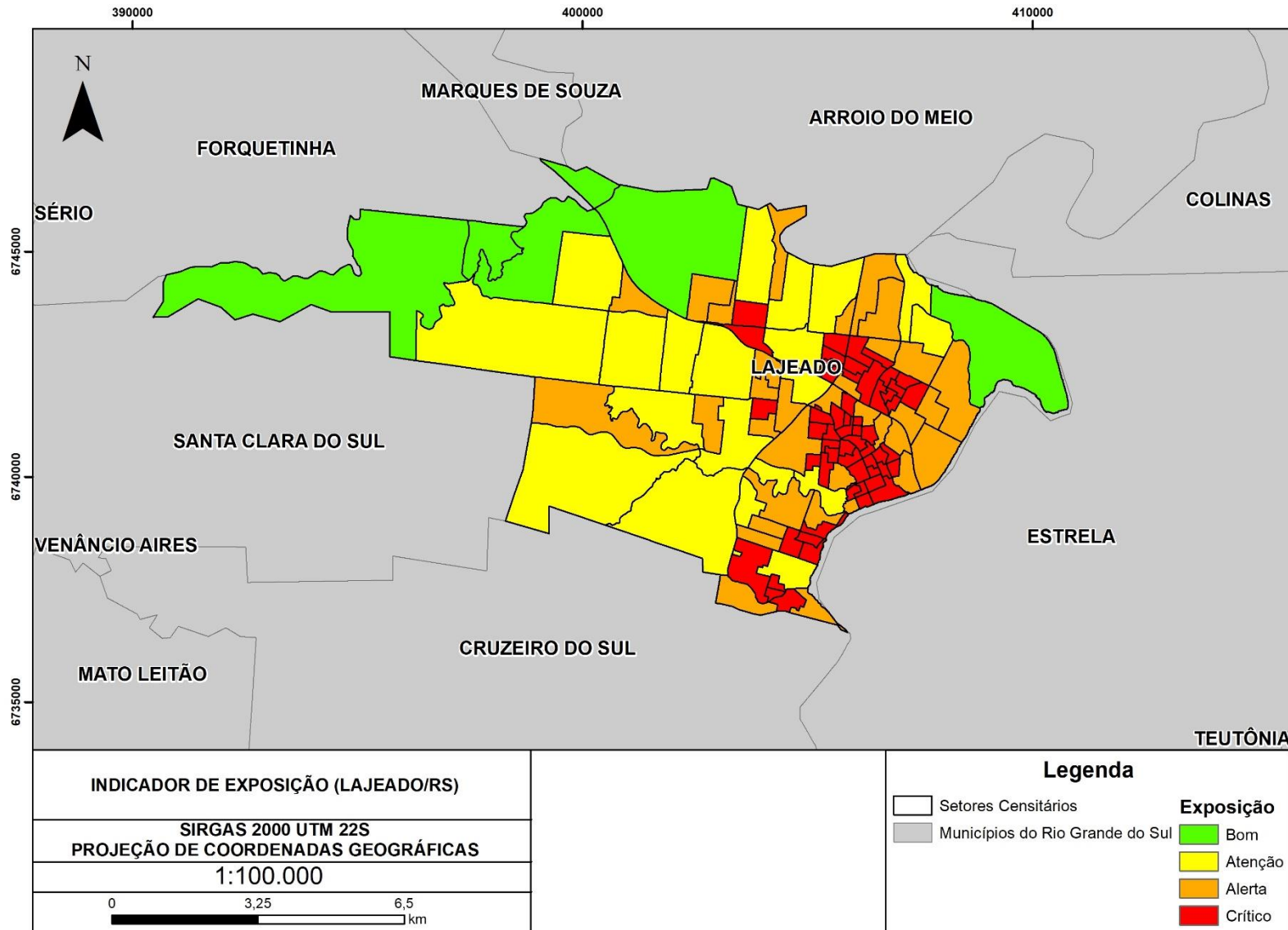


Figura 32 – Resultados do indicador de exposição.

### 6.3.1.2 A suscetibilidade atingindo as questões essenciais do indivíduo e da sociedade

O indicador de suscetibilidade retorna o potencial dano que a sociedade ou o indivíduo pode sofrer frente ao fenômeno natural, o que significa que os indicadores abaixo, de alguma forma, sintetizam questões sociais, econômicas e culturais no município de Lajeado/RS:

- Leitos hospitalares por 10.000 habitantes: Um subindicador importante para garantir acesso da população a saúde, mas não há classificações para determinar qual nível é aceitável. Existe apenas um indicador que é de aproximadamente 3 leitos por cada 1.000 habitantes, dados da OMS (FINKELSTEIN; BORGES JUNIOR, 2020). Nessa situação, foi criada uma própria classificação como demonstrado no item 5.7.2. O município de Lajeado possui um valor de 13,72 leitos para cada 10 mil habitantes, o que coloca todo o município em um nível de alerta.
- Falta de acesso a saneamento: Esse subindicador responde ao acesso ao saneamento básico, pois uma sociedade que possui esse tipo de prestação de serviços tende a sofrer menos com doenças de veiculação hídrica quando uma inundação ocorrer. Nesse tema, Lajeado possui uma boa qualidade nos seus índices, e as situações mais preocupantes com classes alerta e/ou atenção estão situados nos bairros Santo Antônio e das Nações nas proximidades do rio Taquari-Antas, e no Arroio Forqueta a preocupação maior são com os bairros Igrejinha e Planalto.
- Percentual de mulheres em relação a homens: Esse subindicador tem importância nas relações sociais e econômicas. A mulher como encarregada da família é responsável pelos aspectos econômicos, afetivos e bem-estar de outras pessoas, especialmente seus filhos e os idosos, além de, possivelmente, tarefas domésticas e da renda familiar (ROGELIS *et al.*, 2015). Essas características colocam a mulher mais suscetível a um evento perigoso. Nessa situação, replicando a realidade brasileira, boa parte dos setores censitários possuem uma quantidade que varia de 25 a 50 das mulheres como chefe de famílias.
- Renda familiar média: O subindicador que mais retrata a questão econômica refere-se a renda salarial familiar média. Essa questão é

premente, pois é o subindicador que, de maneira direta, garante uma recuperação da qualidade de vida a um patamar parecido ao anterior do fenômeno, e no menor tempo possível. No município de Lajeado, apesar de um bom IDH, a capacidade financeira ainda não é a melhor possível para se recuperar rapidamente. Embora os resultados não se apresentem críticos, trata-se de uma questão que ainda precise de melhorias, com poucos setores censitários com nível de atenção e nenhum bom.

- Percentual de população com dependência: Esse indicador evidencia questões relacionadas às pessoas com alguma limitação, desde física ou por incapacidade de responder rapidamente a aproximação de uma inundação, ou por questões sociais e econômicas, e relacionada a idade, jovens e velhos. Nesse quesito, todo o município se encontra em nível atenção, apenas um setor censitário possui um nível bom, ou seja, poucas pessoas dependentes.
- Linha da pobreza: O indicador que melhor representa as questões de pobreza extrema, pois se referem a população que não possui nenhuma capacidade de recuperar-se de uma inundação sem ajuda externa, sendo totalmente dependentes de instituições públicas ou privadas. Apenas dois setores censitários a oeste do município, localizado em regiões rurais apresentam nível de atenção, enquanto os demais possuem uma quantidade de pessoas na linha da pobreza abaixo de 25% da população.

O indicador de suscetibilidade possui a maioria dos dados sendo determinados através de quantificação percentual, mesmas características do indicador exposição, advindos de dados do IBGE. O subindicador de leitos hospitalares precisou de uma classificação para normalizar com os demais subindicadores; além disso, esse subindicador teve que ser diluído para todo município, um fator limitante, que dificilmente pode ser resolvido, pois infraestruturas de saúde tendem a ser mais centralizadas, o que deve colocar esse subindicador continuamente diluído a nível municipal (Figura 33).

O indicador de suscetibilidade também demonstra que possui uma boa estrutura (i.e., em termos de dados), sendo facilmente replicável na realidade brasileira. Boa parte do município ficou classificado entre o nível de alerta e o nível

atenção (Figura 34). Os subindicadores de renda salarial familiar, leitos hospitalares e pessoa com dependência foram os mais determinantes na definição desses resultados.



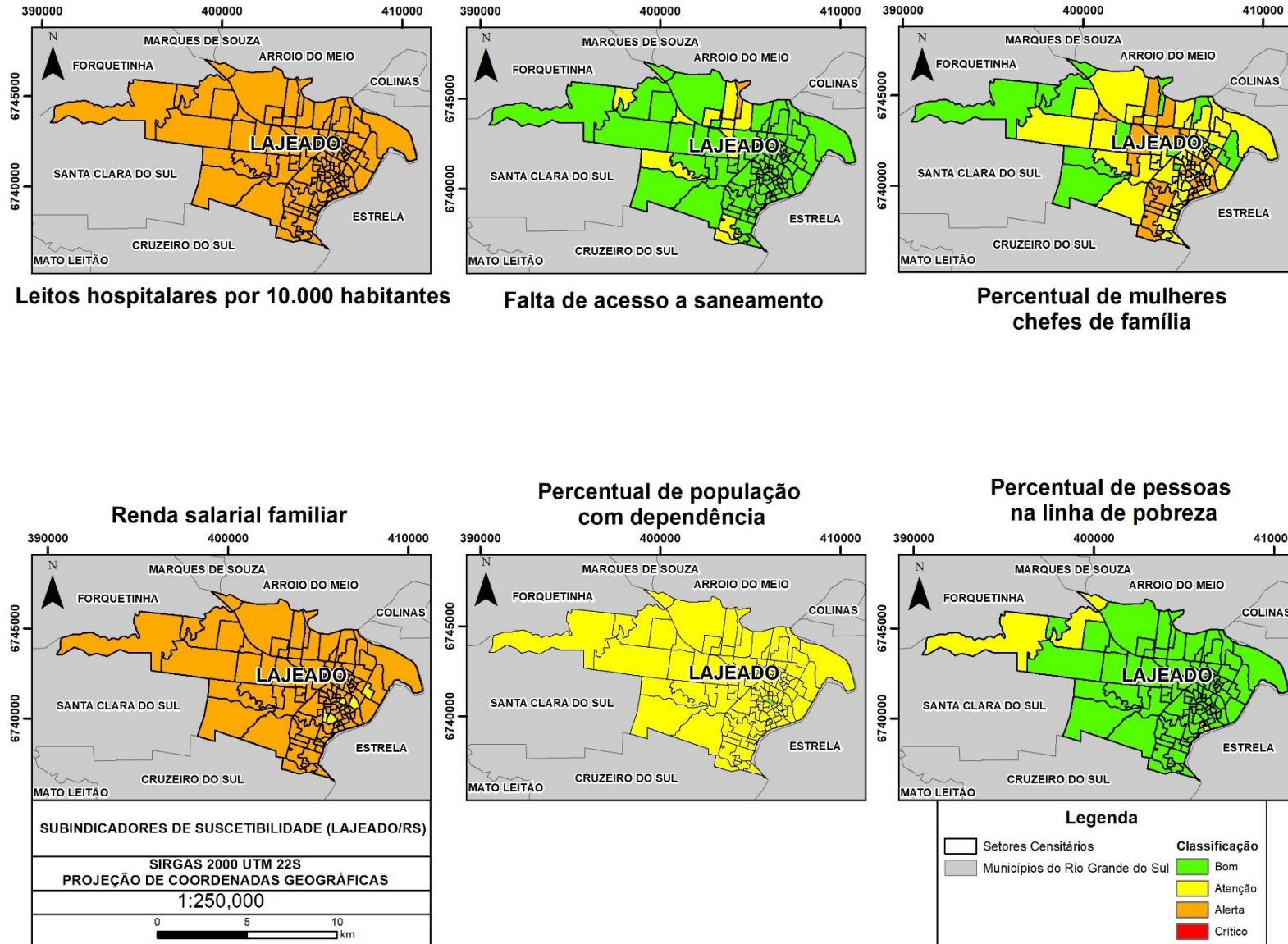


Figura 33 – Resultados dos subindicadores relacionados a suscetibilidade.

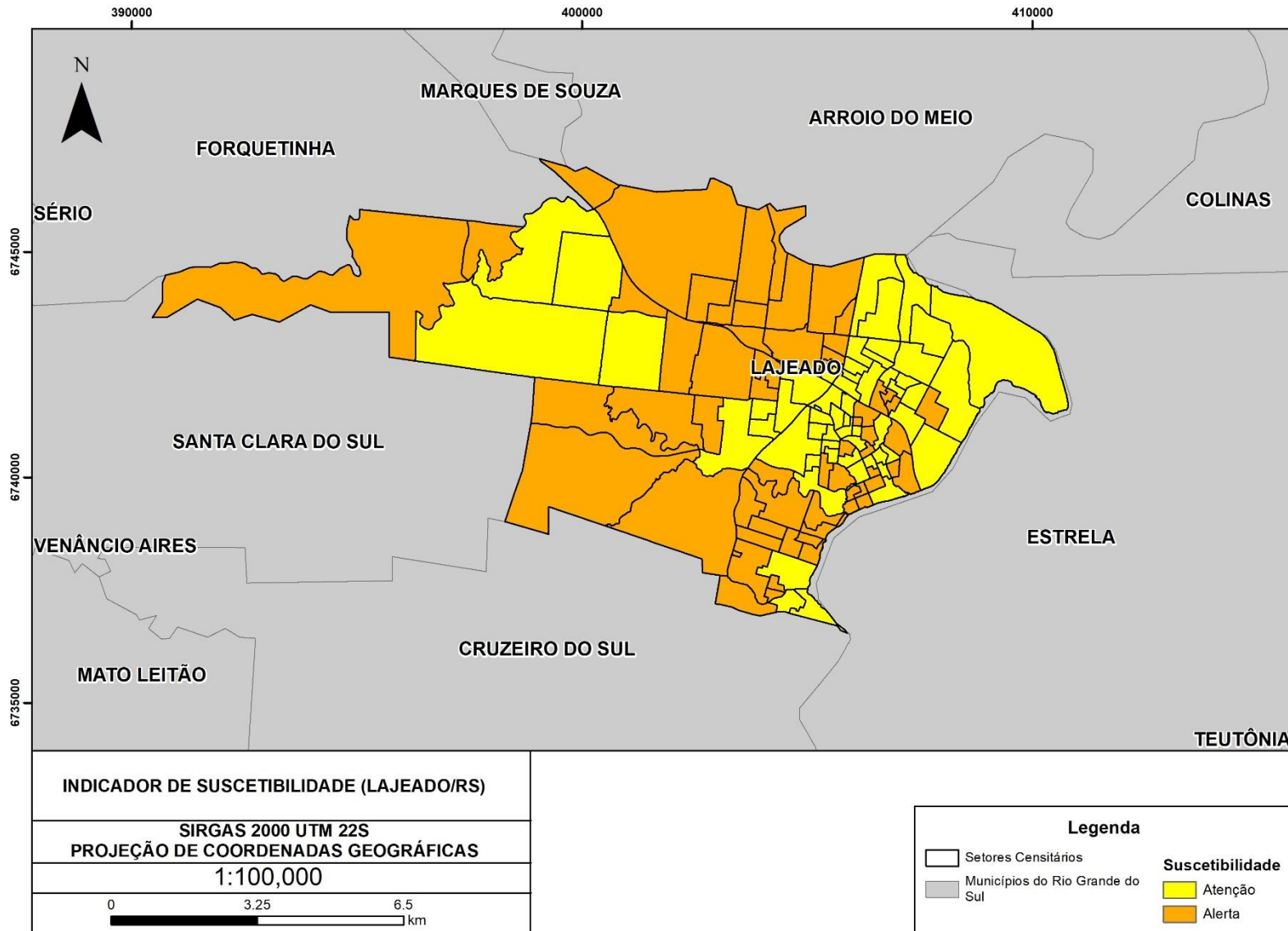


Figura 34 – Resultados do indicador de suscetibilidade.

### **6.3.1.3 Resiliência, o indicador que reproduz os potenciais da sociedade para enfrentamento e recuperação**

A resiliência agrega informações de capacidades da sociedade ou do indivíduo de como preparar-se, enfrentar e recuperar-se. Os indicadores abaixo respondem como é o comportamento da resiliência no município de Lajeado/RS:

- Redes de comunicação: Esse subindicador retorna resultados sobre a capacidade da sociedade ou dos indivíduos de receberem e replicarem informações por meios de comunicação. Os meios de comunicação são considerados bons para todo o município, já que esse subindicador necessitou ser diluído para todo o município. Os meios de comunicação obtidos através da Prefeitura/Defesa Civil foram:
  - Redes sociais: Instagram e Facebook;
  - Rádio: independente e a hora;
  - Jornal: local;
  - TV: tv UNIVATES e RBS tv;
  - Celular: contatos entre defesa civil e secretaria de segurança;
  - Carro de som: defesa civil;
  - Contato local: com as equipes e famílias.
- Taxa de alfabetização: Esse subindicador possui um valor importante, pois pessoas com capacidade mínima de leitura e compreensão do que está sendo dito ou lido tende a responder mais rápido durante o enfrentamento de um perigo. Os níveis na maioria dos bairros são da classe Bom, havendo um nível de atenção apenas em setores censitários localizados nos bairros de Igrejinha (arroyo Forqueta), Santo Antônio, Morro Vinte e Cinco e das Nações.
- Ausência de instituições de gestão de riscos de desastres: Esse subindicador retorna o quanto o município possui de organizações que atuam diretamente no antes, durante e depois de um evento. A coesão da sociedade é um ponto importante para trazer mais resiliência. O subindicador foi diluído para todo o município. Nesse quesito o município de Lajeado apresenta variadas instituições que o auxiliam, bem como: Departamento de Geologia da Prefeitura (movimentos de massa), Departamento de Engenharia Civil (estrutural de residências), CPRM, Marina de Lajeado, Sala de Situação da SEMA-RS, Defesa Civil

Estadual do Rio Grande do Sul, Corregedoria Regional de Proteção e Defesa Civil de Lajeado (CREPDEC 8), CEMADEN, SEDEC, Secretaria Municipal de Educação de Lajeado/RS, Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Lajeado/RS (COMPDEC) e Jeep Club de Lajeado/RS.

- Limite de rotas de evacuação: Esse subindicador demonstra o quanto uma determinada região possui de rotas de evacuação. Uma reduzida diversidade de rotas de evacuação pode dificultar o escoamento da população antes da onda de cheia de uma inundação. Em termos gerais, a situação é crítica, pois a quantidade de via arteriais ou de trânsito rápido é limitada em todos os setores censitários.
- Quantidade limitada de abrigos: Um subindicador muito importante no enfrentamento das inundações, pois garante alguma estrutura temporária para recebimento de pessoas desabrigadas. Nesse caso, a própria Prefeitura/Defesa civil disponibilizam as principais estruturas para recebimento de desabrigados. As principais estruturas são o Parque do Imigrante (com capacidade para receber 500 pessoas), Centro Esportivo Municipal (com capacidade para receber 200 pessoas), Ginásio Associação dos Moradores do Bairro Montanha (com capacidade para receber 200 pessoas). Ainda podemos citar, em situações mais extremas, uma quantidade considerável de ginásios, colégios públicos municipais e estaduais que podem garantir moradia temporária para a população afetada. Nessas condições, podemos considerar esse indicador como bom. Estes resultados foram diluídos para todo o município.
- Residência própria: Esse subindicador tem uma importância direta em diminuir o direcionamento dos investimentos a partir de danos causados por uma inundação. Em resumo, a maioria dos bairros próximos aos principais cursos d'água possui um nível alerta ou de atenção para essa problemática. O bairro Centro seria o bairro com maior preocupação, pois todos os setores retornaram com valores na classe alerta.
- População com necessidade de assistência social: Esse indicador retorna à população que já possui auxílio governamental, e que a recuperação após um evento perigoso necessitaria da continuidade dos auxílios ou mesmo a complementação com algum outro tipo de auxílio.

Nesse quesito, ocorreu uma diluição do dado para todo município, pela falta de dados a nível municipal. De uma forma geral, não há muitas famílias que precisam ser beneficiadas, o subindicador foi classificado como classe bom, o valor foi de aproximadamente 4% da população.

A resiliência é uma área ainda sendo desbravada nos estudos de desastres, traduzindo-se em desafios para medição e quantificação. Isso reflete nos subindicadores utilizados, pois dos 7 (sete) apenas 2 (dois) foram obtidos através de dados do censo do IBGE, enquanto os demais precisaram ser obtidos através da Prefeitura Municipal de Lajeado/RS ou da Defesa Civil local. Em complemento, apenas 3 (três) subindicadores não foram generalizados para todo município (Figura 35).

O indicador de resiliência demonstra que possui um potencial para se tornar bem estruturado (i.e., em termos de dados) e, sim, pode ser replicável na realidade brasileira, dependendo de algumas informações básicas da Defesa Civil ou outro órgão governamental local. Uma solução mais sólida, é que o censo aborde esse tipo de dado, possibilitando gerar informações municipais. Todo o município ficou classificado com nível de atenção, o que significa que o município tem uma estrutura ainda a ser melhorada, porém, estando próximo de alcançar essa capacidade. Os dados obtidos junto às organizações locais classificaram os subindicadores como Bom, entretanto, subindicadores como limite de rotas de evacuação e ausência de residência própria tendem a piorar a classificação geral do Indicador de Resiliência (Figura 36).

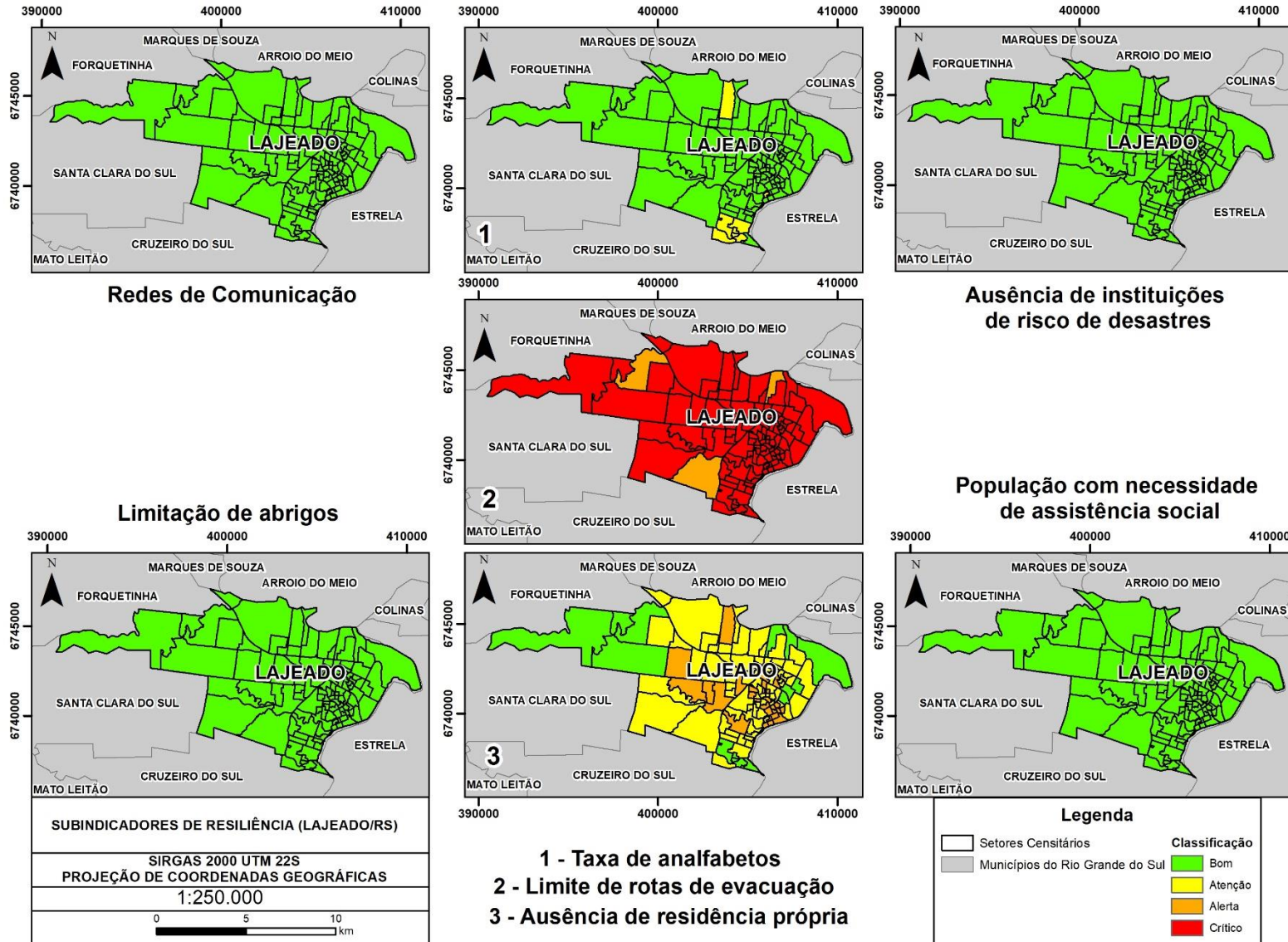


Figura 35 - Resultados dos subindicadores relacionados a resiliência.

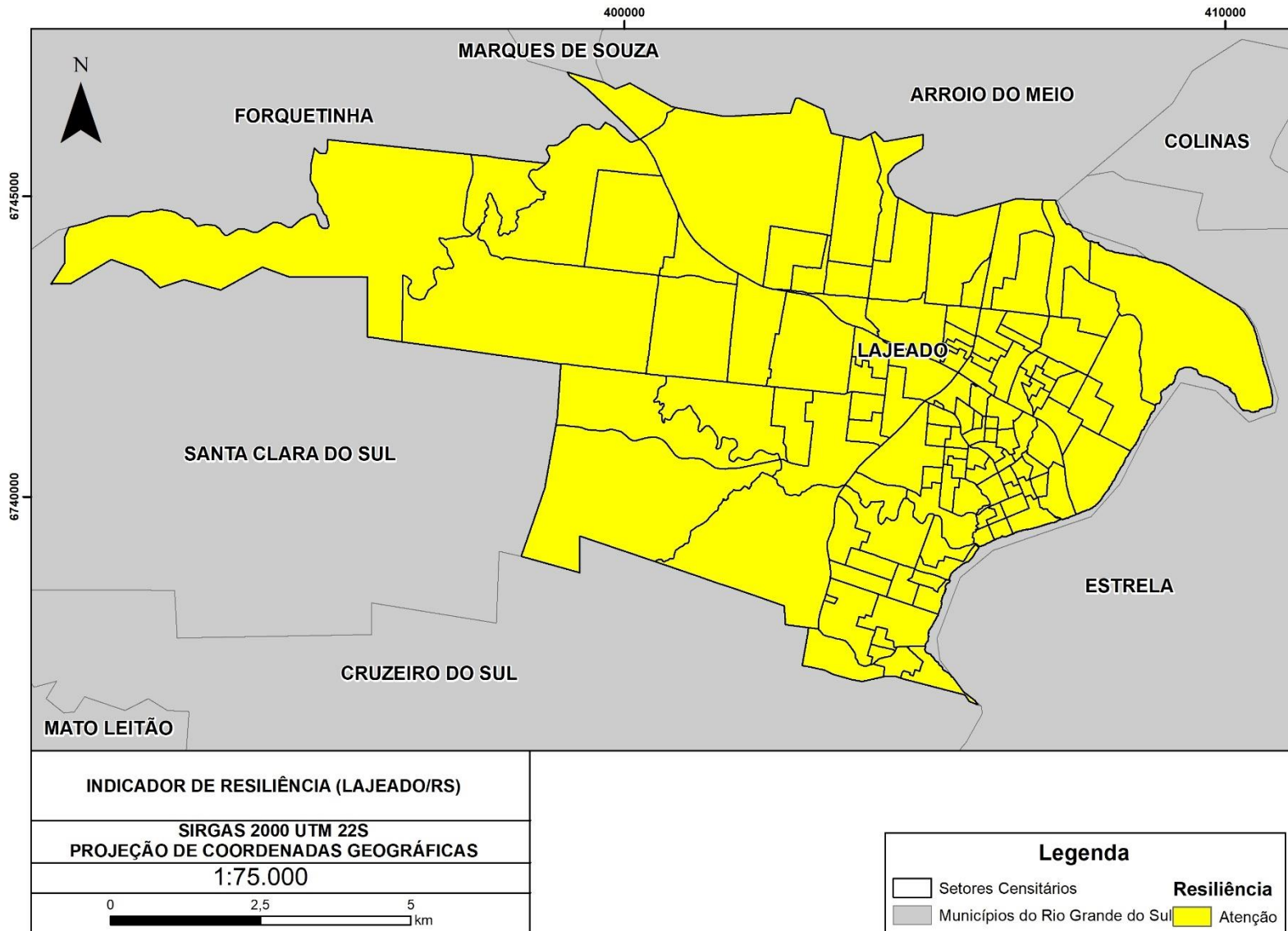


Figura 36 – Resultados do indicador de resiliência.

#### 6.3.1.4 Capacidade adaptativa, o indicador que potencializa a adaptação

O indicador de capacidade adaptativa apresenta as ferramentas/potencial necessários para que a sociedade ou o indivíduo possam criar a adaptação para mitigar os efeitos de futuros eventos perigosos. Todos os subindicadores foram generalizados para o município. Abaixo os resultados obtidos para o município de Lajeado/RS (Figura 37):

- População com curso superior: Uma porcentagem alta de pessoas com curso superior pode se traduzir em mais atores sociais contribuindo no aumento da adaptação de forma efetiva. Nesse quesito, Lajeado possui um percentual de menos que 9% da população com curso superior, o que a coloca em situação crítica.
- Envolvimento da sociedade: Subindicador voltado para identificar quantos atores sociais se engajam na aprendizagem, adaptação, transformação, auxiliam no suporte à emergência e com capital financeiro. Dos dados obtidos da Prefeitura Municipal de Lajeado, o subindicador se classifica como Bom. Abaixo são citados os grupos que participam desse engajamento:
  - Secretaria de Meio Ambiente;
  - Secretaria de Obras;
  - Secretaria de Agricultura (remoção de resíduos);
  - Secretaria de Saúde (posto avançado nos espaços de abrigo);
  - Secretaria de Trânsito;
  - Clube dos jipeiros;
  - Marina de Lajeado/RS;
  - Corpo de bombeiros;
  - Voluntários (líderes comunitários, religiosos, cozinheiros);
  - JCI (Junior Chamber International);
  - Univates (Universidade do Vale do Taquari).
- Políticas para o meio ambiente: Esse subindicador baseia-se em legislações que ajudam a mitigar os efeitos das inundações. Neste quesito, Lajeado/RS possui algumas leis que mitigam os efeitos das inundações:
  - Lei nº 11.052/2020 – Institui o Plano Diretor de Lajeado;

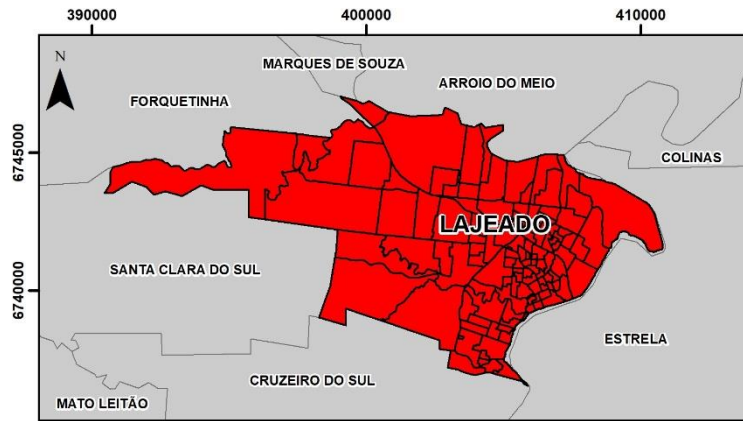


- Decreto nº 11.316/2019 – Homologa a resolução nº 25/2019 do Conselho Municipal de Educação (COMED);
  - Instrução normativa nº 03-02/2018 - Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental para atividade de impacto local “movimentação de terra” e afins e dá outras providências;
  - Lei nº 5.848/2021 – Institui o código de edificações de Lajeado e dá outras providências;
  - Decreto nº 12.007/2021 – Altera o decreto nº 8.840, de 05 de agosto de 2013, que regulamenta a Lei nº 5.848, de 20 de dezembro de 1996, e dispõe sobre normas que regulam a aprovação de projetos, o licenciamento de obras e demais atividades referentes a execução;
  - Lei nº 10.013/2015 – Dispõe sobre a contribuição de melhoria no município de Lajeado, revoga as leis nº 3.466 de 28 de dezembro de 1983, nº 7.580 de 21 de junho de 2006 e nº 5.993 de 13 de novembro de 1997 e dá outras providências;
  - Lei nº 8.130/2009 – Cria a coordenadoria municipal de defesa civil (COMDEC) do município de Lajeado.
- Sistema de alerta: Esse indicador se enquadra na capacidade do município de prever um evento e planejar uma adaptação proativa de curto prazo da sociedade. Alguns pontos foram levantados pela Defesa Civil de como é construído a estrutura do sistema de alerta:
    - Utilizam o Sistema Alerta de Eventos Críticos (SACE)/CPRM;
    - Comunicam-se com o Centro de Operações da Defesa Civil do Rio Grande do Sul (CODEC/RS);
    - Previsão de observadores locais da Defesa Civil local;
    - Análises informações meteorológicas e pluviométricas dos municípios de montante;
    - Sistema de alerta da Defesa Civil estadual;
    - Sala de Situação da SEMA-RS;
    - Previsão de nível com 6 hrs de antecedência. Por exemplo, se a cota chega em 17 m, as famílias em moradias com cota até 19,5 m são retiradas.

