

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**DESENVOLVIMENTO, TECNOLOGIAS E SOCIEDADE**

**Vulnerabilidade socioambiental a inundações na microbacia do Ribeirão  
Anhumas - Itajubá, MG.**

**Felipe Lanzoni Dellargine**

**Itajubá, 2025**

Felipe Lanzoni Dellargine

**Vulnerabilidade socioambiental a inundações na microbacia do  
Ribeirão Anhumas - Itajubá, MG.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Desenvolvimento, Tecnologias e Sociedade da  
Universidade Federal de Itajubá como parte dos requisitos  
para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento,  
Tecnologias e Sociedade

Área de concentração: Ciência, Tecnologia e Sociedade

Orientadora: Profª Dra. Daniele Ornaghi Sant'anna

Coorientadora: Profª Dra. Nívea Adriana Dias Pons

**Itajubá, 2025**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, pelo apoio incondicional e pelo suporte em todos os momentos dessa jornada. Sem o carinho e incentivo de vocês, este trabalho não seria possível. Aos colegas de mestrado e aos amigos que fiz em Itajubá, deixo minha gratidão pelas conversas, parcerias e companheirismo que tornaram esse processo mais leve e agradável.

A minha orientadora, professora Daniele Ornaghi Sant’Anna, pela orientação criteriosa, paciência e dedicação durante todo o desenvolvimento deste trabalho, além de seu lado humano para além da pesquisa. Agradeço também à coorientadora, professora Nívea Adriana Dias Pons, por sua disponibilidade constante, pelas contribuições valiosas e pela escuta atenta em todas as etapas do trabalho.

Agradeço também aos professores Luís Felipe Silva, Samara Calçado de Azevedo e Maria Cláudia Costa de Oliveira Botan, membros da banca examinadora, pelas sugestões, críticas construtivas e contribuições relevantes que enriqueceram e aperfeiçoaram este trabalho.

Sou igualmente grato à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro por meio da concessão da bolsa de estudos, essencial para a realização desta pesquisa.

Também registro meu agradecimento à mestre Débora Luisa Silva Teixeira, que com sua experiência e generosidade, não poupou esforços para contribuir com este trabalho, especialmente ao me ajudar a superar os inúmeros “enroscos” no QGIS.

*“A crise que enfrentamos não é apenas uma crise ecológica, econômica ou política. É uma crise de percepção: estamos tentando aplicar velhos padrões de pensamento a uma realidade profundamente interconectada.”*

Fritjof Capra

*“Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo.”*

Paulo Freire

## RESUMO

A vulnerabilidade socioambiental a inundações representa um desafio significativo para a gestão de risco e o planejamento urbano, principalmente dentro do cenário das mudanças climáticas, que intensificam a frequência e impacto destes eventos. A microbacia do Ribeirão Anhumas, localizada em Itajubá (MG), é uma área que sofre com esses eventos, pois possui uma extensa ocupação urbana em áreas potencialmente alagáveis. Sendo assim, este estudo teve como objetivo analisar a vulnerabilidade socioambiental da microbacia, utilizando ferramentas de geoprocessamento e o método AHP. Para isso, foram consideradas variáveis demográficas, sociais, econômicas e ambientais que influenciam a exposição e a capacidade de resposta da população aos eventos de inundação. Foram elaborados mapas de suscetibilidade ambiental e vulnerabilidade social, permitindo uma visão espacial detalhada dos riscos na microbacia. Os resultados indicaram que 5,19% da área apresenta alta suscetibilidade ambiental, enquanto 8,31% do território, especialmente em regiões densamente povoadas e de baixa renda, demonstrou elevada vulnerabilidade socioambiental. O índice de vulnerabilidade socioambiental (IVSA), desenvolvido a partir do cruzamento de dados socioeconômicos e ambientais, mostrou-se eficaz para identificar áreas críticas que necessitam de ações prioritárias do poder público. As conclusões destacam a necessidade de integrar o planejamento urbano à gestão de riscos, priorizando medidas como melhorias na drenagem urbana, controle da expansão desordenada e implementação de soluções baseadas na natureza.

**Palavras-chave:** gestão de riscos; Ribeirão Anhumas; vulnerabilidade socioambiental; resiliência urbana; AHP; SIG; soluções baseadas na natureza.

## **ABSTRACT**

The socio-environmental vulnerability to floods represents a significant challenge for risk management and urban planning, especially within the scenario of climate change, which intensifies the frequency and impact of these events. The Ribeirão Anhumas micro-basin, located in Itajubá (MG), is an area that suffers from these events, because it has an extensive urban occupation in potentially flood-prone areas. Thus, this study aimed to analyze the socio-environmental vulnerability of the microbasin, using geoprocessing tools and the AHP method. For this, demographic, social, economic and environmental variables that influence the exposure and response capacity of the population to flood events were considered. Environmental susceptibility and social vulnerability maps were developed, allowing a detailed spatial view of the risks in the microbasin. The results indicated that 5.19% of the area has high environmental susceptibility, while 8.31% of the territory, especially in densely populated and low-income regions, demonstrated high socio-environmental vulnerability. The socio-environmental vulnerability index (IVSA), developed from the intersection of socioeconomic and environmental data, was effective in identifying critical areas that require priority actions by public authorities. The conclusions highlight the need to integrate urban planning with risk management, prioritizing measures such as improvements in urban drainage, control of disorderly expansion and implementation of nature-based solutions.

**Keywords:** risk management; Ribeirão Anhumas; socio-environmental vulnerability; urban resilience; AHP; GIS; nature-based solutions.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperatura média global para os meses de Julho, entre 1940 a 2023.....	19
Figura 2 – Perfis de terrenos abrigando cursos d’água.....	20
Figura 3 – Comparação entre enchentes, inundações e alagamentos no contexto urbano .....	21
Figura 4 - Campus da Unifei alagado após fortes chuvas em 2023.....	25
Figura 5 – Diversos pontos da cidade alagados, incluindo o bairro Medicina.....	26
Figura 6 – Principais elementos de uma bacia hidrográfica.....	27
Figura 7 – Representação de uma bacia hidrográfica e uma de suas sub-bacias.....	28
Figura 8 - Mapa de localização da área de estudo.....	43
Figura 9 – Micorbacia do Ribeirão Anhumas.....	44
Figura 10 – Bairros pertencentes ao perímetro urbano.....	45
Figura 11 – Comparação entre a ocupação urbana da microbacia.....	46
Figura 12 – Zoneamento urbano no plano diretor do município de Itajubá referente ao perímetro urbano dentro da microbacia do Ribeirão Anhumas.....	47
Figura 13 – Precipitação média mensal no município de Itajubá.....	49
Figura 14 – Classes de altitude na microbacia do Ribeirão Anhumas.....	50
Figura 15 – Declividade na microbacia do Ribeirão Anhumas.....	51
Figura 16 - Distribuição dos solos para a microbacia do Ribeirão Anhumas.....	52
Figura 17 - Unidades Litológicas de Itajubá e da microbacia do Ribeirão Anhumas.....	54
Figura 18 - Mapa de densidade demográfica da microbacia do Ribeirão Anhumas.....	55
Figura 19 – Mapa de distância do Ribeirão.....	66
Figura 20 – Mapa de ITU da microbacia do Ribeirão Anhumas.....	67
Figura 21 – Classes de solos presentes na microbacia do Ribeirão Anhumas.....	68
Figura 22 – Mapa de uso e cobertura do solo.....	69
Figura 23 - Mapa de suscetibilidade a inundações da microbacia do Ribeirão Anhumas.....	73
Figura 24 - Ampliação do mapa de suscetibilidade para o perímetro urbano.....	74
Figura 25 – Mapa das variáveis sociais utilizadas no IVS com valores normalizados.....	76
Figura 26 – Mapa de vulnerabilidade social da microbacia do Ribeirão Anhumas.....	79
Figura 27 – Distribuição espacial da densidade demográfica após normalização.....	80
Figura 28 – Mapa de vulnerabilidade socioambiental da microbacia do Ribeirão Anhumas..	82
Figura 29 – Ampliação do IVSA para os setores do perímetro urbano – A a D.....	83
Figura 30 – Ampliação do IVSA para os setores do perímetro urbano – Grupos E a G.....	84

Figura 31 – Ampliação do IVSA para os setores do perímetro urbano – Grupos H a G.....	86
Figura 32 – Ampliação do IVSA para os setores do perímetro urbano - Grupos J e K.....	87
Figura 33 – Ampliação do IVSA para os setores do perímetro urbano – Grupo M (1 a 4)....	88
Figura 34 – Ampliação do IVSA para os setores do perímetro urbano – Grupo N e O.....	89
Figura 35 – Ampliação do IVSA para o setor P da área rural.....	90
Figura 36 – Ampliação do IVSA para todos os setores do perímetro urbano.....	91



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cheias de grande magnitude com base na estação Santa Rosa.....	24
Tabela 2 - Intensidade de importância utilizada no método AHP.....	39
Tabela 3 – Índices de consistência aleatória.....	42
Tabela 4 - Indicadores sociais, econômicos e demográficos da microbacia do Ribeirão Anhumas.....	56
Tabela 5 – Variáveis utilizadas no mapeamento da vulnerabilidade ambiental.....	59
Tabela 6 – Matriz de comparação par a par das classes dos fatores condicionantes a inundação.....	71
Tabela 7 - Matriz de comparação par a par dos fatores condicionantes de inundações.....	72
Tabela 8 – Matriz de comparação par a par dos fatores envolvidos na vulnerabilidade social.....	78
Tabela 9 – Indicadores detalhados para os setores de E a G.....	85

## **ABREVIATÖES**

AHP – Processo Hierárquico Analítico (do inglês *Analytic Hierarchy Process*)

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CBERS - Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (do inglês China-Brazil Earth Resources Satellite)

CNM – Confederação Nacional dos Municípios

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Hab – habitantes

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEXP - Índice de Exposição Populacional

INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

ISI - Índice de Suscetibilidade a Inundações

ITU - Índice Topográfico de Umidade

IVS - Índice de Vulnerabilidade Social

IVSA - Índice de Vulnerabilidade Socioambiental

LIH – Laboratório de Informações Hídricas da Unifei

MDE - Modelo Digital de Elevação

PNMC – Política Nacional sobre Mudanças do Clima

WMO – Organização Meteorológica Mundial (do inglês World Meteorological Organization)

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1 Geral.....	15
2.2 Específicos... ..	15
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
3.1 Desenvolvimento, tecnologias e vulnerabilidade.....	16
3.2 Mudanças climáticas e suas implicações.....	18
3.3 Inundações, enchentes e outros termos utilizados.....	20
3.4 Urbanização e as inundações.....	22
3.5 Bacias hidrográficas e rios urbanos.....	26
3.6 Vulnerabilidade socioambiental a inundações.....	29
3.6.1 Dimensão ambiental da vulnerabilidade a inundações.....	31
3.6.1.1 Condicionantes naturais.....	31
3.6.1.2 Condicionantes antrópicas.....	32
3.6.2 Dimensão social da vulnerabilidade a inundações.....	34
3.7 Metodologias para o mapeamento da vulnerabilidade socioambiental a inundações.....	35
3.7.1 Condicionantes adotados em zoneamento de suscetibilidade a inundações.....	35
3.7.2 Fatores socioeconômicos e demográficos utilizados na avaliação da vulnerabilidade social de populações expostas a riscos de inundações.....	37
3.8 Utilização do Processo Analítico Hierárquico.....	39
<b>4 ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>43</b>
4.1 Descrição e análise da área de estudo .....	43
4.2 Altimetria e declividade.....	49
4.3 Pedologia.....	51
4.4 Litologia.....	53
4.5 Caracterização socioeconômica e demográfica da microbacia.....	54
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>58</b>

5.1 Delineamento da pesquisa.....	58
5.2 Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental a inundação.....	58
5.3 Elaboração da base de dados georreferenciados.....	60
5.4 Elaboração dos mapas temáticos.....	61
5.4.1 Mapa do Índice Topográfico de Umidade (ITU) .....	61
5.4.2 Mapa de uso e cobertura do solo.....	62
5.4.3 Mapa de distâncias do rio.....	63
5.5 Mapas das variáveis socioeconômicas e demográficas.....	63
 <b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>66</b>
6.1 Dimensão ambiental.....	66
6.2 Dimensão social.....	75
6.3 Vulnerabilidade socioambiental.....	81
 <b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>93</b>
7.1 Proposição de melhorias na região – soluções baseadas na natureza.....	93
7.2 Conclusões.....	94
 <b>8 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>97</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Eventos relacionados a desastres ambientais não são uma novidade nas cidades brasileiras. Cada vez com mais frequência, vem se observando estes fenômenos se repetindo e atingindo milhares de pessoas, sobretudo as que vivem em habitações mais precárias. Somente nos últimos 10 anos, entre 2013 e 2022, desastres como inundações, tempestades, enxurradas e alagamentos atingiram 5.199 municípios brasileiros, o que representa 93% do total, afetando a vida de mais de 4,2 milhões de pessoas, segundo os dados da Confederação Nacional de Municípios (CNM, 2023). Por sua vez, as mudanças climáticas exacerbam essa realidade já existente nas cidades brasileiras, onde o aumento das frequências e intensidade das chuvas trazem maiores preocupações em relação aos desastres do passado, tornando os eventos mais extremos e ocorrendo em menor escala de tempo (ALVIOLI et al., 2018; CHEN et al., 2019; DOLLAN et al., 2022; MARENGO et al., 2020).

Entre os anos 2017 a 2022, as chuvas afetaram mais de 28,8 milhões de pessoas no Brasil, segundo relatório técnico da Confederação Nacional dos Municípios (CNM), contabilizando 637 óbitos, quase 172 mil desabrigados e 820 desalojados, além de prejuízos de R\$341,3 bilhões (CNM, 2022). Somente no período entre 1º a 31 de dezembro de 2022, dentre os estados que decretaram situação de emergência, Bahia foi o que mais registrou decretos, com 37% do total, seguido por Santa Catarina e Minas Gerais, com 17,5% cada. Ainda neste curto período de um mês, o excesso de chuvas deixou mais de 58,2 mil desabrigados em Minas Gerais (CNM, 2023).

Além deste cenário, a urbanização desordenada que ocorreu nos municípios brasileiros trouxe consigo uma série de impactos significativos, especialmente no que diz respeito à relação entre o ambiente natural e as áreas urbanas, aumentando a pressão sobre os recursos naturais (AMÂNCIO et al., 2018 ; PAIVA et al., 2022). A falta de planejamento adequado resultou em uma ocupação desenfreada do solo, causando sua impermeabilização, a supressão de áreas vegetadas, aumento de áreas erodidas e o desvio de cursos d'água, contribuindo para a degradação do meio ambiente e impedindo a infiltração do grande volume de chuvas (NUNES, 2015 ; TUCCI, 2016).

Como salienta Maricato (2008), embora tenham sido implementadas obras de saneamento e sistemas de infraestrutura, com as reformas urbanas ocorridas entre o final do século XIX e início do século XX, este urbanismo foi de cunho periférico, pelo qual os menos favorecidos economicamente foram deslocados dos espaços centrais para as então áreas periféricas. Apesar de hoje o padrão não ser mais o mesmo, as antigas estruturas e planejamento urbano não ocorreram de forma a garantir segurança para os que ali vivem.

Somado ao problema da expansão e adensamento urbano, o município de Itajubá enquadra-se nas grandes áreas do sudeste e sul do país que naturalmente são suscetíveis a deslizamentos de terra e inundações, onde há combinação de eventos pluviométricos intensos e frequentes com paisagens dominadas por planícies, fundos de vales estreitos e encostas íngremes (MENDONÇA, 2020; SILVA, 2019). A partir de resultados obtidos por Pinheiro (2005) e dados coletados pelo Laboratório de Informações Hídricas da Unifei (LIH), Barbosa, Oliveira e Oliveira (2015) realizaram uma análise estatística das inundações ocorridas entre 1819 e 2014, tendo o município já registrado mais de 70 eventos de cheia do Rio Sapucaí, dos quais o maior deles ocorreu em 1874, atingindo um nível de 9,55 metros acima da cota altimétrica de 844 metros e o último grande evento ocorreu em 2000.

Nesse contexto, a escolha da microbacia do Ribeirão Anhumas justifica-se pela extensa ocupação urbana em áreas potencialmente alagáveis. O bairro Medicina, por exemplo, localiza-se no fundo do vale da microbacia, onde a ocupação irregular de várzeas inundáveis - impulsionada por pressões imobiliárias e falta de planejamento (SCATALON; FRANCISCO, 2013) - agrava os impactos das cheias.

Além disso, Silva (2015) identificou uma série de trechos que sofrem não somente pelas cheias do Ribeirão, mas também com o escoamento superficial e a ineficiência do sistema de drenagem. A Rua Delfim Moreira, por exemplo, sofre inundações tanto por transbordamento do ribeirão quanto por escoamento superficial, dada sua cota inferior à do curso d'água. Como aponta Cora e Santos (2016) várias ruas do bairro Medicina apresentam cotas inferiores às da margem do ribeirão Anhumas. Essa condição implica que, em eventos de transbordamento, tais áreas serão inevitavelmente inundadas devido ao fluxo gravitacional das águas para as zonas de menor cota.

Mas não são somente fatores naturais que influenciam na vulnerabilidade e exposição de grupos e pessoas em relação aos riscos e problemas que as intensas

chuvas trazem. Essas pessoas são afetadas de distintas maneiras, pelas quais a magnitude dos impactos gerados pelos desastres estão diretamente ligados a fenômenos sociais, econômicos, urbanos e demográficos (HUMMEL et al., 2016; IBGE, 2018). Recentes trabalhos evidenciam que na maior parte das vezes as áreas mais afetadas são as que apresentam baixo padrão socioeconômico, carentes de infraestrutura básica e/ou densamente povoadas (GUERRA, 2020; MARQUES et al., 2017).

Considerando, portanto, este complexo cenário, e a importância da identificação e da caracterização de populações residentes em áreas suscetíveis a desastres naturais, busca-se neste trabalho realizar a análise e mapeamento da vulnerabilidade socioambiental a inundações da região sob influência da microbacia do Ribeirão Anhumas, área frequentemente afetada por este fenômeno. Por meio do uso de ferramentas do geoprocessamento e de dados sociodemográficos disponibilizados pelo IBGE, o trabalho visa colaborar com a produção de informações relevantes para a elaboração de planos de resposta e gerenciamento de riscos eficazes para a diminuição dos prejuízos causados por esses eventos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Analisar a vulnerabilidade socioambiental a inundações da microbacia do ribeirão Anhumas (MG) com auxílio de geoprocessamento.

### **2.2 Específicos**

- Identificar as variáveis demográficas, sociais, econômicas e ambientais que influenciam na vulnerabilidade socioambiental a inundações na microbacia do Ribeirão Anhumas;
- Avaliar a influência de cada uma das variáveis em relação à suscetibilidade ambiental e a vulnerabilidade social, por meio da utilização do Processo Hierárquico Analítico (AHP).
- Mapear a suscetibilidade ambiental a inundações e a vulnerabilidade social da microbacia.
- Desenvolver e espacializar um índice de vulnerabilidade socioambiental para a microbacia do Ribeirão Anhumas.



### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Desenvolvimento, tecnologias e vulnerabilidade**

A discussão do tema vulnerabilidade socioambiental torna-se ampla e relevante pois possui um caráter multidisciplinar, principalmente pela combinação das duas dimensões, do social e ambiental. Nesse cenário, a abordagem CTS (ciência, tecnologia e sociedade) proporciona uma rica lente analítica para explorar e compreender a vulnerabilidade socioambiental a enchentes.

Os estudos CTS, conforme Mitcham (1990), surgem como uma reavaliação crítica do papel exercido pela ciência e pela tecnologia na sociedade. Essa abordagem propõe uma reflexão tanto sobre a visão essencialista da ciência e tecnologia quanto sobre a interdisciplinaridade entre os diversos campos do conhecimento. Essa perspectiva encoraja a contestação das convicções consideradas absolutas sobre a ciência e a tecnologia, revelando sua não-neutralidade e buscando abordagens mais coerentes diante dos problemas que envolvem estes conhecimentos. Essa abordagem não apenas desafia noções preestabelecidas, mas também promove uma compreensão mais holística e crítica sobre o impacto social e ambiental.

Dentro deste escopo, Amartya Sen (2001) traz uma perspectiva crítica sobre o desenvolvimento ao desafiar a usual mensuração do progresso apenas em termos econômicos, enfatizando a importância de avaliar a qualidade de vida das pessoas por meio de um prisma mais amplo, considerando fatores como educação, saúde, liberdades individuais e participação social. O autor Sachs (2004) corrobora com essa visão, rejeitando o conceito tradicional de desenvolvimento amparado no mero crescimento econômico, expandindo sua compreensão também para os aspectos sociais (promover a inclusão e diminuir as desigualdades), ambientais (garantir o provimento de recursos e disposição de resíduos), territoriais (garantir a distribuição espacial de recursos e atividades) e políticos (promover a democracia e as liberdades). O modo tradicional como se enxerga o desenvolvimento agrava muito os problemas relacionados às questões da vulnerabilidade a enchentes encontrados nas cidades.

Portanto, no contexto dos desafios para a adaptação climática das cidades, as mudanças esperadas passam pela alteração do pensamento em relação ao

desenvolvimento e seus paradigmas vigentes, envolvendo desde questões relacionadas à infraestrutura e planejamento urbano, como também à elaboração de políticas públicas e até mesmo o modo como produzimos alimentos, envolvendo setores como a agricultura, já que a mesma possui um papel significativo na mudança climática, contribuindo com aproximadamente 10 a 12% das emissões globais de gases de efeito estufa, de acordo com dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2019).

É importante que a formulação de políticas públicas compreenda o impacto dos fenômenos naturais no cotidiano, a fim de criação de planos de adaptação considerando cenários futuros, uma vez que as medidas de adaptação às mudanças climáticas são aquelas necessárias para que um determinado país ou região se prepare para mitigar seus efeitos, com o objetivo de diminuir sua vulnerabilidade a eventos como inundações, ondas de calor e grandes secas.

Uma das maneiras para se conseguir medir a atual capacidade adaptativa dos municípios é a utilização dos parâmetros estabelecidos pelo Plano Nacional de Adaptação Climática, publicado em 2016, como reflexo da lei nº 12.187/2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). São analisados fatores como a existência nos municípios de instrumentos para prevenção de enchentes e deslizamentos, e se dispõem de planos para redução de riscos. Outro fator que pode ser observado é se existem programas de estímulo à agricultura familiar e comunitária e se existe legislação ou instrumentos de gestão ambiental que contemplem adaptação e mitigação de mudança do clima.

Integrar conhecimentos científicos, tecnológicos e sociais é essencial para desenvolver estratégias eficazes de adaptação e mitigação, considerando tanto as dimensões humanas quanto as não humanas envolvidas nas complexas teias de interações socioambientais (LATOUR, 2012). Complementar ao termo adaptação, a mitigação também deve estar presente nos debates sobre a mudança do clima, referindo-se a medidas que tentam reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Outro termo importante no debate é o de justiça climática, que se refere à busca por equidade e igualdade na resposta e na mitigação das mudanças climáticas, considerando as disparidades sociais, econômicas e ambientais existentes (IKEME, 2003), uma vez que o aquecimento global impacta de forma desigual as sociedades, atingindo de forma mais intensa os vulneráveis (ACSELRAD, 2009). Ela se concentra em garantir que as comunidades mais vulneráveis e menos responsáveis pela crise

climática não sejam as mais impactadas e, ao mesmo tempo, tenham acesso a recursos, tecnologias e informações para enfrentarem os desafios climáticos.

Um dado alarmante identificado pelo Mapbiomas é que a cada 20 anos a área ocupada por favelas no Brasil dobra: enquanto a urbanização no Brasil aumentou 3,1 vezes durante o período de 1985 a 2022, nas favelas este aumento foi de 3,9 vezes, representando que 5% de toda expansão urbana no Brasil foi em favelas, em uma área equivalente a 124.00 há (MAPBIOMAS, 2023).

Autores como Henry Shue (2014) e Paul Baer (2008) discutem a necessidade de justiça climática em relação às responsabilidades históricas e atuais das nações mais industrializadas na geração de emissões de gases de efeito estufa. A abordagem busca equilibrar as responsabilidades de mitigação entre países, reconhecendo as desigualdades presentes nas consequências das mudanças climáticas

### **3.2 Mudanças climáticas e suas implicações**

Os dados históricos e projeções futuras apontam que as chuvas extremas, que assolam boa parte do país em anos recentes, não são um fenômeno passageiro ou localizado, mas sim, uma variável do novo clima em movimento do século XXI, tendo como principal influência o aquecimento global, que desde os anos 1850 fez a temperatura média do planeta aumentar quase 1,2 grau Celsius, sendo que em áreas continentais esse valor já ultrapassou 1,5 °C (IPCC, 2018). Este complexo cenário está em consonância com informações e previsões de uma vasta literatura científica, apresentadas nos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021).

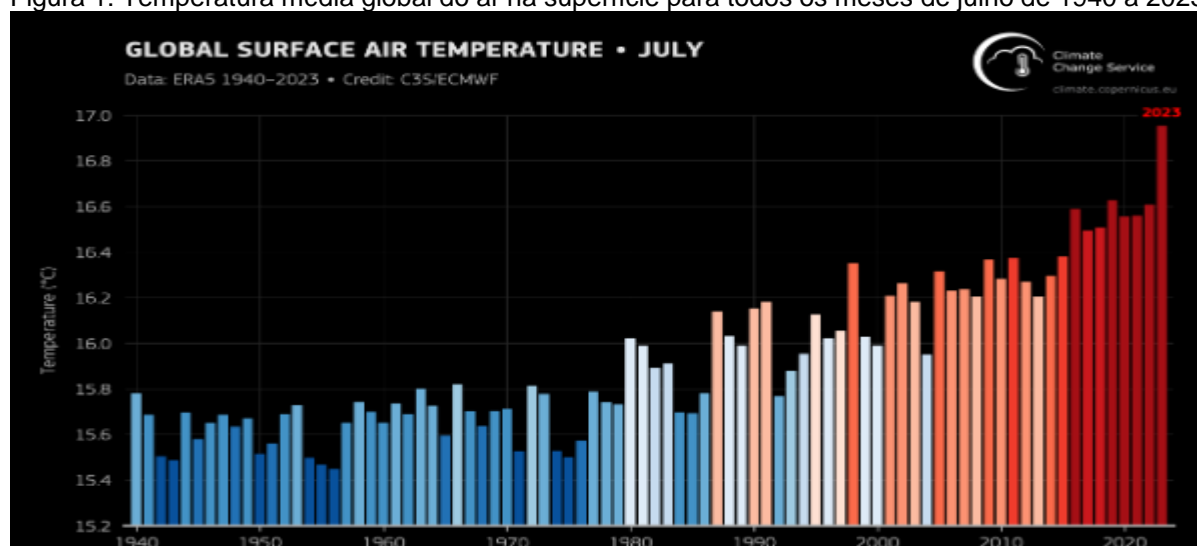
Dentro do contexto das mudanças climáticas, o termo ebulição global surge como um alerta para o agravamento das consequências da aceleração do aquecimento global, gerado pelo aumento das temperaturas planetárias. A Organização das Nações Unidas (ONU), entidade que utilizou o termo, aponta em relatório que entre 2010 e 2019 a média anual de emissões globais de gases de efeito estufa atingiu os níveis mais elevados da história da humanidade, fazendo com que a meta de limitar o aquecimento global em 1,5°C já esteja fora de alcance, o que explica o fato de termos saído da era do aquecimento global para o de ebulição global. (IPCC, 2022).

Fato que se corrobora com as informações da Organização Meteorológica Mundial, que afirma que o mês de julho de 2023 foi o mais quente já registrado na história, ficando de 1,3°C a 1,7°C acima da média histórica, representando uma prévia do que pode acontecer futuramente, com extremos climáticos que já atinge milhões de pessoas anualmente e agravam a situação de vulnerabilidade enfrentada pela população (WMO, 2023).

No gráfico mostrado na Figura 1, podemos observar dados do ERA5, um poderoso satélite utilizado para o monitoramento climático, produzido pelo Serviço de Mudanças Climáticas Copernicus e financiado pela União Europeia (UE). Nele é possível observar a temperatura média global do ar à superfície durante os primeiros 23 dias de julho para todos os meses de julho, entre os anos de 1940 a 2023, onde tons de azul indicam anos mais frios do que a média, enquanto tons de vermelho mostram anos mais quentes do que a média, constatando ser do ano de 2023 o mês de julho mais quente durante todo esse período, (COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICES, 2023).

O aumento constante das temperaturas médias globais, impulsionado pela poluição que retém o calor e funciona como uma estufa em torno da Terra, piorou os extremos climáticos, resultando em ondas de calor e reforçando a necessidade de se mudar os padrões de consumo e a busca por uma sustentabilidade ambiental (WMO, 2023)

Figura 1: Temperatura média global do ar na superfície para todos os meses de julho de 1940 a 2023.

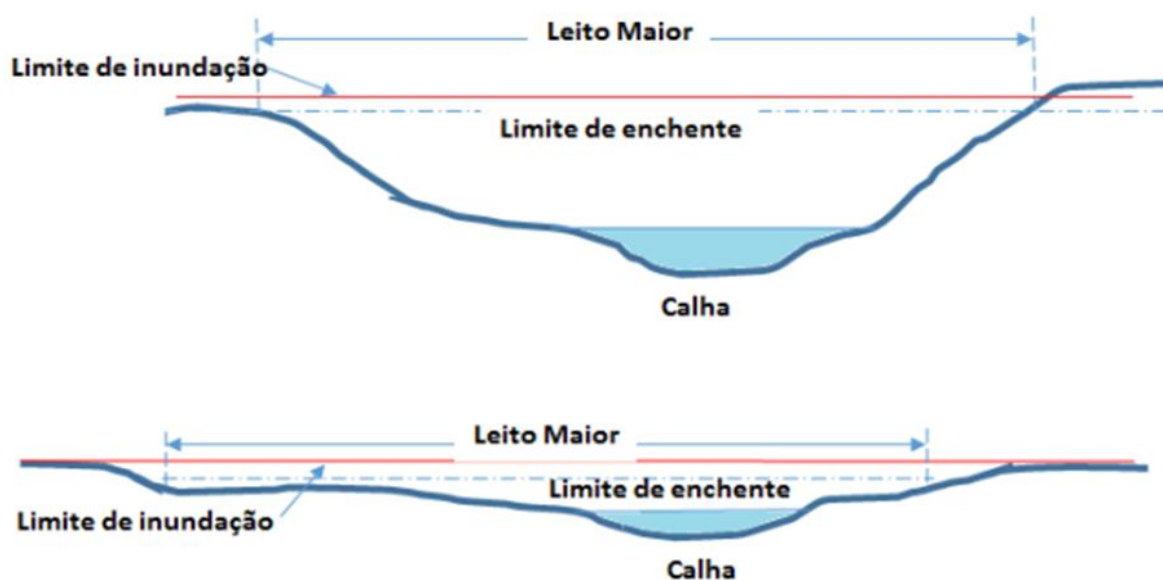


Fonte: Copernicus Climate Change Service ; Dados: ERA 5

### 3.3 Inundações, enchentes e outros termos utilizados

Inundações, enchentes e outras nomenclaturas relacionadas são fenômenos naturais que envolvem a acumulação excessiva de água em áreas que normalmente não são submersas. Apesar de serem frequentemente usadas de forma intercambiável, esses termos têm diferenças específicas em suas definições e implicações, tendo como referência principal o leito maior do rio, como é possível observar na Figura 2 (VALENTE, 2009).