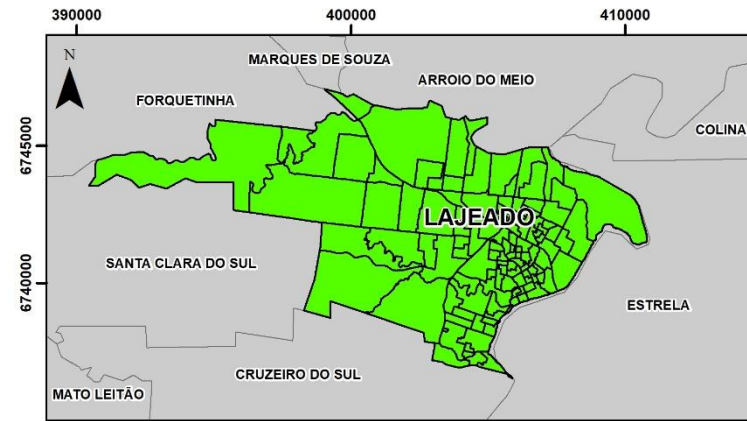
O indicador de capacidade adaptativa teve um comportamento similar um com o da resiliência, por ser um termo recente e mais utilizado em estudos de mudança climática e são dados normalmente encontrados em nível apenas municipal. Demonstra que há uma necessidade para sua análise, pois contribui com o conhecimento das ferramentas que podem garantir que a sociedade possa se adaptar. Entretanto, os dados que são associados a esse indicador não são espacialmente viáveis em termos de setor censitário, e no máximo, poderá evoluir para escala de setor censitário no subindicador de percentual da população com ensino superior, que é obtido através de censo (embora somente a nível municipal).

O nível de curso superior da população é inferior a 10%, os países com maiores índices alcançam mais de 50% da população com curso superior. No Brasil, o percentual está na faixa dos 20% (OECD, 2021). O contraste com os demais indicadores pode demonstrar que a população local já possui capacidades absorvidas de eventos anteriores, pelos fenômenos de inundações recorrentes, um avanço no conhecimento técnico da população pode otimizar as ferramentas para implementação de adaptações com menor esforço financeiro e de tempo, gerando um avanço rápido na diminuição da vulnerabilidade.

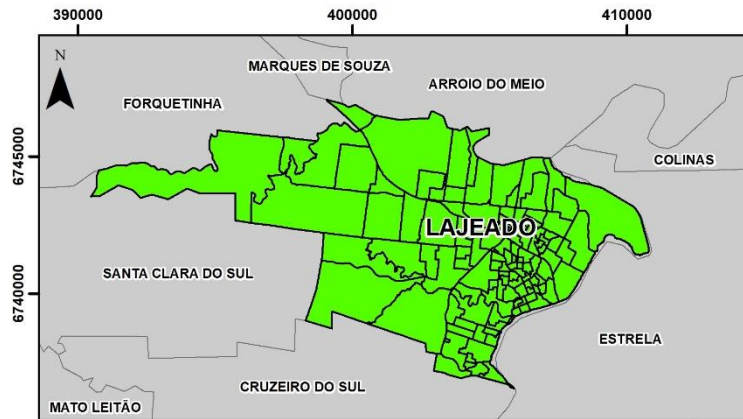
Os demais subindicadores são factíveis apenas a nível municipal. De qualquer forma, o município de Lajeado (Geocódigo 4311403 do IBGE) tem boas capacidades adaptativas, precisando evoluir na formação dos seus cidadãos, mas ao final ficou classificado como em atenção (Figura 38).



**Percentual de população sem curso superior**  
**Políticas para o meio ambiente**



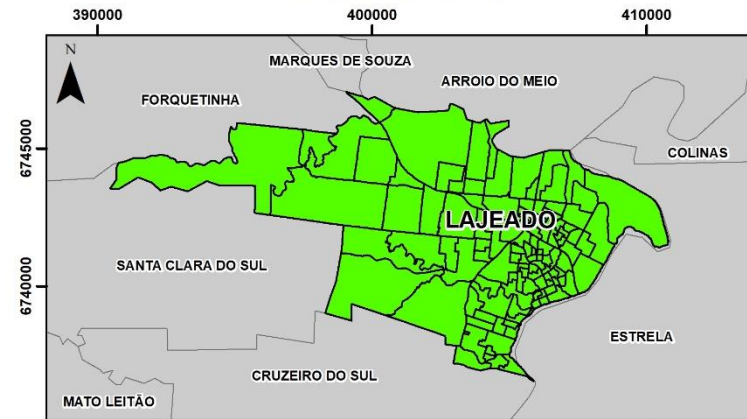
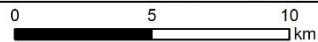
**Envolvimento da sociedade**  
**Sistema de alerta**



**SUBINDICADORES DE CAPACIDADE ADAPTATIVA**  
**(LAJEADO/RS)**

SIRGAS 2000 UTM 22S  
 PROJEÇÃO DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS

1:200.000



**Legenda**

- |                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| Setores Censitários             | Bom     |
| Municípios do Rio Grande do Sul | Atenção |
|                                 | Alerta  |
|                                 | Crítico |

Figura 37 – Resultados dos subindicadores relacionados a capacidade adaptativa.

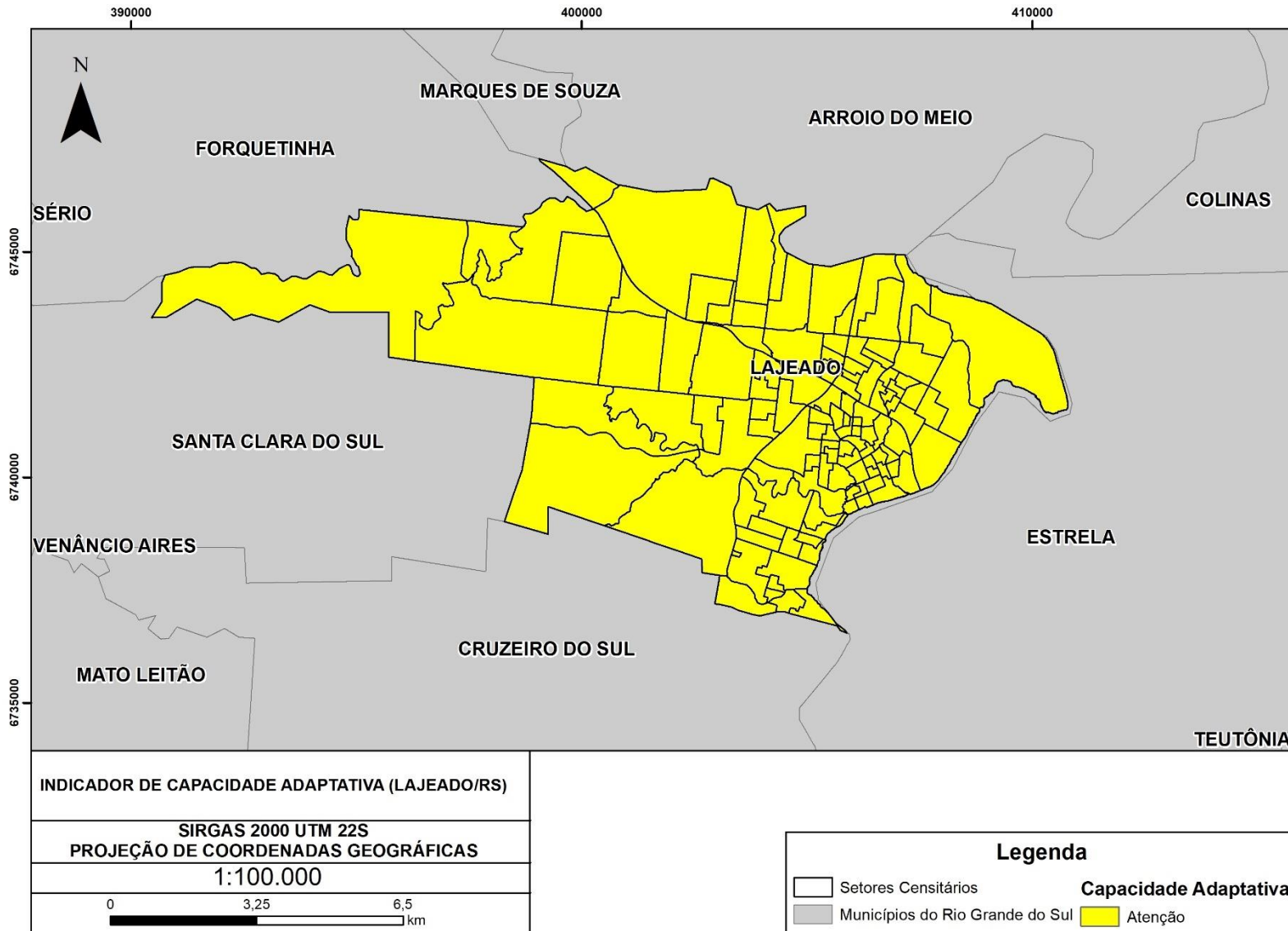


Figura 38 – Resultados do indicador de capacidade adaptativa.

### **6.3.1.5 A vulnerabilidade, as barreiras para representar a sociedade em números e o índice de risco como norteador das intervenções**

O desafio de representar qualitativamente indicadores relacionados à sociedade são concretos, pois, além das escolhas de quais elementos devem ser quantificados, ainda é necessário analisar, com consistência, como serão quantificados e se irá retornar algo válido como ferramenta de planejamento municipal.

Os 4 (quatro) indicadores apresentados anteriormente podem ser divididos entre os que estão bem estabelecidos para quantificar (i.e., exposição e suscetibilidade) e os que ainda apresentam desafios nas quantificações (i.e., resiliência e capacidade adaptativa). Os resultados desse trabalho contribuem e reduzem lacunas dessas áreas científicas, abrindo espaço para discussões e críticas acerca dos subindicadores e indicadores utilizados.

Para o município de Lajeado/RS, os resultados da vulnerabilidade variaram entre Alerta e Atenção, sendo este último apresentado na maioria dos setores censitários do município. A principal preocupação deve ser dada aos bairros Centro, Jardim do Cedro e Conservas, Morro Vinte e Cinco, da Nações e Santo Antônio nos bairros próximos ao rio Taquari-Antas. No lado do arroio Forqueta, a preocupação deve ser dada no bairro Planalto. Os dois indicadores de maior peso ao subíndice são os de exposição e suscetibilidade, exatamente os dois que tiveram classes variando entre crítico e alerta, também os mais trabalhados tecnicamente e cientificamente, e aqueles com mais dados obtidos através de censo (Figura 39). Ainda, os resultados indicam que as relações socioeconômicas influenciam decisivamente nos resultados do subíndice de vulnerabilidade.

Isso demonstra que a vulnerabilidade não pode ser representada por uma única estatística ou algumas características socioeconômicas (PERCIVAL; TEEUW, 2019). É preciso uma construção estruturalmente bem delineada, de forma que desde a sua conceituação não ocorram atrofias que levem ao produto se tornar um amontado de dados ou uma simplificação pouco representativa da vulnerabilidade de um sistema. Entretanto, um modelo paramétrico sempre está limitado pela precisão e disponibilidade de bons conjuntos de dados. Indicadores e subindicadores sociais são difíceis de serem quantificados (BALICA *et al.*, 2013).

A partir da obtenção dos resultados de vulnerabilidade foi possível gerar os resultados para o índice de risco, função do perigo e vulnerabilidade, com cada um possuindo o mesmo peso. Ao índice de risco foi dada a nomenclatura de Classificação

de Risco Brasileira para Inundações (CRBi). A inserção do “r” como sobrescrito é pela possibilidade de se fazer adaptações para uso em outros tipos de desastres. Os resultados são demonstrados na Figura 40.

Na prática, o subíndice de perigo contribui decisivamente no delineamento do índice risco. Observa-se que boa parte do município se encontra na classe Bom, embora as regiões em que há alguma área potencialmente passível de inundação a classe é Atenção. Destaca-se, também, que há 4 (quatro) setores censitários no bairro Centro que são classificados como alerta, e estes devem ter prioridade perante os demais, seguido daqueles classificados como Atenção. Os 4 setores em estado de alerta são: 431140305000009, 431140305000010, 431140305000074, e alguns pequenos pontos no setor 431140305000008. Essas informações são úteis para os tomadores de decisão investirem recursos humanos, técnicos, financeiros e de tempo nos locais mais importantes. Os setores privados dos seguros e financeiro também podem usar os dados para balizar os seu respectivos mercados de prêmios de seguro e de financiamento (BUDIYONO *et al.*, 2015).

Analisando subindicadores existentes nos indicadores de resiliência, capacidade adaptativa, exposição e suscetibilidade, é possível concluir que as populações com mais problemas sociais, em parte, estão nas proximidades do rio Taquari-Antas (i.e., Morro Vinte e Cinco, Das Nações, Santo Antônio, Conservas, Carneiros e Jardim do Cedro) e do arroio Forqueta (i.e., Igrejinha, Planalto, Campestre e Universitário). Todavia, isso não é regra, pois bairros como Centro, Moinhos e Hidráulica também estão próximos aos cursos d’água. Há bairros com piores subindicadores e indicadores que estão na parte oeste do município (i.e., área menos urbanizada ou rural), mesmo não estando propensas a inundações.

Os bairros resultantes como prioridades na região próxima ao rio Taquari-Antas são: Centro, Morro Vinte e Cinco, Santo Antônio, Conservas, Jardim do Cedro, Moinhos, Hidráulica e Carneiros. Em região próxima ao arroio Forqueta, destacam-se: Imigrante, Igrejinha, Planalto, Campestre e Universitário.

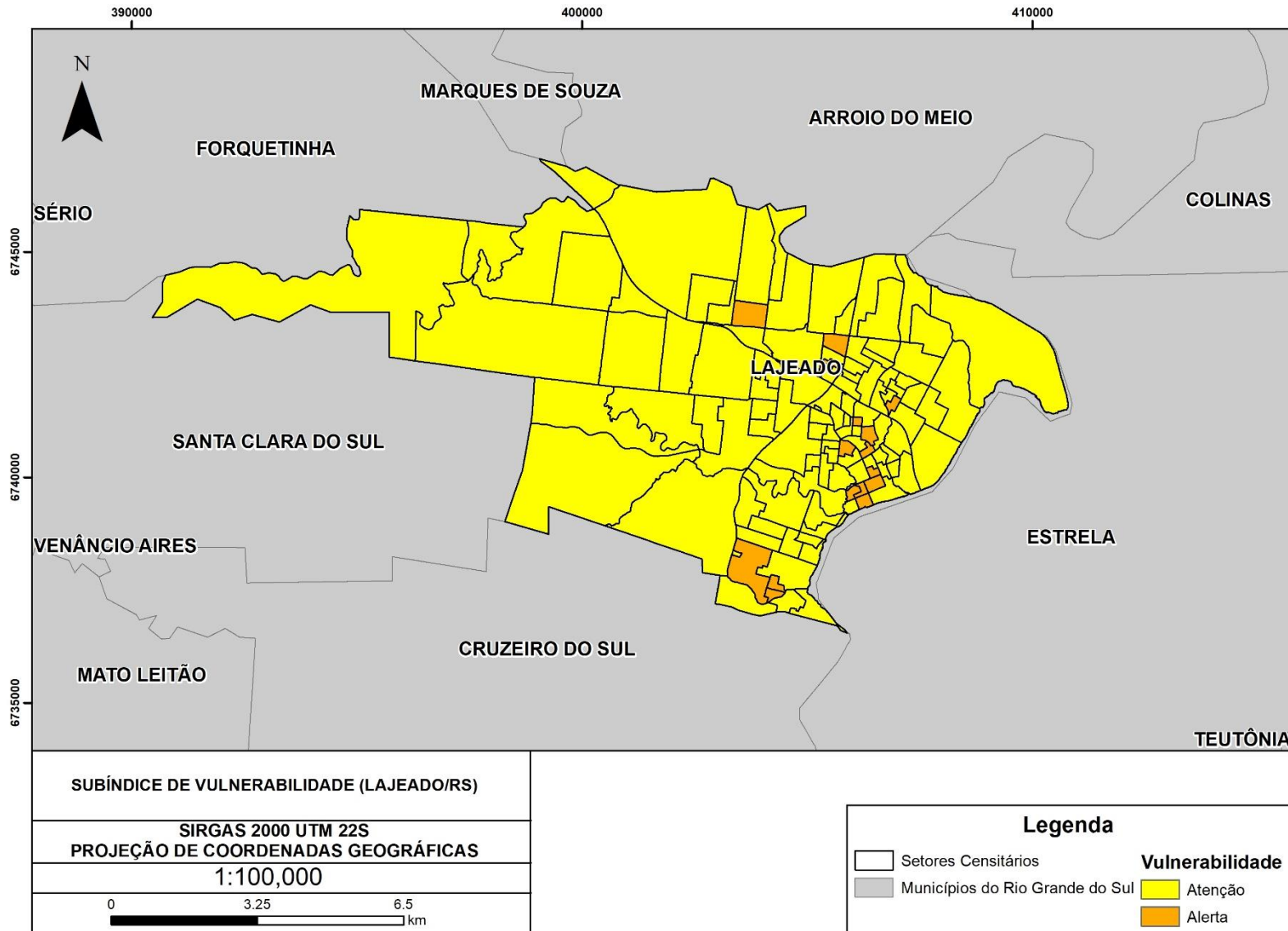


Figura 39 – Resultados do subíndice de vulnerabilidade.

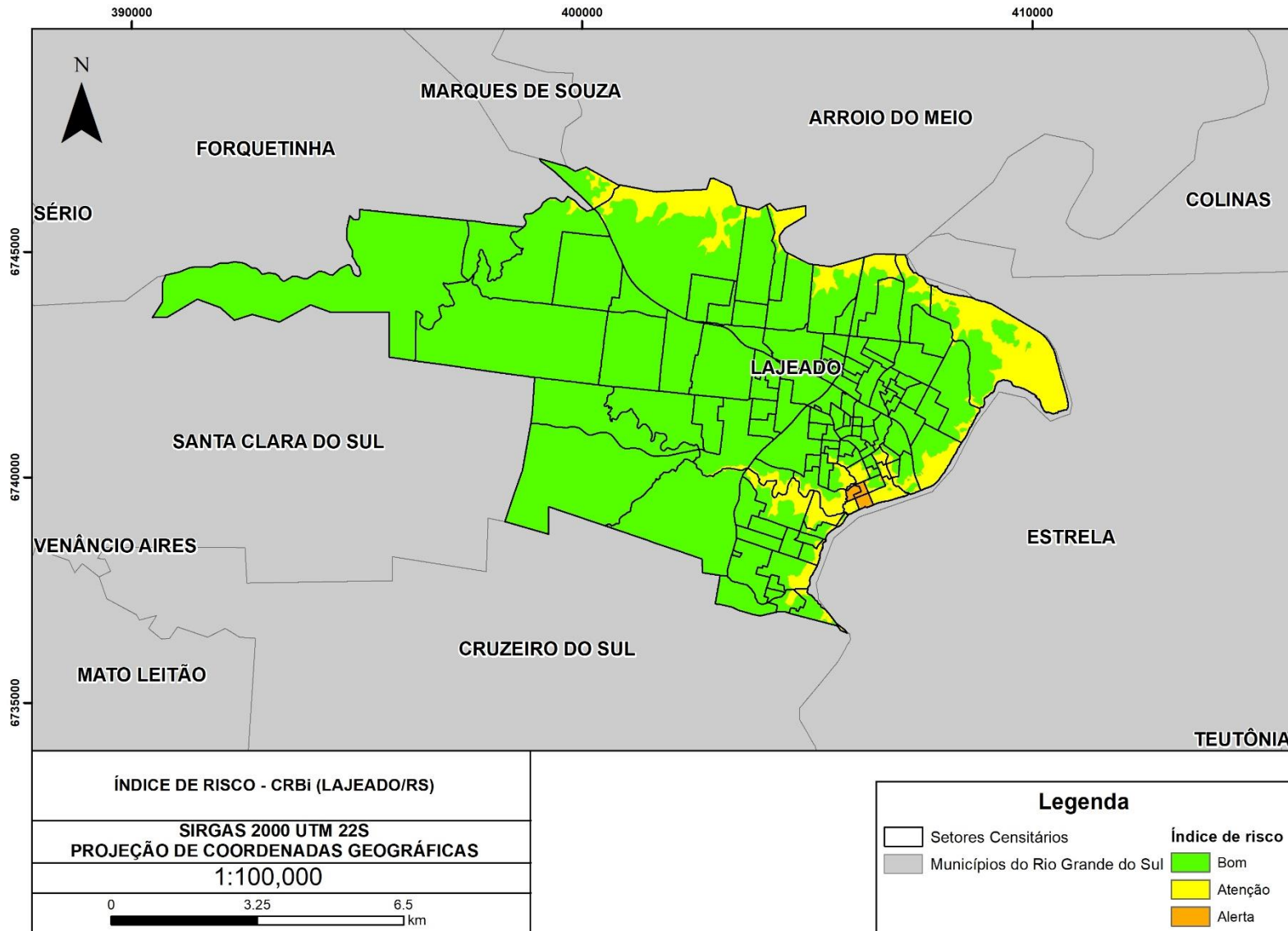


Figura 40 – Resultados do índice de risco.



#### 6.4 Método complexo x método simplificado

A fim de compreender se um método de índice de risco simplificado se comporta de forma similar ou diferenciada a situação do CRB<sub>i</sub>, realizou-se a comparação entre os métodos: CRB<sub>i</sub> e GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012). O método GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012) é um método de fácil replicação, cuja estrutura pode ser analisada no item 5.9.1 e o produto também é função do perigo e vulnerabilidade.

Os resultados relacionados ao perigo dos dois métodos são apresentados na Figura 41. Observa-se que no método GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012), as áreas dos setores censitários são consideradas integralmente em uma classificação. Independente se a inundação só influencia uma parte da área do setor, esse método ignora o comportamento hidrodinâmico na análise. O CRB<sub>i</sub>, por outro lado, consegue reproduzir nos seus resultados, identificando apenas as áreas que realmente são afetadas.

No subíndice vulnerabilidade, o método GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012) compacta todos os dados como indicadores do subíndice de vulnerabilidade, sem determinar pesos de importância do mesmo. Isso provavelmente causa um efeito de aumentar a classificação do risco quando comparado com o CRB<sub>i</sub>. Os resultados entre os métodos foram contrários para as classes Alerta e Atenção. O método GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012) apresenta alguns setores censitários como crítico (Figura 42).

O efeito do perigo é determinante para a diferenciação dos resultados do índice de risco. Enquanto no método GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012), a maioria das áreas ficaram classificadas como Bom, e Alerta ou Crítico, para alguns setores, o CRB<sub>i</sub> conseguiu replicar o efeito do evento perigoso no índice de risco, estendendo as áreas que precisam ter uma preocupação maior (Figura 43). Modelos físicos, como o usado pelo CRB<sub>i</sub>, possuem a vantagem de calcular um conjunto de equações para descrever fenômenos de fluxo dos rios. O diferencial é a alta capacidade de prognóstico e previsão, e a desvantagem é a necessidade de múltiplas informações de entrada e um alto esforço técnico/computacional para simulações 2D/3D.

Em termos práticos, a replicação do método GOERL, KOBIYAMA 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 CRB<sub>i</sub> consegue representar de forma mais robusta. A simplificação no índice

de risco limita a visualização específica de alguns dados e indicadores, por isso, é importante analisar como se fosse uma “engenharia reversa”, os resultados dos indicadores e subindicadores.

O tomadores de decisão podem ter a capacidade de identificar precisamente as fragilidades da sociedade analisada, como também analisar separadamente os indicadores de vulnerabilidade, como por exemplo, perigo pela exposição (RINCÓN; KHAN; ARMENAKIS, 2018). Além disso, pode ser disseminado adequadamente o conhecimento para as partes interessadas como o público em geral (BALICA *et al.*, 2013). Assim os recursos financeiros que são quase sempre escassos podem ser melhor aplicados aos problemas corretos, otimizando as capacidades dos órgãos responsáveis. Independentemente do método a ser utilizado, os dados necessários para serem replicados devem continuar abertos, transparentes (GUNASEKERA *et al.*, 2015) e atualizados.

A avaliação da vulnerabilidade normalmente é negligenciada (BUDIYONO *et al.*, 2015), todavia o método CRBi buscou extrair o melhor possível das duas esferas, dos eventos críticos e dos dados sociais para replicar o fenômeno do risco em nível municipal no Brasil.

Destaque-se que o método AHP direcionado com especialistas via trabalhos acadêmicos revisado por pares se mostrou viável de ser implementado, apesar do tempo de análise alto. A grande limitação para implementação de pesquisa padrão por especialistas foi a pandemia por SARS-COVID 19. Todavia, a razão de consistência e o grau de consistência abaixo do limite (i.e.,  $< 0,10$ ) significa um grau de qualidade da análise importante. Métodos como AHP (DE BRITO; EVERS; ALMORADIE, 2018) e adaptações como *Fuzzy* AHP tentam diminuir a ambiguidade da influência humana que o AHP não consegue impedir (YANG; DING; HOU, 2013; ZOU *et al.*, 2013), porém há diferenças relevantes entre os métodos, e a pesquisa direcionada com *meta-análise* pode ser uma solução alternativa.

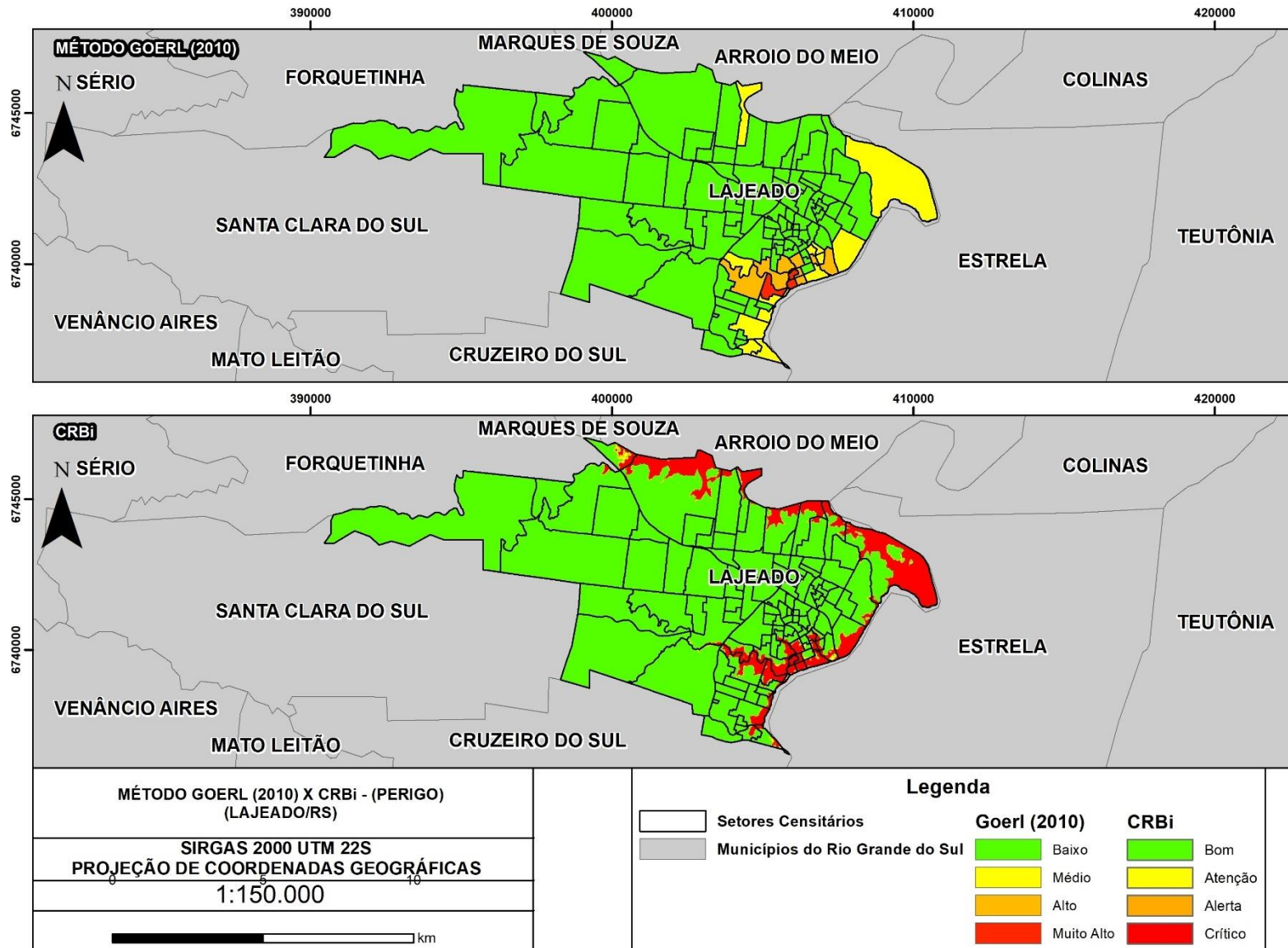


Figura 41 – Resultados apresentados para perigo entre o método de GOERL, KOBAYAMA e PELLERIN (2012) e o CRBi.