Figura 2: Perfis de terrenos abrigando cursos d'água



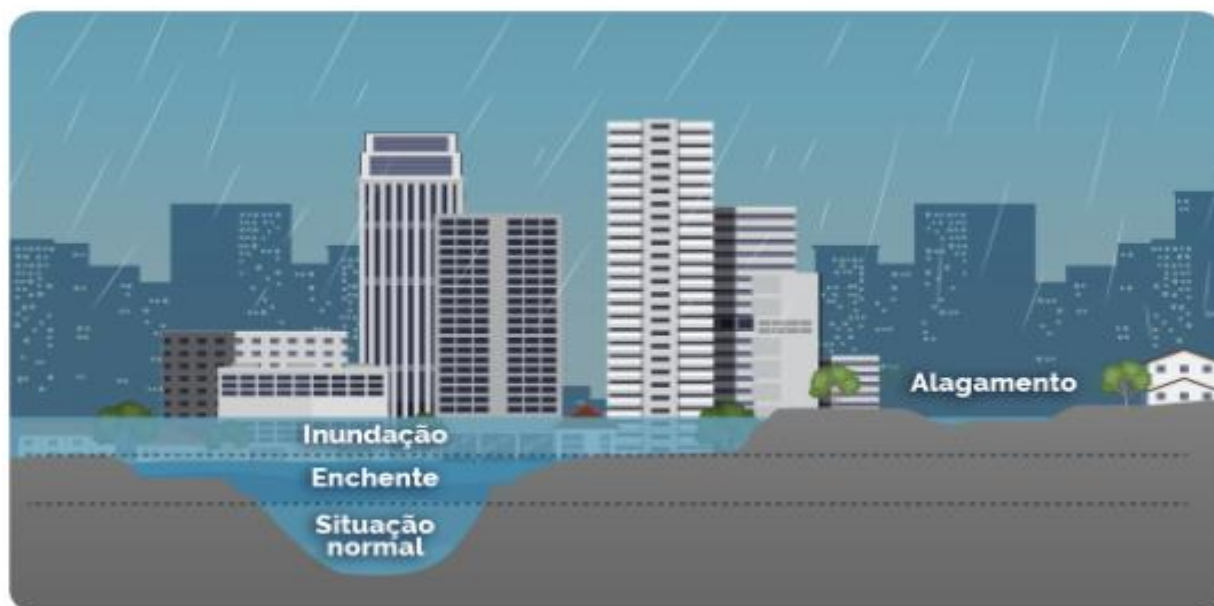
Fonte: Adaptado de Valente (2009)

As enchentes são definidas como um aumento natural do volume de água em rios, córregos ou lagos, fazendo com que ultrapassem temporariamente seus níveis normais, atingindo a cota máxima do canal (leito maior), sem transbordamento desta cota (AMARAL E RIBEIRO, 2009). As enchentes podem ser causadas por chuvas prolongadas, derretimento de neve ou rompimento de barragens. A depender das características do local, ela não necessariamente vai causar danos, já que permanece dentro dos limites do leito maior do rio. Esse fenômeno é frequentemente mais previsível e pode ser monitorado por meio de sistemas de alerta antecipado (ADGER, 2006). As enchentes do rio Amazonas, por exemplo, são sazonais e podem afetar vastas áreas da floresta tropical.

Já as inundações ocorrem quando há o transbordamento das águas de um rio ou canal, atingindo a planície de inundação ou área de várzea. Esse fenômeno pode ocorrer devido a diversas causas, incluindo chuvas intensas, rompimento de barragens ou maresias, e são intensificadas pela ação do homem. As inundações podem ser classificadas em fluviais (causadas pelo transbordamento de rios), pluviais (resultantes de chuvas intensas) e costeiras (devido à elevação do nível do mar ou tempestades) (TUCCI, 2007). A duração das inundações pode variar de horas a dias, dependendo da causa e da capacidade de escoamento da área afetada. Inundações urbanas, por exemplo, ocorrem quando sistemas de drenagem são insuficientes para escoar grandes volumes de água durante chuvas intensas (ANA, 2012).

Já o termo alagamento é geralmente usado para descrever a acumulação de água em áreas urbanas devido à incapacidade dos sistemas de drenagem de escoar rapidamente grandes volumes de água das chuvas. Esse tipo de fenômeno é frequentemente associado a áreas urbanas com infraestrutura de drenagem inadequada. Alagamentos são normalmente de curta duração, mas podem causar grandes transtornos urbanos (CUTTER; BORUFF; SHIRLEY, 2003). Alagamentos nas ruas de São Paulo, por exemplo, são comuns durante os meses de verão devido às fortes chuvas. Na Figura 3 é possível observar no contexto urbano tanto o alagamento quanto as inundações e enchentes.

Figura 3: Comparação entre enchentes, inundações e alagamentos no contexto urbano



Fonte: Ministério da Saúde

Por sua vez, torrentes (também conhecidas como enxurradas) são correntes de água muito rápidas e destrutivas que ocorrem em áreas de terreno íngreme, frequentemente associadas a chuvas intensas ou tempestades. Torrentes possuem alto poder destrutivo devido à velocidade e volume de água, podendo causar deslizamentos de terra e grandes danos estruturais (SMITH; WARD, 1998). Torrentes repentinas podem devastar pequenas comunidades localizadas em vales estreitos.

Portanto, a principal diferença entre esses termos está nas causas e nas características dos fenômenos. Enquanto inundações e enchentes são termos mais gerais e podem ser aplicados a uma ampla gama de situações, alagamentos e torrentes são mais específicos em seus contextos e implicações. Tanto as enchentes quanto as inundações estão relacionadas a um aumento no volume de água de um rio ou córrego, acima da média que costuma a apresentar na maior parte do tempo, sendo que nas enchentes, este volume encontra-se dentro dos limites de seu leito maior, e, nas inundações, o volume de água extrapola este limite (ANA, 2012).

Para tanto, como forma de padronização, será utilizado neste trabalho o termo inundações, de forma a abranger os diversos problemas causados pelas chuvas e o respectivo acúmulo de água.

### **3.4 Urbanização e as inundações**

Segundo Maricato (2008), o desenvolvimento econômico que se deu entre 1940 a 1980 criou uma nova classe média urbana e um novo padrão de produção, que refletiu em novos enquadramentos urbanos frente aos investimentos do mercado emergente, como por exemplo a verticalização das cidades. Em contrapartida, muitos continuaram sem acesso a condições básicas de vida, como moradia e saneamento, deixando explícito que mesmo com as novas dimensões criadas a expansão urbana sempre se deu com exclusão social, sendo a questão da habitação um problema crônico.

Sendo assim, o modo de vida da sociedade em resposta a esse modelo de desenvolvimento faz com que uma boa parcela da população fixe suas residências em áreas irregulares e de risco, ou até mesmo a ocupação espontânea de áreas invadidas. Segundo levantamento do MapBiomas (2023), abrangendo o período entre 1985 e 2022, o Brasil tem 123 mil hectares de áreas urbanas em regiões reconhecidamente suscetíveis a inundações, deslizamentos, secas e estiagens,

dentre outros desastres climáticos. De cada 100 hectares de urbanização, 11,5 deles ocorreram em áreas muito suscetíveis a inundações. Já nas favelas, essa expansão foi de 17,3 hectares para cada 100 urbanizados. Isso significa que, na média nacional, enquanto 3% da área urbana total está em regiões de risco, nas favelas este percentual chega a 18%, constatando uma grande disparidade entre os números médios nacionais (MAPBIOMAS, 2023).

Essa exclusão socioeconômica cria uma dinâmica na qual essas populações vulneráveis são forçadas a encontrar soluções habitacionais em ambientes desafiadores e muitas vezes precários (MARICATO, 2008). A falta de acesso a serviços básicos, infraestrutura adequada e proteção legal em áreas irregulares amplia sua vulnerabilidade social e ambiental, tornando-as mais suscetíveis a riscos como inundações e outros desastres.

Outro fator importante, como aponta Maricato (2008), é o modo como se deu a mudança no padrão de urbanização na década de 1980, ocasião em que cidades médias começaram a crescer mais do que as metrópoles, provocando uma série de problemas socioambientais, resultantes dessa expansão rápida e desenfreada.

Até hoje, as cidades sofrem com esta falta de planejamento em relação ao seu crescimento, por não considerar áreas de risco e fatores de expansão (BECK, 1992). Dado que comprova este fato é o do MapBiomass (2023), onde foram identificados 425 mil hectares de áreas urbanas nessa situação de potencial vulnerabilidade a inundações, mas que ainda não são oficialmente reconhecidas como áreas de risco. Dois terços (68%) desta ocupação ocorreram nos últimos 38 anos.

Uma importante questão dentro deste cenário é que o risco de desastres associado a tempestades não é o mesmo para todas as partes do país, tendo um reflexo maior em áreas de maior densidade populacional, como grandes cidades do vasto litoral brasileiro e nas regiões Sul e Sudeste. Dados históricos compilados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), que analisa o comportamento da pluviosidade no Brasil ao longo das décadas, indicam que nos últimos 30 anos houve um aumento na média do total anual de chuvas acumulada para a região do Sul de Minas, local deste estudo, além de aumento para regiões do Espírito Santo, sudoeste de Mato Grosso, São Paulo e Mato Grosso do Sul (INMET, 2023).

Segundo os dados do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, no período entre 1991 - 2012, a região Sudeste foi a mais afetada pelas inundações, com um total de 1.615 ocorrências, o que significa 34% do total de eventos do período. Dentre os



estados da região, somente Minas Gerais foi responsável por 65% dos registros, ou seja, 1.050 casos, espalhados em torno de 521 municípios diferentes (61% do território) (CEPED,2013), o que confere status de atenção para a região, por ser uma das que mais sofre com este tipo de evento.

A cidade de Itajubá não escapa destas estatísticas e é um dos municípios que vem sofrendo com as fortes chuvas, tendo apresentado inúmeros eventos de inundações nas últimas décadas. Segundo o estudo de Barbosa, Oliveira e Oliveira (2015) e os resultados obtidos por Pinheiro (2005), de dados obtidos pelo Laboratório de informações hídricas da UNIFEI (LIH), o município já registrou a ocorrência de 10 grandes cheias e 40 cheias de pequena magnitude, sendo a altura do nível d'água o critério utilizado para diferenciá-las - altura de 6 metros em relação ao nível de vazante para as grandes cheias e valores entre 4 e 6 metros de pequena magnitude

Na Tabela 1, com dados organizados por Barbosa, Oliveira e Oliveira (2015), é possível consultar os dados de todas as cheias de grande magnitude, a partir do ano de 1874, tendo como base a Estação Santa Rosa - COPASA. Além das 12 grandes cheias apresentadas na tabela, também ocorreram mais de 40 enchentes no município, mas consideradas de pequena magnitude.

Tabela 1: Cheias de grande magnitude em ordem cronológica, com base na estação Santa Rosa.

Ano	Altura H (m)	Cota (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Probabilidade (%)	TR (anos)
1874	10,55	848,69	823,59	0,21	485,53
1919	8,17	846,31	330,85	8,39	11,91
1929	9,58	847,72	567,91	1,41	70,91
1935	8,12	846,26	324,57	8,80	11,36
1940	8,17	846,31	330,85	8,39	11,91
1945	9,47	847,61	544,47	1,68	59,44
1957	9,42	847,56	534,14	1,82	55,00
1979	8,37	846,51	357,20	6,88	14,53
1991	8,37	846,51	357,20	6,88	14,53
2000	9,30	847,44	510,13	2,18	45,91
2007	7,02	845,16	212,93	20,38	4,91
2009	6,00	844,14	153,02	32,00	3,13

Fonte: Barbosa, Oliveira e Oliveira (2015)

Barbosa (2000) também destaca como principais os eventos ocorridos nos anos 1929, 1945 e 2000, sendo esta última uma das maiores inundações de todas, tendo afetado 80% da população urbana. A maior enchente registrada foi a que ocorreu em 1874, chegando a atingir um nível de 9,55 metros acima da cota altimétrica de 844 m, enquanto a menor foi a do ano de 1974, com 4 metros acima da citada cota de referência. Somado a este histórico, Faria e Barbosa (2020), que realizaram um mapeamento das manchas de inundação no município, constataram que 65% das áreas urbanizadas estão dentro destas manchas, evidenciando a fragilidade do município frente as presentes e futuras inundações, alertando para que os estudos e políticas públicas do município ajudem a reverter este preocupante cenário.

Recentemente, em 2023, também ocorreram diversos episódios de inundações, em vários pontos da cidade, tendo atingido bairros como Vila Rubens, Vila Podis, o bairro Cantina, Medicina e o Centro. A Avenida BPS, uma das principais da cidade, e onde está localizada a Universidade Federal de Itajubá (Unifei), ficou completamente alagada, tendo atingido 70% do campus, que estimou prejuízo de 10 milhões de reais com a perda de equipamentos e outros estragos. De acordo com meteorologistas da universidade, foram 60 milímetros de água em apenas 30 minutos. (G1, 2023). Na Figura 4 é possível ver o Campus da Unifei completamente alagado, Já na Figura 5 é possível ver outros pontos da cidade, incluindo o bairro Medicina.

Figura 4: Campus da Unifei alagado após fortes chuvas em 2023



Fonte: G1 (2023)

Figura 5: Diversos pontos da cidade alagados, incluindo o bairro Medicina



Fonte: G1 (2023)

### 3.5 Bacias Hidrográficas e Rios Urbanos

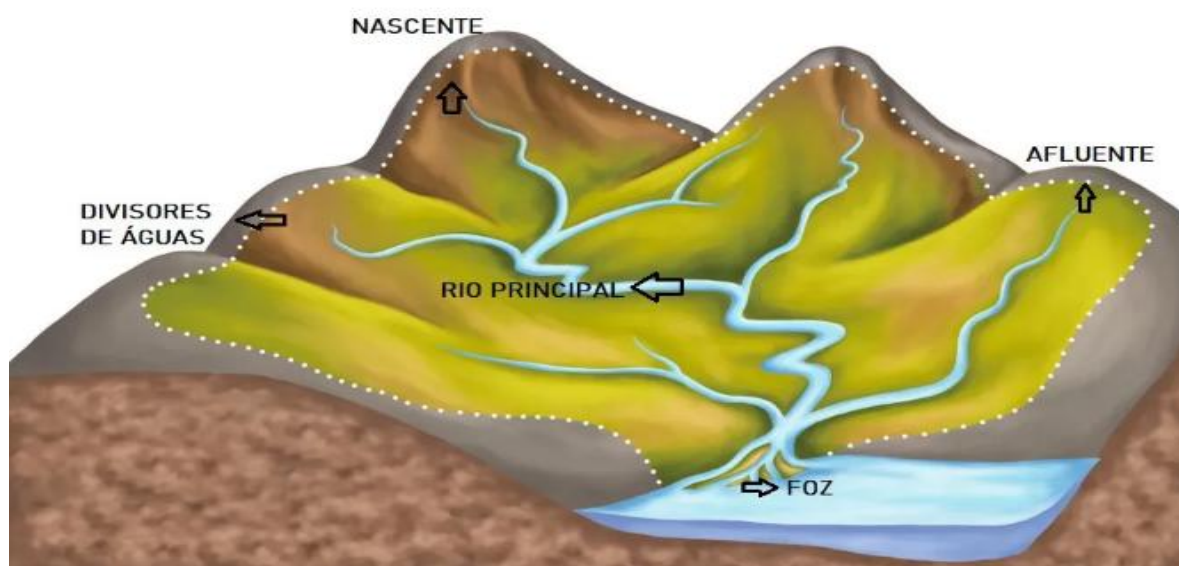
As bacias hidrográficas são unidades de estudo fundamentais para as análises de vulnerabilidade socioambiental, pois como salienta Porto e Porto (2008), possuem características bem definidas, permitindo uma caracterização precisa dos impactos ambientais que a mesma sofre, ao se observar suas transformações.

Elas representam áreas geográficas delimitadas pelas divisas naturais do relevo, como montanhas, cordilheiras ou elevações topográficas, onde todas as águas que caem ou fluem dentro dessas divisas vão para o rio principal, e acabam convergindo para um ponto de saída (foz), formando um sistema de drenagem (TUCCI, 2001). Na Figura 6 é possível observar de que modo essa delimitação acontece, através dos divisores de água, além de outros elementos importantes de uma bacia, como sua nascente e afluentes.

Quanto ao seu tamanho, as bacias hidrográficas possuem escala variável, que vai desde pequenos córregos que abastecem rios locais, até grandes sistemas de rios que drenam vastas regiões. Sua análise torna-se de fundamental importância, uma vez que alterações causadas em seus diferentes componentes ambientais, como relevo, cobertura vegetal e uso e ocupação do solo, podem comprometer a

funcionalidade de todo o sistema, resultando em graves consequências (MARAÑÓN et al., 2002).

Figura 6: Principais elementos de uma bacia hidrográfica



Fonte: Mundo Educação (2020)

No caso deste trabalho, estamos falando de uma microbacia (também chamada de sub-bacia hidrográfica), que possui as mesmas características de uma bacia, possuindo apenas uma escala menor, já que é formada geralmente por um afluente do rio principal (FREITAS, 2015). Na Figura 7 é possível compreender as dimensões de uma microbacia (sub-bacia) em relação a sua bacia hidrográfica.

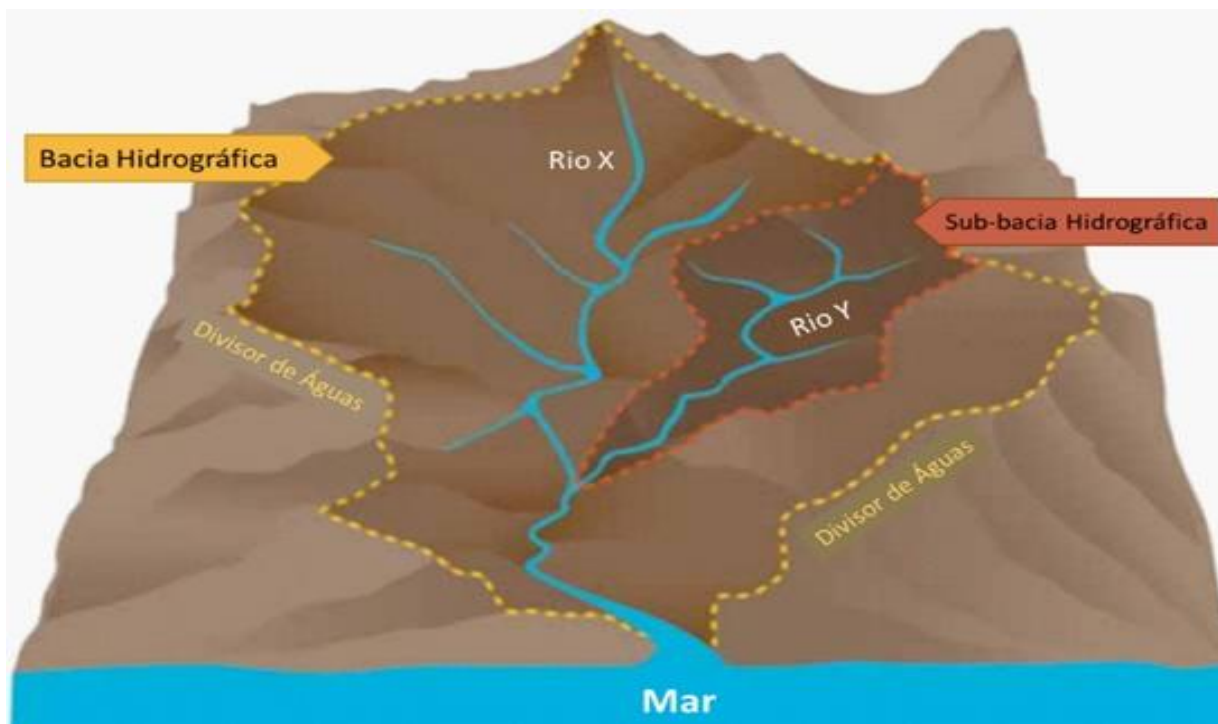
Em relação aos rios urbanos que estão inseridos dentro destas bacias, historicamente, muitas cidades nasceram às margens destes rios, uma vez que estes eram um elemento essencial para garantir o abastecimento de água e alimentos, o controle do território, o escoamento de mercadorias, a irrigação, a circulação de pessoas, a geração de energia e o escoamento de dejetos. Em geral, os assentamentos se voltavam para o aproveitamento de todos estes aspectos produtivos dos rios (COSTA, 2006).

Dentro do contexto da intensa urbanização que ocorre sem um planejamento adequado, consequência de uma relação conflitante entre a sociedade e o ambiente natural, Costa (2006) aponta que os rios urbanos são os que mais vêm sendo degradados e modificados ao longo dos processos de ocupação, e, portanto, os que mais suscitam preocupação. Dentre os fatores que promovem radicais alterações no sistema ambiental e agravam a deterioração dos rios, está: a precariedade do saneamento básico, o aumento da impermeabilização do solo, a crescente poluição



ambiental, as alterações hidrológicas e morfológicas, bem como a ocupação irregular de suas margens (GORSKI, 2010).

Figura 7: Representação de uma bacia hidrográfica e uma de suas sub-bacias



Fonte: Freitas (2015)

Dentro do contexto da intensa urbanização que ocorre sem um planejamento adequado, consequência de uma relação conflitante entre a sociedade e o ambiente natural, Costa (2006) aponta que os rios urbanos são os que mais vêm sendo degradados e modificados ao longo dos processos de ocupação, e, portanto, os que mais suscitam preocupação. Dentre os fatores que promovem radicais alterações no sistema ambiental e agravam a deterioração dos rios, está: a precariedade do saneamento básico, o aumento da impermeabilização do solo, a crescente poluição ambiental, as alterações hidrológicas e morfológicas, bem como a ocupação irregular de suas margens (GORSKI, 2010).

Estes processos são frequentes nas cidades, e, apesar da urbanização e seu respectivo adensamento populacional ser inevitável, grande parte dos problemas ocorrem pelo fato de que as formas de planejamento urbano não consideram a estrutura do ambiente natural em sua elaboração, resultando na carência de mananciais adequados para o abastecimento público, a perda potencial de uso das águas (de acordo com a modificação de suas classes de uso), perda de seu papel como elemento da paisagem e uma das questões que assola diversos municípios,

que são as questões ligadas à drenagem, destacando-se os eventos de inundações, um conflito urbano histórico (NOLL, 2010).

Portanto, o estudo dessas unidades são cruciais para a compreensão das complexas interações entre processos naturais, como o ciclo da água e a geologia local, integrada às atividades humanas, como agricultura, urbanização e uso das águas, sendo fundamental para o gerenciamento de risco e controle de inundações, assim como a gestão dos recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável.

### **3.6 Vulnerabilidade Socioambiental a Inundações**

Como apresenta Barros e Santos (2022), grande parte dos estudos que tratam do tema vulnerabilidade social aos eventos pluviométricos extremos foram publicados a partir do ano de 2016, período em que houve um aumento de alertas institucionais, salientando a urgência do tema e a busca por soluções frente aos impactos gerados ao meio e a população. Ainda segundo os autores, os países que mais publicaram desde então foram Brasil, México e China, devido ao alto número de registros desta tipologia de desastres, além de serem países fora do eixo das maiores economias globais.

Uma vez que a vulnerabilidade socioambiental no Brasil decorre preponderantemente dos processos de expansão urbana e de questões sociais resultantes destes processos, é de suma importância o desenvolvimento de instrumentos capazes de avaliar esta vulnerabilidade, permitindo um entendimento mais coerente com a realidade brasileira (VASCONCELOS, CANDIDO e FREIRE, 2019).

A compreensão do conceito de vulnerabilidade está intrinsecamente relacionado com o conceito de risco. Dentre estes conceitos, Acserald (2006) associa os fatores de risco a um certo grau de exposição a uma situação crítica, natural ou social, estabelecendo uma relação de causa e efeito entre natureza e sociedade. Já Cutter (2001) associa o risco ao potencial de perda, ou seja, o quanto uma população, infraestrutura ou sistemas físicos estão propensos a fatores que circunstancialmente aumentam ou reduzem a capacidade de resposta e de recuperação a ameaças ambientais

Por se tratar de um tema abrangente, complexo e multifacetado, a vulnerabilidade socioambiental é abordada sob diferentes enfoques nos estudos

realizados por instituições e pesquisadores, na busca de obter a melhor maneira de mensurá-la e sintetizá-la. Apesar de não haver um consenso científico quanto ao uso de indicadores de vulnerabilidade socioambiental, como conclui Barros e Santos (2022) em sua revisão sistemática sobre o tema, é possível observar que enquanto alguns trabalhos abordam somente as variáveis ambientais do meio, e geralmente trazem o termo “fragilidade” em seu título, outros focam somente nas variáveis sociais, não havendo uma integração entre ambos.

Os estudos de fragilidade ambiental concentram-se na avaliação das características físicas de uma determinada região, identificando sua susceptibilidade a eventos naturais, como inundações. Estudos como o de Alves, Silva e Alvarez (2018), Costa, Oliveira e Santos (2019), Almeida et al. (2020), Souza et al. (2020) e Vieira et. al. (2021) realizam está análise, e têm como principal característica seguir a metodologia proposta por Ross (1994), e a teoria da ecodinâmica (TRICART, 1977), que busca compreender as interações complexas entre os sistemas ecológicos e as forças dinâmicas que moldam esses sistemas ao longo do tempo. Apesar de sua importância, eles trazem somente uma parte do problema, ou seja, a suscetibilidade ambiental.

Os estudos de vulnerabilidade socioambiental buscam complementar essa visão, ao adotar uma abordagem integradora, buscando compreender não apenas a exposição das comunidades a riscos naturais, mas também como fatores sociais podem agravar ou mitigar os impactos desses eventos. Portanto, a fim de abranger essa abordagem holística, o presente trabalho constrói o conceito de vulnerabilidade socioambiental através de duas dimensões: a ambiental, relacionada à suscetibilidade a inundações e o social, também chamado de vulnerabilidade social.

Para tanto, aqui, adota-se o conceito de vulnerabilidade social trabalhado por Santos (2015) e Freitas e Cunha (2013), tratando-se de um conjunto de características que expõem determinados indivíduos ou grupos sociais a algum perigo de natureza socioambiental. Além disso, essa definição também busca compreender a capacidade desses grupos ou indivíduos em antecipar, enfrentar, resistir, lidar e se recuperar dos impactos adversos decorrentes de situações de perigo específicas. Já para o entendimento do termo suscetibilidade ambiental, adota-se o conceito utilizado por Girão et al. (2018), que a define como a probabilidade de que um determinado fenômeno ocorra de maneira independente aos fatores de ordem social.

### **3.6.1 Dimensão ambiental da vulnerabilidade a inundações**

Em pesquisas que abordam a vulnerabilidade social das populações urbanas diante de eventos pluviométricos extremos, uma abordagem recomendada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014) é iniciar o processo com uma avaliação da susceptibilidade ambiental. Essa etapa visa aferir a probabilidade de ocorrência de inundações, alagamentos e enchentes, antes de prosseguir para a análise dos parâmetros sociais. Essa metodologia encontra eco em orientações semelhantes presentes em estudos conduzidos por Nur e Shrestha (2017) e também em pesquisas recentes de Wu et al. (2021).

Sendo assim, a dimensão ambiental da vulnerabilidade compreende uma combinação entre fatores naturais e antrópicos do meio. Enquanto os fatores naturais são elementos relacionados às características físicas e ambientais do local estudado, como topografia, clima, tipos de solo, vegetação, padrões hidrológicos, geologia e outros, os fatores antrópicos são decorrentes das atividades humanas, abrangendo fatores como o planejamento urbano e sua expansão desordenada, a impermeabilização do solo, desmatamento, ocupação de áreas de risco, poluição, entre outros. Os fatores antrópicos influenciam a vulnerabilidade ao determinarem como as comunidades interagem com o ambiente e como suas ações podem aumentar ou reduzir sua exposição e capacidade de resposta a eventos extremos. Ambos fatores serão melhor abordados nos tópicos seguintes.

#### **3.6.1.1 Condicionantes naturais**

Os ecossistemas são caracterizados por mudanças contínuas e não lineares, onde fatores ambientais e processos internos interagem para criar padrões de comportamento. Essa teoria destaca a importância de reconhecer a natureza dinâmica e adaptativa dos ecossistemas, enfatizando a necessidade de considerar variáveis temporais e espaciais para uma compreensão completa dos processos ecológicos (ODUM, 1983). A vulnerabilidade ambiental a inundações é influenciada por uma interação complexa de condicionantes naturais, sendo o relevo, tipo de solo e vegetação elementos-chave nesse contexto (SPORL: ROSS, 2004).

As formas de relevo desempenham um papel crítico na regulação da infiltração de água e, conseqüentemente, na dinâmica das inundações (WOODROW et al.,



2016). Em encostas íngremes, a capacidade de infiltração da água é frequentemente limitada devido à rápida descida da água ao longo das vertentes. Isso resulta na acumulação de água em vales encaixados em um curto período de tempo, criando condições propícias para inundações súbitas e intensas (TUCCI, 2002). Em contrapartida, vales abertos caracterizados por extensas planícies e terraços fluviais oferecem uma topografia mais favorável à infiltração. A água tem a oportunidade de se infiltrar gradualmente, devido ao menor gradiente de declividade das vertentes circundantes. Isso leva a inundações mais lentas e graduais, permitindo que o sistema hídrico se ajuste de forma mais equilibrada às precipitações intensas (BEVEN, 2019).

Além disso, o tipo de solo desempenha um papel crucial na capacidade de absorção de água e na intensidade das inundações. Solos com alta permeabilidade tendem a absorver mais água, reduzindo o escoamento superficial, e, assim, a probabilidade de inundações. Em contrapartida, solos impermeáveis aumentam o risco de inundações, aumentando a velocidade da água e levando sedimentos para outras áreas. Estudos como o trabalho de Gonçalves (2019) e Espindola (2017), demonstraram como a composição do solo influencia diretamente a suscetibilidade a inundações em diferentes contextos geográficos, considerando a composição de sua estrutura (porosidade) e propriedades físicas, como condutividade, hidráulica, textura, composição mineral, entre outros.

A vegetação é outro fator crítico a ser considerado. Coberturas vegetais adequadas atuam como barreiras naturais que reduzem a velocidade e força da água, promovendo a infiltração e mitigando os efeitos das inundações (SHUSTER et al. 2005). Além disso, a ausência de cobertura vegetal também pode levar à erosão do solo, tornando-o mais compactado e menos permeável. Isso agrava ainda mais os problemas de escoamento superficial e inundações, como discutido em estudos como o de Montgomery (2007).

### **3.6.1.2 Condicionantes antrópicos**

Os condicionantes antrópicos são fatores resultantes de ações humanas, que alteram as características naturais do ambiente, muitas vezes aumentando a exposição a riscos de inundação. O planejamento urbano inadequado, o uso do solo, o desenvolvimento de infraestruturas de drenagem e o desmatamento são exemplos de condicionantes antrópicos que podem influenciar significativamente os padrões e

a gravidade das inundações, impactando diretamente nos cursos d'água e o comportamento dos rios (BIGARELA, 2003 ; AMORIM, 2012).

A maneira como o solo é utilizado nas áreas urbanas e rurais têm um impacto direto na suscetibilidade a inundações. A impermeabilização do solo devido à construção de estradas, edifícios e superfícies pavimentadas aumenta o escoamento superficial, aumentando o volume de água que atinge os sistemas de drenagem, sobrecarregando-os e aumentando a probabilidade e frequência das inundações, quando se comparado com o escoamento que se dava no ambiente natural (TUCCI, 2008).

Aliado à impermeabilização resultante do uso e ocupação do solo, a eficácia da infraestrutura de drenagem também desempenha um papel crucial na vulnerabilidade a inundações. Sistemas inadequados ou sem manutenção podem contribuir para a rápida acumulação de água, principalmente quando somado ao gerenciamento inadequado de resíduos sólidos nas cidades (BARROS, 2005).

Quando os resíduos são descartados de maneira incorreta, como jogados em valas de drenagem ou cursos d'água, eles podem obstruir os sistemas de drenagem, reduzindo sua capacidade de funcionamento adequado. Além disso, consequências como o mau cheiro e a proliferação de doenças agravam o problema, impactando na área de saúde pública e aumentando ainda mais os riscos de exposição às águas contaminadas. (PHILIPPI E AGUIAR, 2005).

Outra consequência direta deste cenário é o assoreamento, processo pelo qual sedimentos e materiais sólidos se acumulam no leito de cursos d'água, resultando em uma significativa redução na capacidade de escoamento dos rios e córregos, além de afetar a vazão dos mesmos. Essa alteração prejudica a capacidade de drenagem natural, aumentando o risco de inundações e impactando a dinâmica dos ecossistemas fluviais (ARAÚJO, 2002).

Os processos de retificação e canalização dos rios também são intervenções significativas que impactam a dinâmica fluvial e têm implicações diretas na vulnerabilidade a inundações. Ao eliminar os meandros e endireitar o rio, reduz-se a capacidade natural de dissipar energia e controlar o escoamento da água, o que pode resultar em uma concentração mais rápida do fluxo durante eventos de chuva intensa, elevando o potencial de inundações súbitas (TUCCI & BERTONI, 2003). Ainda segundo Tucci e Bertoni (2003), com a retificação, modifica-se o comportamento

natural dos rios, influenciando seu padrão de drenagem, alterações no regime de descargas, escoamento e velocidade dos fluxos.

Já o processo de canalização implica no revestimento de margens e fundo do rio com materiais impermeáveis, o que pode afetar a absorção de água no solo adjacente (CUNHA, 1995).