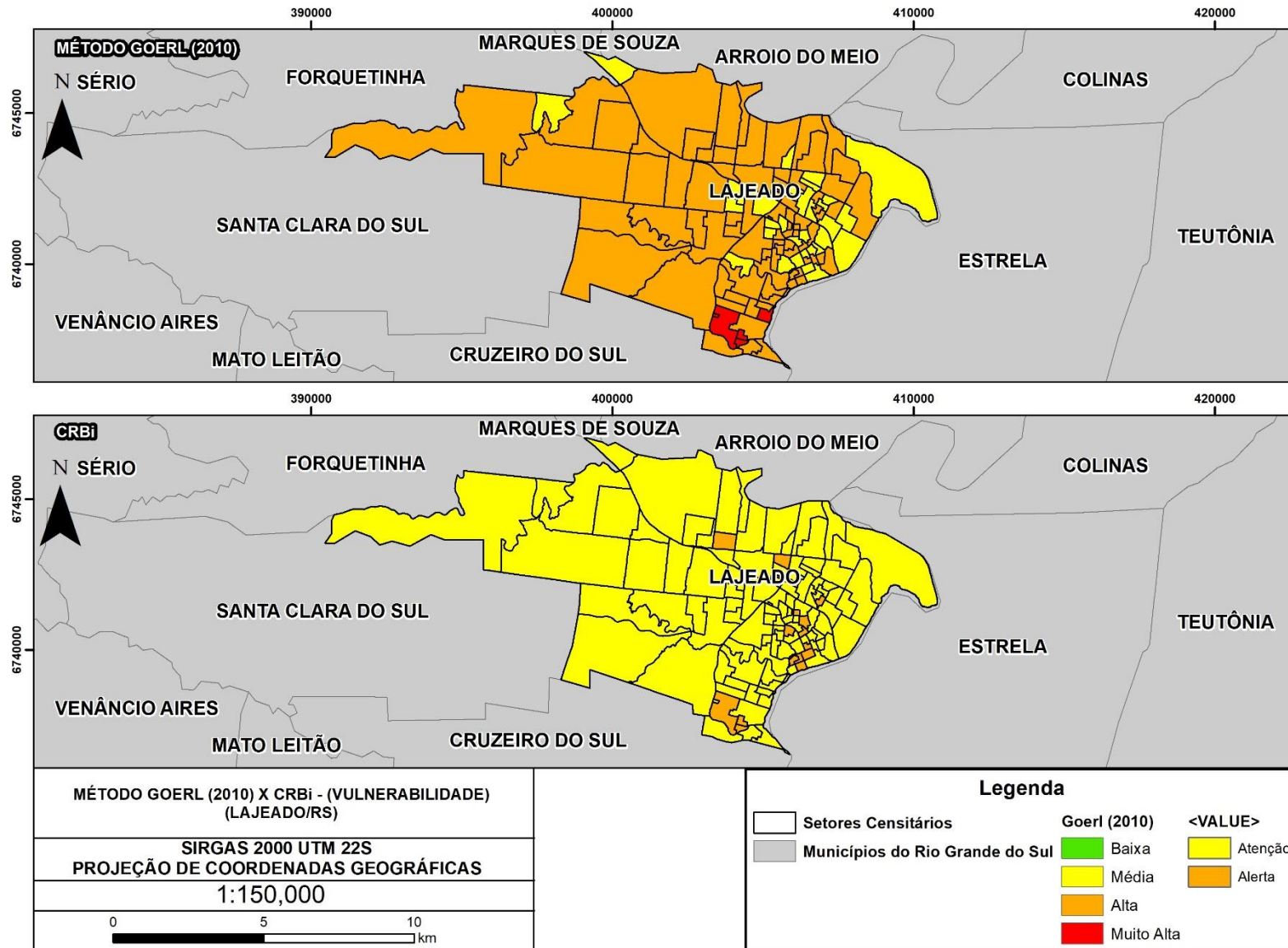


Figura 42 – Resultados apresentados para vulnerabilidade pelo método de GOERL, KOBAYAMA e PELLERIN (2012) e o CRBi.

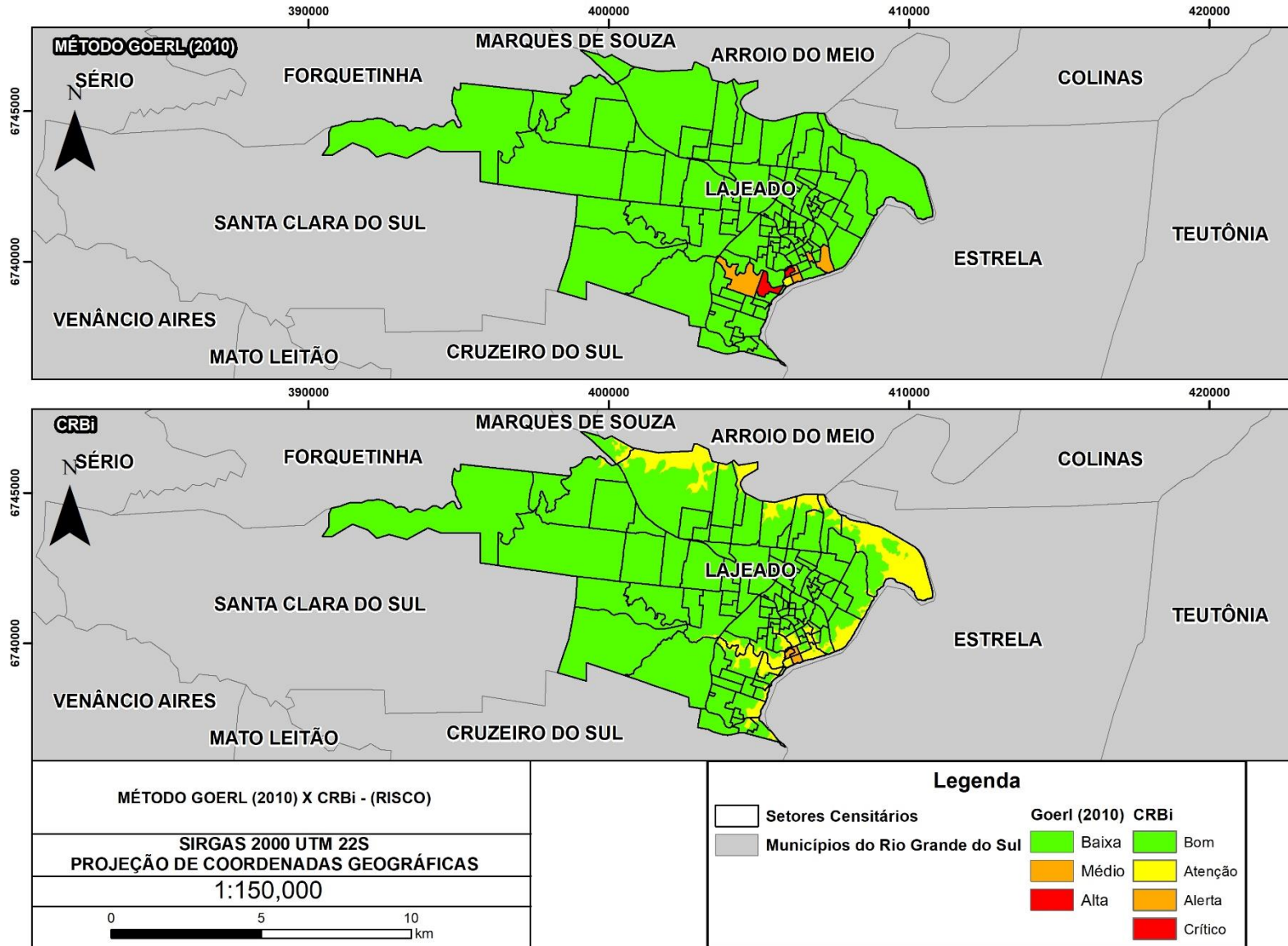


Figura 43 – Resultados apresentados para risco pelo método de GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN (2012) e o CRBi.

## **6.5 Limitações dos indicadores**

Abaixo são apresentadas as limitações e melhorias identificadas para alguns subíndices, indicadores e subindicadores, a partir do exemplo de aplicação desenvolvido.

### **6.5.1 Subíndice de perigo**

É uma estrutura dependente de uma grande quantidade de condições de contorno que subsidiem uma modelagem hidrodinâmica, e mesmo assim, pode não conseguir replicar corretamente uma mancha de inundação em um determinado local por algum dado em falta. Por se tratar de modelagem hidrodinâmica, exige esforço técnico e computacional, a fim de se conseguir os melhores resultados.

### **6.5.2 Subíndice de suscetibilidade física**

Demonstrou ser uma estrutura mais aplicada a processos de alagamento de drenagem urbana ou inundação de bacias urbanas.

### **6.5.3 Indicador de exposição**

Com exceção do dado de infraestruturas críticas, os demais dados estão defasados, pois são de origem do censo 2010. Isso ocorreu, pois o censo 2020 até o momento não foi realizado devido as condições de pandemia de SARS-COVID-19 no Brasil.

### **6.5.4 Indicador de suscetibilidade**

Para o indicador de suscetibilidade, a questão do censo atualizado é fundamental para replicar a condições mais próximo do tempo atual. No caso, o estudo pode passar por uma atualização.

Há de se destacar na questão de leitos hospitalares, que se algum evento perigoso se concretizar, e forem necessários leitos para vítimas, pode ser que estejam insuficientes devido a algum surto de doença endêmica ou pandêmica. Além disso, não se sabe o nível de qualidade desses leitos, se são de Unidade de Terapia Intensiva (UTI), para pronto socorro e/ou se há salas cirúrgicas. O subindicador de leito hospitalar não possuía métrica mundial ou nacional que pudesse ser separado em classes, foi necessário criar uma estrutura de classificação.

Os dados de salário estão defasados (i.e., salário-mínimo de 2010) e os percentuais da renda familiar podem ter alterado sensivelmente.

A linha da pobreza se torna móvel com a volatilidade da moeda local, no caso, o Real brasileiro frente ao dólar (i.e., o papel moeda de curso forçado considerado como reserva mundial).

Os dados de pessoas dependentes não incluem pessoas com deficiência, pois esses dados não existem para setores censitários, só a nível municipal.

#### **6.5.5 Indicador de resiliência**

Alguns subindicadores (i.e., redes de comunicação, limitação de abrigos, população com necessidade de assistência social e ausência de instituições de risco de desastres) foram generalizados para todos os setores censitários.

#### **6.5.6 Indicador de capacidade adaptativa**

É indicador ainda incipiente com pouca discussão e pesquisa técnica na área de desastres (MOREIRA; DE BRITO; KOBIYAMA, 2021), ou seja, ainda há uma fronteira científica a ser explorada para melhor entendimento desse termo como indicador. Além disso, todos os dados foram generalizados a nível municipal.

#### **6.5.7 Geral**

A Aplicação foi efetuada para apenas uma localidade (Lajeado/RS), visando avaliar a aplicabilidade da metodologia proposta, devem ocorrer análises em outras áreas com características físicas e sociais diferentes.

A análise AHP por meta-análise e ponderando pesos por uma lista de artigos e trabalhos acadêmicos revisado por pares possui um custo temporal alto para seleção e contabilização dos dados. Mesmo assim, pode não representar indicadores essenciais a realidade brasileira. Alguns estudos escolheram indicadores de forma direta sem uma pré-análise; porém, perante a quantidade de estudos analisados, essa limitação é uma pequena representação do montante das publicações.

O método AHP se baseia na interdependência dos indicadores e subindicadores, o que pode ser problemático, pois há dados que possam se correlacionar. Métodos como ANP, Delphi, TOPSIS, ELECTRE, redes neurais, alguns métodos com AHP modificado usando lógica *fuzzy* ou híbridos tentam corrigir essas questões. No entanto, são métodos que exigem capacidade técnica e computacional altas, o que inviabilizaria a replicação do índice (DE BRITO; EVERS, 2016) de forma fácil. Destaque-se ainda, que as análises não conseguem obter diferenças relevantes (DE BRITO; EVERS; ALMORADIE, 2018), a ponto de realmente outros métodos superarem em termos de qualidade a capacidade e simplificação do método AHP (CHUNG; LEE, 2009; DE BRITO; EVERS; ALMORADIE, 2018).

Alguns dos indicadores não tinham possibilidade de serem discretizados para a escala de setor censitário, mas foram igualados em todo o município, como por exemplo, população com acesso a assistência social. Por esse motivo, podem ocorrer distorções na escala de setor censitário, como diferenças econômicas crônicas não

demonstradas na média dos resultados do setor, isso demonstra que qualquer escala ainda possui limitações.

A mesma escala de tempo não existe para todos os dados, pois não é plausível ter todos os dados em um país de dimensões continentais como o Brasil no mesmo período.

Os dados do censo do IBGE encontram-se desatualizados (censo 2010). Devido ao SARS-COVID-19, o CENSO 2020 foi postergado. Em resumo, isso significa que os dados utilizados, em sua maioria, estão discrepantes da realidade atual da sociedade. Mas atualizar e ampliar o índice com novos dados será viável tão logo esteja disponível o novo censo, e se possível com novos dados de interesse.

É possível entender que o dado para geração de indicadores sofre de um trilema, algo parecido com o que ocorre com a tecnologia de *blockchain* para criptomoedas. A *blockchain* é algo como um servidor com livro-razão que registra todas as transações entre pessoas. O trilema impossibilita que uma *blockchain* possa garantir ao mesmo tempo: segurança, eficiência de custo e descentralização (ABADI; BRUNNERMEIER, 2019). Em resumo, a *blockchain* garante no máximo 2 (dois) objetivos. Na situação dos dados para indicadores, o trilema se baseia em 3 objetivos: disponibilidade, custo financeiro e precisão (Figura 44).

- Disponibilidade e precisão: Há empresas privadas e públicas com base de dados extensas como imagens, dados altimétricos e dados populacionais, todavia, o custo financeiro pode ser alto para obter;
- Disponibilidade e custo financeiro: São dados disponibilizados, normalmente por órgãos governamentais e de fácil acesso, principalmente, pela internet em banco de dados. Entretanto, em muitos casos, o dado não tem a precisão necessária para geração dos indicadores, principalmente, para escalas muito precisas, como é o caso de escalas como setores censitários e bairros, por exemplo.
- Custo financeiro e precisão: Dados que são precisos e conseguem vencer o seu custo de aquisição normalmente não estão disponíveis.



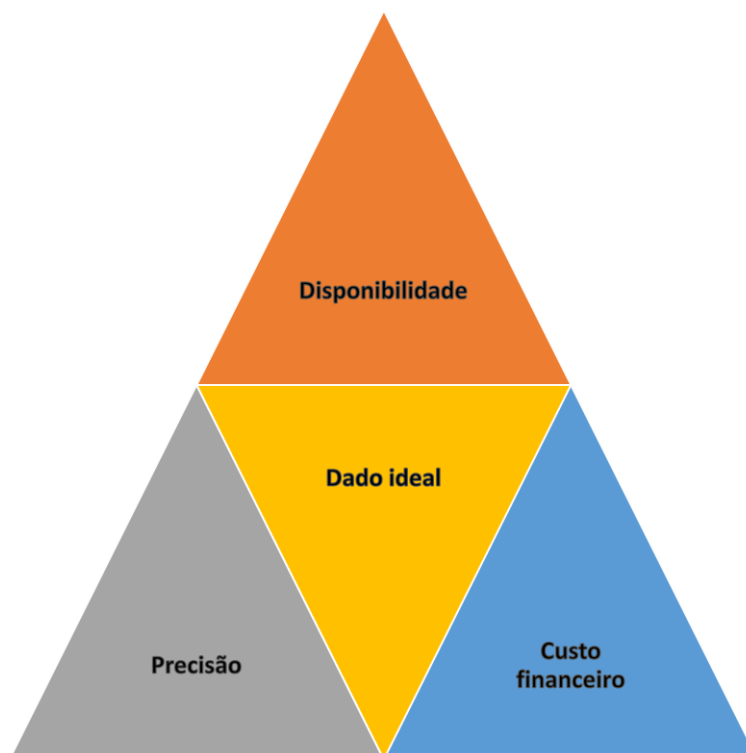


Figura 44 – Trilema do dado para indicadores.

O trilema pode ser vencido quando algum órgão governamental consegue financiar a obtenção do dado com precisão idealizada. Todavia, há de se destacar que não é algo recorrente, sendo situações pontuais, o que de alguma forma irá causar distorções no resultado do índice ou do indicador. Para pesquisadores ou talvez até mesmo alguns órgãos com pouca capacidade financeira, é inviável obter sucesso sobre o trilema.

## 7 CONCLUSÕES

Representar o risco a desastres de forma quantitativa e espacial é fundamental para os tomadores decisão otimizarem os escassos recursos que possuem na mitigação dos efeitos de um fenômeno natural. Independente do formato, uma análise de risco precisa de uma fundamentação teórica de conceitos, termos e estrutura para não se comportar de forma confusa e não replicável. Em desastres, isso acontece por ser uma análise de múltiplos atributos e estágios para representar um sistema complexo natural-socioeconômico.

Esse trabalho propôs um índice de risco a inundações aplicado a municípios brasileiros (CRB<sub>i</sub>). Este índice foi construído a partir de análise de termos e definições, com base em análise multicritério e meta-análise. O estudo foi testado em uma aplicação real, no município de Lajeado/RS.

Os termos e conceitos relacionados a desastres possuem uma estrutura básica em que há dois elementos claros que são função do risco (i.e., potencial desastre): elemento físico natural (perigo) e elemento social (vulnerabilidade).

Sendo classificado como um subíndice, o perigo para inundações é uma relação entre velocidade e profundidade, e nas situações em que não há dados suficientes para analisar essa relação, o subíndice de susceptibilidade física pode ser um substituto com limitações para replicar o perigo.

O subíndice de susceptibilidade baseado em processo hierárquico analítico e com os indicadores escolhidos nesse trabalho não foram suficientes para replicar o perigo. Os resultados se aproximam de análise de alagamentos ou inundações urbanas pelas características das variáveis (i.e., elevação, distância do curso d'água, percentual de área ocupada e declividade).

A vulnerabilidade demonstrou ser um subíndice complexo, baseado em um quarteto de indicadores que subsidiam seus resultados: exposição (i.e., o quanto a sociedade sujeita aos efeitos de fenômeno natural), suscetibilidade (i.e., o quanto a sociedade é frágil em termos sociais, econômicos e culturais para um fenômeno natural), falta de resiliência (i.e., o quanto a sociedade é incapaz de enfrentar e se recuperar de um evento natural) e falta de capacidade adaptativa (i.e., o quanto a sociedade não possui de capacidades para gerar um efeito de adaptação no seu meio frente a um futuro evento natural).

Os indicadores exposição e suscetibilidade possuem dados de fácil acesso e bem discretizados, todavia, para os indicadores resiliência e capacidade adaptativa necessitaram mais dados qualitativos a serem quantificados e classificados; e como

a maioria está disponível em nível municipal, partes desses dados dificilmente poderão ser individualizados em nível de setor censitário.

O subíndice de perigo influenciou decisivamente no delineamento do índice de risco, isso demonstra que a aplicação de simulação hidrodinâmica melhora a precisão e refinamento dos resultados ao índice de risco.

Índices e indicadores para conseguirem os melhores dados para sua representação necessitam vencer o trilema do dado: estar disponível, ter a precisão necessária e com baixo custo financeiro. Normalmente os dados atendem a dois requisitos em paralelo. Em alguns casos específicos, os dados podem atender aos 3 (três) requisitos, entretanto, será um ponto fora da curva na análise final do índice, pois nem todos atenderam o trilema.

Métodos simplificados possuem capacidade de representar rapidamente um índice de risco, mas ao não identificar com ponderação a importância do que cada indicador representa, tende-se a uma homogeneização dos resultados. O método de Processo Analítico Hierárquico (AHP) obtido por meta-análise compilados e extraídos como forma de pesquisa, foi um bom substituto as pesquisas de especialistas. Essa pesquisa por especialistas, por vezes, sofre enviesamento na ponderação, devido aos pensamentos heterogêneos da importância de cada indicador e subindicadores.

Usar a escala de setor censitário dá precisão aos resultados, em que pode ocorrer mudanças significativa no próprio bairro ou distrito, qualificando a análise do tomador de decisão.

Os bairros mais afetados pelos potenciais eventos de inundações não obrigatoriamente possuem subindicadores e indicadores mais mal relacionados a questão socioeconômica, todavia, a análise nesse estudo é um caso isolado, que pode não representar a realidade de outros municípios. Análises complementares, outros métodos, ou participação da comunidade forma direta são igualmente importantes para a tomada de decisão, e o CRB<sub>i</sub> é proposto como uma das ferramentas que fundamentarão quais medidas devem ser tomadas. O método não vai eliminar incertezas, pois toda análise por índices é uma simplificação da realidade, um fragmento, que não consegue explicar o sistema com total exatidão, principalmente no que se refere a questões sociais.

O município de Lajeado/RS já possui uma vasta experiência com eventos de inundações, o que criou de alguma forma uma mobilização que não é comum na realidade brasileira, colocando o município com bons subindicadores, principalmente no que está relacionado a resiliência e capacidade adaptativa. Há sempre espaço para

melhorias, mas a mobilização social, o conhecimento adquirido e o conhecimento acadêmico já realizado no local, cria condições favoráveis para o município se adaptar aos eventos de inundação, diminuindo sua vulnerabilidade.

## 8 RECOMENDAÇÕES

O método foi aplicado apenas para um município, o que implica que outras validações devam ocorrer em outras áreas com características físicas e sociais diferentes.

Utilizar outros métodos multicritério pode fortalecer o método CRB<sub>i</sub> e dar mais opções para futuros usuários. Todavia, a replicação de índices tecnicamente e computacionalmente mais sofisticados podem dificultar a replicação do método. A preocupação do técnico ou pesquisador na realidade brasileira deve se situar, primeiramente, na confiabilidade dos dados, para posteriormente analisar a viabilidade de métodos multicritério que demandem mais esforços.

O método de susceptibilidade física pode ser realizado através de outros métodos como possíveis substitutos do perigo e analisados em conjunto com a vulnerabilidade, utilizando outros dados ou formas de aplicação.

Índices de risco discretizados em uma hierarquia com subíndices, indicadores e subindicadores, como o CRB<sub>i</sub>, melhora a capacidade dos tomadores de decisão para otimizar seus recursos exíguos de tempo e financeiro nas áreas prioritárias. Desta forma, análises de perigo pela exposição, perigo pela suscetibilidade, perigo pela resiliência e perigo pela capacidade adaptativa podem ser realizadas, dando maior detalhamento a cada análise, em que o tomador de decisão pode focar seus esforços.

Novas análises em diferentes locais do Brasil com outras características sociais e de dinâmica de inundações fortalecerá a capacidade de uso do método. Pretende-se realizar novos métodos de susceptibilidade física para comparar com os resultados de perigo. Uma oportunidade é a implementação de um *software*, aplicativo ou *Application Programming Interface* (API) desse método para escalar replicabilidade do índice. Um produto temporário pode ser uma cartilha resumida com o tutorial de como replicar o método.

Esse método CRB<sub>i</sub> pode ser replicado para outros tipos de fenômenos naturais, necessitando apenas de alguns ajustes nos subindicadores, para adequar as características do evento. Não obstante, o método pode ser aplicado em outros países, pois analisando os subindicadores, ele é facilmente replicável em locais com

um mínimo de dados obtidos através de censo e com demais dados que podem ser obtidos dos órgãos governamentais, pois a pesquisa direcionada foi realizada com artigos acadêmicos de todo o mundo.

## REFERÊNCIAS

ABADI, J.; BRUNNERMEIER, M. **Blockchain Economics Working Paper Series**. Cambridge: [s. n.], 2019. Available at: <https://doi.org/10.3386/w25407>.

ABBAS, H. B.; ROUTRAY, J. K. A semi-quantitative risk assessment model of primary health care service interruption during flood: Case study of Aroma locality, Kassala State of Sudan. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 6, p. 118–128, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2013.10.002>

ABDULRAZZAK, M. *et al.* Flash flood risk assessment in urban arid environment: case study of Taibah and Islamic universities' campuses, Medina, Kingdom of Saudi Arabia. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 780–796, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1545705>

ABEBE, Y.; KABIR, G.; TESFAMARIAM, S. Assessing urban areas vulnerability to pluvial flooding using GIS applications and Bayesian Belief Network model. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 174, p. 1629–1641, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.066>

ADGER, W. Neil. Vulnerability. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 268–281, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>. Acesso em: 10 maio 2017.

ADGER, W.N. Social and ecological resilience: are they related? **Progress in Human Geography**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 347–364, 2000. Available at: <https://doi.org/10.1191/030913200701540465>. Acesso em: 13 out. 2016.

ADGER, W N *et al.* **New indicators of vulnerability and adaptative capacity**: Technical Report. Norwich: [s. n.], 2004. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/257343107\\_New\\_Indicators\\_of\\_Vulnerability\\_and\\_Adaptive\\_Capacity?enrichId=rgreq-b804c33c76fd7dc532575aba1013daf5-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdiOzI1NzM0MzEwNztBUzoxMDIxODEyODE3MzA1NjFAMTQwMTM3MzMyNzY1OQ%3D%3D&el=1\\_x\\_2](https://www.researchgate.net/publication/257343107_New_Indicators_of_Vulnerability_and_Adaptive_Capacity?enrichId=rgreq-b804c33c76fd7dc532575aba1013daf5-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdiOzI1NzM0MzEwNztBUzoxMDIxODEyODE3MzA1NjFAMTQwMTM3MzMyNzY1OQ%3D%3D&el=1_x_2).

ADNAN, M. S. G. *et al.* The use of watershed geomorphic data in flash flood susceptibility zoning: a case study of the Karnaphuli and Sangu river basins of Bangladesh. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 99, n. 1, p. 425–448, 2019. Available at:

<https://doi.org/10.1007/s11069-019-03749-3>

AFSHARI, S. *et al.* Comparison of new generation low-complexity flood inundation mapping tools with a hydrodynamic model. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 556, p. 539–556, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2017.11.036>. Acesso em: 21 abr. 2019.

AGROSIG; FEENG. **Relatório técnico final topobatimétrico no trecho do Rio Taquari compreendido entre a cidade de Encantado-RS e a barragem de bom retiro do Sul-RS: Levantamento, consolidação e processamento de dados para determinação das seções.**: 1. Porto Alegre: [s. n.], 2016.

AHMADISHARAF, E.; TAJRISHY, M.; ALAMDARI, N. Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multi-criteria decision-making. **Journal of Environmental Planning and Management**, [s. l.], v. 59, n. 8, p. 1397–1417, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1077104>

AHSAN, M. N.; WARNER, J. The socioeconomic vulnerability index: A pragmatic approach for assessing climate change led risks—A case study in the southwestern coastal Bangladesh. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 8, p. 32–49, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2013.12.009>. Acesso em: 23 set. 2017.

AINUDDIN, S.; ROUTRAY, J. K. Community resilience framework for an earthquake prone area in Baluchistan. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 2, p. 25–36, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2012.07.003>. Acesso em: 7 jun. 2019.

AINUDDIN, S.; ROUTRAY, J. K.; AINUDDIN, S. Operational indicators for assessing vulnerability and resilience in the context of natural hazards and disasters. **International Journal of Risk Assessment and Management**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 66–88, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1504/IJRAM.2015.068135>. Acesso em: 26 jul. 2017.

AKTER, S.; MALLICK, B. The poverty-vulnerability-resilience nexus: Evidence from Bangladesh. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 96, p. 114–124, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.10.008>. Acesso em: 31 jul. 2017.

AL-ABADI, A. M.; SHAHID, S.; AL-ALI, A. K. A GIS-based integration of catastrophe theory and analytical hierarchy process for mapping flood susceptibility: a case study of Teeb area, Southern Iraq. **Environmental Earth Sciences**, [s. l.], v. 75, n. 8, p. 1–19, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5523-7>

ALBANO, R.; MANCUSI, L.; ABBATE, A. Improving flood risk analysis for

effectively supporting the implementation of flood risk management plans: The case study of “Serio” Valley. **Environmental Science and Policy**, [s. l.], v. 75, n. December 2016, p. 158–172, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.05.017>

ALEXANDER, D. **Confronting Catastrophe: New perspectives on natural disasters**. 1. ed. Harpenden: Oxford University Press, 2000.

ALEXANDER, D. E. Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, [s. l.], v. 13, n. 11, p. 2707–2716, 2013. Available at: <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2707-2013>

ALMEIDA, L. Q. de; DE ALMEIDA, L. Q. **Vulnerabilidades Socioambientais de Rios Urbanos**. 311 f. 2010. - Universidade Estadual Paulista, [s. l.], 2010. Available at: <http://pct.capes.gov.br/teses/2010/33004137004P0/TES.PDF>

ALMEIDA, L. Q. de; WELLE, T.; BIRKMANN, J. Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the world risk index. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 17, p. 251–272, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.04.007>. Acesso em: 7 jun. 2016.

ANA. **Lista de termos para o thesaurus de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas**Thesaurus: 1. Brasília: [s. n.], 2014. Available at: [http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300\\_Portaria\\_149-2015.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300_Portaria_149-2015.pdf).

ANDERSSON-SKÖLD, Y. *et al.* Landslide risk management—A brief overview and example from Sweden of current situation and climate change. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 3, p. 44–61, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2012.11.002>. Acesso em: 31 jul. 2017.

ANDRADE, M. M. N. de; SZLAFSZTEIN, C. F. Vulnerability assessment including tangible and intangible components in the index composition: An Amazon case study of flooding and flash flooding. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 630, p. 903–912, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.271>

ARMENAKIS, C.; NIRUPAMA, N. Flood Risk Mapping for the City of Toronto. **Procedia Economics and Finance**, [s. l.], v. 18, n. September, p. 320–326, 2014. Available at: [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(14\)00946-0](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(14)00946-0)

AROCA-JIMÉNEZ, E. *et al.* A quantitative methodology for the assessment of the regional economic vulnerability to flash floods. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 565, n. August, p. 386–399, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.029>

ARONICA, G. T. *et al.* Estimation of flood inundation probabilities using global

hazard indexes based on hydrodynamic variables. **Physics and Chemistry of the Earth**, [s. l.], v. 42–44, p. 119–129, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.04.001>

ASADZADEH, A.; KÖTTER, T.; ZEBARDAST, E. An augmented approach for measurement of disaster resilience using connective factor analysis and analytic network process (F'ANP) model. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 14, p. 504–518, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.10.002>

AZAR, D.; RAIN, D. Identifying population vulnerable to hydrological hazards in San Juan, Puerto Rico. **GeoJournal**, [s. l.], v. 69, n. 1–2, p. 23–43, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9106-8>. Acesso em: 31 jul. 2017.

BAILEY, R.; SAFFIOTI, C.; DRALL, S. **Sunk costs: The socioeconomic impacts of flooding**. New York: [s. n.], 2021. Available at: [https://www.marshmcclennan.com/content/dam/mmc-web/insights/publications/2021/june/Sunk-Cost\\_Socioeconomic-impacts-of-flooding\\_vF.pdf](https://www.marshmcclennan.com/content/dam/mmc-web/insights/publications/2021/june/Sunk-Cost_Socioeconomic-impacts-of-flooding_vF.pdf).

BALD, R. L. **Avaliação da vulnerabilidade e riscos a inundações e enxurradas nas áreas suscetíveis da bacia hidrográfica do Rio Forqueta - RS**. 132 f. 2018. - Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), [s. l.], 2018. Available at: <https://www.univates.br/bdu/handle/10737/2168>

BALICA, S. F. *et al.* Parametric and physically based modelling techniques for flood risk and vulnerability assessment: A comparison. **Environmental Modelling and Software**, [s. l.], v. 41, p. 84–92, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.002>

BALICA, S. F.; WRIGHT, N. G.; VAN DER MEULEN, F. A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 64, n. 1, p. 73–105, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0234-1>

BATES, P. .; DE ROO, A. P. . A simple raster-based model for flood inundation simulation. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 236, n. 1–2, p. 54–77, 2000. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00278-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00278-X). Acesso em: 9 ago. 2013.

BAZZAN, T. **Mapeamento das áreas com risco de inundação do Rio dos Sinos no município de São Leopoldo, RS**. 135 f. 2011. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s. l.], 2011. Available at: <http://hdl.handle.net/10183/36060>

BECK, U. **Risk Society: Towards a New Modernity**. 1. ed. London: SAGE Publications, 1992. ISSN 00377732.v. 73 Available at:



<https://doi.org/10.2307/2579937>

BELOW, R.; WIRTZ, A.; GUHA-SAPIR, D. **Disaster category classification and peril terminology for operational purposes**. Louvain: [s. n.], 2009. Available at: <https://www.cred.be/node/564>.

BEROLDT, L. **Políticas públicas para a agricultura e dinâmica institucional: As transformações capitalistas na agricultura do Vale do Taquari, Rio Grande do Sul**. 123 f. 2010. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s. l.], 2010.

BINH, L. T. H.; UMAMAHESH, N. V.; RATHNAM, E. V. High-resolution flood hazard mapping based on nonstationary frequency analysis: case study of Ho Chi Minh City, Vietnam. **Hydrological Sciences Journal**, [s. l.], v. 64, n. 3, p. 318–335, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1581363>

BIRKMANN, J. *et al.* Framing vulnerability, risk and societal responses: The MOVE framework. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 67, n. 2, p. 193–211, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0558-5>

BIRKMANN, Jörn. Data, indicators and criteria for measuring vulnerability: Theoretical bases and requirements. *In*: BIRKMANN, Jörn (org.). **Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies**. New York: United Nations University Press, 2013a. v. 02, p. 80–106. *E-book*.