### **3.6.2 Dimensão social da vulnerabilidade a inundações**

Uma vez que a vulnerabilidade diz respeito não somente à presença do risco, mas também à capacidade dos indivíduos em antecipar, enfrentar, resistir, lidar e se recuperar dos impactos adversos decorrentes de situações de perigo específicas (FREITAS E CUNHA, 2013), a compreensão ampla e completa deste cenário passa pela compreensão de como os sistemas interagem e se relacionam com a população.

A dimensão social da vulnerabilidade a inundações desempenha um papel essencial na compreensão abrangente dos riscos e na formulação de estratégias eficazes de gestão de desastres. Essa dimensão se concentra nas interações complexas entre comunidades, instituições e fatores sociais que influenciam a forma como as populações lidam com eventos de inundação (SPINK, 2014). No cenário brasileiro, é importante destacar que a pobreza e as profundas disparidades sociais acentuam significativamente a vulnerabilidade das populações aos eventos hidrometeorológicos (FREIRE, 2014). Populações marginalizadas têm menos recursos para lidar com eventos extremos e, portanto, são mais vulneráveis. Uma análise da dimensão social ajuda a destacar essas desigualdades.

Fatores como o ordenamento territorial e o acesso a recursos e capacidades, assim como acesso a serviços e infraestrutura, também são alguns dos fatores que influenciam nas dinâmicas entre a população e o lugar que vivem, e podem reduzir ou ampliar as possibilidades de defesa contra os iminentes perigos da localidade (GUERRA, 2020). A disponibilidade de recursos, como acesso a informações, educação, serviços de saúde e sistemas de alerta precoce, desempenha um papel crítico na capacidade das comunidades de se prepararem para inundações e de se recuperarem delas (DUARTE, 2011; PROAG, 2014). Avaliar a distribuição desses recursos é importante para identificar áreas de maior vulnerabilidade.

Além disso, os dados sociodemográficos são amplamente utilizados, pois são informações que descrevem características da população, incluindo fatores como

idade, gênero, renda, educação, ocupação, composição familiar, entre outros. São elementos-chave para o estudo da vulnerabilidade socioambiental a inundações, pois permitem entender a estrutura e a dinâmica das comunidades afetadas por esses eventos, como em trabalhos de Alves (2014), Rezende (2015) e Franco et al. (2018). A importância desses dados reside na capacidade de identificar grupos populacionais mais vulneráveis, compreender as desigualdades socioeconômicas que podem influenciar a resposta a inundações, e direcionar políticas e medidas de adaptação para atender às necessidades específicas de diferentes segmentos da população (CUNHA, 2013).

A obtenção destes dados, em grande parte dos estudos, provém quase que exclusivamente de censos populacionais, dada a facilidade de acesso e disponibilidade dos dados, possibilitando realizar análises de vulnerabilidade em uma rede territorial, como os setores censitários (PROVITOLLO, 2007). As influências que determinam essa vulnerabilidade podem variar consideravelmente de acordo com o estágio do desastre, as características locais e as dinâmicas sociais específicas de cada comunidade. Isso enfatiza a necessidade de considerar o contexto em todas as etapas da análise de vulnerabilidade e na formulação de estratégias de mitigação e adaptação.

### **3.7 Metodologias para o mapeamento da vulnerabilidade socioambiental a inundações**

A crescente incidência de eventos climáticos extremos, como as inundações, tem aumentado a necessidade de avaliações abrangentes e multidisciplinares da vulnerabilidade socioambiental. A compreensão das interações complexas entre fatores naturais e sociais requer métodos de tomada de decisão robustos que possam acomodar diversos critérios e subcritérios, já que são muitas variáveis envolvidas no processo. Sendo assim, busca-se neste tópico discutir diferentes variáveis utilizadas para esta avaliação e sua respectiva importância para aplicação dos métodos de mapeamento da vulnerabilidade socioambiental de uma região.

#### **3.7.1 Condicionantes adotados em zoneamento de suscetibilidade a inundações.**

Como salienta Teixeira (2022), inúmeros estudos têm realizado o mapeamento de suscetibilidade a inundações, que envolvem características naturais e antrópicas da região, como hidrografia, geologia, topografia, pedologia, cobertura do solo, entre outros. Destes, a autora salienta a grande importância dos condicionantes topográficos, uma vez que exercem forte influência nos processos de infiltração de água e escoamento superficial. Dentre essas condicionantes, podemos citar: declividade; altitude; curvatura; Índice Topográfico de Umidade (ITU); Índice de Potência de Escoamento (IPE); Índice de Transporte de Sedimento (ITS) e Índice de Rugosidade do Terreno (IRT).

Já o cálculo da distância do rio é um indicador de grande importância para se determinar a vulnerabilidade a inundações, uma vez que quanto mais próximo um local estiver do curso d'água, maior é a probabilidade de ser afetado pela enchente causada pelo transbordo do rio. Essas podem ser as primeiras áreas a serem afetadas pela água, tendo os moradores menos tempo para evacuar do local e se preparar para uma eventual enchente (FREIMAN E CARVALHO, 2020).

Por sua vez, o Topographic Wetness Index (TWI), também conhecido como Índice Topográfico de Umidade (ITU), é uma medida amplamente utilizada em hidrologia e estudos ambientais para representar a influência do relevo na acumulação de água no solo. Representado na Equação 1, considera a topografia e a umidade do solo para avaliar o potencial de retenção de água e a propensão a inundações (MATTIVI et al., 2019). O ITU é calculado a partir da área de contribuição (área que alimenta um rio ou afluente, contribuindo para o aumento do fluxo de água durante chuvas intensas) e a declividade da célula considerada (MOORE, 1991), expressa pela seguinte equação:

$$ITU = \ln \left( \frac{A_s}{\tan B} \right) \quad (1)$$

Nela,  $A_s$  representa a área de contribuição específica, que é a área de captação de água por unidade de largura de fluxo, e  $\tan B$  é o ângulo da inclinação do terreno, expressa em radianos (Beven & Kirkby, 1979). A área de contribuição específica refere-se à quantidade de área que contribui para o fluxo de água em um ponto específico, enquanto a inclinação do terreno influencia a velocidade com que a água se move. Através do cálculo, é possível compreender a tendência que uma célula tem em acumular água (TEHRANY et al., 2019).

Já a compreensão do uso e cobertura do solo também exerce papel fundamental no mapeamento de áreas de suscetibilidade, uma vez que as áreas vegetadas favorecem a infiltração de água no solo, enquanto que áreas impermeabilizadas impedem essa infiltração, contribuindo para os processos de inundações (CANHOLI, 2015).

Complementarmente, a pedologia, como ciência que estuda os solos, desempenha um papel essencial na compreensão das características do solo em relação à sua permeabilidade, capacidade de absorção e comportamento frente às precipitações, permitindo entender como diferentes tipos de solo reagem diante das chuvas, influenciando na infiltração e no escoamento superficial (BRADY E WEIL, 2016). Isso é crucial para avaliar a propensão de uma região a inundações, pois solos com menor capacidade de absorção e maior impermeabilidade tendem a contribuir mais para o aumento do escoamento superficial, aumentando o risco de inundações (BRANDÃO, PRUSKI E SILVA, 2003).

### **3.7.2 Fatores socioeconômicos e demográficos utilizados da avaliação da vulnerabilidade social de populações expostas a riscos de inundações.**

Em seu estudo, os autores Barros e Santos (2022) destacam quatro grandes dimensões utilizadas para a avaliação da vulnerabilidade de populações expostas a riscos, sendo elas: a dimensão demográfica; a econômica; educacional e a habitacional, cada qual podendo englobar diversas variáveis. A dimensão demográfica é expressa pela densidade populacional, que por sua vez se traduz pelo Índice de Exposição Populacional (IEXP). Nos valores obtidos pelo IEXP, altos índices significam que uma maior quantidade de pessoas estarão expostas aos desastres, representando uma alta condição de vulnerabilidade, ao passo que famílias mais numerosas têm maiores gastos com manutenção alimentar e serviços básicos, fatores que também contribuem para maior vulnerabilização.

Já a dimensão social, expressa pelo Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), levou em consideração seis indicadores, sendo eles: domicílios com rendimento mensal per capita inferior a 1 salário mínimo (SM) ou sem rendimento; domicílios com responsáveis do sexo feminino; domicílios particulares permanentes alugados; população de crianças e idosos; domicílios com abastecimento geral de água por rede geral de distribuição e esgotamento via rede geral de esgoto ou pluvial.

Em relação à variável envolvendo a questão da renda, Alvino-Borma et al. (2020) salientam que quanto melhor a situação econômica das famílias, melhores condições de resposta elas vão possuir, prevenindo-se dos desastres e mitigando os impactos. Além disso, indivíduos de baixa renda frequentemente vivem em habitações precárias e áreas mais suscetíveis a inundações, muitas vezes localizadas em regiões de risco, como margens de rios ou áreas de várzea. Suas casas podem carecer de estruturas de resistência a inundações e de segurança, tornando-se mais vulneráveis a danos e perdas materiais (LEE et al., 2021).

Já em relação ao número de crianças pequenas (de 0 a 4 anos), implica-se o fato de que estas necessitam de cuidados especiais para sua criação, assim como maiores recursos para satisfazer necessidades básicas como alimentação e saúde, além de que possuem capacidades reduzidas para responder a situações de desastres naturais (DESCHAMPS, 2004). Residentes com 60 anos ou mais também são mais vulneráveis, pois possuem mobilidade reduzida e menor poder de resposta a esses eventos, assim como as famílias com crianças pequenas levam mais tempo para evacuar do local que está sendo invadido pela água (KOKS et al., 2015).

As condições habitacionais, que envolvem variáveis como abastecimento de água, a presença de coleta de lixo, o esgotamento sanitário e o fornecimento de energia elétrica (BARROS E SANTOS, 2019) também desempenham um papel essencial no contexto da vulnerabilidade social a inundações. A existência adequada desses serviços contribui para a redução da vulnerabilidade das comunidades, uma vez que eles desempenham funções vitais antes, durante e após eventos de inundação.

Em relação ao saneamento básico, o abastecimento de água potável é crucial para atender às necessidades básicas das populações afetadas, enquanto a presença de coleta de lixo adequada ajuda a evitar o entupimento de sistemas de drenagem, que podem agravar as inundações (NEGRÃO E GEMAQUE, 2010). Além disso, o esgotamento sanitário adequado impede a contaminação das fontes de água e reduz o risco de doenças relacionadas à falta de saneamento, fator também relacionado à presença de resíduos sólidos, que atraem insetos e animais que transmitem doenças (PORTELA et al., 2020).

### 3.8 Utilização do Processo Analítico Hierárquico

O Método da Análise Hierárquica Ponderada (AHP) emergiu como uma ferramenta valiosa para avaliar a vulnerabilidade socioambiental, permitindo a integração de diferentes variáveis e a consideração de ponderações e prioridades atribuídas entre elas (GHOSH & KAR, 2018). Ele vem sendo utilizado em diversos estudos de mapeamento de áreas suscetíveis (RAMOS et al., 2018 ; FREIMAN & CARVALHO, 2020) e de áreas vulneráveis a inundações (GUERRA, 2020 ; MALTA & COSTA, 2021), além de amplamente utilizado em diversas áreas, como engenharia, gestão de projetos, planejamento urbano e análise de riscos.

Desenvolvida pelo matemático Thomas L. Saaty na década de 1970, o método AHP é uma técnica de apoio à tomada de decisão que envolve múltiplos critérios, e consiste em estruturar o problema em uma hierarquia de objetivos, critérios e alternativas, e comparar os elementos de cada nível entre si, usando uma escala numérica de intensidade, conforme a Tabela 2 (SAATY, 2008).

Tabela 2 – Intensidade de importância utilizada na AHP.

<b>Intensidade de Importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra ; sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Saaty (1991)



Tendo em vista o grande número de variáveis do trabalho, o método permite a avaliação de priorização de alternativas em uma estrutura hierárquica, facilitando e simplificando a atribuição de pesos às variáveis sociais e ambientais, possibilitando uma análise mais objetiva e sistemática, ao comparar o grau de influência desses indicadores na construção da suscetibilidade e vulnerabilidade a inundações (SAATY, 2008 ; FORMAN & GASS , 2001 ; MUNDA & NARDO, 2009).

No método, Saaty (1990) propõe a utilização de uma matriz de comparação par a par para a definição dos pesos e fatores. A matriz é representada da seguinte maneira:  $A = [a_{ij}] n \times n$ , sendo que  $i$  é um fator e  $j$  é o outro fator, enquanto  $n$  é o número de fatores que influenciam na tomada de decisão. Para realizar a comparação entre dois fatores, Saaty (1991) criou uma tabela que vai de 1 a 9, onde 1 significa a indiferença de importância de um critério em relação ao outro e 9 significa a extrema importância de um critério sobre outro, com estágios intermediários de importância entre esses níveis, como é possível observar na Tabela 2.

Na Figura 2 é possível ver um exemplo de preenchimento da matriz de julgamento, de acordo com o método AHP. Observa-se que as posições da diagonal sempre terão o valor 1, já que se trata do mesmo elemento, que é igualmente importante para ele mesmo. Para o preenchimento do restante da matriz fora da diagonal, realizam-se os julgamentos de um elemento sobre o outro, determinando a intensidade de importância de acordo com a Tabela 2.

Figura 2 - Matriz de comparação proposta por Saaty.

**Matriz A**

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>A</i>	1	5	6	7
<i>B</i>	1/5	1	4	6
<i>C</i>	1/6	1/4	1	4
<i>D</i>	1/7	1/6	1/4	1

Fonte: Saaty 1991

No exemplo da matriz, lê-se que o elemento A é 5 vezes mais dominante que B, e 6 vezes mais dominante do que C, onde por sua vez, o elemento B possui um quinto (1/5) de importância de A, enquanto C um sexto (1/6) de importância em

relação a A. Essa é uma das particularidades da matriz proposta por Saaty (1990), que apresenta essa simetria em relação a sua diagonal principal, onde um julgamento é o inverso do outro entre os elementos.

A partir do preenchimento da matriz, calcula-se a soma dos valores de cada coluna, valor utilizado para dividir os elementos  $A_{ij}$ . Em seguida, soma-se cada linha, e divide-se esta soma pelo número de critérios que compõe o sistema, de modo a obter-se o Vetor de Prioridade Relativa, representada pela letra W. Esses valores W variam de 0 a 1, e são utilizados como pesos para a realização dos cálculos da suscetibilidade a inundações de uma determinada área analisada (GHOSH; KAR, 2018). Ainda, segundo Ghosh & Kar (2018) e Saaty (1987), é necessário realizar o cálculo do Grau de Consistência (CR), a fim de avaliar se a matriz de julgamento é consistente, conforme a Equação 2:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

onde:

CI é o Índice de Consistência, dado pela Equação 3; e

RI é o Índice de Consistência Aleatória, valores fixos usados como referência e calculados em laboratório, apresentados na Tabela 3, em função do número de fatores estudados (n).

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

onde:

$\lambda_{\max}$  é o máximo autovalor, dado por  $\lambda_{\max} = 1/n(w_1'/w_1 + w_2'/w_2 + \dots + w_n'/w_n)$  sendo  $w' = a \times w$ ; onde  $a$  é o valor atribuído para cada fator na matriz de comparação par a par.

Segundo Saaty (1980), valores superiores a 0,1 indicam que os julgamentos realizados devem ser reavaliados, enquanto que os valores abaixo de 0,1 indicam que não houve inconsistência nos valores atribuídos.