BIRKMANN, Jörn. Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies : Conceptual frameworks and definitions. *In*: MEASURING VULNERABILITY TO NATURAL HAZARDS; TOWARDS DISASTER RESILIENT SOCIETIES. 2. ed. New York: United Nations University, 2013b. p. 9–80. *E-book*.

BIRKMANN, Jörn *et al.* **World Risk Report Focus: Governance and civil society**. 1. ed. Berlin: B{ü}ndnis Entwicklung Hilft, 2011. *E-book*.

BOMBASSARO, M.; ROBAINA, L. E. de S. Contribuição geográfica para o estudo das inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS. **Geografias**, [s. l.], v. 06, n. 2, p. 69–86, 2010.

BONANNO, G. A. Loss, Trauma, and Human Resilience: Have We Underestimated the Human Capacity to Thrive After Extremely Aversive Events? **American Psychologist**, [s. l.], v. 59, n. 1, p. 20–28, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1037/0003-066X.59.1.20>. Acesso em: 7 jun. 2019.

BONO, A. De; MORA, M. G. A global exposure model for disaster risk assessment. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 10, n. Part B, p. 442–451, 2014. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.05.008>

BRAAT, L. The predictive meaning of sustainability indicators. *In*: KUIK, O.; VERBRUGGEN, H. (org.). **In search of indicators of sustainable development**. 1. ed. Dordrecht: [s. n.], 1991. p. 57–70. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-94-011-3246-6>. Acesso em: 7 out. 2016.

BRABB, E. E. Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping. *In*: , 1984, Toronto. **Proceedings of Fourth International Symposium on Landslides**. Toronto: Canadian Geotechnical Society, 1984. p. 307–324. Available at: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70197529>

BRAGA, T. M.; OLIVEIRA, E. L. de; GIVISIEZ, G. H. N. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social desastres naturais associados à mudança climática. **São Paulo em Perspectiva**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 61–79, 2006. Available at: <http://www.seade.gov.br/wp-content/uploads/2014/07/v20n1.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2017.

BRASIL. **Decreto 10.692/2021**Brasil: [s. n.], 2021. p. 3. Available at: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2021/decreto/D10692.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/D10692.htm)

BRASIL. **Lei 12.608/2012**Brasil, Brazil: Ministério da Casa Civil, 2012. p. 10. Available at: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm)

BROOKS, N.; ADGER, N. Assessing and enhancing adaptive capacity. *In*: LIM, B. *et al.* (org.). **Adaptation policy frameworks for climate change: developing strategies, policies and measures**. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. p. 165–180. *E-book*.

BRUNEAU, M. *et al.* A Framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. **Earthquake Spectra**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 733–752, 2003. Available at: <https://doi.org/10.1193/1.1623497>. Acesso em: 16 fev. 2016.

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/hec-ras/documentation/HEC-RAS 5.0 2D Modeling Users Manual.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/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/hec-ras/documentation/HEC-RAS 5.0 Applications Guide.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/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/hec-ras/documentation/HEC-RAS 5.0 Reference Manual.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf).

BUCKLE, P. Re-defining Community and Vulnerability in the Context of Emergency Management. **The Australian Journal of Emergency Management**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 21, 1998. Available at: <http://www.radixonline.org/resources/buckle-community-vulnerability.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2016.

BUDIYONO, Y. *et al.* Flood risk assessment for delta mega-cities: a case study of Jakarta. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 75, n. 1, p. 389–413, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1327-9>

BURTON, C.; CUTTER, S. L. Levee Failures and Social Vulnerability in the Sacramento-San Joaquin Delta Area, California. **Natural Hazards Review**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 136–149, 2008. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2008\)9:3\(136\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2008)9:3(136))

BURTON, C. G. A Validation of Metrics for Community Resilience to Natural Hazards and Disasters Using the Recovery from Hurricane Katrina as a Case Study. **Annals of the Association of American Geographers**, [s. l.], v. 105, n. 1, p. 67–86, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1080/00045608.2014.960039>

CAMARASA-BELMONTE, A. M.; SORIANO-GARCÍA, J. Flood risk assessment and mapping in peri-urban Mediterranean environments using hydrogeomorphology. Application to ephemeral streams in the Valencia region (Eastern Spain). **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 104, n. 2, p. 189–200, 2012. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204611002970>. Acesso em: 20 set. 2013.

CARDIS, E. *et al.* Risk of thyroid cancer after exposure to 131I in childhood. **Journal of the National Cancer Institute**, [s. l.], v. 97, n. 10, p. 724–732, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1093/jnci/dji129>. Acesso em: 7 out. 2016.

CARDONA, O.D.; ORDAZ, M. G. G.; REINOSO, E. CAPRA—comprehensive approach to probabilistic risk assessment: international initiative for risk management effectiveness. *In:* , 2012, Lisbon. (J. Azevedo, Org.) **Proceedings of the 15th World Conference on earthquake engineering**. Lisbon: IAEE/SPES, 2012. p. 10. Available at: [http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_0726.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_0726.pdf)

CARDONA, Omar Darío *et al.* **Determinants of Risk: Exposure and Vulnerability** (C. B. Field *et al.*, Org.) **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**. Cambridge and New York: [s. n.], 2012. Available at: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.005>.

CARDONA, Omar Darío. **Indicators of Disaster Risk and Risk Management: Program for Latin America and the Caribbean**. Washington D.C.: Inter-American Development Bank, 2005. Available at: <https://publications.iadb.org/en/publication/11419/indicators-disaster-risk-and-risk-management-program-latin-america-and-caribbean>.

CARDONA, Omar Darío. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: A necessary review and criticism for effective risk management. *In*: BANKOFF, G.; FRERKS, G.; HILHORST, D. (org.). **Mapping vulnerability: Disasters, development and people**. London: Earthscan, 2004. p. 37–51.

CARNEIRO, P. R. F.; MIGUEZ, M. G. **Controle de inundações em bacias hidrográficas metropolitanas**. 1. ed. São Paulo: Annablume, 2011.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. D. O.; RIO, G. A. P. Riscos ambientais e geografia: Conceituações, abordagens e escalas. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 11–30, 2005. Available at: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/6292>. Acesso em: 10 abr. 2017.

CASTRO, S. A. Riesgos y peligros: Una visión desde la geografía. **Scripta Nova**, [s. l.], n. 60, p. 1–13, 2000. Available at: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>. Acesso em: 2 abr. 2017.

CAVALLO, A.; IRELAND, V. Preparing for complex interdependent risks: A System of Systems approach to building disaster resilience. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 9, n. Supplement C, p. 181–193, 2014. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.05.001>

CEPED-RS. **Capacitação em gestão de riscos**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2016. *E-book*.

CEPED-RS; IPH; GRID. **Desenvolvimento e apoio à implantação de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na Bacia do Taquari-Antas**. Porto Alegre: [s. n.], 2015.

CEPED-SC. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 - 2012**. Florianópolis: [s. n.], 2013. Available at: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>.

CEPED. **Análise de vulnerabilidade a desastre do município de Balneário Camboriú**. 1. ed. Florianópolis: Centro, 2015. *E-book*.

CHAKRABORTY, A.; JOSHI, P. K. K. Mapping disaster vulnerability in India using analytical hierarchy process. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 308–325, 2014. Available at:

<https://doi.org/10.1080/19475705.2014.897656>. Acesso em: 6 out. 2016.

CHAKRABORTY, S.; MUKHOPADHYAY, S. Assessing flood risk using analytical hierarchy process (AHP) and geographical information system (GIS): application in Coochbehar district of West Bengal, India. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 99, n. 1, p. 247–274, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03737-7>

CHAPI, K. *et al.* A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. **Environmental Modelling and Software**, [s. l.], v. 95, p. 229–245, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.012>

CHAVES, H. A. T. **Projeto de uma estação fluviométrica automática**. 82 f. 2014. - Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), [s. l.], 2014. Available at: <https://www.univates.br/bdu/handle/10737/377>

CHEN, H. *et al.* Flood hazard assessment in the Kujukuri Plain of Chiba Prefecture, Japan, based on GIS and multicriteria decision analysis. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 78, n. 1, p. 105–120, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1699-5>

CHO, S. Y.; CHANG, H. Recent research approaches to urban flood vulnerability, 2006-2016. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 88, n. 1, p. 633–649, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2869-4>

CHOU, S. C. *et al.* Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, [s. l.], v. 03, n. 05, p. 512–527, 2014. Available at: <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043>

CHOW, V. T. **Open Channel Hydraulics**. Tokyo: McGraw Hill, 1959.

CHUNG, E. S.; LEE, K. S. Identification of Spatial Ranking of Hydrological Vulnerability Using Multi-Criteria Decision Making Techniques: Case Study of Korea. **Water Resources Management 2009 23:12**, [s. l.], v. 23, n. 12, p. 2395–2416, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1007/S11269-008-9387-9>. Acesso em: 27 dez. 2021.

CINELLI, M.; COLES, S. R.; KIRWAN, K. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 46, p. 138–148, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2014.06.011>

CODJOE, S. N. A.; AFUDUO, S. Geophysical, socio-demographic characteristics and perception of flood vulnerability in Accra, Ghana. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 77, p. 787–804, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1624-y>

COLLISCHONN, W. *et al.* The MGB-IPH model for large-scale rainfall—runoff

modelling. **Hydrological Sciences Journal**, [s. l.], v. 52, n. 5, p. 878–895, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1623/hysj.52.5.878>. Acesso em: 11 ago. 2013.

CRED. **EM-DAT: The Emergency Events Database**. [S. l.], 2020. Available at: [www.emdat.be](http://www.emdat.be). Acesso em: 10 fev. 2020.

CRICHTON, D. **The Risk Triangle**. London: [s. n.], 1999. Available at: <https://www.ilankelman.org/crichton/1999risktriangle.pdf>.

CUNICO, C.; OKA-FIORI, C. O estado de normalidade e o estado de exceção diante da importância das categorias de “vulnerabilidade”, “risco” e “resiliência”. **Revista Caminhos da Geografia**, [s. l.], v. 15, n. 52, p. 1–20, 2014. Available at: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/24840>. Acesso em: 10 abr. 2017.

CUTTER, S. L. *et al.* A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 598–606, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013>. Acesso em: 16 maio 2017.

CUTTER, S. L. The landscape of disaster resilience indicators in the USA. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 80, n. 2, p. 741–758, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1993-2>. Acesso em: 2 abr. 2020.

CUTTER, S. L. The Vulnerability of science and the science of vulnerability. **Annals of the Association of American Geographers**, [s. l.], v. 93, n. 1, p. 1–12, 2003. Available at: <https://doi.org/10.1111/1467-8306.93101>. Acesso em: 13 out. 2016.

CUTTER, S. L.; BURTON, C. G.; EMRICH, C. T. Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. **Journal of Homeland Security and Emergency Management**, [s. l.], v. 7, n. 1, 2010. Available at: <https://doi.org/10.2202/1547-7355.1732>

CUTTER, S. L.; FINCH, C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 105, n. 7, p. 2301–2306, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.0710375105>. Acesso em: 18 maio 2017.

DAMM, M. **Mapping social-ecological vulnerability to flooding - A sub-national approach for Germany**. 226 f. 2010. - Universität Bonn, [s. l.], 2010. Available at: <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2010/1997/1997.pdf>

DARAND, M.; SOHRABI, M. M. Identifying drought- and flood-prone areas based on significant changes in daily precipitation over Iran. **Natural Hazards**, [s. l.],

v. 90, n. 3, p. 1427–1446, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3107-9>

DARWIN, C. **On the origin of species**. New York: D. Appleton and Company, 1859. ISSN 00335770. Available at: <https://doi.org/10.4324/9780203509104>

DAS, S. Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. **Arabian Journal of Geosciences**, [s. l.], v. 11, n. 19, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3933-4>

DAVIDSON, J. L. *et al.* Toward operationalizing resilience concepts in Australian marine sectors coping with climate change. **Ecology and Society**, [s. l.], v. 18, n. 3, 2013. Available at: <https://doi.org/10.5751/ES-05607-180304>

DE BRITO, M. M.; ALMORADIE, A.; EVERS, M. Spatially-explicit sensitivity and uncertainty analysis in a MCDA-based flood vulnerability model. **International Journal of Geographical Information Science**, [s. l.], v. 33, n. 9, p. 1788–1806, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1599125>. Acesso em: 22 fev. 2020.

DE BRITO, M. M.; EVERS, M. Multi-criteria decision-making for flood risk management: A survey of the current state of the art. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 1019–1033, 2016. Available at: <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1019-2016>

DE BRITO, M. M.; EVERS, M.; ALMORADIE, A. D. S. Participatory flood vulnerability assessment: A multi-criteria approach. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 373–390, 2018. Available at: <https://doi.org/10.5194/hess-22-373-2018>. Acesso em: 22 fev. 2020.

DE BRITO, M. M.; EVERS, M.; HÖLLERMANN, B. Prioritization of flood vulnerability, coping capacity and exposure indicators through the Delphi technique: A case study in Taquari-Antas basin, Brazil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 24, p. 119–128, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.05.027>. Acesso em: 27 jul. 2017.

DE GROEVE, T. **Scientific Policy Report - Index for Risk Management - INFORM**. [S. l.: s. n.], 2014. ISSN 1831-9424.v. 53 Available at: <https://doi.org/10.2788/636388>

DE MOEL, H. *et al.* Flood risk assessments at different spatial scales. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 865–890, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11027-015-9654-z>. Acesso em: 10 abr. 2020.

DE PESSÔA, J. A. **A estrutura JANUS integrando preferências, modelos e dados na gestão de bacias hidrográficas**. 2005. - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [s. l.], 2005. Available at: <http://www.coc.ufrj.br/index.php/teses-de-doutorado/149-2005/1029-joao-augusto-de-pessoa%7B#%7Ddownload>

DE RISI, R.; JALAYER, F.; DE PAOLA, F. Meso-scale hazard zoning of potentially flood prone areas. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 527, p. 316–325, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.070>

DENG, H. Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison. **International Journal of Approximate Reasoning**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 215–231, 1999. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0888-613X\(99\)00025-0](https://doi.org/10.1016/S0888-613X(99)00025-0). Acesso em: 10 jul. 2020.

DERECZYNSKI, C.; SILVA, W. L.; MARENGO, J. Detection and Projections of Climate Change in Rio de Janeiro, Brazil. **American Journal of Climate Change**, [s. l.], v. 02, n. 01, p. 25–33, 2013. Available at: <https://doi.org/10.4236/ajcc.2013.21003>. Acesso em: 16 fev. 2016.

DEVKOTA, K. C. *et al.* Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling--Narayanghat road section in Nepal Himalaya. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 65, n. 1, p. 135–165, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0347-6>

DIEDRICH, V. L. *et al.* Mapeamento e previsão das áreas urbanas inundáveis na cidade de Lajeado-RS-Brasil Brasil. **XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia**, [s. l.], n. March, p. 1459–1465, 2010. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/261435958\\_MAPEAMENTO\\_E\\_PREVISA\\_O\\_DAS\\_AREAS\\_URBANAS\\_INUNDAVEIS\\_NA\\_CIDADE\\_DE\\_LAJEADO\\_-\\_RS\\_-\\_BRASIL](https://www.researchgate.net/publication/261435958_MAPEAMENTO_E_PREVISA_O_DAS_AREAS_URBANAS_INUNDAVEIS_NA_CIDADE_DE_LAJEADO_-_RS_-_BRASIL)

DILLEY, M. *et al.* **Natural disaster hotspots a global risk**. Washington D.C.: The World Bank, 2005. ISSN 0004-5608.v. 98 Available at: <https://doi.org/10.1080/01944360902967228>

DKKV. **Extreme Naturereignisse-Folgen, Vorsorge, Werkzeuge** (G. Tetzlaff, T. Trautmann, & K. S. Radtke, Org.). Bonn: [s. n.], 2003. Available at: [http://www.dkkv.org/fileadmin/user\\_upload/Veroeffentlichungen/Publikationen/Extreme\\_Naturereignisse\\_-\\_Folgen\\_\\_Vorsorge\\_\\_Werkzeuge\\_\\_Kapitel\\_2\\_Planung\\_und\\_Katastrophenvorsorge\\_2\\_Forum\\_Teil2.pdf](http://www.dkkv.org/fileadmin/user_upload/Veroeffentlichungen/Publikationen/Extreme_Naturereignisse_-_Folgen__Vorsorge__Werkzeuge__Kapitel_2_Planung_und_Katastrophenvorsorge_2_Forum_Teil2.pdf).

DOSWELL, C. A. A. Flooding. *In*: PYLE, J. A. C.; A., J. (org.). **Encyclopedia of Atmospheric Sciences**. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, 2003. p. 769–776. Available at:



<https://doi.org/10.1016/B0-12-227090-8/00151-2>. Acesso em: 10 fev. 2016.

DRH; SEMA-RS. **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul – edição 2006**. Porto Alegre: [s. n.], 2006. Available at: [http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=294&cod\\_conteudo=6281](http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=294&cod_conteudo=6281).

DRH; SEMA-RS. **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul – edição 2007/2008**. Porto Alegre: [s. n.], 2008. Available at: [http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=294&cod\\_conteudo=6281](http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=294&cod_conteudo=6281).

DSG. **Norma da especificação técnica para aquisição de dados geoespaciais vetoriais da defesa da força terrestre**. Brasília: [s. n.], 2016. Available at: [https://docs.ufpr.br/~deni\\_ern/CD2020/A1/ET\\_ADGV\\_2a\\_Edicao\\_2016\\_Textual\\_Anexo\\_A\\_Assinado.pdf](https://docs.ufpr.br/~deni_ern/CD2020/A1/ET_ADGV_2a_Edicao_2016_Textual_Anexo_A_Assinado.pdf).

EASTERLING, D. R. Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. **Science**, [s. l.], v. 289, n. 5487, p. 2068–2074, 2000. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>. Acesso em: 10 jul. 2014.

ECKHARDT, R. R. **Mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS**. 116 f. 2008. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, [s. l.], 2008.

EEA. **Financing urban adaptation to climate change**. Copenhagen: European Environment Agency, 2017. Available at: <https://doi.org/doi:10.2800/235562>.

ELSADEK, W. M. *et al.* Developing an overall assessment map for flood hazard on large area watershed using multi-method approach: case study of Wadi Qena watershed, Egypt. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 95, n. 3, p. 739–767, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3517-3>

EMA. **Emergency management in Australia concepts and principles** (D. Templeman, Org.). Dickson: [s. n.], 2004. Available at: <https://knowledge.aidr.org.au/media/1972/manual-1-concepts-and-principles.pdf>.

ENGLE, N. L. Adaptive capacity and its assessment. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 647–656, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.019>. Acesso em: 26 jul. 2017.

ERENA, S. H.; WORKU, H. Urban flood vulnerability assessments: the case of Dire Dawa city, Ethiopia. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 97, n. 2, p. 495–516, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03654-9>

FADEL, A. W. **Incorporação do risco de preuízo no gerenciamento de medidas de controle inundaçãõ**. 114 f. 2015. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), [s. l.], 2015.

FANKHAUSER, S. The potential costs of climate change adaptation. *In*: SMITH, J. *et al.* (org.). **Adapting to Climate Change: An international perspective**. 1. ed. New York: Springer-Verlag, 1996. p. 80–96. *E-book*.

FEENSTRA, J. F. *et al.* **Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies**. Amsterdam: [s. n.], 1998. Available at: <https://doi.org/10.1111/gcb.12365>.

FEKETE, A. Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany. **Natural Hazards and Earth System Science**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 393–403, 2009. Available at: <https://doi.org/10.5194/nhess-9-393-2009>. Acesso em: 24 set. 2017.

FEKETE, Alexander; HUFSCHMIDT, G.; KRUSE, S. Benefits and Challenges of Resilience and Vulnerability for Disaster Risk Management. **International Journal of Disaster Risk Science**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 3–20, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13753-014-0008-3>

FELL, R. *et al.* Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. **Engineering Geology**, [s. l.], v. 102, n. 3, p. 85–98, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>. Acesso em: 10 maio 2017.

FEMA. **National Disaster Recovery Framework: Strengthening Disaster Recovery for the Nation**: 1. Washington D.C.: [s. n.], 2011. Available at: <https://www.fema.gov/pdf/recoveryframework/ndrf.pdf>.

FEMA. **National Prevention Framework**. Washington, D.C.: [s. n.], 2013. Available at: [https://www.fema.gov/media-library-data/1466017209279-83b72d5959787995794c0874095500b1/National\\_Prevention\\_Framework2nd.pdf](https://www.fema.gov/media-library-data/1466017209279-83b72d5959787995794c0874095500b1/National_Prevention_Framework2nd.pdf).

FEPAM. **Qualidade das águas da bacia hidrografica do rio das Antas e rio Taquari**. [S. l.], 2012. Available at: [http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_taquari\\_antas/taquariantas.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/taquariantas.asp). Acesso em: 1 jan. 2015.

FERNANDEZ, P.; MOURATO, S.; MOREIRA, M. Social vulnerability assessment of flood risk using GIS-based multicriteria decision analysis. A case study of Vila Nova de Gaia. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 1367–1389, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1052021>

FERREIRA, F.; SÁNCHEZ-PÁRAMO, C. **A richer array of international**

**poverty lines.** [S. l.], 2017. Available at: <https://blogs.worldbank.org/developmenttalk/richer-array-international-poverty-lines>. Acesso em: 20 dez. 2020.

FERRI, G. A.; TOGNI, A. C. **A história da bacia hidrográfica Taquari-Antas.** 1. ed. Lajeado: Univates, 2012. *E-book*.

FILATOVA, T. Market-based instruments for flood risk management: A review of theory, practice and perspectives for climate adaptation policy. **Environmental Science and Policy**, [s. l.], v. 37, p. 227–242, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.09.005>

FINKELSTEIN, B. J.; BORGES JUNIOR, L. H. A capacidade de leitos hospitalares no Brasil, as internações no SUS, a migração demográfica e os custos dos procedimentos. **J. bras. econ. saúde (Impr.)**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 273–280, 2020. Available at: <https://doi.org/10.21115/JBES.V12.N3.P273-80>. Acesso em: 26 dez. 2021.

FOLHA POPULAR. **Rio Taquari registra enchente para marcar história: 27,39 metros.** [S. l.], 2020. Available at: <https://folhapopular.info/index.php/2020/07/09/rio-taquari-registra-enchente-para-marcara-historia-2739-metros/>. Acesso em: 17 out. 2020.

FOLKE, C *et al.* Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. **Ambio**, [s. l.], v. 31, n. 5, p. 437–440, 2002. Available at: <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.5.437>. Acesso em: 17 out. 2016.

FOLKE, Carl. Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 253–267, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>. Acesso em: 2 ago. 2017.

FORSTER, P. *et al.* Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *In*: SOLOMON, S. *et al.* (org.). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** 1. ed. New York: Cambridge University Press, 2007. v. 1, p. 129–234. Available at: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.77.220407>

FOUDI, S.; OSÉS-ERASO, N.; TAMAYO, I. Integrated spatial flood risk assessment: The case of Zaragoza. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 42, p. 278–292, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.08.002>

FRAZIER, T. G. *et al.* Spatial and temporal quantification of resilience at the

community scale. **Applied Geography**, [s. l.], v. 42, p. 95–107, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.05.004>

FREUDENBERG, M. **Composite Indicators of Country Performance: A Critical Assessment**. 1. ed. Paris: OECD, 2003. Available at: <https://doi.org/doi.org/10.1787/18151965>. Acesso em: 22 jun. 2020.

GAILLARD, J. C.; CADAG, J. R. D.; RAMPENGAN, M. M. F. People's capacities in facing hazards and disasters: an overview. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 95, n. 3, p. 863–876, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3519-1>

GAIN, A. K. *et al.* An integrated approach of flood risk assessment in the eastern part of Dhaka City. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 79, n. 3, p. 1499–1530, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1911-7>

GALLOPÍN, G. C. Methodological and conceptual aspects. *In*: HANDBOOK FOR ESTIMATING THE SOCIO-ECONOMICS AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF DISASTERS. 1. ed. Santiago de Chile: Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC) and International Bank for Reconstruction/Development, 2003. p. 357. *E-book*.

GALLOPÍN, Gilberto C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 293–303, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>

GAO, J.; NICKUM, J. E.; PAN, Y. An assessment of flood hazard vulnerability in the Dongting Lake Region of China. **Lakes & Reservoirs: Research & Management**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 27–34, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.2007.00318.x>. Acesso em: 12 jul. 2016.

GARSCHAGEN, M. Resilience and organisational institutionalism from a cross-cultural perspective: an exploration based on urban climate change adaptation in Vietnam. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 67, n. 1, p. 25–46, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9753-4>

GERHARD, F. **Previsão de níveis fluviais de inundação para a cidade de Lajeado, Rio Grande do Sul, a partir de diferentes abordagens temáticas**. 137 f. 2017. - Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), [s. l.], 2017. Available at: [https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1912/1/FABIANE\\_GERHARD.pdf](https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1912/1/FABIANE_GERHARD.pdf)

GHOSH, A.; KAR, S. K. Application of analytical hierarchy process (AHP) for flood risk assessment: a case study in Malda district of West Bengal, India. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 94, n. 1, p. 349–368, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3392-y>

GIGOVIĆ, L. *et al.* Application of GIS-interval rough AHP methodology for flood hazard mapping in Urban areas. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 1–26, 2017. Available at: <https://doi.org/10.3390/w9060360>

GODFREY, A. *et al.* Assessing vulnerability of buildings to hydro-meteorological hazards using an expert based approach - An application in Nehoiu Valley, Romania. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 13, p. 229–241, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.06.001>

GOERL, R. F. **Estudo de inundações em Rio Negrinho - SC sob a ótica dos desastres naturais**. 121 f. 2010. - Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2010. Available at: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/93861>

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. Available at: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v30i1.13519>

GREINER, C. **Avaliação do referencial de nível das inundações da cidade de Lajeado/RS com relação à régua linimétrica do porto de Estrela/RS**. 88 f. 2014. - Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), [s. l.], 2014. Available at: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/688/1/2014ClaitonGreiner.pdf>

GUHA-SAPIR, D.; HOYOIS, P. **Estimating populations affected by disasters: A review of methodological issues and research gaps**. Brussels: [s. n.], 2015. Available at: [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/7774UN Note on affected - Final version.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/7774UN%20Note%20on%20affected%20Final%20version.pdf).

GUHA-SAPIR, D.; HOYOIS, P.; BELOW, R. **Annual disaster statistical review 2014: The numbers and trends** *Review Literature And Arts Of The Americas*. Louvain: [s. n.], 2014. Available at: [https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/ADSR\\_2014.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/ADSR_2014.pdf). Acesso em: 7 out. 2016.

GUILLARD-GONÇALVES, C. *et al.* Application of Social Vulnerability Index (SoVI) and delineation of natural risk zones in Greater Lisbon, Portugal. **Journal of Risk Research**, [s. l.], v. 18, n. 5, p. 651–674, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1080/13669877.2014.910689>. Acesso em: 24 set. 2017.

GUNASEKERA, R. *et al.* Developing an adaptive global exposure model to support the generation of country disaster risk profiles. **Earth-Science Reviews**, [s. l.], v. 150, p. 594–608, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.08.012>

GURRI, F. D. *et al.* Measuring individual vulnerability to floods in the lower and middle Grijalva River Basin, Tabasco, Mexico. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 96, n. 1, p. 149–171, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3533-3>

GUZZETTI, F. *et al.* Estimating the quality of landslide susceptibility models. **Geomorphology**, [s. l.], v. 81, n. 1, p. 166–184, 2006. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.04.007>

GUZZETTI, F. *et al.* Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. **Geomorphology**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 181–216, 1999. Available at: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00078-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00078-1)

HARLEY, P.; SAMANTA, S. Modeling of inland flood vulnerability zones through remote sensing and GIS techniques in the highland region of Papua New Guinea. **Applied Geomatics**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 159–171, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12518-018-0220-8>

HAZARIKA, N. *et al.* Assessing and mapping flood hazard, vulnerability and risk in the Upper Brahmaputra River valley using stakeholders' knowledge and multicriteria evaluation (MCE). **Journal of Flood Risk Management**, [s. l.], v. 11, p. S700–S716, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12237>

HELM, P. Integrated risk management for natural and technological disasters. **Tephra**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 4–13, 1996. Available at: <http://www.civildefence.govt.nz/assets/Uploads/publications/tephra-june-1996.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2017.

HERNÁNDEZ-GUERRERO, J.; VIEYRA-MEDRANO, A.; MENDOZA, M. E. Adaptation strategies in communities under precarious housing: Flooding risks in the peri-urban sector of the city of Morelia, Michoacán, México. **Applied Geography**, [s. l.], v. 34, p. 669–679, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.04.010>. Acesso em: 15 mar. 2017.

HEWITT, K. The idea of calamity in a technocratic age. *In*: HEWITT, K. (org.). **Interpretations of Calamity**. 1. ed. Boston: George Allen & Unwin, 1983. p. 170. *E-book*.

HEWITT, K.; BURTON, I. **The hazardousness of a place: a regional ecology of damage events**. 1. ed. Toronto: University of Toronto Press, 1971. *E-book*.

HONG, H. *et al.* Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 625, p. 575–588, 2018a. Available at:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.256>

HONG, H. *et al.* Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neuro-fuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 621, p. 1124–1141, 2018b. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.114>

HOQUE, M. A. A. *et al.* Assessing spatial flood vulnerability at kalapara upazila in Bangladesh using an analytic hierarchy process. **Sensors (Switzerland)**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 1–19, 2019. Available at: <https://doi.org/10.3390/s19061302>

HU, S. *et al.* GIS-based flood risk assessment in suburban areas: a case study of the Fangshan District, Beijing. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 87, n. 3, p. 1525–1543, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2828-0>

IBGE. **Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário** Universo. [S. l.: s. n.], 2011.

IBGE. **Censo 2010 - Amostra (Infográfico)**. [S. l.], 2010a. Available at: <https://censo2010.ibge.gov.br/amostra/>. Acesso em: 7 jun. 2021.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. [S. l.], 2010b. Available at: <http://censo2010.ibge.gov.br/>.

IBGE. **Descrição de variáveis do Censo Demográfico 2010**. Brasília: [s. n.], 2010c. Available at: [https://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/descricao\\_das\\_variaveis\\_censo\\_2010.pdf](https://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/descricao_das_variaveis_censo_2010.pdf).

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. Rio de Janeiro: [s. n.], 1995. Available at: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24913.pdf>.

IBGE. **Panorama do Brasil**. [S. l.], 2020. Available at: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 28 ago. 2020.

IBGE. **Síntese dos indicadores sociais: Uma análise de condições de vida**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2019. *E-book*.

IPCC. **Climate change 2001 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. New York: Cambridge University Press, 2001. (Climate Change 2001). *E-book*.

IPT; CPRM. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações 1:25.000 - nota técnica explicativa** (O. Y. Bitar, Org.). Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2014. Available at: [http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16588/NT-Carta\\_Suscetibilidade.pdf?sequence=1](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16588/NT-Carta_Suscetibilidade.pdf?sequence=1).

IRDR. **Peril Classification and Hazard Glossary**. Beijing: [s. n.], 2014.

Available at: [https://www.irdrinternational.org/knowledge\\_pool/publications/173](https://www.irdrinternational.org/knowledge_pool/publications/173).  
Acesso em: 7 out. 2016.

ISLAM, M. S.; SWAPAN, M. S. H.; HAQUE, S. M. Disaster risk index: How far should it take account of local attributes? **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 76–87, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2012.10.001>. Acesso em: 11 ago. 2013.

JACINTO, R. *et al.* Continental portuguese territory flood susceptibility index - Contribution to a vulnerability index. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 15, n. 8, p. 1907–1919, 2015. Available at: <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1907-2015>. Acesso em: 10 maio 2017.

JALAYER, F. *et al.* Probabilistic GIS-based method for delineation of urban flooding risk hotspots. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 73, n. 2, p. 975–1001, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1119-2>

Jl, Z. *et al.* Comprehensive assessment of flood risk using the classification and regression tree method. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment** 2013 27:8, [s. l.], v. 27, n. 8, p. 1815–1828, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1007/S00477-013-0716-Z>. Acesso em: 31 dez. 2021.

JONES, R.; MEARNS, L. Assessing future climate risks. *In: ADAPTION POLICY FRAMEWORKS FOR CLIMATE CHANGE DEVELOPING STRATEGIES, POLICIES AND MEASURES*. 1. ed. New York: Cambridge University Press, 2004. p. 263. *E-book*.

JONGMAN, B. *et al.* Increasing flood exposure in the Netherlands: Implications for risk financing. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 14, n. 5, p. 1245–1255, 2014. Available at: <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1245-2014>

KABENGE, M. *et al.* Characterizing flood hazard risk in data-scarce areas, using a remote sensing and GIS-based flood hazard index. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 89, n. 3, p. 1369–1387, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3024-y>

KABLAN, M. K. A.; DONGO, K.; COULIBALY, M. Assessment of social vulnerability to flood in urban Côte d'Ivoire using the MOVE framework. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 1–19, 2017. Available at: <https://doi.org/10.3390/w9040292>

KAHRAMAN, C.; CEBECI, U.; ULUKAN, Z. Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. **Logistics Information Management**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 382–394, 2003. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/09576050310503367>

KANANI-SADAT, Y. *et al.* A new approach to flood susceptibility assessment in



data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi criteria decision-making method. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 572, n. February, p. 17–31, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.034>

KARAYALCIN, I. I. The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 97–98, 1982. Available at: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(82\)90022-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(82)90022-4)

KARLSSON, C. S. J. *et al.* Natural Hazard Susceptibility Assessment for Road Planning Using Spatial Multi-Criteria Analysis. **Environmental Management**, [s. l.], v. 60, n. 5, p. 823–851, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0912-6>

KARMAOUI, A.; BALICA, S. A new flood vulnerability index adapted for the pre-Saharan region. **International Journal of River Basin Management**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 1–37, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1080/15715124.2019.1583668>

KASPERSON, J. X. *et al.* Vulnerability to global environmental change. *In*: KASPERSON, J. X.; KASPERSON, R. E. (org.). **Social Contours of Risk - vol. II - Risk Analysis, Corporations and the Globalization of Risk**. 1. ed. London: Earthscan, 2005. p. 245–285.

KAUR, H. *et al.* Geospatial modelling of flood susceptibility pattern in a subtropical area of West Bengal, India. **Environmental Earth Sciences**, [s. l.], v. 76, n. 9, p. 1–22, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6667-9>

KAZAKIS, N.; KOUGIAS, I.; PATSIALIS, T. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope-Evros region, Greece. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 538, p. 555–563, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>

KENDRA, J. M.; WACHTENDORF, T. Elements of Resilience After the World Trade Center Disaster: Reconstituting New York City's Emergency Operations Centre. **Disasters**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 37–53, 2003. Available at: <https://doi.org/10.1111/1467-7717.00218>. Acesso em: 18 out. 2016.

KHALILI, S.; HARRE, M.; MORLEY, P. A temporal framework of social resilience indicators of communities to flood, case studies: Wagga wagga and Kempsey, NSW, Australia. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 13, n. Supplement C, p. 248–254, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.06.009>. Acesso em: 24 set. 2017.

KHOSRAVI, K. *et al.* A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. **Science of the**

**Total Environment**, [s. l.], v. 627, p. 744–755, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.266>

KHOSRAVI, K. *et al.* A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 83, n. 2, p. 947–987, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2>

KLEIN, R. J. T.; NICHOLLS, R. J.; THOMALLA, F. Resilience to natural hazards: How useful is this concept? **Environmental Hazards**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 35–45, 2003. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.02.001>. Acesso em: 7 dez. 2015.

KOBAYASHI, Y.; PORTER, J. W. **Flood Risk Management in the People's Republic of China: Learning to Live with Flood Risk**. Manila: Asian Development Bank (ADB), 2012. *E-book*.

KOHLER, A.; JÜLICH, S.; BLOEMERTZ, L. **Guidelines Risk Analysis – a Basis for Disaster Risk Management**. Eschborn: [s. n.], 2004. Available at: [https://www.preventionweb.net/files/1085\\_enriskanalysischs16.pdf](https://www.preventionweb.net/files/1085_enriskanalysischs16.pdf).

KONTOKOSTA, C. E.; MALIK, A. The Resilience to Emergencies and Disasters Index: Applying big data to benchmark and validate neighborhood resilience capacity. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 36, n. October 2017, p. 272–285, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.025>

KOTZEE, I.; REYERS, B. Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: A composite index approach. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 60, p. 45–53, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.018>

KOURGIALAS, N. N.; KARATZAS, G. P. A national scale flood hazard mapping methodology: The case of Greece – Protection and adaptation policy approaches. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 601–602, p. 441–452, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.197>

KOUWEN, N. *et al.* Grouped Response Units for Distributed Hydrologic Modeling. **Journal of Water Resources Planning and Management**, [s. l.], v. 119, n. 3, p. 289–305, 1993. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1993\)119:3\(289\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1993)119:3(289)). Acesso em: 11 ago. 2013.

KUREK, R. K. M. **Avaliação do tempo de retorno dos níveis das inundações no vale do taquari/rs**. 92 f. 2012. - Centro Universitário UNIVATES, [s. l.], 2012. Available at: <https://www.univates.br/bdu/handle/10737/429>

KUSUMASTUTI, R. D. *et al.* Developing a resilience index towards natural disasters in Indonesia. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 10, n. Part A, p. 327–340, 2014. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.10.007>. Acesso em: 24 set. 2017.

LA RED. **Agenda de Investigación y Constitución Orgánica**: 1. Ciudad de Panamá: [s. n.], 1992. Available at: <http://www.desenredando.org/public/libros/1992/agenda/AgendaDeInvestigacion-1.0.0.pdf>.

LAY, T. *et al.* The Great Sumatra-Anadaman Earthquake of 26 December 2004. **Science**, [s. l.], v. 308, n. May, p. 1127–1133, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1112250>. Acesso em: 7 out. 2016.

LEBEL, L. *et al.* Adaptation to Climate Change and Social Justice: Challenges for Flood and Disaster Management in Thailand. In: LUDWIG, F. *et al.* (org.). **Climate Change Adaptation in the Water Sector**. 1. ed. London: Earthscan, 2009. p. 125–141. Available at: <https://doi.org/10.1201/b16969-9>

LEE, E. I. A study on the long-term variations of annual maximum surge heights at Sokcho and Mukho Harbors. **Korean Soc. Coastal Ocean Eng.**, [s. l.], v. 20, p. 564, 2008.

LEE, S. *et al.* Spatial prediction of flood susceptibility using random-forest and boosted-tree models in Seoul metropolitan city, Korea. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 1185–1203, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1308971>

LEVINA, E.; TIRPAK, D. **Adaptation to climate change: Key terms** (E. Levina & D. Tirpak, Org.). Paris: [s. n.], 2006. Available at: <http://www.oecd.org/environment/cc/36736773.pdf>.

LI, J. *et al.* Integrated GIS/AHP-based flood disaster risk assessment and zonation: a case study of Henan Province, China. **Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XII**, [s. l.], v. 7824, p. 782423, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1117/12.864942>

LIN, L.; WU, Z.; LIANG, Q. Urban flood susceptibility analysis using a GIS-based multi-criteria analysis framework. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 97, n. 2, p. 455–475, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03615-2>

LIU, R. *et al.* Assessing spatial likelihood of flooding hazard using naïve Bayes and GIS: a case study in Bowen Basin, Australia. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, [s. l.], v. 30, n. 6, p. 1575–1590, 2016. Available at:

<https://doi.org/10.1007/s00477-015-1198-y>

LUU, C.; VON MEDING, J.; KANJANABOOTRA, S. Assessing flood hazard using flood marks and analytic hierarchy process approach: a case study for the 2013 flood event in Quang Nam, Vietnam. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 90, n. 3, p. 1031–1050, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3083-0>

LYU, H. M. *et al.* Perspectives for flood risk assessment and management for mega-city metro system. **Tunnelling and Underground Space Technology**, [s. l.], v. 84, n. September 2018, p. 31–44, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.10.019>

MACDONALD, N. *et al.* The significance of Gilbert F. White's 1945 paper "Human adjustment to floods" in the development of risk and hazard management. **Progress in Physical Geography**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 125–133, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1177/0309133311414607>. Acesso em: 4 abr. 2017.

MACHADO, M. L. *et al.* Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 35–52, 2005.

MAGUIRE, B.; HAGAN, P. Disasters and communities: Understanding social resilience. **The Australian Journal of Emergency Management**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 16–20, 2007. Available at: <https://ajem.infoservices.com.au/items/AJEM-22-02-04>. Acesso em: 19 out. 2016.

MAHMOUD, S. H.; GAN, T. Y. Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 196, p. 216–229, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.047>

MALCOMB, D. W.; WEAVER, E. A.; KRAKOWKA, A. R. Vulnerability modeling for sub-Saharan Africa: An operationalized approach in Malawi. **Applied Geography**, [s. l.], v. 48, p. 17–30, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.01.004>

MANSUR, A. V. *et al.* An assessment of urban vulnerability in the Amazon Delta and Estuary: a multi-criterion index of flood exposure, socio-economic conditions and infrastructure. **Sustainability Science**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 625–643, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11625-016-0355-7>

MANYENA, S. B. The concept of resilience revisited. **Disasters**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 433–450, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2006.00331.x>. Acesso em: 19 out. 2016.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 95–110, 2004. Available

at: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000200006>. Acesso em: 4 abr. 2017.

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias - Conceitos básicos** **Desastres naturais e geotecnologias**: 1. Santa Maria: [s. n.], 2008. Available at: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.02.16.22/doc/publicacao.pdf>.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBIYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 17, p. 72–84, 2006. Available at: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15273>. Acesso em: 16 maio 2016.

MARENGO, J. A. *et al.* An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, [s. l.], v. 98, n. 3–4, p. 509–529, 2009a. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9743-7>. Acesso em: 16 fev. 2016.

MARENGO, J. A. *et al.* Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, [s. l.], v. 29, n. 15, p. 2241–2255, 2009b. Available at: <https://doi.org/10.1002/joc.1863>. Acesso em: 16 fev. 2016.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C.; OBREGON, G. O. Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. **American Journal of Climate Change**, [s. l.], v. 57, p. 61–72, 2013. Available at: <https://doi.org/10.3354/cr01160>. Acesso em: 16 fev. 2016.

MARSHALL, N. Rural Experience and the Development of the Middle Class: The Power of Culture and Tangible Improvements. **American Nineteenth Century History**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 1–25, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1080/14664650601179021>

MARTINI, L. C. P. *et al.* Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: Decisão multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas. **Geologia USP - Serie Cientifica**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 41–52, 2006. Available at: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5327/S1519-874X2006000200004>. Acesso em: 31 jul. 2017.

MAYUNGA, J. **Measuring the measure - A multi-dimensional scale model to measure community disaster resilience in the U.S. Gulf Coast region**. 263 f. 2009. - Texas A&M University, [s. l.], 2009. Available at: <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/ETD-TAMU-2009-05-769>

MAYUNGA, J. **Understanding and applying the concept of community disaster resilience: A capital-based approach** **Social vulnerability and resilience building**. College Station: [s. n.], 2007. Available at: [https://www.u-cursos.cl/usuario/3b514b53bcb4025aaf9a6781047e4a66/mi\\_blog/r/11.\\_Joseph\\_S.\\_Mayunga.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/3b514b53bcb4025aaf9a6781047e4a66/mi_blog/r/11._Joseph_S._Mayunga.pdf).

MDR. **Instrução Normativa N°36** Brasil: Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), 2020. p. 6. Available at: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-36-de-4-de-dezembro-de-2020-292423788>

MENONI, S. *et al.* Assessing multifaceted vulnerability and resilience in order to design risk-mitigation strategies. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 64, n. 3, p. 2057–2082, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0134-4>

MERZ, B.; THIEKEN, A. H.; GOCHT, M. Flood risk mapping at the local scale: Concepts and challenges. *In*: BEGUM, S.; STIVE, M. J. F.; HALL, J. W. (org.). **Flood Risk Management in Europe**. 1. ed. Dordrecht: Springer, 2007. p. 231–251. *E-book*.

MESSNER, F. *et al.* **Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods** **Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures**. Wallingford: [s. n.], 2007. Available at: [http://drm.cenn.ge/Trainings/Multi\\_Hazard\\_Risk\\_Assessment/Lectures\\_ENG/Session\\_05\\_Vulnerability\\_assessment/Background/T09\\_06\\_01\\_Flood\\_damage\\_guidelines\\_D9\\_1\\_v2\\_2\\_p44.pdf](http://drm.cenn.ge/Trainings/Multi_Hazard_Risk_Assessment/Lectures_ENG/Session_05_Vulnerability_assessment/Background/T09_06_01_Flood_damage_guidelines_D9_1_v2_2_p44.pdf). Acesso em: 14 jul. 2017.

MILLER, F. *et al.* Resilience and Vulnerability: Complementary or Conflicting Concepts? **Ecology and Society**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 25, 2010. Available at: <https://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss3/art11/>. Acesso em: 26 jul. 2017.

MIN. **Instrução Normativa n° 2/2016 - Anexo V** Brasil: Ministério da Integração Nacional, 2016. p. 4. Available at: [http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/24789597/do1-2016-12-22-instrucao-normativa-n-2-de-20-de-dezembro-de-2016--24789506](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/24789597/do1-2016-12-22-instrucao-normativa-n-2-de-20-de-dezembro-de-2016--24789506)

MINISTÉRIO DA CIDADANIA. **Bolsa Família - Pagamentos 2020**. [S. l.], 2020. Available at: <https://www.gov.br/cidadania/pt-br/acoes-e-programas/bolsa-familia/numeros/pagamentos-1/pagamentos-2020>. Acesso em: 7 jun. 2021.

MIRANDA, F. N.; FERREIRA, T. M. A simplified approach for flood vulnerability assessment of historic sites. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 96, n. 2, p. 713–730, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-03565-1>

MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development

indicators. **Sustainable Development**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 1–11, 1996. Available at: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1719\(199603\)4:1<1::AID-SD24>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1719(199603)4:1<1::AID-SD24>3.0.CO;2-N).

Acesso em: 12 maio 2016.

MITCHELL, J. T.; CUTTER, S. L. **Global Change and Environmental Hazards: Is the World Becoming More Disastrous?** 1. ed. Washington D.C.: Association of American Geographers, 1997. *E-book*.

MMA. **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil**. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente do Brasil, 2008. *E-book*.

MOGHADAS, M. *et al.* A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 35, n. January, p. 101069, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101069>

MONTE, B. E. O. *et al.* Terminology of natural hazards and disasters: A review and the case of Brazil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 52, p. 1–22, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101970>

MONTEIRO, L. R. *et al.* Effects of return periods on flood hazard mapping: an analysis of the UFSC Campus Basin, Florianópolis city, Brazil. **RBRH**, [s. l.], v. 26, n. 9, p. 13, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.262120200161>. Acesso em: 15 mar. 2022.

MONTEIRO, L. R.; KOBİYAMA, M. Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundação. **Rega**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 13–35, 2013. Available at: <http://www.ufrgs.br/gpden/wordpress/wp-content/uploads/2015/04/Monteiro-e-Kobiyama-2013-REGA.pdf>

MONTEIRO, L. R.; KOBİYAMA, M.; ZAMBRANO, F. C. **Mapeamento de Perigo de Inundação**. Porto Alegre: [s. n.], 2015.

MORAES, S. R. *et al.* Áreas urbanas suscetíveis às inundações do rio Taquari em Lajeado/RS. **Scientia cum Industria**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 50–56, 2018. Available at: <https://doi.org/10.18226/23185279.v6iss3p50>

MORAES, S. R. **Mapeamento das áreas e edificações atingidas pelas inundações no Rio Taquari na área urbana do município de Lajeado/RS**. 114 f. 2015. - Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), [s. l.], 2015. Available at: <https://www.univates.br/bdu/handle/10737/997>

MOREIRA, L. L.; DE BRITO, M. M.; KOBİYAMA, M. Review article: A systematic review and future prospects of flood vulnerability indices. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 1513–1530, 2021. Available at:

<https://doi.org/10.5194/NHESS-21-1513-2021>

MUIS, S. *et al.* Flood risk and adaptation strategies under climate change and urban expansion: A probabilistic analysis using global data. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 538, p. 445–457, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.068>

MWALE, F. D. D.; ADELOYE, A. J. J.; BEEVERS, L. Quantifying vulnerability of rural communities to flooding in SSA: A contemporary disaster management perspective applied to the Lower Shire Valley, Malawi. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 12, p. 172–187, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.01.003>

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. *E-book*.

NAIJI, Z. *et al.* Application of two-dimensional hydraulic modelling in flood risk mapping. A case of the urban area of Zaio, Morocco. **Geocarto International**, [s. l.], v. 6049, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1597389>

NASCIMENTO, N. *et al.* Flood-damage curves: Methodological development for the Brazilian context. **Water Practice {&} Technology**, [s. l.], v. 1, n. 01, p. 21–26, 2006. Available at: <https://doi.org/10.2166/WPT.2006022>

NECTOUX, M. **Zoneamento das áreas suscetíveis a eventos de inundações bruscas nas bacia hidrográfica do Taquari-Antas**. 59 f. 2014. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s. l.], 2014.

NELSON, D. R.; FINAN, T. J. Praying for drought: persistent vulnerability and the politics of patronage in Ceará, Northeast Brazil. **AMERICAN ANTHROPOLOGIST**, [s. l.], v. 111, n. 3, p. 302–316, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1548-1433.2009.01134.x>. Acesso em: 18 maio 2017.

NETO, A. R.; BATISTA, L. F. D. R.; COUTINHO, R. Q. Methodologies for generation of hazard indicator maps and flood prone areas : municipality of Ipojuca/PE. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 377–390, 2016. Available at: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p377-390>. Acesso em: 1 abr. 2017.

NICHOLLS, N. Atmospheric and Climatic Hazards: Improved Monitoring and Prediction for Disaster Mitigation. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 23, n. 2–3, p. 137–155, 2001. Available at: <https://doi.org/10.1023/A:1011130223164>. Acesso em: 16 fev. 2016.

NIÑO, M.; JAIMES, M. A.; REINOSO, E. A risk index due to natural hazards



based on the expected annual loss. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 79, n. 1, p. 215–236, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1837-0>

NOGUEIRA, F. R. A curta história da gestão de riscos ambientais urbanos. **Geociências (São Paulo)**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 125–126, 2008. Available at: [http://papegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-90822008000100016&lng=pt&nrm=iso&tling=pt](http://papegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-90822008000100016&lng=pt&nrm=iso&tling=pt). Acesso em: 29 fev. 2016.

NONES, M. Flood hazard maps in the European context. **Water International**, [s. l.], v. 42, n. 3, p. 324–332, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1080/02508060.2016.1269282>

NORRIS, F. H. *et al.* Community Resilience as a Metaphor, Theory, Set of Capacities, and Strategy for Disaster Readiness. **American Journal of Community Psychology**, [s. l.], v. 41, n. 1–2, p. 127–150, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10464-007-9156-6>. Acesso em: 7 jun. 2019.

NRC. **Developing a framework for measuring community resilience**. Washington D.C.: The National Academies Press, 2015. Available at: <https://doi.org/10.17226/20672>

NUNES, L. H. **Urbanização e desastres naturais abrangência América do Sul**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

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: 4 ago. 2017.

OECD. **Education at a Glance 2021**. Paris: OECD, 2021. (Education at a Glance). Available at: <https://doi.org/10.1787/b35a14e5-en>

OECD. **Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide**. 1. ed. Washington D.C.: Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD), 2008. ISSN 9789264043466.v. 3 Available at: <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>

OKAZAWA, Y. *et al.* Development of a global flood risk index based on natural and socio-economic factors. **Hydrological Sciences Journal**, [s. l.], v. 56, n. 5, p. 789–804, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.583249>

OLIVEIRA, G. G. de *et al.* CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES E ENXURRADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAQUARI-ANTAS. **Geosciences = Geociências**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 849–863, 2018. Available at: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v37i4.12312>

OLIVEIRA, M. **Livro texto do Projeto Gerenciamento de Desastres –**

**Sistema de Comando de Operações.** 1. ed. Florianópolis: Ministério de Integração Nacional (MIN), 2009. *E-book*.

ORENCIO, P. M.; FUJII, M. A localized disaster-resilience index to assess coastal communities based on an analytic hierarchy process (AHP). **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 3, n. Supplement C, p. 62–75, 2013. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2012.11.006>. Acesso em: 24 set. 2017.

ORLOVE, B. The past, the present and some possible futures of adaptation. *In*: ADGER, W. Neil; LORENZONI, I.; O'BRIEN, K. I. (org.). **Adapting to climate change: thresholds, values, governance**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 131–163. Available at: <https://doi.org/doi.org/10.1017/CBO9780511596667.010>

OTA. **Water**. 1. ed. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1993. v. *IE-book*.

OULAHEN, G. *et al.* Unequal Vulnerability to Flood Hazards: “Ground Truthing” a Social Vulnerability Index of Five Municipalities in Metro Vancouver, Canada. **Annals of the Association of American Geographers**, [s. l.], v. 105, n. 3, p. 473–495, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1080/00045608.2015.1012634>. Acesso em: 23 set. 2017.

PALAGI, S. *et al.* Analysis of the impact of flooding in the real estate value in Lajeado city, Brazil - case study for single-family homes. **Revista Ingeniería de Construcción**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 87–97, 2014. Available at: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732014000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732014000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=en)

PAPAIOANNOU, G.; VASILIADES, L.; LOUKAS, A. Multi-Criteria Analysis Framework for Potential Flood Prone Areas Mapping. **Water Resources Management**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 399–418, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0817-6>

PAPATHOMA-KÖHLE, M. Vulnerability curves vs. vulnerability indicators: application of an indicator-based methodology for debris-flow hazards. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, [s. l.], v. 16, n. 8, p. 1771–1790, 2016. Available at: <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1771-2016>

PARSONS, M. *et al.* Top-down assessment of disaster resilience: A conceptual framework using coping and adaptive capacities. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 19, p. 1–11, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.07.005>. Acesso em: 2 abr. 2020.

PAZ, A. R. da *et al.* Large-scale modelling of channel flow and floodplain inundation dynamics and its application to the Pantanal (Brazil). **Hydrological Processes**, [s. l.], v. 25, n. 9, p. 1498–1516, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1002/hyp.7926>. Acesso em: 11 ago. 2013.

PEDUZZI, P. *et al.* Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. **Natural Hazards and Earth System Science**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 1149–1159, 2009. Available at: <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1149-2009>. Acesso em: 11 ago. 2013.

PEDUZZI, P. *et al.* **Feasibility Study Report on Global Risk and Vulnerability Index – Trends per Year (GRAVITY)**. 1. ed. Geneva: UNEP/DEWA/GRID-Geneva, 2001. *E-book*.

PERCIVAL, S.; TEEUW, R. A methodology for urban micro-scale coastal flood vulnerability and risk assesment and mapping. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 97, p. 355–377, 2019. Available at: <https://doi.org/doi.org/10.1007/s11069-019-03648-7>

PFEFFERBAUM, B. *et al.* Building Resilience to Mass Trauma Events. *In*: DOLL, L. *et al.* (org.). **Handbook on injury and violence prevention interventions**. New York: Kluwer Academic Publishers, 2005. p. 347–358. *E-book*.

PIELKE, R. A.; DOWNTON, M. W. Precipitation and Damaging Floods: Trends in the United States, 1932–97. **Journal of Climate**, [s. l.], v. 13, n. 20, p. 3625–3637, 2000. Available at: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<3625:PADFTI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<3625:PADFTI>2.0.CO;2). Acesso em: 10 fev. 2016.

PITTOCK, A. B.; JONES, R. N. Adaptation to What and why. **Environmental Monitoring Assessment**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 9–35, 2000. Available at: <https://doi.org/doi.org/10.1023/A:1006393415542>. Acesso em: 27 mar. 2017.

POLIS, E. **Geração da carta de inundação na zona urbana de Estrela/RS**. 171 f. 2013. - Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), [s. l.], 2013. Available at: <https://www.univates.br/bdu/handle/10737/370>

PRASHAR, S. K.; SHAW, R. Urbanization and hydro-meteorological disaster resilience: the case of Delhi. **International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 7–19, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1108/17595901211201105>

PRATT, C.; KALY, U.; MITCHELL, J. **Manual: How to use the environmental vulnerability Index (EVI)**. Nairobi: [s. n.], 2004. Manual. Available at: <http://islands.unep.ch/EVI>. Acesso em: 7 out. 2016.

PREVENE. **Contribution to “Natural” Disaster Prevention in Venezuela**.

**Cooperation: Venezuela – Switzerland-PNUD.** [S. l.: s. n.], 2001.

QASIM, S. *et al.* Community resilience to flood hazards in Khyber Pukhthunkhwa province of Pakistan. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 18, p. 100–106, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2016.03.009>. Acesso em: 7 jun. 2019.

QIANG, Y. *et al.* Changes in Exposure to Flood Hazards in the United States. **Annals of the American Association of Geographers**, [s. l.], v. 107, n. 6, p. 1332–1350, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1080/24694452.2017.1320214>

RABAIOLI, N. **Apriomramento do Sistema de Previsões.** 67 f. 2013. - Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), [s. l.], 2013. Available at: <https://www.univates.br/bdu/handle/10737/383>

RAHMATI, O.; POURGHASEMI, H. R.; ZEINIVAND, H. Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. **Geocarto International**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 42–70, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1041559>

RAMOS, C. da S.; SANCHEZ, M. C. Estudo metodológico de classificação dedados para cartografia temática. **Geografia**, Rio Claro, v. 25, n. 2, p. 23–52, 2000. Available at: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/2214>. Acesso em: 16 maio 2016.

RANA, I. A.; ROUTRAY, J. K. Actual vis-à-vis perceived risk of flood prone urban communities in Pakistan. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 19, p. 366–378, 2016. Available at: <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.08.028>

RAZAVI TERMEH, S. V. *et al.* Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 615, p. 438–451, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.262>

REGHEZZA-ZITT, M. *et al.* What resilience is not: uses and abuses. **Cybergeog: European Journal of Geography**, [s. l.], v. 621, p. 1–23, 2012. Available at: <https://doi.org/10.4000/cybergeog.25554>

REMO, J. W. F.; PINTER, N.; MAHGOUB, M. Assessing Illinois's flood vulnerability using Hazus-MH. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 81, n. 1, p. 265–287, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2077-z>

RENSCHLER, C. S. *et al.* Developing the “PEOPLES” resilience framework for

defining and measuring disaster resilience at the community scale. **9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering 2010, Including Papers from the 4th International Tsunami Symposium**, [s. l.], v. 2, n. 60, p. 1152–1161, 2010.

REZENDE, B. S. **Análise hidrológica sobre as ocorrências de inundações na área urbana da cidade de Lajeado**. Lajeado: [s. n.], 1993.

RINCÓN, D.; KHAN, U. T.; ARMENAKIS, C. Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A greater toronto area case study. **Geosciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 8, n. 8, 2018. Available at: <https://doi.org/10.3390/geosciences8080275>

ROGELIS, M. C. *et al.* Regional prioritisation of flood risk in mountainous areas. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 833–853, 2015. Available at: <https://doi.org/10.5194/nhess-16-833-2016>

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, tendência e tipologias**. 240 f. 2011. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), [s. l.], 2011. Available at: <http://hdl.handle.net/10183/32620>

RÖTHLISBERGER, V.; ZISCHG, A. P.; KEILER, M. Identifying spatial clusters of flood exposure to support decision making in risk management. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 598, p. 593–603, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.216>

ROY, D. C.; BLASCHKE, T. Spatial vulnerability assessment of floods in the coastal regions of Bangladesh. <http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?show=aimsScope&journalCode=tgnh20#.VsXodSCLRhE>, [s. l.], 2014.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977. Available at: [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5). Acesso em: 19 abr. 2016.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990. Available at: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-l](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-l). Acesso em: 10 jul. 2020.

SAATY, T. L. There is no mathematical validity for using fuzzy number crunching in the analytic hierarchy process. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 457–464, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11518-006-5021-7>. Acesso em: 10 jul. 2020.

SAKIEH, Y. Understanding the effect of spatial patterns on the vulnerability of urban areas to flooding. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v.

25, n. September, p. 125–136, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.09.004>

SALINI, M. F. **A influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul – ENOS (La Niña e El Niño) na ocorrência de inundações no Vale do Taquari – RS.** 57 f. 2011. - Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), [s. l.], 2011.

SAM, A. S. *et al.* Vulnerabilities to flood hazards among rural households in India. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 88, n. 2, p. 1133–1153, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2911-6>

SAR, N. *et al.* Integrated remote sensing and GIS based spatial modelling through analytical hierarchy process (AHP) for water logging hazard, vulnerability and risk assessment in Keleghai river basin, India. **Modeling Earth Systems and Environment**, [s. l.], v. 1, n. 4, p. 1–21, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0039-9>. Acesso em: 18 maio 2016.

SARHADI, A.; SOLTANI, S.; MODARRES, R. Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 458–459, n. null, p. 68–86, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.039>. Acesso em: 7 ago. 2013.

SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento remoto para desastres.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SEDEC; UNDP. **Curso de atualização em gestão de risco de desastres: Manual do participante** SEDEC: 1. Brasília: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, 2013.

SEEJATA, K. *et al.* Assessment of flood hazard areas using Analytical Hierarchy Process over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 212, p. 340–347, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.044>

SHAFAPOUR TEHRANY, M. *et al.* Evaluating the application of the statistical index method in flood susceptibility mapping and its comparison with frequency ratio and logistic regression methods. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 79–101, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1506509>

SHAFAPOUR TEHRANY, M. *et al.* GIS-based spatial prediction of flood prone areas using standalone frequency ratio, logistic regression, weight of evidence and their ensemble techniques. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 1538–1561, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1362038>

SHAH, A. A. *et al.* Flood hazards: household vulnerability and resilience in

disaster-prone districts of Khyber Pakhtunkhwa province, Pakistan. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 93, n. 1, p. 147–165, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3293-0>

SHALUF, I. M. Disaster types. **Disaster Prevention and Management: An International Journal**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 704–717, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1108/09653560710837019>. Acesso em: 5 jun. 2019.

SHERLY, M. A. *et al.* Disaster Vulnerability Mapping for a Densely Populated Coastal Urban Area: An Application to Mumbai, India. **Annals of the Association of American Geographers**, [s. l.], v. 105, n. 6, p. 1198–1220, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1080/00045608.2015.1072792>

SHIELDS, D. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 2, n. 1–2, p. 149–160, 2002. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00042-0](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00042-0). Acesso em: 12 maio 2016.

SHIM, J. H.; KIM, C. II. Measuring resilience to natural hazards: Towards sustainable hazard mitigation. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 7, n. 10, p. 14153–14185, 2015. Available at: <https://doi.org/10.3390/su71014153>

SHIVAPRASAD SHARMA, S. V. *et al.* Flood risk assessment using multi-criteria analysis: A case study from Kopili river basin, Assam, India. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 79–93, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1408705>

SHRESTHA, S.; LOHPAISANKRIT, W. Flood hazard assessment under climate change scenarios in the Yang River Basin, Thailand. **International Journal of Sustainable Built Environment**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 285–298, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2016.09.006>

SIAHKAMARI, S. *et al.* Spatial prediction of flood-susceptible areas using frequency ratio and maximum entropy models. **Geocarto International**, [s. l.], v. 33, n. 9, p. 927–941, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1316780>

SICHE, R. *et al.* Índices Versus Indicadores: Precisões Conceituais Na Discussão Da Sustentabilidade De Países. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 137–148, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2007000200009>

SIEBENECK, L.; ARLIKATTI, S.; ANDREW, S. A. Using provincial baseline indicators to model geographic variations of disaster resilience in Thailand. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 79, n. 2, p. 955–975, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1886-4>

SIMPSON, D. M.; HUMAN, R. J. Large-scale vulnerability assessments for

natural hazards. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 47, n. 2, p. 143–155, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9202-6>. Acesso em: 31 maio 2016.