Tabela 3 - Índices de Consistência Aleatória

n	RI	n	RI
1	0,00	6	1,24
2	0,00	7	1,32
3	0,58	8	1,41
4	0,90	9	1,45
5	1,12	10	1,49

Fonte: Saaty (1987)

O valor final é obtido através de uma combinação linear ponderada, conhecida como WLC (*Weighted Linear Combination*), onde os critérios são associados aos seus respectivos pesos, de forma a obter um resultado ponderado para o processo de tomada de decisão (BARZEHKAR et al., 2019). Utiliza-se para obter essa combinação ponderada a Equação 4.

$$S = \sum_i w_i x_i \quad (4)$$

onde:

S é valor final do score;

$w_i$  é o peso normalizado do fator  $i$ ; e

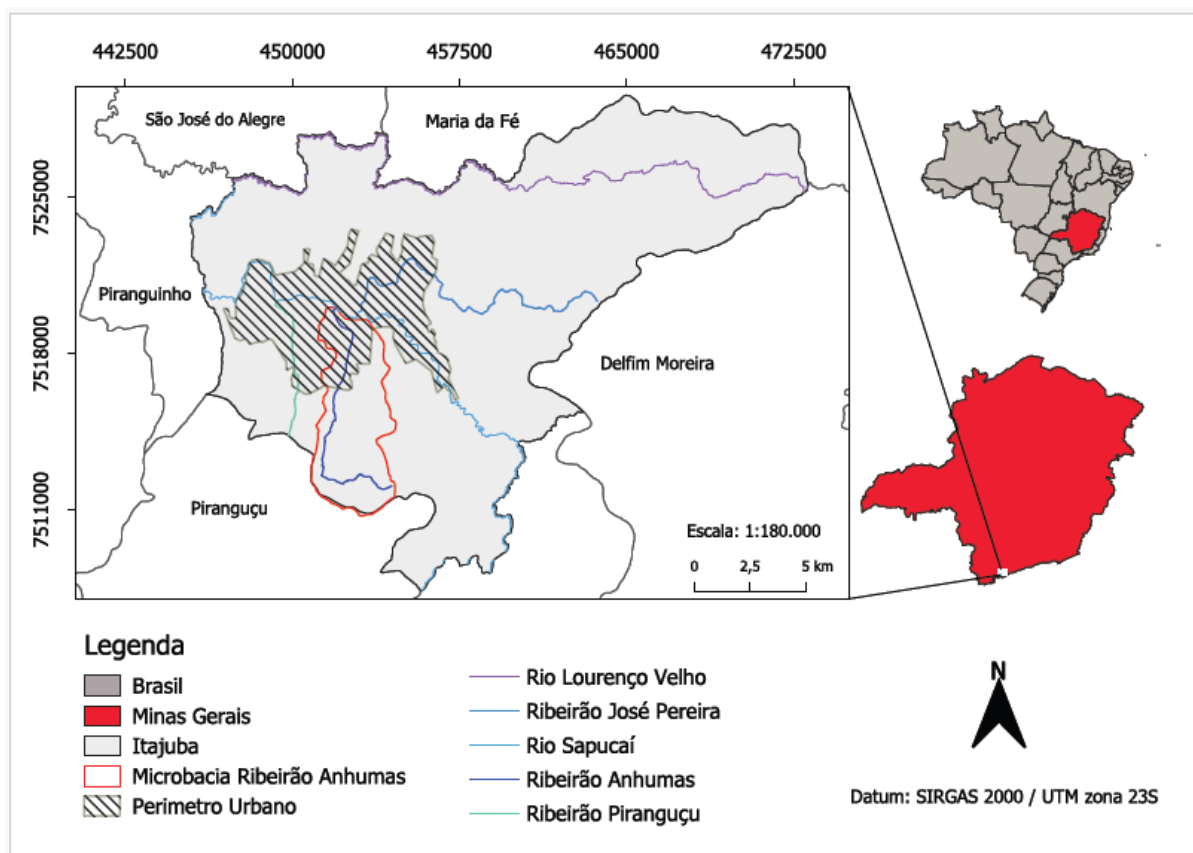
$x_i$  é o valor normalizado do fator  $i$ .

## 4. ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 Descrição da área de estudo

A microbacia do Ribeirão Anhumas está inserida no município de Itajubá, localizado na região sul do estado de Minas Gerais, como é possível observar na Figura 8. A população municipal é de 93.073 habitantes, com densidade demográfica de 315,68 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2022). A cidade possui uma variação de altitude muito grande, atingindo 1.746 metros de altitude em seu ponto mais alto e 830 metros em seu ponto mais baixo, possuindo extensão de 294,83 km<sup>2</sup>, sendo 254,03 km<sup>2</sup> de área rural e 40,80 km<sup>2</sup> de área urbana (IBGE,2022).

Figura 8: Mapa de localização da área de estudo



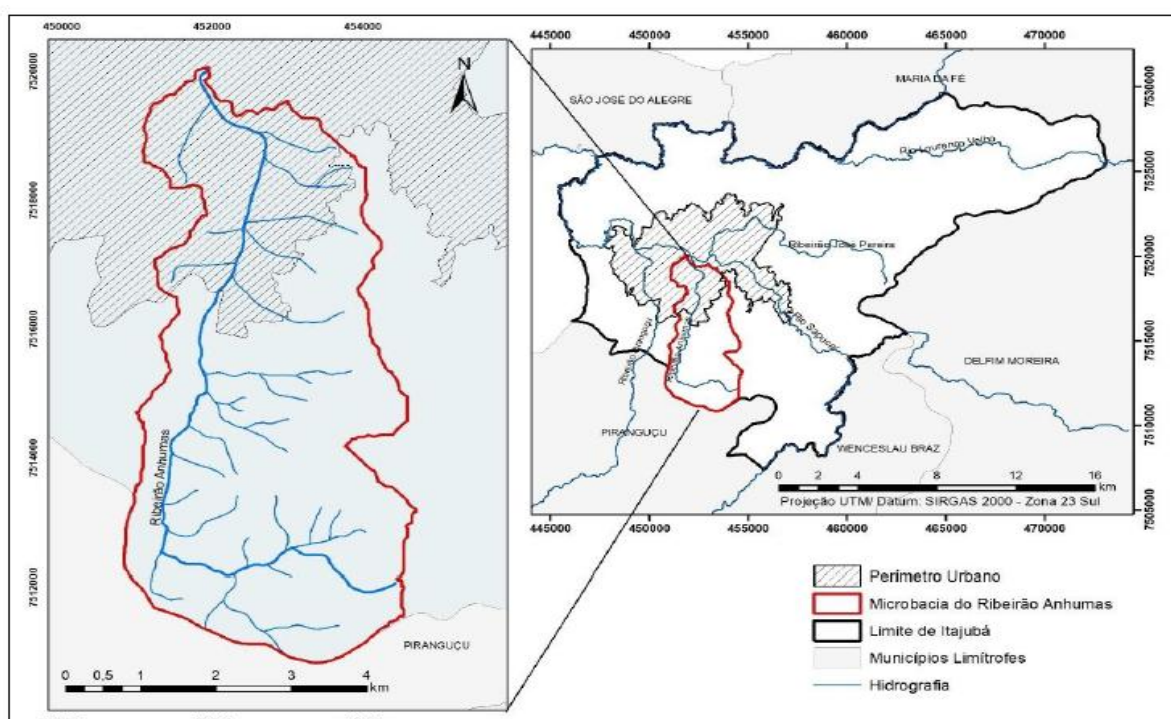
Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação a hidrografia, Itajubá situa-se na bacia hidrográfica do Alto Sapucaí, que nasce no município de Campos do Jordão (SP) e deságua no reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas (MG), percorrendo aproximadamente 343 km (SILVA et al., 2019; IBGE, 2012). Além do Rio Sapucaí, que atravessa a zona

urbana da cidade, iniciando-se no bairro urbano Santa Rosa e finalizando no bairro Santos Dumont (BARROS, 2015), dentro dos limites municipais circundam também o rio Lourenço Velho e os Ribeirões Anhumas, José Pereira e Piranguçu, identificados na Figura 8.

O Ribeirão Anhumas, que dá nome a bacia, possui comprimento de 12,09 km, com área de drenagem de aproximadamente 23,53 km<sup>2</sup>, que corresponde a 8% de todo o território do município, e pode ser observado em destaque na Figura 9 (GONÇALVES, 2019).

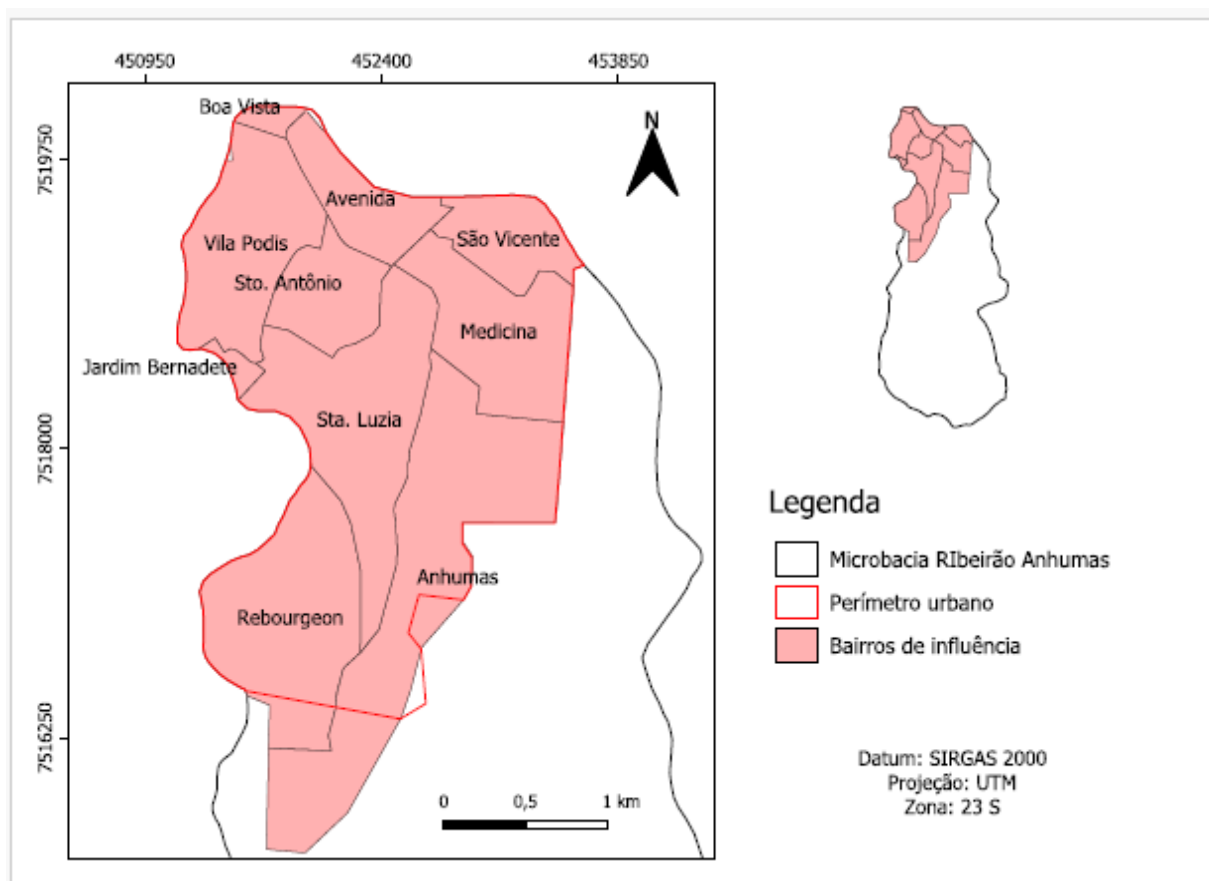
Figura 9: Microbacia do Ribeirão Anhumas



Fonte: Gonçalves (2019)

Já na Figura 10, é possível identificar todos os bairros do perímetro urbano que são influenciados pela microbacia, e, portanto, alvos de análise desse estudo. No total, são 10 bairros influenciados, sendo eles: Anhumas, Avenida, Boa Vista, Jardim Bernardete, Medicina, Rebourgeon, São Vicente, Santo Antônio, Santa Luzia e Vila Podis. Em posterior análise, estes bairros foram divididos em setores censitários, unidade básica de levantamento dos dados referentes ao Censo, pelo IBGE, que permite uma análise mais detalhada do local, por seu refinado nível de detalhamento.

Figura 10 – Bairros pertencentes ao perímetro urbano



Fonte: Elaborado pelo autor

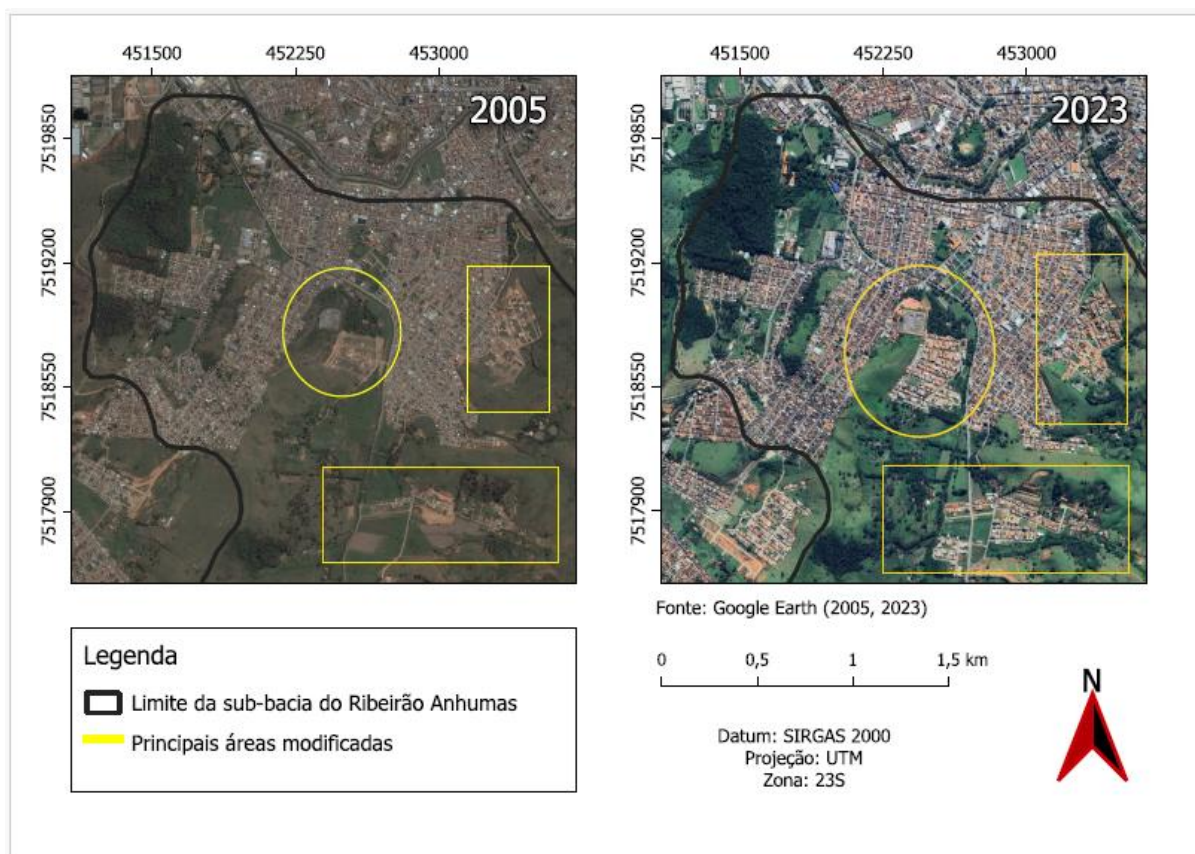
A microbacia apresenta dois contextos principais, abrangendo o perímetro urbano do município e também a área rural. Em relação a região urbanizada, ela está localizada na porção norte da microbacia, que apresenta relevo suave e baixas altitudes (GONÇALVES, 2019). Também vale destacar que dentro dos limites da bacia está localizada uma importante unidade de conservação, que é o Horto Florestal Anhumas, possível de se observar na Figura 11, a noroeste da bacia.

Com área aproximada de 22 hectares, trata-se de uma unidade ecológica essencial para a conservação e preservação do meio ambiente, formada por remanescentes florestais de Mata Atlântica de vegetação secundária em diferentes estágios de regeneração, além de diversas espécies de fauna e flora nativa (PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAJUBÁ, 2019).

Na Figura 11, também é possível observar com mais detalhes de que modo se deu a ocupação e expansão urbana na microbacia, através da comparação entre imagens de satélite do ano de 2005 e 2023, disponíveis no software *Google Earth Pro*, que permite o acesso a imagens de diferentes anos.



Figura 11 – Comparação entre a ocupação urbana da microbacia

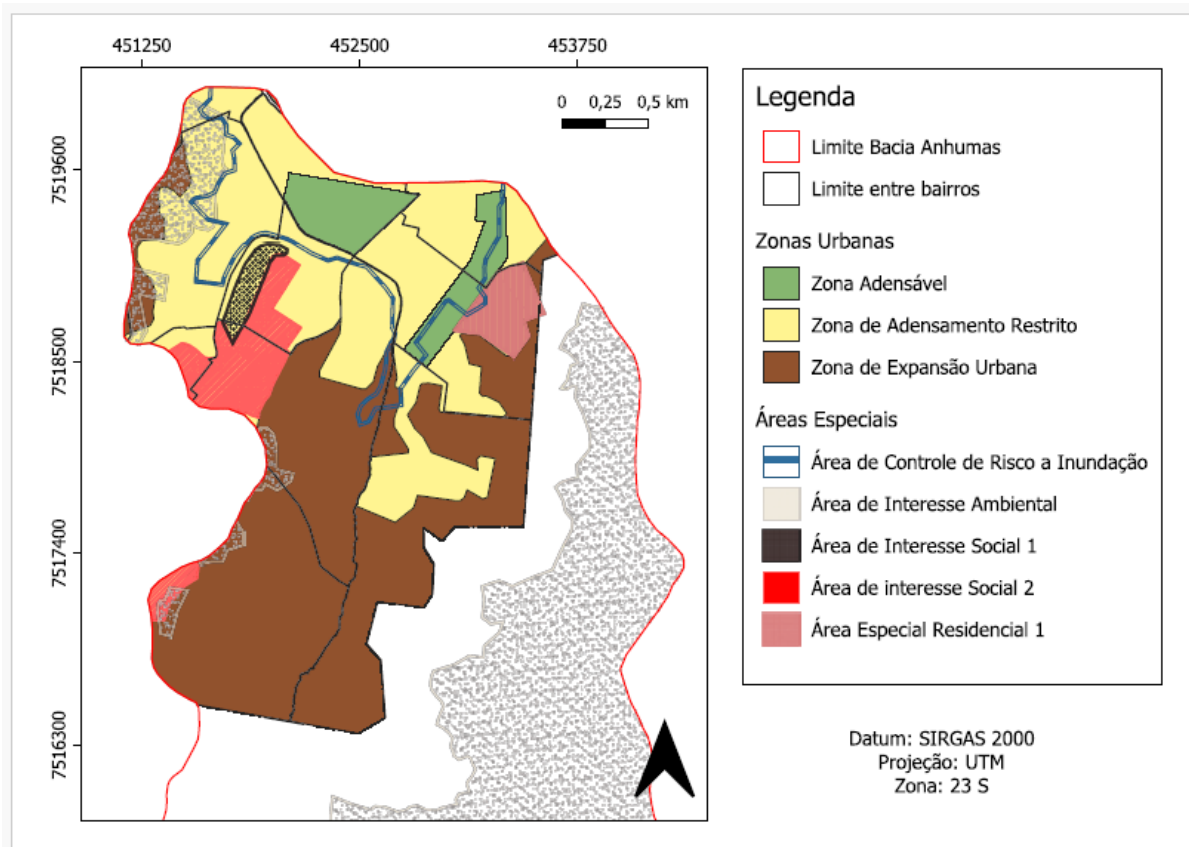


Fonte: Elaborado pelo autor

Os locais sinalizados em amarelo são as principais áreas que foram modificadas, onde é possível identificar um aumento expressivo de edificações, indicando as tendências de crescimento urbano em áreas muito próximas ao Ribeirão Anhumas, e, portanto, altamente suscetíveis às inundações, uma vez que com essa expansão, aumenta-se as áreas impermeabilizadas e aumenta-se a densidade populacional. Já um fator positivo que se pode observar é o fato da área de conservação, onde localiza-se o Horto Florestal, localizado no canto esquerdo superior da imagem, permaneceu intacta, demonstrando que foi respeitada a legislação ambiental, já que é a maior área vegetada dentro dos limites da bacia, e sua contribuição para o equilíbrio da mesma é enorme.

Dentre as áreas destacadas em amarelo na Figura 11, a que mais desperta preocupação é a que está circulada ao centro, pois além de sua proximidade com o rio, também se encontra em uma zona de adensamento restrito, como pode-se observar na Figura 12, no mapa de zoneamento urbano presente no plano diretor. Este é um instrumento fundamental para o planejamento urbano, que orienta o desenvolvimento e o crescimento das cidades de forma ordenada e sustentável.

Figura 12 – Zoneamento urbano no plano diretor do município de Itajubá referente ao perímetro urbano dentro da microbacia do Ribeirão Anhumas



Fonte: Adaptado de Itajubá (2019)

Como descrito no plano diretor, as zonas de adensamento restrito (ZAR) são o conjunto de áreas internas ao perímetro urbano que não são passíveis de adensamento, pois nelas existem restrições ambientais e condições desfavoráveis de infraestrutura e características do uso do solo (ITAJUBÁ, 2019). Não coincidentemente, observa-se que a maior parte dessas zonas de adensamento restrito estão localizadas dentro das áreas de risco a inundação (ACRI), classificada como uma área especial, que por possuir características específicas, demanda políticas de intervenção e parâmetros urbanísticos diferenciados, que prevalecem sobre os de zoneamento (ITAJUBÁ, 2019).

Ainda de acordo com as informações do plano diretor do município, a área de controle de risco de inundação compreende a área inundada pela última grande cheia do Rio Sapucaí, e, portanto, potencialmente inundável.

Outra área que merece atenção e cuidado é a área quadriculada na vertical (ao lado do círculo amarelo - Figura 11), pois está muito próxima de outra área



especial, que é a área de especial interesse ambiental. Estas áreas são especialmente importantes para a preservação de mananciais e ecossistemas, pois concentram remanescentes florestais expressivos, mata em regeneração, ou por se situarem em cota superior a 950,00m. Neste último caso, a instalação de qualquer uso ou equipamento depende de uma análise individual e aprovação segundo a lei municipal, além de ratificação pela Comissão de Acompanhamento e Implementação do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (CAI) (ITAJUBÁ, 2019).

A terceira área quadriculada na Figura 11, que se encontra na horizontal (parte inferior do mapa), também merece destaque, por se situar próxima as áreas de interesse ambiental. Nesta região é possível observar a presença de remanescentes florestais, que devem ser preservados e só podem ser alterados mediante autorização. Dentre as áreas mencionadas, essa é a mais propícia para a expansão, tomando os devidos cuidados, já que compreende boa parte em zonas de expansão urbana (ZEU), que são propícias ao parcelamento e uso e ocupação do solo (ITAJUBA, 2019).

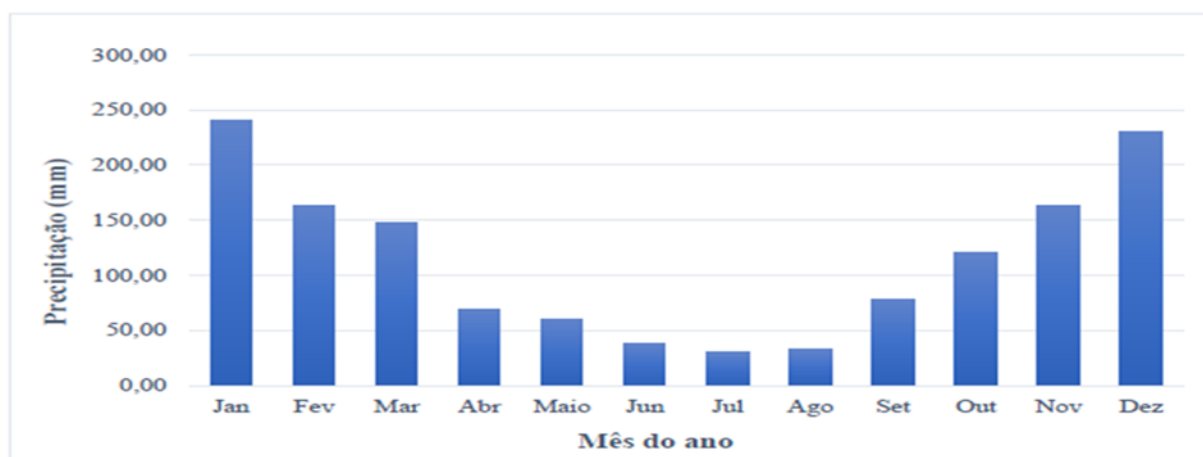
É importante salientar que a construção de moradias e a expansão urbana em zonas inadequadas, combinados com episódios de chuvas intensas e prolongadas, causam enorme risco a população, e já causaram impactos na vida dos que vivem nessa região, principalmente no bairro Medicina (COURA E SANTOS, 2016). O estudo de Coura e Santos (2016) aponta que o referido bairro é um dos mais atingidos pelo problema das inundações em Itajubá, principalmente a rua Delfim Moreira. O principal problema apontado é o fato de que boa parte do bairro está no fundo do vale da microbacia do ribeirão Anhumas, onde se concentra boa parte das inundações em época chuvosas, tornando habitual este fenômeno no local.

A exemplo de inúmeros outros municípios, Itajubá teve seu histórico de ocupação às margens do rio Sapucaí, principalmente em razão da topografia local, caracterizada como ondulada montanhosa (FÉLIX et al., 2019), sendo 10% plana, 12% ondulada e 78% montanhosa.

Já em relação ao clima, classifica-se como temperado úmido, com inverno seco e verão quente (REBOITA et al., 2013, 2016), com temperatura média do mês mais quente superior a 22°, com média total anual de aproximadamente 1375 mm de chuvas, sendo que mais de 80% deste valor ocorre entre os meses de outubro a março (ANA, 2019; REBOITA et al., 2016).

Na Figura 13, tem-se a precipitação média mensal no município de Itajubá, disponibilizada pelo Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Observa-se a predominância de índices pluviométricos superiores a 150 mm nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, meses em que são mais intensas as chuvas, enquanto o período entre os meses de julho e agosto é o mais seco. Março e outubro também são meses que podem ocorrer alguns eventos de inundação, uma vez que possuem índices de precipitação próximos a 150 mm (ANA, 2019).

Figura 13 - Gráfico de precipitação média mensal no município de Itajubá no período de 1966 a 2019.



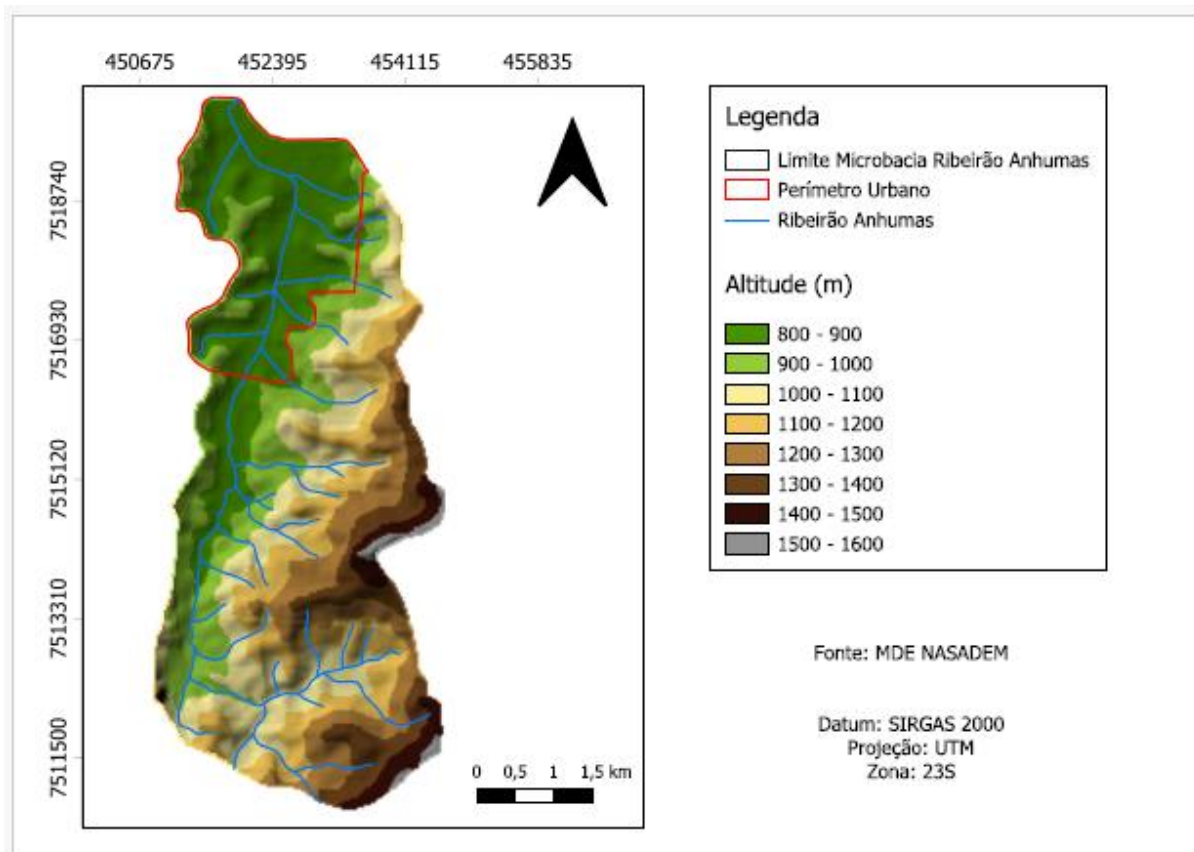
Fonte: ANA (2019)

## 4.2 Altimetria e declividade

A microbacia do Ribeirão Anhumas apresenta variação de altitude entre 830 a 1650 metros, tendo em sua porção norte as menores altitudes e declividade, o que favorece o processo de ocupação e urbanização. Nesta região também se localiza a planície fluvial do Ribeirão Anhumas, que apresenta variação de altitude entre 800 (leito do rio) e 1000m. Já em sua região sul é onde se encontram as maiores altitudes, destacadas em tons de marrom escuro e cinza, como pode ser observado na Figura 14.

Evidencia-se a grande exposição da área urbana ao risco de inundações, já que boa parte de seu entorno apresenta fortes ondulações e terrenos íngremes, que aceleram o escoamento e dificultam a infiltração da água no solo. A análise do relevo e da altimetria também auxiliam para o planejamento de áreas de evacuação e na logística de resgates.

Figura 14 - Classes de altitude da microbacia do Ribeirão Anhumas



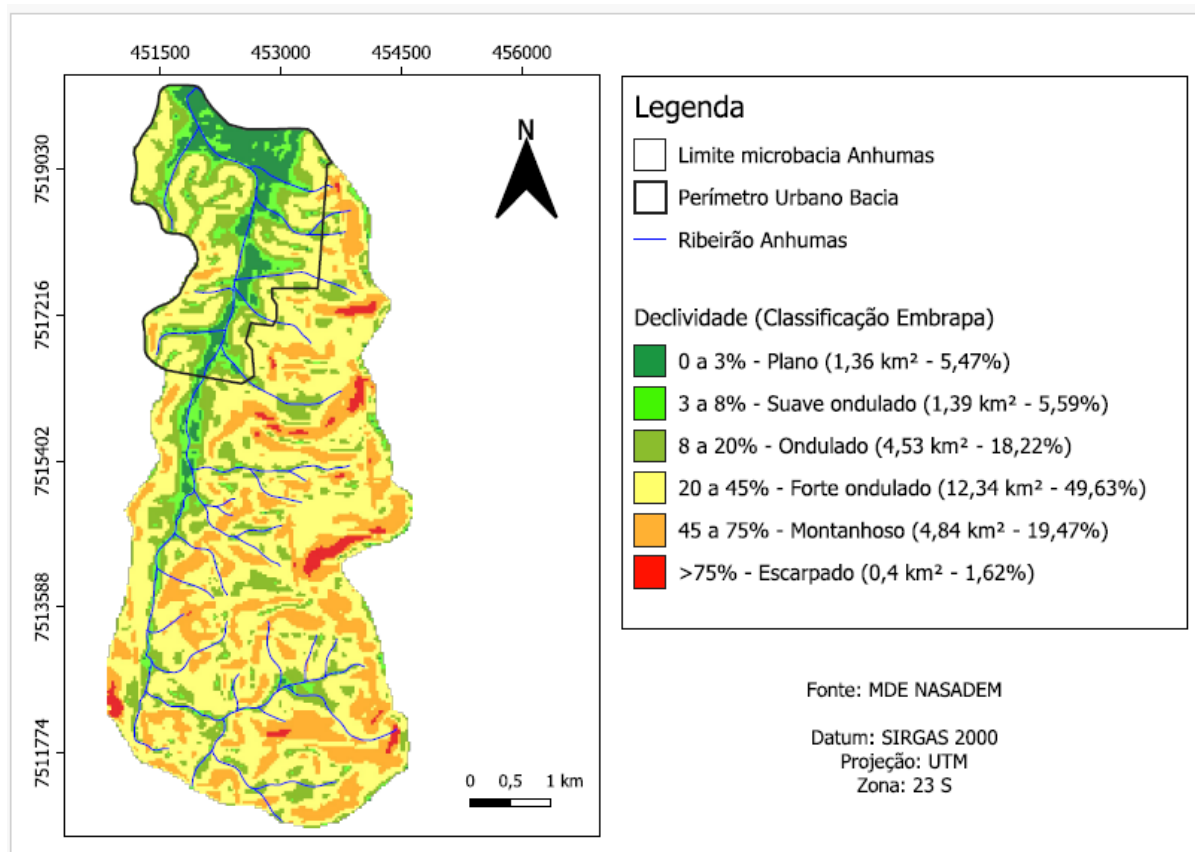
Fonte: elaborado pelo autor

Na Figura 15, é possível observar a declividade na microbacia, que indica o grau de inclinação do terreno segundo intervalos de classes pré-estabelecidos. As classes adotadas para este trabalho são as estabelecidas pela Embrapa (1997) – e os intervalos de declividade estão divididos da seguinte maneira: entre 0 a 3% representam um relevo plano; entre 3 a 8% relevo suave e ondulado; entre 8 a 20% relevo ondulado; entre 20 a 45% relevo fortemente ondulado; entre 45 a 75% relevo montanhoso e mais de 75% relevo fortemente montanhoso ou escarpado.