SINGH-PETERSON, L. *et al.* Translation and evaluation of the Baseline Resilience Indicators for Communities on the Sunshine Coast, Queensland Australia. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 10, n. Part A, p. 116–126, 2014. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.07.004>

SINHA, R. *et al.* Flood risk analysis in the Kosi river basin , north Bihar using multi- parametric approach of Analytical Hierarchy Process ( AHP ). **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, [s. l.], v. 36, n. 4, p. 335–349, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12524-008-0034-y>

SIQUEIRA, V. A. *et al.* Previsão de cheias por conjunto a partir de previsões operacionais do EPS regional Eta na bacia do Taquari-Antas/RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 587–602, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011616004>

SKILODIMOU, H. D. *et al.* Multi-hazard assessment modeling via multi-criteria analysis and GIS: a case study. **Environmental Earth Sciences**, [s. l.], v. 78, n. 2, p. 0, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-8003-4>

SMIT, B *et al.* An anatomy of adaptation to climate change and variability. **Climate Change**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 223, 2000. Available at: <https://doi.org/10.1023/A:1005661622966>. Acesso em: 16 mar. 2017.

SMIT, Barry; WANDEL, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. **Global Change Environmental**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 282–292, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>. Acesso em: 15 maio 2017.

SMITH, J. B.; KLEIN, R. J. T.; HUQ, S. **Climate change, adaptive capacity and development**. London: Imperial College Press, 2003.

SOETERS, R.; VAN WESTEN, C. J. Slope instability recognition, analysis, and zonation. **Landslide Investigation**, [s. l.], 1996. Available at: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr247/sr247-008.pdf>

SORG, L. *et al.* Capturing the multifaceted phenomena of socioeconomic vulnerability. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 92, n. 1, p. 257–282, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3207-1>

STE. **Plano de bacia do rio Taquari-Antas**. Porto Alegre: [s. n.], 2012.

STEFANIDIS, S.; STATHIS, D. and Anthropogenic Factors Using Analytic Hierarchy. **Nat Hazards**, [s. l.], v. 68, p. 569–585, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0639-5>



STEINHAUSER, G.; BRANDL, A.; JOHNSON, T. E. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 470–471, p. 800–817, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.029>. Acesso em: 5 set. 2017.

STEPHENSON, D. Integrated flood plain management strategy for the Vaal. **Urban Water**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 423–428, 2002. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(02\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(02)00032-8). Acesso em: 9 maio 2016.

TATE, E. Uncertainty Analysis for a Social Vulnerability Index. **Annals of the Association of American Geographers**, [s. l.], v. 103, n. 3, p. 526–543, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1080/00045608.2012.700616>

TEHRANY, M. S. *et al.* Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. **Environmental Earth Sciences**, [s. l.], v. 72, n. 10, p. 4001–4015, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3289-3>

TEHRANY, M. S.; PRADHAN, B.; JEBUR, M. N. Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 1149–1165, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1021-9>

TEHRANY, M. S.; PRADHAN, B.; JEBUR, M. N. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 512, p. 332–343, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.008>

TEHRANY, M. S.; PRADHAN, B.; JEBUR, M. N. Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 504, n. Supplement C, p. 69–79, 2013. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.034>

THYWISSEN, K. **Components of Risk: A Comparative Glossary**. Bonn: United Nations University, 2006. Glossário. Available at: <https://collections.unu.edu/eserv/UNU:1869/pdf4042.pdf>. Acesso em: 19 out. 2016.

TIAN, Q. *et al.* Assessing and mapping human well-being for sustainable development amid flood hazards: Poyang Lake Region of China. **Applied Geography**, [s. l.], v. 63, p. 66–76, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.007>

TIERNEY, K.; BRUNEAU, M. Conceptualizing and measuring resilience: A key to disaster loss reduction. **TR News**, [s. l.], v. 250, p. 14–17, 2007. Available at: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/trnews/trnews250.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2017.

ȚÎNCU, R.; ZÊZERE, J. L.; LAZAR, G. Identification of elements exposed to flood hazard in a section of Trotus River , Romania. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 950–969, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1486891>

TOBIN, G. A. The levee love affair: A stormy relationship? **Journal of the American Water Resources Association**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 359–367, 1995. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1995.tb04025.x>. Acesso em: 30 maio 2016.

TOMPKINS, E. *et al.* **Surviving Climate Change in Small Islands- A Guide Book**. 1. ed. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research, 2005. *E-book*.

TRAN, P. *et al.* GIS and local knowledge in disaster management: a case study of flood risk mapping in Viet Nam. **Disasters**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 152–169, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2008.01067.x>

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

TURNER, B. L. *et al.* A framework for vulnerability analysis in sustainability science. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, [s. l.], v. 100, n. 14, p. 8074–8079, 2003. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>. Acesso em: 13 out. 2016.

UN-DESA. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision - Highlights**. 1. ed. New York, NY: United Nations, 2014. ISSN 1435-9871. Available at: <https://doi.org/10.4054/DemRes.2005.12.9>

UNDP. **Latest Human Development Index Ranking**. [S. l.], 2020. Available at: <http://hdr.undp.org/en/home>. Acesso em: 19 dez. 2020.

UNDP. **Reducing disaster risk - A challenge for development**. New York: UNDP, 2004. *E-book*.

UNDRR. **Terminology**. Geneva, 2017. Available at: <https://www.undrr.org/terminology>. Acesso em: 29 ago. 2020.

UNESCO. **International Glossary of Hydrology**. Geneva: WMO, 1983. *E-book*.

UNISDR. **2009 UNISDR terminology on disaster risk reduction**. Geneva: [s. n.], 2009. Available at: <https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction#:~:text=30 p.,authorities%2C practitioners and the public>.

UNISDR. **Hyogo framework for action 2005-2015: Building the resilience of nations and communities to disasters**. Kobe: [s. n.], 2005. Available at: <http://www.unisdr.org/2005/wcdr/intergover/official-doc/L-docs/Hyogo-framework-for>

action-english.pdf.

UNISDR. **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives**. 1. ed. Geneva: UNISDR, 2004. v. 1 *E-book*.

UNISDR. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030**: 1. Geneva: [s. n.], 2015. Available at: <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/43291>.

UNU-EHS. **World Risk Report - Focus: Logistics and infrastructure**. Bonn: Alliance Development Works/United Nations University – Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), 2016. *E-book*.

US NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Flood Risk Management and the American River Basin**. Washington, D.C.: National Academies Press, 1995. Available at: <https://doi.org/10.17226/4969>. Acesso em: 4 abr. 2016.

VAN DER POL, T. D.; VAN IERLAND, E. C.; GABBERT, S. Economic analysis of adaptive strategies for flood risk management under climate change. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [s. l.], 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11027-015-9637-0>

VAN HERK, S. **Delivering Integrated Flood Risk Management: Governance for collaboration, learning and adaptation**. 219 f. 2014. - UNESCO, Leiden, 2014. Available at: [https://www.unesco-ihe.org/sites/default/files/2014\\_unesco-ihe\\_phd\\_thesis\\_van\\_herk.pdf](https://www.unesco-ihe.org/sites/default/files/2014_unesco-ihe_phd_thesis_van_herk.pdf)

VARGAS, R. A. *et al.* **Guía municipal para la gestión del riesgo**: 1. Bogotá: [s. n.], 2009. Available at: <http://www.gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/archivos/GMGRColombia.pdf>.

VIANA, J. **Projeto de dispositivo de monitoramento e alerta de inundações do Vale do Taquari**. 95 f. 2017. - Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), [s. l.], 2017. Available at: <https://www.univates.br/bdu/handle/10737/1888>

VOJINOVIC, Z. *et al.* Holistic approach to flood risk assessment in areas with cultural heritage: a practical application in Ayutthaya, Thailand. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 81, n. 1, p. 589–616, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2098-7>

VOJTEK, M.; VOJTEKOVÁ, J. Flood hazard and flood risk assessment at the local spatial scale: a case study. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 1973–1992, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1166874>

VOJTEK, M.; VOJTEKOVÁ, J. Flood susceptibility mapping on a national scale

in Slovakia using the analytical hierarchy process. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 2, 2019. Available at: <https://doi.org/10.3390/w11020364>

VRIJLING, J. A framework for risk evaluation. **Journal of Hazardous Materials**, [s. l.], v. 43, n. 3, p. 245–261, 1995. Available at: [https://doi.org/10.1016/0304-3894\(95\)91197-V](https://doi.org/10.1016/0304-3894(95)91197-V). Acesso em: 22 fev. 2017.

WANG, C.; BLACKMORE, J. M. Resilience Concepts for Water Resource Systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**, [s. l.], v. 135, n. 6, p. 528–536, 2009. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2009\)135:6\(528\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2009)135:6(528)). Acesso em: 16 fev. 2016.

WANG, Y. *et al.* A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. **Water Resources Management**, [s. l.], v. 25, n. 13, p. 3465–3484, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9866-2>

WANG, Y. J. *et al.* Spatio-temporal changes of exposure and vulnerability to floods in China. **Advances in Climate Change Research**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 197–205, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.accre.2015.03.002>

WANG, Z. *et al.* Flood hazard risk assessment model based on random forest. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 527, n. Supplement C, p. 1130–1141, 2015. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.008>

WATTS, M. J.; BOHLE, H. J. The space of vulnerability: the causal structure of hunger. **Progress in Human Geography**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 43–68, 1993. Available at: <https://doi.org/10.1177/030913259301700103>

WEERASINGHE, K. M. *et al.* Qualitative Flood Risk assessment for the Western Province of Sri Lanka. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 212, n. 2017, p. 503–510, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.065>

WEIS, S. W. M. *et al.* Assessing vulnerability: an integrated approach for mapping adaptive capacity, sensitivity, and exposure. **Climatic Change**, [s. l.], v. 136, n. 3–4, p. 615–629, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1642-0>

WHITE, G. **Human adjustment to floods**. 212 f. 1945. - University of Chicago, [s. l.], 1945. Available at: [https://biotech.law.lsu.edu/climate/docs/Human\\_Adj\\_Floods\\_White.pdf](https://biotech.law.lsu.edu/climate/docs/Human_Adj_Floods_White.pdf)

WHITE, G. F. The limit of economic justification for flood protection. **The Journal of Land & Public Utility Economics**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 133–148, 1936. Available at: <http://www.jstor.org/stable/3158294>. Acesso em: 4 abr. 2017.

WHO. **The global health observatory**. [S. l.], 2020. Available at:

[https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/hospital-beds-\(per-10-000-population\)](https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/hospital-beds-(per-10-000-population)). Acesso em: 19 dez. 2020.

WILLOWS, R.; CONNELL, R. **Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making - UKCIP Technical Report** (R. Willows & R. Connell, Org.). Oxford: [s. n.], 2003. Available at: <http://www.ukcip.org.uk/wp-content/PDFs/UKCIP-Risk-framework.pdf>.

WISNER, B. *et al.* **At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters**. 2. ed. London: Routledge, 2003. v. 24 *E-book*.

WISNER, B. Risk and the Neoliberal State: Why Post-Mitch Lessons Didn't Reduce El Salvador's Earthquake Losses. **Disasters**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 251–268, 2001. Available at: <https://doi.org/10.1111/1467-7717.00176>. Acesso em: 7 jun. 2019.

WMO. **Natural hazard**. [S. l.], 2016. Available at: [http://www.wmo.int/pages/themes/hazards/index\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/themes/hazards/index_en.html). Acesso em: 11 fev. 2016.

WU, Y. *et al.* Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 78, n. 1, p. 635–651, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1737-3>. Acesso em: 12 jul. 2016.

XIAO, Y.; YI, S.; TANG, Z. Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 599–600, p. 1034–1046, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.218>

XU, H. *et al.* Urban flooding risk assessment based on an integrated k-means cluster algorithm and improved entropy weight method in the region of Haikou, China. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 563, n. June, p. 975–986, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.060>

YALCIN, A. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. **CATENA**, [s. l.], v. 72, n. 1, p. 1–12, 2008. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.01.003>

YANG, W. *et al.* Integrated flood vulnerability assessment approach based on TOPSIS and Shannon entropy methods. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 89, n. September 2017, p. 269–280, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.015>

YANG, X. L.; DING, J. H.; HOU, H. Application of a triangular fuzzy AHP approach for flood risk evaluation and response measures analysis. **Natural Hazards**,

[s. l.], v. 68, n. 2, p. 657–674, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0642-x>

YAO, X.; LIMIN, Z.; JINSHENG, J. Lessons from Catastrophic Dam Failures in August 1975 in Zhumadian, China. *In:* , 2017. **GeoCongress 2008**. [S. l.]: ASCE, 2017. Available at: [https://doi.org/doi:10.1061/40971\(310\)20](https://doi.org/doi:10.1061/40971(310)20)

YOON, D. K. K.; KANG, J. E.; BRODY, S. D. A measurement of community disaster resilience in Korea. **Journal of Environmental Planning and Management**, [s. l.], v. 59, n. 3, p. 436–460, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1016142>. Acesso em: 2 ago. 2017.

YU, D.; LANE, S. N. Urban fluvial flood modelling using a two-dimensional diffusion-wave treatment, part 2: Development of a sub-grid-scale treatment. **Hydrological Processes**, [s. l.], v. 20, n. 7, p. 1567–1583, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1002/hyp.5936>. Acesso em: 21 abr. 2019.

ZELEŇÁKOVÁ, M. *et al.* Methodology of flood risk assessment from flash floods based on hazard and vulnerability of the river basin. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 79, n. 3, p. 2055–2071, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1945-x>

ZÊZERE, J. L. *et al.* Spatial and temporal data management for the probabilistic landslide hazard assessment considering landslide typology. *In:* , 2004, Londres. (W. Lacerda *et al.*, Org.) **Landslides: Evaluation and Stabilization**. Londres: Taylor & Francis Group, 2004. p. 117–123. Available at: <https://www.crcpress.com/Landslides-Evaluation-and-Stabilization/Slissement-de-Terrain-Evaluation/Lacerda-Ehrlich-Fontoura-Sayao/p/book/9780415356657>

ZHAO, G. *et al.* Mapping flood susceptibility in mountainous areas on a national scale in China. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 615, p. 1133–1142, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.037>

ZHAO, J. Uncertainty and hysteresis in adapting to Global Climate Change. *In:*  PRYOR, S. C. (org.). **Climate Change in the Midwest**. 1. ed. Bloomington: Indiana University Press, 2013. p. 266. *E-book*.

ZHOU, H. *et al.* Resilience to natural hazards: A geographic perspective. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 21–41, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9407-y>. Acesso em: 17 out. 2016.

ZHOU, Y. *et al.* Integrated risk assessment of multi-hazards in China. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 78, n. 1, p. 257–280, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1713-y>. Acesso em: 27 jul. 2017.

ZONSEIN, J. **Índice de risco a cheias como ferramenta de gestão de**

**enchentes.** 105 f. 2007. - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [s. l.], 2007.  
Available at: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

ZOU, Q. *et al.* Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 525–546, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00477-012-0598-5>

## APÊNDICE A

### Apêndice A 1 – Publicações utilizadas para selecionar subíndices para o índice de risco

SUBÍNDICES DE RISCO	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Perigo	40	1	(ABBAS; ROUSTRAY, 2013; ALBANO; MANCUSI; ABBATE, 2017; ALMEIDA; WELLE; BIRKMANN, 2016;
Vulnerabilidade	40	1	ARMENAKIS; NIRUPAMA, 2014; BALD, 2018; BALICA <i>et al.</i> , 2013; BAZZAN, 2011; BIRKMANN, J. <i>et al.</i> ,
Exposição	11	3	2013; BUDIYONO <i>et al.</i> , 2015; CHAKRABORTY, S.; MUKHOPADHYAY, 2019; CODJOE; AFUDUO, 2015;
Capacidades	3	4	DE GROEVE, 2014; FOU DI; OSÉS-ERASO; TAMAYO, 2015; GAIN <i>et al.</i> , 2015; GHOSH; KAR, 2018;
Resiliência	2	5	GOERL, 2010; HAZARIKA <i>et al.</i> , 2018; HU <i>et al.</i> , 2017; ISLAM; SWAPAN; HAQUE, 2013; LI <i>et al.</i> , 2010;
			LYU <i>et al.</i> , 2019; MARCELINO; NUNES; KOBAYAMA, 2006; MUIS <i>et al.</i> , 2015; NAIJI <i>et al.</i> , 2019; NIÑO;
			JAIMES; REINOSO, 2015; OKAZAWA <i>et al.</i> , 2011; PEDUZZI <i>et al.</i> , 2009; PERCIVAL; TEEUW, 2019; RANA;
Suscetibilidade	1	6	ROUSTRAY, 2016; RINCÓN; KHAN; ARMENAKIS, 2018; SAR <i>et al.</i> , 2015; SHIVAPRASAD SHARMA <i>et al.</i> ,
			2018; SINHA <i>et al.</i> , 2008; TRAN <i>et al.</i> , 2009; VOJINOVIC <i>et al.</i> , 2016; WANG, Y. <i>et al.</i> , 2011;
			WEERASINGHE <i>et al.</i> , 2018; ZELENÁKOVÁ <i>et al.</i> , 2015; ZOU <i>et al.</i> , 2013)

### Apêndice A 2 - Publicações utilizadas para selecionar indicadores para o subíndice de perigo

INDICADORES DE PERIGO	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Tempo de Início da Inundação	1	7	(ABDULRAZZAK <i>et al.</i> , 2019; AHMADISHARAF; TAJRISHY; ALAMDARI, 2016; ALBANO;
Volume	2	6	MANCUSI; ABBATE, 2017; ARONICA <i>et al.</i> , 2012; BALICA <i>et al.</i> , 2013; BINH; UMAMAHESH;
Pico/Nível Máximo	1	7	RATHNAM, 2019; BUDIYONO <i>et al.</i> , 2015; DE GROEVE, 2014; FOU DI; OSÉS-ERASO; TAMAYO,
Tempo de Duração	4	5	2015; GOERL, 2010; KOURGIALAS; KARATZAS, 2017; LUU; VON MEDING; KANJANABOOTRA,
Profundidade	26	1	2018; MONTEIRO; KOBAYAMA, 2013; MUIS <i>et al.</i> , 2015; NAIJI <i>et al.</i> , 2019; NETO; BATISTA;
Velocidade	14	3	COUTINHO, 2016; NONES, 2017; RANA; ROUSTRAY, 2016; SHRESTHA; LOHPAISANKRIT, 2017;
Velocidade*Profundidade	7	4	STEFANIDIS; STATHIS, 2013; STEPHENSON, 2002; ȚÎNCU; ZÊZERE; LAZAR, 2018; VOJINOVIC
Velocidade+Profundidade/2	1	7	<i>et al.</i> , 2016; VOJTEK; VOJTEKOVÁ, 2016; YANG, W. <i>et al.</i> , 2018; ZONSEIN, 2007)
Energy Head	1	7	
Flow Force	1	7	



INDICADORES DE PERIGO	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Intensidade	1	7	
Área/Tempo de Retorno	20	2	
Debris	1	7	

Apêndice A 3 - Publicações utilizadas para selecionar indicadores para o subíndice de suscetibilidade física

INDICADORES DE SUSCETIBILIDADE FÍSICA	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Densidade Populacional	2	25	(ABEBE; KABIR;
Elevação	56	2	TESFAMARIAM, 2018;
Elevação (Desvio Padrão)	1	33	ADNAN <i>et al.</i> , 2019; AL-
Depressão	3	22	ABADI; SHAHID; AL-ALI,
Lagoas de Detenção	1	33	2016; ARMENAKIS;
Precipitação	40	5	NIRUPAMA, 2014;
Declividade	58	1	CHAKRABORTY, S.;
Aspecto da Declividade	9	14	MUKHOPADHYAY, 2019;
Fator do Comprimento da Declividade	1	33	CHAPI <i>et al.</i> , 2017; CHEN
Proximidade de Confluência de Drenagens	3	22	<i>et al.</i> , 2015; CODJOE;
Distância do Rio ou da Drenagem	44	4	AFUDUO, 2015;
Direção de fluxo	1	33	DARAND; SOHRABI,
Acumulação de Fluxo	13	12	2018; DAS, 2018; DE
Uso do Solo/Área Impermeável/Cobertura Vegetal	45	3	RISI; JALAYER; DE
Tipo do Solo/Litologia	20	10	PAOLA, 2015; ELSADEK
Geologia/Hidrogeologia	21	9	<i>et al.</i> , 2019; GHOSH;
Distância para Áreas Vertedoras	2	25	KAR, 2018; GIGOVIĆ <i>et</i>
Geomorfologia	4	17	<i>al.</i> , 2017; HARLEY;
Textura do Solo	4	17	SAMANTA, 2018;
Espessura do Solo	1	33	HAZARIKA <i>et al.</i> , 2018;
Drenagem do Solo	8	15	HONG <i>et al.</i> , 2018a,
Umidade do Solo	1	33	2018b; HOQUE <i>et al.</i> ,
Vegetação (NDVI)	11	13	2019; HU <i>et al.</i> , 2017;
Topographic Wetness Index (TWI)	29	6	JACINTO <i>et al.</i> , 2015;
Stream Power Index (SPI)	19	11	KABENGE <i>et al.</i> , 2017;
Curvatura	23	8	KANANI-SADAT <i>et al.</i> ,

INDICADORES DE SUSCETIBILIDADE FÍSICA	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Geometria/Forma da Bacia	4	17	2019; KARLSSON <i>et al.</i> ,
Rede de Drenagem/Densidade de Drenagem	27	7	2017; KAUR <i>et al.</i> , 2017;
Ordem dos Rios	3	22	KAZAKIS; KOUGIAS;
<i>Relief Characterization</i>	4	17	PATSIALIS, 2015;
Erosão	2	25	KHOSRAVI <i>et al.</i> , 2016,
<i>Topographic Position Index (TPI)</i>	2	25	2018; LEE, S. <i>et al.</i> , 2017;
<i>Curve Number (CN)</i>	5	16	LI <i>et al.</i> , 2010; LIN; WU;
<i>Modified Fournier Index</i>	2	25	LIANG, 2019; LIU <i>et al.</i> ,
<i>Overland Flow Distance</i>	2	25	2016; MAHMOUD; GAN,
<i>Soil Water Retention (SWR)/Capacidade de Armazenamento</i>	2	25	2018; PAPAIOANNOU;
<i>Sediment Transport Index (STI)</i>	4	17	VASILIADES; LOUKAS,
<i>Terrain Roughness Index (TRI)</i>	1	33	2015; RAHMATI;
Matriz de Distância de Custo	1	33	POURGHASEMI;
<i>Flow Number</i>	1	33	ZEINIVAND, 2016;
<i>Green Infra Farmland</i>	2	25	RAZAVI TERMEH <i>et al.</i> ,
<i>Retarding Basin</i>	1	33	2018; RINCÓN; KHAN;
<i>Timber</i>	1	33	ARMENAKIS, 2018;
HAND	1	33	SAKIEH, 2017; SEEJATA
	1	33	<i>et al.</i> , 2018; SHAFAPOUR
			TEHRANY <i>et al.</i> , 2017,
			2019; SIAHKAMARI <i>et al.</i> ,
			2018; SKILODIMOU <i>et al.</i> ,
			2019; STEFANIDIS;
			STATHIS, 2013;
			TEHRANY <i>et al.</i> , 2014;
			TEHRANY; PRADHAN;
			JEBUR, 2013, 2014, 2015;
			VOJTEK; VOJTEKOVÁ,
			2019; WANG, Y. <i>et al.</i> ,
			2011; WANG, Z. <i>et al.</i> ,
			2015; WEERASINGHE <i>et</i>
			<i>al.</i> , 2018; WU <i>et al.</i> , 2015;
			XIAO; YI; TANG, 2017; XU
			<i>et al.</i> , 2018; YANG, X. L.;
			DING; HOU, 2013; ZHAO,
			G. <i>et al.</i> , 2018; ZOU <i>et al.</i> ,
			2013)
Lençol Freático			

## Apêndice A 4 - Publicações utilizadas para selecionar indicadores para o subíndice de vulnerabilidade

INDICADORES DE VULNERABILIDADE	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Exposição	25	2	(AHSAN; WARNER, 2014; ALMEIDA; WELLE; BIRKMANN, 2016; ANDRADE;
Suscetibilidade/Sensibilidade	29	1	SZLAFSZTEIN, 2018; AROCA-JIMÉNEZ <i>et al.</i> , 2018; BALD, 2018; BIRKMANN, J. <i>et al.</i> ,
Resiliência (e Capacidade de Enfrentamento)	16	3	2013; CHAKRABORTY, A.; JOSHI, 2014; DE BRITO; ALMORADIE; EVERS, 2019; DE BRITO; EVERS; ALMORADIE, 2018; DE BRITO; EVERS; HÖLLERMANN, 2017; ERENA; WORKU, 2019; FERNANDEZ; MOURATO; MOREIRA, 2016; GAIN <i>et al.</i> , 2015; GURRI <i>et al.</i> , 2019; HOQUE <i>et al.</i> , 2019; KABLAN; DONGO; COULIBALY, 2017; KARMAOUI; BALICA, 2019; LI <i>et al.</i> , 2010; MALCOMB; WEAVER; KRAKOWKA, 2014; MANSUR <i>et al.</i> , 2016; MIRANDA; FERREIRA, 2019; PERCIVAL; TEEUW, 2019; ROGELIS <i>et al.</i> , 2015; SAM <i>et al.</i> , 2017; SHAH <i>et al.</i> , 2018; TIAN <i>et al.</i> , 2015; WEERASINGHE <i>et al.</i> , 2018; WEIS <i>et al.</i> , 2016; YANG, W. <i>et al.</i> , 2018; YANG, X. L.; DING; HOU, 2013; ZONSEIN, 2007)
Capacidade Adaptativa	12	4	

## Apêndice A 5 - Publicações utilizadas para selecionar subindicadores para o indicador de exposição

SUBINDICADORES DE EXPOSIÇÃO	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Densidade Populacional	17	2	(ANDRADE; SZLAFSZTEIN, 2018; AROCA-JIMÉNEZ <i>et al.</i> , 2018; BALD, 2018;
Área Protegidas Ambientais/Áreas verdes	3	11	BONO; MORA, 2014; BUDIYONO <i>et al.</i> , 2015; DE BRITO; EVERS; ALMORADIE,
Atividades Econômicas (Agricultura, Indústria, Comércio)	8	5	2018; DE BRITO; EVERS; HÖLLERMANN, 2017; ERENA; WORKU, 2019;
Custo da Inundação	1	24	FERNANDEZ; MOURATO; MOREIRA, 2016; FOU DI; OSÉS-ERASO; TAMAYO,
Infraestrutura Críticas (Hospitais, Rodovias, Casa de Repouso, Escola, Polícia, Corpo de Bombeiros)	9	4	2015; GAIN <i>et al.</i> , 2015; GODFREY <i>et al.</i> , 2015; GUNASEKERA <i>et al.</i> , 2015;
Silvicultura	1	24	GURRI <i>et al.</i> , 2019; JONGMAN <i>et al.</i> , 2014; KABLAN; DONGO; COULIBALY,
Área Rural	2	18	2017; KARMAOUI; BALICA, 2019; LI <i>et al.</i> , 2010; MALCOMB; WEAVER;
% de Solo permeável/Área urbanizada	4	9	KRAKOWKA, 2014; MANSUR <i>et al.</i> , 2016; MIRANDA; FERREIRA, 2019; MUIS <i>et al.</i> ,
Área Protegida/Vegetação	6	6	<i>et al.</i> , 2015; PERCIVAL; TEEUW, 2019; QIANG <i>et al.</i> , 2017; RANA; ROURAY, 2016;
Natural/Árvores/Usos do Solo (%)	6	6	ROGELIS <i>et al.</i> , 2015; RÖTHLISBERGER; ZISCHG; KEILER, 2017; SHAH <i>et al.</i> ,
			2018; SIMPSON; HUMAN, 2008; TIAN <i>et al.</i> , 2015; TÏNCU; ZÊZERE; LAZAR,
			2018; WANG, Y. J. <i>et al.</i> , 2014; WEIS <i>et al.</i> , 2016; YANG, W. <i>et al.</i> , 2018)

SUBINDICADORES DE EXPOSIÇÃO	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Ativos Ambientais (Lagos, Rios, Pântanos)	1	24	
Pessoas Economicamente Ativas ou Não Economicamente Ativas	1	24	
Pessoas com Necessidades Especiais	1	24	
População em Área Inundada/Área Inundada/Proximidade da Água/Habitações em Área Inundada/Percentual de área habitada	18	1	
Herança Cultural	2	18	
Acesso a Saneamento	1	24	
Habitações Comuns	1	24	
Tipo de Propriedade (Moradia, Comercial)	10	3	
Quantidade de Pavimentos	6	6	
Idade da habitação	3	11	
Altura do Piso do Nível do Solo	1	24	
Número de Aberturas	1	24	
Tamanho da Construção/Área Construída %	3	11	
Tipo de Fundação	1	24	
Profundidade da Fundação	1	24	
Material da Parede/Qualidade da Construção/Tipo de moradia	3	11	
Condição Predial/Rachaduras na Estrutura	2	18	
Presença de Porão	1	24	
Muro ao Redor da Construção	2	18	
Edifício entre Encostas	1	24	
Presença entre Edifícios	1	24	
Probabilidade de Inundação	2	18	
Experiência com Inundações Passada	2	18	
Elevação/Profundidade	3	11	
Drenagem do Solo	1	24	
Velocidade do Fluxo	1	24	
Descarga do Rio	1	24	
Chuva Torrencial	1	24	
Taxa de Evaporação	1	24	
Evaporação/Chuva	1	24	

SUBINDICADORES DE EXPOSIÇÃO	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Contato com o Rio	1	24	
Área Degradada	1	24	
Área Não Ocupada	1	24	
Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	1	24	
Índice de Expectativa de Vida	1	24	
Capacidade de Investimento	1	24	
Risco Estimado para Inundação	1	24	
Valor Médio da Propriedade	4	9	
Comunidade	1	24	
Acesso a Veículo	1	24	
Uso do Solo	5	8	
Valor Monetário do Tipo de Uso do Solo	1	24	
Núcleo Familiar	1	24	
Moradia com Mortes e Feridos em Inundações Passadas	1	24	
Moradores com Conhecimento de Sistema de Alerta	1	24	
Moradores que Receberam Informação por Sistema de Alerta	1	24	
Produto Interno Bruto (PIB)	3	11	
População (Densidade)/Família por Casa/Densidade Residencial/Densidade de Domicílios	3	11	
Comprimento de Ruas Localizadas em Áreas Propensas a Inundações	1	24	
Transformadores Elétricos em Áreas Propensas a Inundações	1	24	
Escolas em Áreas Inundadas	1	24	
Abrigos em Áreas Inundadas	1	24	
Segunda Casa	1	24	

## Apêndice A 6 - Publicações utilizadas para selecionar subindicadores para o indicador de suscetibilidade/sensibilidade

SUBINDICADORES DE SUSCETIBILIDADE/SENSIBILIDADE	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Situação das Pessoas	2	19	(ALMEIDA; WELLE; BIRKMANN, 2016; ANDRADE; SZLAFSZTEIN, 2018; AROCA-JIMÉNEZ <i>et al.</i> , 2018; BALD, 2018; BONO; MORA, 2014; CAMARASA-BELMONTE; SORIANO-GARCÍA, 2012; CHAKRABORTY, A.; JOSHI, 2014; CODJOE; AFUDUO, 2015; DE BRITO; EVERS; ALMORADIE, 2018; DE BRITO; EVERS; HÖLLERMANN, 2017; ERENA; WORKU, 2019; FERNANDEZ; MOURATO; MOREIRA, 2016; GAIN <i>et al.</i> , 2015; GURRI <i>et al.</i> , 2019; JACINTO <i>et al.</i> , 2015; KABLAN; DONGO; COULIBALY, 2017; KARMAOUI; BALICA, 2019; LI <i>et al.</i> , 2010; MALCOMB; WEAVER; KRAKOWKA, 2014; MANSUR <i>et al.</i> , 2016; PERCIVAL; TEEUW, 2019; RANA; ROUTRAY, 2016; ROGELIS <i>et al.</i> , 2015; ROY; BLASCHKE, 2014; SHAH <i>et al.</i> , 2018; SORG <i>et al.</i> , 2018; TIAN <i>et al.</i> , 2015; WEIS <i>et al.</i> , 2016; YANG, W. <i>et al.</i> , 2018)
Dano Financeiro Pessoal/Privado	2	19	
Dano Financeiro Público/Dívida municipal por habitante	2	19	
Produto Interno Bruto (PIB)	1	34	
Percentual de Fazendas, Indústrias, Comércio (Emprego)	5	10	
Principais Culturas (Área)/Produção de Grãos (Área)/Produção Vegetal (Área)	2	19	
Área Protegida/Vegetação Natural/Árvores/Usos do Solo (%)	2	19	
Habilidade de Linguagem	2	19	
Densidade Populacional	7	5	
População (Urbana)	2	19	
Trabalhador Informal	1	34	
Serviço de Emergência/Saúde por 10.000 habitantes/Total de Leitos Hospitalares	4	12	
Distância para Instalação Médica	1	34	
Saneamento (Água/Coleta de Esgoto/Coleta de Resíduo Sólido/Drenagem)	8	4	
Eletricidade/Gás/Energia	1	34	
Valor Médio da Propriedade	1	34	
Tipo de Propriedade (Moradia, Comercial)	3	15	
Material da Parede/Qualidade da Construção	9	3	
Idade da Habitação	1	34	
Submoradia	5	10	
Infraestrutura Críticas (Hospitais, Rodovias, Casas de Repouso, Escola, Polícia, Corpo de Bombeiros)	3	15	
Uso do Solo	1	34	
Meio Ambiente	1	34	
Gênero/Taxa Homem-Mulher	6	7	
Renda Mensal Per Capita/Renda Familiar	10	2	

<b>SUBINDICADORES DE SUSCETIBILIDADE/SENSIBILIDADE</b>	<b>NÚMERO DE VEZES USADO</b>	<b>RANKING</b>	<b>FONTES</b>
Pessoas Economicamente Ativas ou Não Economicamente Ativas	11	1	
Famílias Chefiadas por Mulheres	2	19	
Nível de Educação/Taxa de Analfabeto	6	7	
População (Densidade)/Família por Casa/Densidade Residencial	3	15	
% de Residência Própria	1	34	
Taxa de Desemprego/Taxa de Emprego	7	5	
Taxa de dependente por moradia/População Dependente	4	12	
Relação com o Chefe da família	1	34	
Ocupação do Chefe de família	2	19	
Atividades Produtivas Sensíveis a Inundação	1	34	
Tipo e Localização do Banheiro	1	34	
Habitações Comuns	2	19	
Reservas Naturais	1	34	
Crescimento Urbano	1	34	
Experiência com Inundações Passada	1	34	
Preparação e Consciência	1	34	
Capacidade de Comunicação	2	19	
Crescimento Populacional	2	19	
Mortalidade Infantil	2	19	
Pessoas com Deficiência ou Doente	6	7	
Moradias de Aluguel	2	19	
Moradia com Pessoas Dependentes	1	34	
Suprimento de Alimentos	1	34	
Rendimento de Culturas Comerciais	1	34	
Estratégia de Enfrentamento de Desastres	2	19	
Perda Humana	1	34	
Perda Animal	1	34	
Acesso a Veículo	3	15	
Investimento em Ativos Fixos Rurais	1	34	
Linha Pobreza	4	12	
Índice GINI	1	34	
Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	1	34	

SUBINDICADORES DE SUSCETIBILIDADE/SENSIBILIDADE	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Famílias que Pegou Empréstimo (Últimos 10 anos)	1	34	
Expectativa de Vida	1	34	
Desigualdade	1	34	
Tamanho da Moradia	1	34	
População em Área Inundada/Área Inundada/Proximidade da Água	1	34	
Custo de Substituição de Habitações em Áreas Inundadas	1	34	

Apêndice A 7 - Publicações utilizadas para selecionar subindicadores para o indicador de resiliência

SUBINDICADORES DE RESILIÊNCIA (E CAPACIDADE DE ENFRENTAMENTO)	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Meios de Informação/Comunicação/Redes Social/Compartilhamento de Informação	15	3	
Nível de Educação/Taxa de Analfabeto	11	9	
Percentual da População com Curso Superior	14	4	
Número de Universidades por 10000 habitantes	3	42	
Suprimento de Alimentos	1	69	
Alternativas Econômicas (Recuperação)	1	69	
Instituições de Prevenção de Desastres ou de Salvamento (Bombeiros, Polícia ou Defesa Civil) por 10.000 habitantes/Estrutura para Desastres Naturais	11	9	
Taxa de (Não) Capacidade Estrutural de Mitigação de Desastre	1	69	
Situação Financeira/ Receita Financeira Local (Governo Local)	3	42	
Gastos Anteriores com Desastres	2	56	
Treinamento de Evacuação	4	31	
Preparação Comunitária	3	42	
Sistema de Alerta Antecipado	3	42	
Experiência com Inundações Passadas	6	22	

(AINUDDIN; ROUSTRAY; AINUDDIN, 2015; ALMEIDA; WELLE; BIRKMANN, 2016; AROCA-JIMÉNEZ *et al.*, 2018; ASADZADEH; KÖTTER; ZEBARDAST, 2015; BALD, 2018; BURTON, C. G., 2015; CUTTER; BURTON; EMRICH, 2010; DE BRITO; EVERS; ALMORADIE, 2018; DE GROEVE, 2014; ERENA; WORKU, 2019; FRAZIER *et al.*, 2013; GAIN *et al.*, 2015; KABLAN; DONGO; COULIBALY, 2017; KARMAOUI; BALICA, 2019; KHALILI; HARRE; MORLEY, 2015; KONTOKOSTA; MALIK, 2018; KOTZEE; REYERS, 2016; MAYUNGA, 2009; MOGHADAS *et al.*, 2019; PARSONS *et al.*, 2016; PERCIVAL; TEEUW, 2019; PRASHAR; SHAW, 2012; RANA; ROUSTRAY, 2016; RENSCHLER *et al.*, 2010; ROGELIS *et al.*, 2015; ROY; BLASCHKE, 2014; SHAH *et al.*, 2018; SHIM; KIM, 2015; SIEBENECK; ARLIKATTI; ANDREW, 2015; SINGH-PETERSON *et al.*, 2014; YANG, X. L.; DING; HOU, 2013; YOON; KANG; BRODY, 2016)



SUBINDICADORES DE RESILIÊNCIA (E CAPACIDADE DE ENFRENTAMENTO)	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Plano de Mitigação de Perigo	2	56	
População Dependente (Economicamente Ativa) Idosos/Crianças	11	9	
% de Crianças entre 0 e 4 anos	1	69	
Gênero/Taxa Homem/Mulher	5	29	
Famílias Chefiadas por Mulheres	1	69	
Raça/Etnia	1	69	
Rotas de Evacuação (Principais Arteriais por Total de km²) ou Distância para Rodovias	13	7	
Sistema Intermodal de Transporte	1	69	
Comparecimento Eleições/Engajamento Político	4	31	
Medidas de Proteção de Inundação	4	31	
Seguro contra Desastres	7	18	
Tempo de Retorno para Inundação	1	69	
Planejamento de Uso do Solo (Governo Local)	3	42	
Estabelecimentos de Serviços Legais e de Inspeção de Construção	1	69	
Serviços Ambientais	1	69	
Área Protegida/Vegetação Natural/Árvores/Usos do Solo (%)	7	18	
% de Solo Permeável/Área urbanizada	2	56	
Serviço de Emergência/Saúde por 10.000 habitantes/Total de Leitos Hospitalares	16	1	
Distância para Instalação Médica	1	69	
Total de Agentes de Saúde ou Médicos	8	13	
Gastos com Saúde per capita	1	69	
Lar de Idosos	1	69	
Abrigos/Hospedagens por 10.000 habitantes	14	4	
Necessidade de Abrigo	1	69	
Idade do Chefe da Família	1	69	
% Pessoas com Deficiência/sem deficiência	6	22	
Chefe da Família Acreditando em Ação Divina	1	69	
Plano de Saúde	8	13	
Saneamento (Água/Coleta de Esgoto/Coleta de Resíduo Sólido/Drenagem)	6	22	

<b>SUBINDICADORES DE RESILIÊNCIA (E CAPACIDADE DE ENFRENTAMENTO)</b>	<b>NÚMERO DE VEZES USADO</b>	<b>RANKING</b>	<b>FONTES</b>
Banheiro com Descarga/Coleta de Esgoto/Resíduo Sólido	4	31	
Eletricidade/Gás/Energia	3	42	
Recolhimento de Resíduo Sólido	1	69	
Acesso a Veículo	8	13	
Necessidade de Transporte Especial	1	69	
% Residência Própria	12	8	
Média do Aluguel	1	69	
Taxa de Desemprego/Taxa de Emprego	16	1	
Renda Familiar/Renda Per Capita/Renda por Ano Familiar	14	4	
Índice Gini	2	56	
Participação Feminina na Força de Trabalho	4	31	
Várias Fontes de Renda/Investimentos	4	31	
Coordenação/Articulação nos Programas de Redução de Risco	3	42	
Índice de Preço ao Consumidor	1	69	
Acesso a Crédito/Financiamento	4	31	
Número de Bancos	1	69	
Número de Empréstimos	1	69	
Padrões de Zoneamento e Código de Construção	1	69	
Assistência Humanitária/Voluntariado/per capita	6	22	
Despesas Per Capita para Organizações Voluntárias	1	69	
Restauração aos Meios de Subsistência	1	69	
Material de Construção (Não Permanente) / Submoradia	7	18	
Idade da Habitação	3	42	
Infraestrutura Críticas (Hospitais, Rodovias, Casas de Repouso, Escolas, Polícia, Corpo de Bombeiros)	2	56	
Quantidade de Pavimentos	1	69	
Habitações Comuns	1	69	
População em Área Inundada/Área Inundada/Proximidade da Água	2	56	
% da População Acima (Abaixo) da Linha da Pobreza/Renda Mínima	6	22	

<b>SUBINDICADORES DE RESILIÊNCIA (E CAPACIDADE DE ENFRENTAMENTO)</b>	<b>NÚMERO DE VEZES USADO</b>	<b>RANKING</b>	<b>FONTES</b>
Razão de Negócios de Grande a Menores/% de Negócios Pequenos/Tamanho dos Negócios	3	42	
Percentual de Funcionários Qualificados	1	69	
Ação Coletiva e Tomada de Decisão	1	69	
Eficácia Coletiva e Empoderamento	1	69	
Auto-organização	1	69	
Quadro de Gestão de Desastres (Articulação)	2	56	
Resposta ao Desastre	2	56	
Qualidade de Vida	0	118	
Colaboração entre Instituições e Atores Locais	1	69	
Quartos Por Habitação	1	69	
Densidade por Construção/Habitação/Área construída	6	22	
Número de Novas Construções por m <sup>2</sup>	3	42	
Número de Escolas por km <sup>2</sup>	6	22	
Taxa de Organização Religiosa /Número de Religiosos por 10000 habitantes	7	18	
Taxa de Organização Cultural/Entretenimento (Biblioteca/Museus/Sítios Históricos)	4	31	
Taxa de Organizações Cívicas, Rotary Clubes e Advocacia Social por 10000 habitantes	4	31	
Percentual de População com Pertencimento do Bairro/Comunidade/Vivendo Mais de 10 anos no Local/ 5 Anos no Local/Unidades Ocupadas	9	12	
% de Participação em Eleições/Participação Política/Participação Cívica	2	56	
Satisfação de Participação dos Conselhos Locais	1	69	
Taxa de Uso da Terra Para Recreação	3	42	
População Não Minoritária/Imigrante	3	42	
% da População com Programa de Assistência Social/Sem necessidade de Ajuda Social	8	13	
Valor Médio da Propriedade	2	56	
Conexão com o Local de Trabalho	1	69	
Densidade de Estabelecimentos de Consultoria Ambiental	1	69	

<b>SUBINDICADORES DE RESILIÊNCIA (E CAPACIDADE DE ENFRENTAMENTO)</b>	<b>NÚMERO DE VEZES USADO</b>	<b>RANKING</b>	<b>FONTES</b>
Densidade de Estabelecimentos de Construção Civil	4	31	
Densidade dos Setores (Agrícola, Comercial e Industrial)	4	31	
Densidade de Estabelecimentos Residenciais	3	42	
Dependência do Setor Primário/Turismo/Único Setor	5	29	
População que Participa de Grupos Comunitários	3	42	
População (Densidade) /Família por Casa/Densidade Residencial	8	13	
Confiança	1	69	
Liderança	1	69	
Estilo de Enfrentamento	1	69	
Improvisação/Inventividade	1	69	
% De domicílios não Familiares com Solteiros	1	69	
% De Domicílios não Familiares Ocupados com Menores de 18 anos	1	69	
Falta de Diversidade Econômica	2	56	
Boa Governança	1	69	
Políticas Ambientais	2	56	
Capital Social	1	69	
Índice de Corrupção	2	56	
Relatório de Autoavaliação de ações para o Marco de Ação de Hyogo	1	69	
Eficácia de Governo	1	69	
Índice de Assalto	1	69	
Tributos Prediais	1	69	
Orçamento Municipal por Habitante	1	69	

Apêndice A 8 - Publicações utilizadas para selecionar subindicadores para o indicador de capacidade adaptativa

<b>SUBINDICADORES DE CAPACIDADE ADAPTATIVA</b>	<b>NÚMERO DE VEZES USADO</b>	<b>RANKING</b>	<b>FONTES</b>
Nível de Educação/Taxa de Analfabeto	5	1	

SUBINDICADORES DE CAPACIDADE ADAPTATIVA	NÚMERO DE VEZES USADO	RANKING	FONTES
Nível de educação/Taxa de Analfabeto - Feminina	1	12	(ALMEIDA; WELLE; BIRKMANN, 2016; ANDRADE; SZLAFSZTEIN, 2018; CHAKRABORTY, S.; MUKHOPADHYAY, 2019; GAIN <i>et al.</i> , 2015; GURRI <i>et al.</i> , 2019; MALCOMB; WEAVER; KRAKOWKA, 2014; PARSONS <i>et al.</i> , 2016; SHAH <i>et al.</i> , 2018; SHERLY <i>et al.</i> , 2015; WEIS <i>et al.</i> , 2016; YANG, W. <i>et al.</i> , 2018; YANG, X. L.; DING; HOU, 2013)
Eletricidade/Gás/Energia	2	6	
Renda Financeira do Município	1	12	
Renda Familiar/Renda per capita/Renda por ano familiar	1	12	
Múltiplas Fontes de Renda	1	12	
Faixa Etária de Trabalho	1	12	
Taxa de Desemprego/Taxa de emprego	2	6	
Emprego Feminino	1	12	
Infraestrutura Críticas (Hospitais, Rodovias, Casas de Repouso, Escolas, Polícia, Corpo de Bombeiros)	4	3	
Prédios Públicos	1	12	
Sistema de Alerta	4	3	
Confiabilidade no Sistema de Alerta	1	12	
Rede Social/Comunicação	5	1	
Estrutura Médica/Leitos	3	5	
Estrutura de Escola	1	12	
Organização do Trabalho na Cadeia Produtiva	1	12	
Unidades de Gado	1	12	
Pessoa Doméstica Doente nos Últimos 12 meses	1	12	
Terra Arável (Ha)	1	12	
Índice de Riqueza	1	12	
Órfãos em Casa	1	12	
Tempo para Fonte de Água/Acesso a água	1	12	
Tipo de Combustível para Cozinhar	1	12	
Sexo do Chefe de Família	2	6	
Unidade Residencial	1	12	
Instituições Religiosas	1	12	

<b>SUBINDICADORES DE CAPACIDADE ADAPTATIVA</b>	<b>NÚMERO DE VEZES USADO</b>	<b>RANKING</b>	<b>FONTES</b>
Recursos Humanos e Cívicos	1	12	
Acesso a Saúde	1	12	
Recursos Econômicos	2	6	
Renda Líquida dos Agricultores	1	12	
Liderança	1	12	
Aprendizagem Institucional	1	12	
Inovação Institucional	1	12	
Pesquisa e Desenvolvimento	1	12	
Compromisso Social	1	12	
Satisfação de Vida	1	12	
Confiança	1	12	
Envolvimento da Sociedade	2	6	
Plano de Políticas para Mulher	1	12	
Políticas para o Meio Ambiente	2	6	
Plano de para Prevenção de Desastres Naturais	1	12	
Comitê dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio	1	12	
Expectativa de Vida	1	12	

## APÊNDICE B

## Apêndice B 1 – Pesos AHP para suscetibilidade física.

Suscetibilidade Física	Elevação	Declividade	Distância para o Curso D'Água	Uso do Solo (Área Urbana)	TOTAL	Peso Normalizado
Elevação	1,00	0,86	1,20	1,20	4,26	0,261
Declividade	1,17	1,00	1,40	1,40	4,97	0,304
Distância para o Curso D'Água	0,83	0,71	1,00	1,00	3,55	0,217
Uso do Solo (Área Urbana)	0,83	0,71	1,00	1,00	3,55	0,217
<b>TOTAL</b>					<b>16,32</b>	<b>1,0000</b>

## Apêndice B 2 - Pesos AHP para vulnerabilidade.

Vulnerabilidade	Exposição	Suscetibilidade Física	Resiliência	Capacidade Adaptativa	TOTAL	Peso Normalizado
Exposição	1,00	0,75	1,50	1,50	4,75	0,273
Suscetibilidade Física	1,33	1,00	2,00	2,00	6,33	0,364
Resiliência	0,67	0,50	1,00	1,00	3,17	0,182
Capacidade Adaptativa	0,67	0,50	1,00	1,00	3,17	0,182
<b>TOTAL</b>					<b>17,42</b>	<b>1,0000</b>

## Apêndice B 3 - Pesos AHP para exposição.

Exposição	Densidade Populacional	Infraestruturas Críticas	Percentual de Área Ocupada	Tipo de Moradia	Densidade Populacional por Domicílio	TOTAL	Peso Normalizado
Densidade Populacional	1,00	2,00	1,00	4,00	4,00	12,00	0,333
Infraestruturas Críticas	0,50	1,00	0,50	2,00	2,00	11,00	0,167
Percentual de Área Ocupada	1,00	2,00	1,00	4,00	4,00	6,00	0,333
Tipo de Moradia	0,25	0,50	0,25	1,00	1,00	12,00	0,083
Densidade Populacional por Domicílio	0,25	0,50	0,25	1,00	1,00	3,00	0,083
<b>TOTAL</b>						<b>36,00</b>	<b>1,0000</b>

## Apêndice B 4 - Pesos AHP para suscetibilidade.

Suscetibilidade	Leitos Hospitalares por 10.000 Habitantes	Falta de Acesso ao Saneamento	Percentual de Mulheres Chefes de Família	Renda Familiar Média	Percentual de População com Dependência	Percentual de Pessoas na Linha da Pobreza	TOTAL	Peso Normalizado
Leitos Hospitalares por 10.000 Habitantes	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	5,00	0,125
Falta de Acesso ao Saneamento	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	10,00	0,250
Percentual de Mulheres Chefes de Família	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	5,00	0,125
Renda Familiar Média	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	10,00	0,250
Percentual de População com Dependência	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	5,00	0,125
Percentual de Pessoas na Linha da Pobreza	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	5,00	0,125
<b>TOTAL</b>							<b>40,00</b>	<b>1,00</b>

## Apêndice B 5 - Pesos AHP para resiliência (capacidade de enfrentamento).

Resiliência (Capacidade de enfrentamento)	Rede de Comunicação	Taxa de Alfabetização	Instituições de Gestão de Riscos de Desastres	Limite de Rotas de Evacuação	Limitação de Abrigos	Ausência de Residência Própria	População com Necessidade de Assistência Social	TOTAL	Peso Normalizado
Rede de Comunicação	1,00	1,33	1,33	1,00	1,00	1,33	2,00	9,00	0,174



Taxa de Alfabetização	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,50	6,75	0,130
Instituições de Gestão de Riscos de Desastres	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,50	6,75	0,130
Limite de Rotas de Evacuação	1,00	1,33	1,33	1,00	1,00	1,33	2,00	9,00	0,174
Limitação de Abrigos	1,00	1,33	1,33	1,00	1,00	1,33	2,00	9,00	0,174
Ausência de Residência Própria	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,50	6,75	0,130
População com Necessidade de Assistência Social	0,50	0,67	0,67	0,50	0,50	0,67	1,00	4,50	0,087
<b>TOTAL</b>								51,75	1,0000

Apêndice B 6 - Pesos AHP para capacidade adaptativa.

Capacidade Adaptativa	Percentual de População sem Curso Superior	Envolvimento da Sociedade	Políticas para o Meio Ambiente	Sistemas de Alerta	TOTAL	Peso Normalizado
Percentual de População sem Curso Superior	1,00	2,00	2,00	2,00	7,00	0,400
Envolvimento da Sociedade	0,50	1,00	1,00	1,00	3,50	0,200
Políticas para o Meio Ambiente	0,50	1,00	1,00	1,00	3,50	0,200
Sistemas de Alerta	0,50	1,00	1,00	1,00	3,50	0,200
<b>TOTAL</b>					17,50	1,0000

APÊNDICE C

Apêndice C 1 – Máxima cota anual em Encantado (86720000).

ANO	Cota (m)	Data	Cota (m)	Data	Cota (m)	Data	Cota (m)	Data	Cota (m)
1942	12	1958	12,55	1974	-	1990	18,45	2006	10,32

<b>ANO</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Data</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Data</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Data</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Data</b>	<b>Cota (m)</b>
<b>1943</b>	7,30	<b>1959</b>	16,57	<b>1975</b>	-	<b>1991</b>	10,2	<b>2007</b>	16,4
<b>1944</b>	10,47	<b>1960</b>	12,98	<b>1976</b>	-	<b>1992</b>	17,46	<b>2008</b>	17,52
1945	8,68	<b>1961</b>	13,64	<b>1977</b>	-	<b>1993</b>	12,25	<b>2009</b>	16,4
1946	17,7	<b>1962</b>	4,46	<b>1978</b>	-	<b>1994</b>	9,08	<b>2010</b>	13,3
1947	7,25	<b>1963</b>	12,4	<b>1979</b>	-	<b>1995</b>	7	<b>2011</b>	19,02
1948	10,6	<b>1964</b>	9,04	<b>1980</b>	14,5	<b>1996</b>	8,27	<b>2012</b>	11,45
1949	9,03	<b>1965</b>	18,46	<b>1981</b>	10,96	<b>1997</b>	17,53	<b>2013</b>	14,65
1950	16,60	<b>1966</b>	11,91	<b>1982</b>	9,49	<b>1998</b>	-	<b>2014</b>	11,29
1951	8,61	<b>1967</b>	16,4	<b>1983</b>	10,27	<b>1999</b>	-	<b>2015</b>	-
1952	6,45	<b>1968</b>	6,76	<b>1984</b>	10,81	<b>2000</b>	-	<b>2016</b>	-
1953	13,49	<b>1969</b>	6,94	<b>1985</b>	15,56	<b>2001</b>	-	<b>2017</b>	-
1954	18	<b>1970</b>	8,57	<b>1986</b>	17,98	<b>2002</b>	-	<b>2018</b>	11,62
1955	10,3	<b>1971</b>	-	<b>1987</b>	14,5	<b>2003</b>	11,96	<b>2019</b>	-
1956	19,2	<b>1972</b>	-	<b>1988</b>	10,96	<b>2004</b>	6,25	<b>2020</b>	20,27
1957	13,13	<b>1973</b>	-	<b>1989</b>	9,49	<b>2005</b>	14,94		

Apêndice C 2 – Máxima vazão anual em Encantado (86720000) através da curva-chave.

<b>ANO</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Data</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Data</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Data</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Data</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>
<b>1942</b>	6412,87	<b>1958</b>	6885,46	<b>1974</b>	-	<b>1990</b>	13017,48	<b>2006</b>	5060,80
<b>1943</b>	2988,98	<b>1959</b>	10773,42	<b>1975</b>	-	<b>1991</b>	4969,57	<b>2007</b>	10593,88
<b>1944</b>	5175,84	<b>1960</b>	7265,08	<b>1976</b>	-	<b>1992</b>	11782,80	<b>2008</b>	11856,21
1945	3877,16	<b>1961</b>	7864,89	<b>1977</b>	-	<b>1993</b>	6625,87	<b>2009</b>	10593,88
1946	12077,54	<b>1962</b>	1403,11	<b>1978</b>	-	<b>1994</b>	4153,20	<b>2010</b>	7553,31
1947	2958,69	<b>1963</b>	6755,12	<b>1979</b>	-	<b>1995</b>	2809,28	<b>2011</b>	13750,77
1948	5276,45	<b>1964</b>	4125,22	<b>1980</b>	-	<b>1996</b>	3602,83	<b>2012</b>	5954,95
1949	4118,24	<b>1965</b>	13030,20	<b>1981</b>	-	<b>1997</b>	11868,46	<b>2013</b>	8822,56
1950	10805,24	<b>1966</b>	6336,93	<b>1982</b>	-	<b>1998</b>	-	<b>2014</b>	5824,51
1951	3829,71	<b>1967</b>	10593,88	<b>1983</b>	8677,31	<b>1999</b>	-	<b>2015</b>	-
1952	2492,49	<b>1968</b>	2669,02	<b>1984</b>	5559,46	<b>2000</b>	-	<b>2016</b>	-
1953	7726,76	<b>1969</b>	2773,92	<b>1985</b>	4444,66	<b>2001</b>	-	<b>2017</b>	-
1954	12450,10	<b>1970</b>	3802,70	<b>1986</b>	5022,70	<b>2002</b>	-	<b>2018</b>	<b>6094,91</b>
1955	5045,54	<b>1971</b>	-	<b>1987</b>	5440,76	<b>2003</b>	6379,07	<b>2019</b>	-
1956	13985,70	<b>1972</b>	-	<b>1988</b>	9726,08	<b>2004</b>	2381,39	<b>2020</b>	<b>15415,24</b>
1957	7399,58	<b>1973</b>	-	<b>1989</b>	12425,12	<b>2005</b>	9106,33		

Apêndice C 3 - Cotas no Porto de Estrela (8687930) durante o evento de julho de 2020 com correção de -0,559 m em relação aos dados originais.

Data	Hora	Cota (m)	Data	Hora	Cota (m)	Data	Hora	Cota (m)	Data	Hora	Cota (m)
05/07	00:00	11,861	08/07	11:00	24,271	11/07	22:00	13,281	15/07	09:00	12,881
05/07	01:00	11,841	08/07	12:00	24,601	11/07	23:00	13,241	15/07	10:00	12,991
05/07	02:00	11,801	08/07	13:00	24,931	12/07	00:00	13,221	15/07	11:00	12,991
05/07	03:00	11,771	08/07	14:00	25,221	12/07	01:00	13,221	15/07	12:00	13,001
05/07	04:00	11,731	08/07	15:00	25,471	12/07	02:00	13,211	15/07	13:00	13,001
05/07	05:00	11,721	08/07	16:00	25,691	12/07	03:00	13,251	15/07	14:00	12,981
05/07	06:00	11,711	08/07	17:00	25,871	12/07	04:00	13,281	15/07	15:00	12,971
05/07	07:00	11,801	08/07	18:00	26,061	12/07	05:00	13,321	15/07	16:00	12,951
05/07	08:00	11,881	08/07	19:00	26,271	12/07	06:00	13,381	15/07	17:00	12,931
05/07	09:00	11,961	08/07	20:00	26,411	12/07	07:00	13,461	15/07	18:00	12,911
05/07	10:00	11,991	08/07	21:00	26,541	12/07	08:00	13,571	15/07	19:00	12,891
05/07	11:00	11,991	08/07	22:00	26,641	12/07	09:00	13,701	15/07	20:00	12,871
05/07	12:00	11,931	08/07	23:00	26,701	12/07	10:00	13,761	15/07	21:00	12,851
05/07	13:00	11,881	09/07	00:00	26,781	12/07	11:00	14,001	15/07	22:00	12,841
05/07	14:00	11,821	09/07	01:00	26,831	12/07	12:00	14,461	15/07	23:00	12,841
05/07	15:00	11,801	09/07	02:00	26,831	12/07	13:00	15,061	16/07	00:00	13,161
05/07	16:00	11,781	09/07	03:00	26,781	12/07	14:00	15,771	16/07	01:00	13,231
05/07	17:00	11,761	09/07	04:00	26,741	12/07	15:00	16,491	16/07	02:00	13,311
05/07	18:00	11,751	09/07	05:00	26,701	12/07	16:00	17,111	16/07	03:00	13,441
05/07	19:00	11,771	09/07	06:00	26,661	12/07	17:00	17,661	16/07	04:00	13,591
05/07	20:00	11,771	09/07	07:00	26,621	12/07	18:00	18,161	16/07	05:00	13,821
05/07	21:00	11,801	09/07	08:00	26,511	12/07	19:00	18,641	16/07	06:00	14,021
05/07	22:00	11,851	09/07	09:00	26,411	12/07	20:00	19,071	16/07	07:00	14,141
05/07	23:00	11,901	09/07	10:00	26,231	12/07	21:00	19,411	16/07	08:00	14,231
06/07	00:00	12,001	09/07	11:00	26,091	12/07	22:00	19,711	16/07	09:00	14,271
06/07	01:00	12,021	09/07	12:00	25,891	12/07	23:00	20,011	16/07	10:00	14,361
06/07	02:00	12,071	09/07	13:00	25,681	13/07	00:00	20,271	16/07	11:00	14,441
06/07	03:00	12,041	09/07	14:00	25,441	13/07	01:00	20,481	16/07	12:00	14,501
06/07	04:00	12,041	09/07	15:00	25,191	13/07	02:00	20,671	16/07	13:00	14,511
06/07	05:00	12,051	09/07	16:00	24,911	13/07	03:00	20,861	16/07	14:00	14,561
06/07	06:00	12,091	09/07	17:00	24,651	13/07	04:00	21,021	16/07	15:00	14,361

06/07	07:00	12,151	09/07	18:00	24,381	13/07	05:00	21,281	16/07	16:00	14,441
06/07	08:00	12,231	09/07	19:00	24,051	13/07	06:00	21,371	16/07	17:00	14,501
06/07	09:00	12,371	09/07	20:00	23,741	13/07	07:00	21,471	16/07	18:00	14,511
06/07	10:00	12,521	09/07	21:00	23,391	13/07	08:00	17,361	16/07	19:00	14,561
06/07	11:00	12,791	09/07	22:00	23,031	13/07	09:00	17,071	16/07	20:00	14,621
06/07	12:00	13,041	09/07	23:00	22,671	13/07	10:00	16,781	16/07	21:00	14,701
06/07	13:00	13,331	10/07	00:00	22,301	13/07	11:00	16,481	16/07	22:00	14,711
06/07	14:00	13,581	10/07	01:00	21,911	13/07	12:00	16,181	16/07	23:00	14,691
06/07	15:00	13,831	10/07	02:00	21,501	13/07	13:00	15,571	17/07	00:00	14,711
06/07	16:00	14,011	10/07	03:00	21,071	13/07	14:00	15,591	17/07	01:00	14,731
06/07	17:00	14,781	10/07	04:00	20,651	13/07	15:00	15,291	17/07	02:00	14,731
06/07	18:00	14,881	10/07	05:00	20,201	13/07	16:00	15,031	17/07	03:00	14,731
06/07	19:00	14,971	10/07	06:00	19,761	13/07	17:00	14,771	17/07	04:00	14,711
06/07	20:00	15,071	10/07	07:00	19,331	13/07	18:00	14,531	17/07	05:00	14,711
06/07	21:00	15,101	10/07	08:00	18,921	13/07	19:00	14,331	17/07	06:00	14,701
06/07	22:00	15,121	10/07	09:00	18,511	13/07	20:00	14,131	17/07	07:00	14,681
06/07	23:00	15,111	10/07	10:00	18,141	13/07	21:00	13,971	17/07	08:00	14,641
07/07	00:00	15,011	10/07	11:00	17,781	13/07	22:00	13,811	17/07	09:00	14,601
07/07	01:00	14,931	10/07	12:00	17,411	13/07	23:00	13,681	17/07	10:00	14,551
07/07	02:00	14,761	10/07	13:00	17,041	14/07	00:00	13,541	17/07	11:00	14,521
07/07	03:00	14,651	10/07	14:00	16,701	14/07	01:00	13,411	17/07	12:00	14,491
07/07	04:00	14,581	10/07	15:00	16,361	14/07	02:00	13,351	17/07	13:00	14,431
07/07	05:00	14,491	10/07	16:00	16,031	14/07	03:00	13,291	17/07	14:00	14,401
07/07	06:00	14,451	10/07	17:00	15,771	14/07	04:00	13,221	17/07	15:00	14,351
07/07	07:00	14,381	10/07	18:00	15,541	14/07	05:00	13,131	17/07	16:00	14,311
07/07	08:00	14,431	10/07	19:00	15,301	14/07	06:00	13,021	17/07	17:00	14,291
07/07	09:00	14,381	10/07	20:00	15,081	14/07	07:00	12,971	17/07	18:00	14,251
07/07	10:00	14,331	10/07	21:00	14,871	14/07	08:00	12,941	17/07	19:00	14,201
07/07	11:00	14,271	10/07	22:00	14,671	14/07	09:00	12,901	17/07	20:00	14,121
07/07	12:00	14,211	10/07	23:00	14,491	14/07	10:00	12,881	17/07	21:00	14,041
07/07	13:00	14,191	11/07	00:00	14,321	14/07	11:00	12,901	17/07	22:00	13,941
07/07	14:00	14,191	11/07	01:00	14,141	14/07	12:00	12,881	17/07	23:00	13,841
07/07	15:00	14,221	11/07	02:00	13,971	14/07	13:00	12,871	18/07	00:00	13,731
07/07	16:00	14,301	11/07	03:00	13,831	14/07	14:00	12,851	18/07	01:00	13,601
07/07	17:00	14,431	11/07	04:00	13,671	14/07	15:00	12,851	18/07	02:00	13,521
07/07	18:00	14,621	11/07	05:00	13,561	14/07	16:00	12,841	18/07	03:00	13,491
07/07	19:00	14,871	11/07	06:00	13,441	14/07	17:00	12,841	18/07	04:00	13,481
07/07	20:00	15,211	11/07	07:00	13,321	14/07	18:00	12,831	18/07	05:00	13,481
07/07	21:00	15,581	11/07	08:00	13,221	14/07	19:00	12,831	18/07	06:00	13,461

<b>07/07</b>	22:00	16,061	<b>11/07</b>	09:00	13,111	<b>14/07</b>	20:00	12,811	<b>18/07</b>	07:00	13,411
<b>07/07</b>	23:00	16,661	<b>11/07</b>	10:00	13,021	<b>14/07</b>	21:00	12,781	<b>18/07</b>	08:00	13,401
<b>08/07</b>	00:00	17,451	<b>11/07</b>	11:00	12,971	<b>14/07</b>	22:00	12,781	<b>18/07</b>	09:00	13,371
<b>08/07</b>	01:00	18,311	<b>11/07</b>	12:00	13,111	<b>14/07</b>	23:00	12,791	<b>18/07</b>	10:00	13,331
<b>08/07</b>	02:00	19,151	<b>11/07</b>	13:00	13,271	<b>15/07</b>	00:00	12,771	<b>18/07</b>	11:00	13,281
<b>08/07</b>	03:00	19,931	<b>11/07</b>	14:00	13,371	<b>15/07</b>	01:00	12,741	<b>18/07</b>	12:00	13,241
<b>08/07</b>	04:00	20,651	<b>11/07</b>	15:00	13,451	<b>15/07</b>	02:00	12,701	<b>18/07</b>	13:00	13,221
<b>08/07</b>	05:00	21,311	<b>11/07</b>	16:00	13,491	<b>15/07</b>	03:00	12,651	<b>18/07</b>	14:00	13,201
<b>08/07</b>	06:00	21,901	<b>11/07</b>	17:00	13,471	<b>15/07</b>	04:00	12,591	<b>18/07</b>	15:00	13,161
<b>08/07</b>	07:00	22,941	<b>11/07</b>	18:00	13,441	<b>15/07</b>	05:00	12,521	<b>18/07</b>	16:00	13,111
<b>08/07</b>	08:00	23,411	<b>11/07</b>	19:00	13,391	<b>15/07</b>	06:00	12,451	<b>18/07</b>	17:00	13,091
<b>08/07</b>	09:00	23,701	<b>11/07</b>	20:00	13,361	<b>15/07</b>	07:00	12,501			
<b>08/07</b>	10:00	23,881	<b>11/07</b>	21:00	13,301	<b>15/07</b>	08:00	12,651			

Apêndice C 4 – Máxima cota anual no Porto de Estrela (8687930) com correção de -0,559 m em relação aos dados originais.

Data	Cota (m)	Data	Cota (m)	Data	Cota (m)	Data	Cota (m)	Data	Cota (m)
<b>18/07/1940</b>	25,84	<b>06/04/1956</b>	28,30	<b>29/08/1972</b>	22,84	<b>14/09/1988</b>	23,69	<b>17/10/2005</b>	22,39
<b>06/05/1941</b>	29,36	<b>09/09/1957</b>	22,29	<b>19/09/1973</b>	21,64	<b>01/06/1990</b>	26,08	<b>27/07/2006</b>	19,30
<b>20/05/1942</b>	23,34	<b>13/06/1958</b>	21,24	<b>10/06/1974</b>	20,44	<b>27/12/1991</b>	18,34	<b>24/09/2007</b>	25,69
<b>03/08/1943</b>	15,10	<b>23/06/1959</b>	26,07	<b>11/08/1975</b>	19,24	<b>29/05/1992</b>	24,79	<b>27/10/2008</b>	26,09
<b>25/06/1944</b>	22,10	<b>01/09/1960</b>	22,14	<b>09/08/1976</b>	21,84	<b>06/07/1993</b>	20,59	<b>13/09/2009</b>	23,94
<b>31/07/1945</b>	18,64	<b>30/09/1961</b>	22,24	<b>19/08/1977</b>	23,34	<b>03/07/1994</b>	17,44	<b>05/01/2010</b>	23,39
<b>27/01/1946</b>	26,84	<b>16/09/1962</b>	13,44	<b>07/10/1979</b>	18,84	<b>21/07/1995</b>	15,34	<b>21/07/2011</b>	26,29
<b>30/09/1947</b>	16,54	<b>18/10/1963</b>	22,14	<b>23/08/1980</b>	21,14	<b>26/10/1996</b>	15,94	<b>20/09/2012</b>	20,69
<b>02/08/1948</b>	20,04	<b>02/09/1964</b>	17,64	<b>25/09/1981</b>	16,64	<b>04/08/1997</b>	25,04	<b>25/08/2013</b>	23,27
<b>17/07/1949</b>	18,74	<b>22/08/1965</b>	25,84	<b>29/06/1982</b>	24,40	<b>16/08/1998</b>	20,99	<b>20/10/2014</b>	19,93
<b>17/10/1950</b>	25,77	<b>06/08/1966</b>	21,44	<b>07/07/1983</b>	24,19	<b>21/07/1999</b>	14,79	<b>10/10/2015</b>	23,95
<b>19/10/1951</b>	18,50	<b>21/09/1967</b>	25,77	<b>22/07/1978</b>	15,79	<b>14/10/2000</b>	22,89	<b>20/10/2016</b>	24,70
<b>10/06/1952</b>	18,79	<b>07/11/1968</b>	14,44	<b>09/07/1984</b>	19,89	<b>02/10/2001</b>	26,39	<b>09/06/2017</b>	23,80
<b>16/09/1953</b>	22,55	<b>19/02/1969</b>	14,74	<b>10/05/1985</b>	18,39	<b>13/06/2002</b>	21,64	<b>04/10/2018</b>	17,95
<b>27/09/1954</b>	26,79	<b>08/07/1970</b>	17,14	<b>11/10/1986</b>	19,04	<b>21/02/2003</b>	21,14	<b>05/11/2019</b>	21,78
<b>19/05/1955</b>	19,75	<b>16/03/1971</b>	22,14	<b>30/07/1987</b>	20,79	<b>18/10/2004</b>	13,94	<b>09/07/2020</b>	26,83

## Apêndice C 5 – Pontos levantados do limite da mancha de inundação do evento de 2020.

Identificação	Data	Hora	Latitude	Longitude	Identificação	Data	Hora	Latitude	Longitude
<b>45</b>	08/07/20	14:56	-29,47	-51,96	<b>117</b>	09/07/20	0:29	-29,47	-51,97
<b>46</b>	08/07/20	14:57	-29,47	-51,96	<b>118</b>	09/07/20	0:31	-29,46	-51,97
<b>52</b>	08/07/20	16:16	-29,42	-51,96	<b>119</b>	09/07/20	0:33	-29,46	-51,97
<b>53</b>	08/07/20	16:16	-29,42	-51,96	<b>120</b>	09/07/20	0:35	-29,46	-51,97
<b>54</b>	08/07/20	16:18	-29,42	-51,96	<b>121</b>	09/07/20	0:36	-29,46	-51,97
<b>55</b>	08/07/20	16:23	-29,42	-51,96	<b>122</b>	09/07/20	0:38	-29,46	-51,97
<b>56</b>	08/07/20	16:28	-29,42	-51,95	<b>123</b>	09/07/20	0:39	-29,46	-51,97
<b>57</b>	08/07/20	16:28	-29,42	-51,95	<b>124</b>	09/07/20	0:41	-29,46	-51,97
<b>58</b>	08/07/20	16:45	-29,43	-51,96	<b>125</b>	09/07/20	0:43	-29,46	-51,97
<b>59</b>	08/07/20	16:45	-29,43	-51,96	<b>126</b>	09/07/20	0:44	-29,46	-51,97
<b>60</b>	08/07/20	16:45	-29,42	-51,96	<b>127</b>	09/07/20	0:45	-29,46	-51,97
<b>61</b>	08/07/20	17:05	-29,45	-51,94	<b>128</b>	09/07/20	0:47	-29,46	-51,97
<b>62</b>	08/07/20	17:27	-29,47	-51,97	<b>129</b>	09/07/20	0:51	-29,47	-51,96
<b>63</b>	08/07/20	21:00	-29,46	-51,96	<b>130</b>	09/07/20	0:54	-29,47	-51,96
<b>64</b>	08/07/20	21:09	-29,46	-51,96	<b>131</b>	09/07/20	0:55	-29,47	-51,96
<b>65</b>	08/07/20	21:09	-29,46	-51,96	<b>132</b>	09/07/20	0:56	-29,46	-51,96
<b>66</b>	08/07/20	21:09	-29,46	-51,96	<b>133</b>	09/07/20	0:58	-29,46	-51,96
<b>67</b>	08/07/20	21:12	-29,46	-51,96	<b>134</b>	09/07/20	1:00	-29,46	-51,96
<b>68</b>	08/07/20	21:12	-29,46	-51,96	<b>135</b>	09/07/20	0:00	-29,46	-51,96
<b>69</b>	08/07/20	21:12	-29,46	-51,96	<b>136</b>	09/07/20	0:00	-29,46	-51,96
<b>70</b>	08/07/20	21:13	-29,46	-51,96	<b>137</b>	09/07/20	0:00	-29,46	-51,96
<b>71</b>	08/07/20	21:13	-29,46	-51,96	<b>138</b>	09/07/20	10:54	-29,47	-51,98
<b>72</b>	08/07/20	21:14	-29,46	-51,96	<b>139</b>	09/07/20	10:55	-29,47	-51,98
<b>73</b>	08/07/20	21:16	-29,46	-51,96	<b>140</b>	09/07/20	10:59	-29,47	-51,99
<b>74</b>	08/07/20	21:16	-29,46	-51,96	<b>141</b>	09/07/20	0:00	-29,47	-51,99
<b>75</b>	08/07/20	21:16	-29,46	-51,96	<b>142</b>	09/07/20	0:00	-29,47	-51,99
<b>76</b>	08/07/20	21:18	-29,47	-51,96	<b>143</b>	09/07/20	0:00	-29,47	-51,99
<b>77</b>	08/07/20	21:18	-29,47	-51,96	<b>144</b>	09/07/20	0:00	-29,47	-51,99
<b>78</b>	08/07/20	21:18	-29,47	-51,96	<b>145</b>	09/07/20	0:00	-29,47	-51,99
<b>79</b>	08/07/20	21:19	-29,47	-51,96	<b>146</b>	09/07/20	0:00	-29,47	-51,99

<b>80</b>	08/07/20	21:23	-29,47	-51,96	<b>147</b>	09/07/20	11:34	-29,47	-51,98
<b>81</b>	08/07/20	21:23	-29,47	-51,96	<b>148</b>	09/07/20	11:35	-29,47	-51,98
<b>82</b>	08/07/20	21:23	-29,47	-51,96	<b>149</b>	09/07/20	11:38	-29,47	-51,98
<b>83</b>	08/07/20	21:23	-29,47	-51,96	<b>150</b>	09/07/20	11:41	-29,47	-51,98
<b>84</b>	08/07/20	21:27	-29,47	-51,96	<b>151</b>	09/07/20	11:47	-29,48	-51,98
<b>85</b>	08/07/20	21:27	-29,47	-51,96	<b>152</b>	09/07/20	11:55	-29,48	-51,98
<b>86</b>	08/07/20	21:30	-29,47	-51,95	<b>153</b>	09/07/20	11:59	-29,48	-51,98
<b>87</b>	08/07/20	21:30	-29,47	-51,95	<b>154</b>	09/07/20	0:00	-29,48	-51,98
<b>88</b>	08/07/20	21:33	-29,48	-51,95	<b>155</b>	09/07/20	0:00	-29,47	-51,98
<b>89</b>	08/07/20	21:33	-29,48	-51,95	<b>156</b>	09/07/20	0:00	-29,47	-51,98
<b>90</b>	08/07/20	21:34	-29,48	-51,95	<b>157</b>	09/07/20	0:00	-29,47	-51,98
<b>91</b>	08/07/20	21:38	-29,47	-51,95	<b>158</b>	09/07/20	0:00	-29,48	-51,98
<b>92</b>	08/07/20	21:42	-29,47	-51,95	<b>159</b>	09/07/20	0:00	-29,48	-51,98
<b>93</b>	08/07/20	21:46	-29,46	-51,95	<b>160</b>	09/07/20	0:00	-29,48	-51,98
<b>94</b>	08/07/20	21:52	-29,46	-51,95	<b>161</b>	09/07/20	0:00	-29,48	-51,98
<b>95</b>	08/07/20	21:53	-29,46	-51,95	<b>162</b>	09/07/20	12:39	-29,47	-51,99
<b>96</b>	08/07/20	21:53	-29,46	-51,95	<b>163</b>	09/07/20	12:48	-29,47	-51,97
<b>97</b>	08/07/20	21:56	-29,46	-51,95	<b>164</b>	09/07/20	12:50	-29,47	-51,97
<b>98</b>	08/07/20	22:05	-29,46	-51,96	<b>165</b>	09/07/20	12:51	-29,47	-51,97
<b>99</b>	08/07/20	22:06	-29,46	-51,96	<b>166</b>	09/07/20	17:06	-29,49	-51,98
<b>100</b>	08/07/20	22:09	-29,46	-51,97	<b>167</b>	09/07/20	17:09	-29,49	-51,99
<b>101</b>	08/07/20	22:09	-29,46	-51,97	<b>168</b>	09/07/20	17:11	-29,49	-51,99
<b>102</b>	08/07/20	22:09	-29,46	-51,97	<b>169</b>	09/07/20	17:15	-29,49	-51,98
<b>103</b>	08/07/20	22:11	-29,46	-51,97	<b>170</b>	09/07/20	17:15	-29,49	-51,98
<b>104</b>	08/07/20	22:13	-29,46	-51,97	<b>171</b>	09/07/20	17:16	-29,49	-51,98
<b>105</b>	08/07/20	22:13	-29,46	-51,97	<b>172</b>	09/07/20	17:17	-29,50	-51,97
<b>106</b>	08/07/20	22:13	-29,46	-51,97	<b>173</b>	09/07/20	17:19	-29,50	-51,97
<b>107</b>	08/07/20	22:14	-29,47	-51,97	<b>174</b>	09/07/20	17:20	-29,50	-51,97
<b>108</b>	08/07/20	22:16	-29,47	-51,97	<b>175</b>	09/07/20	17:22	-29,50	-51,97
<b>109</b>	08/07/20	22:18	-29,47	-51,97	<b>176</b>	09/07/20	17:28	-29,49	-51,98
<b>110</b>	08/07/20	22:22	-29,47	-51,96	<b>177</b>	09/07/20	17:50	-29,43	-51,96
<b>111</b>	08/07/20	22:22	-29,47	-51,96	<b>178</b>	09/07/20	17:55	-29,43	-51,96

<b>112</b>	08/07/20	22:24	-29,47	-51,96	<b>179</b>	09/07/20	18:05	-29,44	-51,94
<b>113</b>	08/07/20	22:26	-29,47	-51,96	<b>180</b>	09/07/20	18:07	-29,44	-51,94
<b>114</b>	08/07/20	22:28	-29,47	-51,96	<b>181</b>	09/07/20	18:08	-29,44	-51,94
<b>115</b>	08/07/20	22:28	-29,47	-51,96	<b>182</b>	09/07/20	18:12	-29,46	-51,94
<b>116</b>	08/07/20	22:40	-29,47	-51,97	<b>183</b>	09/07/20	18:12	-29,46	-51,94

## APÊNDICE D

## Apêndice D 1 – Dados de leitos hospitalares e de IDH de cada país.

<b>País</b>	<b>Ano do dado</b>	<b>Leitos hospitalares por 10.000 habitantes</b>	<b>IDH 2019</b>	<b>País</b>	<b>Ano do dado</b>	<b>Leitos hospitalares por 10.000 habitantes</b>	<b>IDH 2019</b>
<b>Afeganistão</b>	2017	3,90	0,511	<b>Quirguistão</b>	2014	44,13	0,697
<b>Albânia</b>	2013	28,89	0,795	<b>Laos</b>	2012	15,00	0,613
<b>Argélia</b>	2015	19,00	0,748	<b>Letônia</b>	2018	54,90	0,866
<b>Angola</b>	2005	8,00	0,581	<b>Líbano</b>	2017	27,30	0,744
<b>Antígua e Barbuda</b>	2017	28,92	0,778	<b>Lesoto</b>	2006	13,00	0,527
<b>Argentina</b>	2017	49,92	0,845	<b>Libéria</b>	2010	8,00	0,480
<b>Armênia</b>	2014	41,63	0,776	<b>Líbia</b>	2017	32,00	0,724
<b>Austrália</b>	2016	38,40	0,944	<b>Lituânia</b>	2018	64,30	0,882
<b>Áustria</b>	2018	72,70	0,922	<b>Luxemburgo</b>	2019	42,60	0,916
<b>Azerbaijão</b>	2014	48,22	0,756	<b>Madagascar</b>	2010	2,00	0,528
<b>Bahamas</b>	2017	29,57	0,814	<b>Malawi</b>	2011	13,00	0,483
<b>Bahrein</b>	2017	17,40	0,852	<b>Malásia</b>	2017	18,77	0,810
<b>Bangladesh</b>	2016	7,95	0,632	<b>Maldivas</b>	2009	43,00	0,740
<b>Barbados</b>	2017	59,67	0,814	<b>Mali</b>	2010	1,00	0,434
<b>Belarus</b>	2014	108,30	0,823	<b>Malta</b>	2017	44,85	0,895
<b>Bélgica</b>	2019	55,80	0,931	<b>Mauritânia</b>	2006	4,00	0,546
<b>Belize</b>	2017	10,36	0,716	<b>Maurício</b>	2011	34,00	0,804
<b>Benin</b>	2010	5,00	0,545	<b>México</b>	2018	9,80	0,779
<b>Butão</b>	2012	17,40	0,654	<b>Mongólia</b>	2017	80,00	0,737
<b>Bolívia</b>	2017	12,93	0,718	<b>Montenegro</b>	2017	38,61	0,829
<b>Bósnia e Herzegovina</b>	2014	34,93	0,780	<b>Marrocos</b>	2017	10,00	0,686
<b>Botswana</b>	2010	18,00	0,735	<b>Moçambique</b>	2011	7,00	0,456



<b>Brasil</b>	2017	20,87	0,765	<b>Mianmar</b>	2017	10,44	0,583
<b>Brunei</b>	2017	28,50	0,838	<b>Namíbia</b>	2009	27,00	0,646
<b>Bulgária</b>	2017	74,54	0,816	<b>Nepal</b>	2012	3,00	0,602
<b>Burkina Fasso</b>	2010	4,00	0,452	<b>Holanda</b>	2018	31,70	0,944
<b>Burundi</b>	2014	7,90	0,433	<b>Nova Zelândia</b>	2019	25,70	0,931
<b>Cabo Verde</b>	2010	21,00	0,665	<b>Nicarágua</b>	2017	9,30	0,660
<b>Camboja</b>	2016	9,00	0,594	<b>Níger</b>	2017	3,90	0,394
<b>Camarões</b>	2010	13,00	0,563	<b>Nigéria</b>	2004	5,00	0,539
<b>Canadá</b>	2019	25,20	0,929	<b>Noruega</b>	2018	35,30	0,957
<b>República Centro-Africana</b>	2011	10,00	0,397	<b>Omã</b>	2017	14,70	0,813
<b>Chade</b>	2005	4,00	0,398	<b>Paquistão</b>	2017	6,30	0,557
<b>Chile</b>	2018	20,60	0,851	<b>Panamá</b>	2016	22,54	0,815
<b>China</b>	2017	43,10	0,761	<b>Paraguai</b>	2016	8,28	0,728
<b>Colômbia</b>	2018	17,10	0,767	<b>Peru</b>	2017	15,91	0,777
<b>Cômoros</b>	2010	21,60	0,554	<b>Filipinas</b>	2014	9,90	0,718
<b>Congo</b>	2005	16,00	0,574	<b>Polônia</b>	2018	65,40	0,880
<b>Costa Rica</b>	2019	11,00	0,810	<b>Portugal</b>	2018	34,50	0,864
<b>Costa Rica</b>	2006	4,00	0,538	<b>Catar</b>	2017	12,50	0,848
<b>Croácia</b>	2017	55,40	0,851	<b>Coréia do Sul</b>	2018	124,30	0,916
<b>Cuba</b>	2017	53,31	0,783	<b>Moldova</b>	2014	56,61	0,750
<b>Chipre</b>	2017	34,00	0,887	<b>Macedônia do Norte</b>	2017	42,80	0,774
<b>República Tcheca</b>	2018	66,20	0,900	<b>Romênia</b>	2017	68,92	0,828
<b>República Democrática do Congo</b>	2006	8,00	0,480	<b>Rússia</b>	2018	71,20	0,824
<b>Dinamarca</b>	2019	26,00	0,940	<b>Ruanda</b>	2006	16,00	0,543
<b>Djibouti</b>	2017	14,00	0,524	<b>Santa Lúcia</b>	2017	12,97	0,759
<b>República Dominicana</b>	2017	15,56	0,756	<b>São Vicente e Granadinas</b>	2016	43,23	0,738
<b>Equador</b>	2016	13,93	0,759	<b>Samoa</b>	2007	10,00	0,715
<b>Egito</b>	2017	14,30	0,707	<b>São Tomé e Príncipe</b>	2011	29,00	0,625
<b>El Salvador</b>	2017	11,99	0,673	<b>Arábia Saudita</b>	2017	22,40	0,854
<b>Guiné Equatorial</b>	2010	21,00	0,592	<b>Senegal</b>	2008	3,00	0,512

<b>Eritreia</b>	2011	7,00	0,459	<b>Sérvia</b>	2017	56,09	0,806
<b>Estônia</b>	2018	45,70	0,892	<b>Seicheles</b>	2011	36,00	0,796
<b>ESwatini</b>	2011	21,00	0,611	<b>Serra Leoa</b>	2006	4,00	0,452
<b>Etiópia</b>	2016	3,30	0,485	<b>Cingapura</b>	2017	24,86	0,938
<b>Fiji</b>	2016	19,98	0,743	<b>Eslováquia</b>	2018	57,00	0,860
<b>Finlândia</b>	2018	36,10	0,938	<b>Eslovênia</b>	2018	44,30	0,917
<b>França</b>	2018	59,10	0,901	<b>Ilhas Salomão</b>	2012	14,00	0,567
<b>Gabão</b>	2008	13,00	0,703	<b>África do Sul</b>	2010	23,00	0,709
<b>Gâmbia</b>	2011	11,00	0,496	<b>Espanha</b>	2018	29,70	0,904
<b>Geórgia</b>	2014	28,94	0,812	<b>Sri Lanka</b>	2017	41,50	0,782
<b>Alemanha</b>	2017	80,00	0,947	<b>Sudão</b>	2017	7,40	0,510
<b>Gana</b>	2011	9,00	0,611	<b>Suriname</b>	2017	30,01	0,738
<b>Grécia</b>	2018	42,00	0,888	<b>Suécia</b>	2018	21,40	0,945
<b>Granada</b>	2017	35,71	0,779	<b>Suíça</b>	2018	46,30	0,955
<b>Guatemala</b>	2017	4,41	0,663	<b>Síria</b>	2017	14,00	0,567
<b>Guiné</b>	2011	3,00	0,477	<b>Tadjiquistão</b>	2014	46,67	0,668
<b>Guiné-Bissau</b>	2009	10,00	0,480	<b>Tailândia</b>	2005	21,00	0,777
<b>Guiana</b>	2016	17,15	0,682	<b>Timor-Leste</b>	2009	59,00	0,606
<b>Haiti</b>	2013	7,07	0,510	<b>Togo</b>	2011	7,00	0,515
<b>Honduras</b>	2017	6,43	0,634	<b>Trinidad e Tobago</b>	2017	30,24	0,796
<b>Hungria</b>	2018	70,10	0,854	<b>Tunísia</b>	2017	21,80	0,740
<b>Islândia</b>	2019	28,30	0,949	<b>Turquia</b>	2018	28,50	0,820
<b>Índia</b>	2017	5,30	0,645	<b>Turcomenistão</b>	2014	40,28	0,715
<b>Indonésia</b>	2017	10,40	0,718	<b>Uganda</b>	2010	5,00	0,544
<b>Irã</b>	2017	15,60	0,783	<b>Ucrânia</b>	2014	74,63	0,779
<b>Iraque</b>	2017	13,20	0,674	<b>Emirados Árabes Unidos</b>	2017	13,80	0,890
<b>Irlanda</b>	2018	29,70	0,955	<b>Reino Unido</b>	2019	24,60	0,932
<b>Israel</b>	2018	29,80	0,919	<b>Tanzânia</b>	2010	7,00	0,529
<b>Itália</b>	2018	31,40	0,892	<b>Estados Unidos</b>	2017	28,70	0,926
<b>Jamaica</b>	2017	17,17	0,734	<b>Uruguai</b>	2017	24,25	0,817
<b>Japão</b>	2018	129,80	0,919	<b>Uzbequistão</b>	2014	39,78	0,720
<b>Jordânia</b>	2017	14,70	0,729	<b>Venezuela</b>	2017	8,71	0,711
<b>Cazaquistão</b>	2014	60,57	0,825	<b>Vietnã</b>	2013	31,80	0,704
<b>Quênia</b>	2010	14,00	0,601	<b>Iêmen</b>	2017	7,10	0,470

<b>Kiribati</b>	2016	18,60	0,630	<b>Zâmbia</b>	2010	20,00	0,584
<b>Kuwait</b>	2017	20,40	0,806	<b>Zimbábue</b>	2011	17,00	0,571

Apêndice D 2 – Percentis de leitos hospitalares separados pelo IDH dos países

IDH	Valores	Percentil 1 (25% dos dados)	Percentil 2 (50% dos dados)	Percentil 3 (75% dos dados)
<b>Muito alto</b>	Entre 0,800 e 1,000	25,58	34,90	57,53
<b>Alto</b>	Entre 0,700 e 0,799	14,40	22,40	40,16
<b>Médio</b>	Entre 0,550 e 0,699	9,00	14,00	21,00
<b>Baixo</b>	Entre 0,350 e 0,549	4,00	7,00	8,00

APÊNDICE E

Apêndice E 1 – Setores censitários e seus respectivos bairros.

Código do setor censitário	Bairro	Código do setor censitário	Bairro	Código do setor censitário	Bairro	Código do setor censitário	Bairro
431140305000001	Centro	431140305000031	Montanha	431140305000061	Alto do Parque	431140305000091	São Bento
431140305000002	Centro	431140305000032	Moinhos D'Água	431140305000062	Hidráulica	431140305000092	Conventos
431140305000003	Centro	431140305000033	Floresta	431140305000063	Hidráulica	431140305000093	Centenário
431140305000004	Centro	431140305000034	São Bento	431140305000064	Hidráulica	431140305000094	Olarias
431140305000005	Centro	431140305000035	Conventos	431140305000065	Americano	431140305000095	Campestre
431140305000006	Centro	431140305000036	Conventos	431140305000066	Americano	431140305000096	Santo André
431140305000007	Centro	431140305000037	Conventos	431140305000067	Americano	431140305000097	Santo André
431140305000008	Centro	431140305000038	Imigrante	431140305000068	Hidráulica	431140305000098	São Cristóvão
431140305000009	Centro	431140305000039	Centenário	431140305000069	Planalto	431140305000099	São Cristóvão
431140305000010	Centro	431140305000040	Bom Pastor	431140305000070	Alto do Parque	431140305000100	São Cristóvão

431140305000011	Conservas	431140305000041	Olarias	431140305000071	Centro	431140305000101	São Cristóvão
431140305000012	Conservas	431140305000042	Olarias	431140305000072	Centro	431140305000102	São Cristóvão
431140305000013	Santo Antônio	431140305000043	Planalto	431140305000073	Centro	431140305000103	Universitário
431140305000014	Santo Antônio	431140305000044	Igrejinha	431140305000074	Centro	431140305000104	Universitário
431140305000015	Santo Antônio	431140305000045	Campestre	431140305000075	Centro	431140305000105	Conventos
431140305000016	Morro Vinte e Cinco	431140305000046	Campestre	431140305000076	Conservas	431140305000106	Imigrante
431140305000017	das Nações	431140305000047	Santo André	431140305000077	Conservas	431140305000107	Área Rural
431140305000018	Jardim do Cedro	431140305000048	Santo André	431140305000078	Morro Vinte e Cinco	431140305000108	Santo Antônio
431140305000019	Jardim do Cedro	431140305000049	São Cristóvão	431140305000079	Jardim do Cedro	431140305000109	Moinhos
431140305000020	Moinhos	431140305000050	São Cristóvão	431140305000080	Jardim do Cedro	431140305000110	Moinhos D'Água
431140305000021	Moinhos	431140305000051	São Cristóvão	431140305000081	Moinhos	431140305000111	Conventos
431140305000022	Moinhos	431140305000052	São Cristóvão	431140305000082	Moinhos	431140305000112	Bom Pastor
431140305000023	Moinhos	431140305000053	São Cristóvão	431140305000083	Florestal	431140305000113	São Cristóvão
431140305000024	Moinhos	431140305000054	São Cristóvão	431140305000084	Florestal	431140305000114	Universitário
431140305000025	Florestal	431140305000055	São Cristóvão	431140305000085	Florestal	431140305000115	Hidráulica
431140305000026	Florestal	431140305000056	Universitário	431140305000086	Florestal	431140305000116	Americano
431140305000027	Florestal	431140305000057	Universitário	431140305000087	Montanha	431140305000117	Americano
431140305000028	Florestal	431140305000058	Carneiros	431140305000088	Montanha	431140305000118	Jardim do Cedro
431140305000029	Montanha	431140305000059	Carneiros	431140305000089	Montanha	431140305000119	Florestal

<b>431140305000030</b>	Montanha	<b>431140305000060</b>	Alto do Parque	<b>431140305000090</b>	Moinhos D'Água	<b>431140305000120</b>	Santo Antônio
------------------------	----------	------------------------	-------------------	------------------------	-------------------	------------------------	------------------