Evidencia-se que na região sul há o predomínio de relevo montanhoso e forte ondulado, que é predominante na bacia, e apresenta em alguns pontos de declividade acima de 75%. Já na região norte e mais urbanizada, estão concentradas as áreas com predomínio de terrenos planos, suave ondulado e ondulado. Esta faixa representada em tons de verde no mapa de declividades ocupa aproximadamente 30% do território. No geral, quase 70% da área da bacia é composta por declividade forte ondulado e montanhoso.

Salienta-se a importância de determinar a declividade da microbacia, ao passo que a mesma influencia diretamente na velocidade e no volume do escoamento superficial da água, como salienta Dantas (2010).

Figura 15 - Declividade da microbacia do Ribeirão Anhumas



Fonte: Elaborado pelo autor

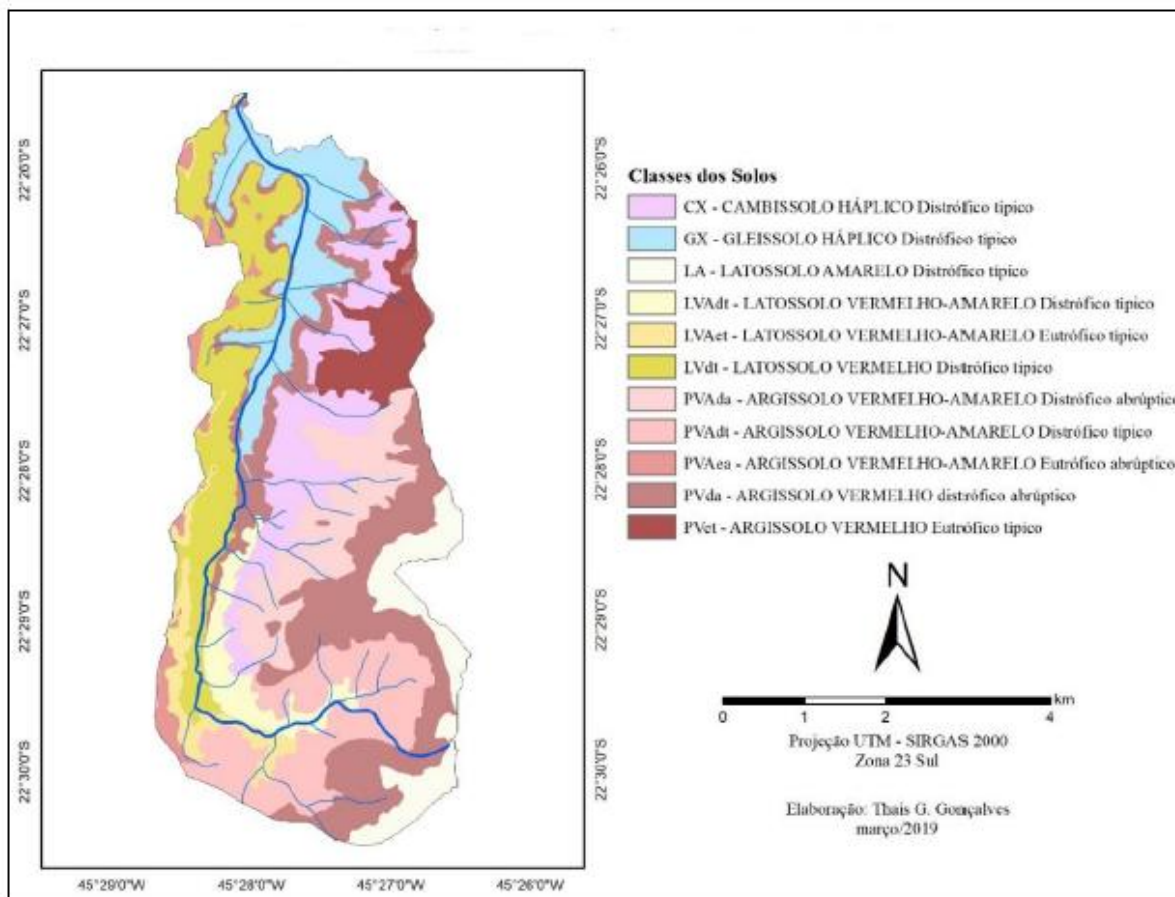
### 4.3 Pedologia

O mapa de pedologia fornece informações detalhadas sobre os tipos de solo presentes em uma determinada área, sendo essencial para compreender como a água é absorvida e retida no solo, bem como sua capacidade de drenagem. Solos argilosos, por exemplo, tendem a reter mais água, aumentando o risco de inundações, enquanto solos arenosos têm uma maior taxa de infiltração (BRANDÃO, PRUSKI E SILVA, 2003).

Segundo Gonçalves (2019), para a área estudada, conforme Figura 16, existem 11 classes de solos, sendo as principais: Cambissolo Háplico (CX), Gleissolo Háplico (GX), Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Latossolo Vermelho (LV), Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) e Argissolo Vermelho (PV), com

solos menos evoluídos ocorrendo na alta vertente e os mais espessos na média e baixa vertente.

Figura 16 - Distribuição dos solos para a microbacia do Ribeirão Anhumas



Fonte: Gonçalves (2019)

Especialmente falando, ao norte da bacia, na região mais alta da vertente do Ribeirão Anhumas, observa-se em sua margem direita a forte presença dos Argissolos Vermelhos, principalmente nas cotas mais altas, assim como o Cambissolo nas áreas de relevo forte ondulado e montanhoso. Já em sua margem esquerda, tem-se Argissolo Vermelho nas regiões com predominância de relevo ondulado e nas áreas de maior altitude, e Latossolos Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, nas áreas de relevo suave ondulado.

De maneira geral, dentre os tipos de solo citados, os Cambissolos são solos bem drenados e profundos, geralmente com boa capacidade de infiltração de água, enquanto os Argissolos Vermelho possuem característica intermediária de drenagem e capacidade moderada de infiltração. Os Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelo, comumente associados a relevos planos e suave ondulado, são profundos e também

possuem boa drenagem, mas no caso dos Latossolos Vermelho-Amarelo a presença de horizontes mais profundos com características de cor avermelhada pode influenciar a capacidade de retenção de água (EMBRAPA, 2006).

Ao sul da microbacia, onde os relevos são mais acentuados, verifica-se a presença de Latossolo Amarelo na região de maior altitude da microbacia, com aproximadamente 1600 metros, e Argissolo Vermelho no terço médio, onde os relevos são forte ondulado, seguido de Argissolo Vermelho-Amarelo nas áreas em que o relevo varia de suave ondulado a ondulado. Os Latossolos Amarelo são conhecidos por serem solos profundos e bem drenados. Eles têm boa capacidade de infiltração, mas também podem ser propensos à erosão quando desprovidos de cobertura vegetal (EMBRAPA, 2006).

Já o Gleissolo concentra-se no vale fluvial do Ribeirão, indicando, segundo Gonçalves (2019), um solo hidromórfico, ou seja, que apresentam características relacionadas à presença de água em excesso ou ao longo de grande parte do ano. Ainda, segundo a autora, a deficiência de drenagem e baixa profundidade do lençol freático facilitam os fenômenos de redução e a formação deste tipo de solo, que são frequentemente associados a áreas sujeitas a inundações periódicas e terrenos alagados sazonalmente. Por essas características, essa é a região que mais gera preocupações e necessita de atenção.

#### **4.4 Litologia**

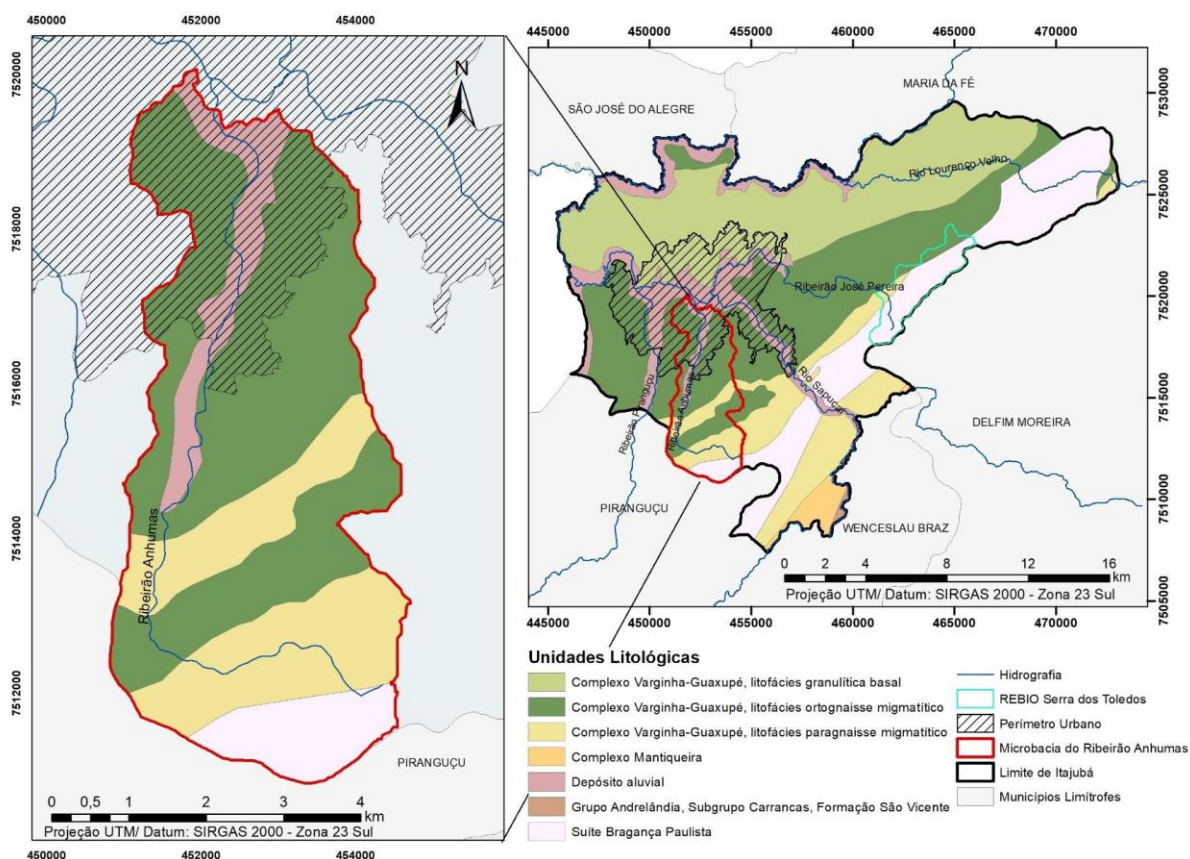
As unidades litológicas são diferentes camadas ou estratos de rochas e sedimentos que compõem a litosfera da Terra, caracterizadas por suas propriedades geológicas, como composição mineralógica, textura, estrutura e idade. Na Figura 17 é possível observar as unidades litológicas presentes na área de estudo, sendo elas: Complexo Varginha-Guaxupé, Complexo Mantiqueira, Depósito Aluvial, Grupo Andrelândia e Suite Bragança Paulista.

Dentre as unidades predominantes na área de estudo, o Complexo Varginha Guaxupé, composto principalmente por rochas metamórficas e granitoides, sinaliza uma geologia que influencia a estabilidade do solo, proporcionando uma resistência à erosão e contribuindo para a permeabilidade do solo. Isso torna essa unidade litológica menos suscetível a processos erosivos e, ao mesmo tempo, mais capaz de permitir a infiltração da água



Por sua vez, o Complexo Mantiqueira, caracterizado por uma variedade de rochas metamórficas e ígneas, contribui para a resistência da área a processos erosivos, conferindo uma camada sólida de proteção contra a erosão. Os Depósitos Aluviais, principalmente compostos por sedimentos transportados por rios, indicam a suscetibilidade a inundações sazonais, já que essas áreas são mais propensas a alagamentos durante eventos chuvosos intensos, e estão presentes, principalmente, nas margens do rio e na área urbana.

Figura 17: Unidades Litológicas de Itajubá e da microbacia do Ribeirão Anhumas



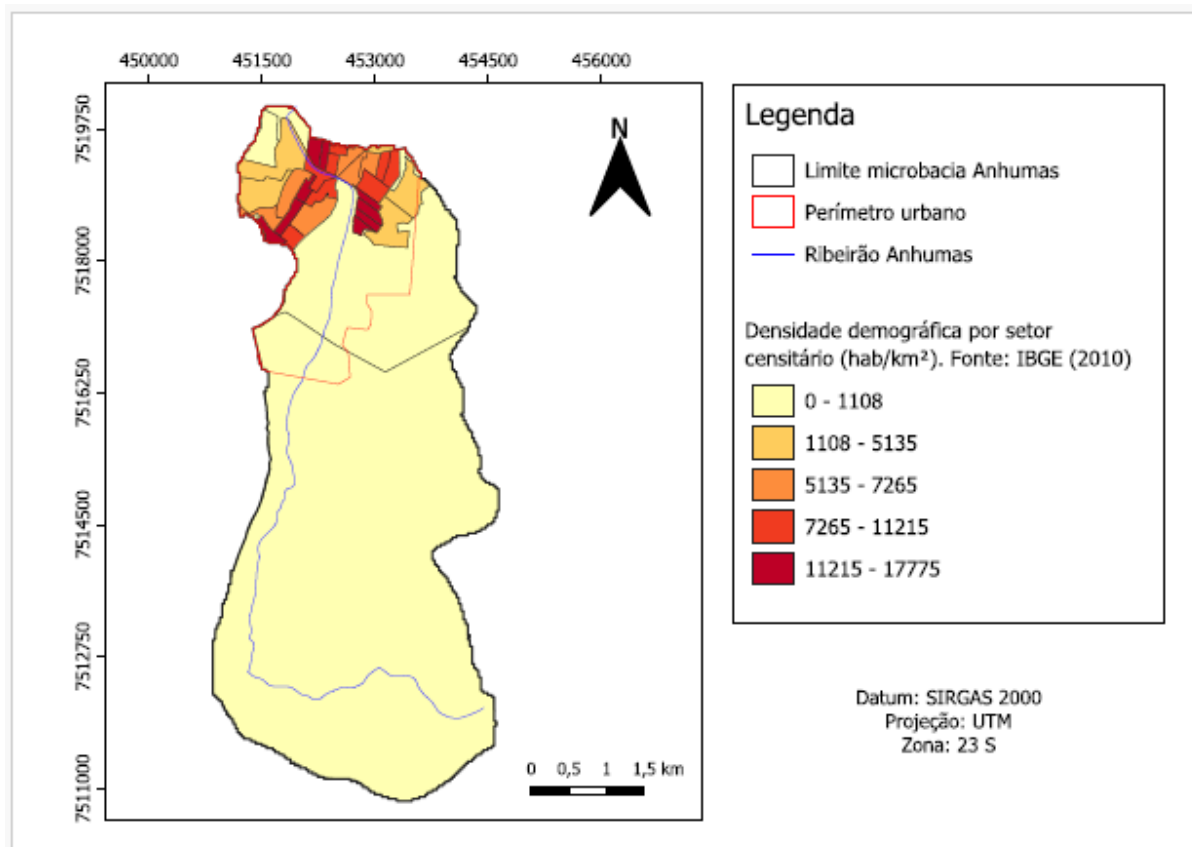
Fonte: Gonçalves (2019)

#### 4.5 Caracterização socioeconômica e demográfica da microbacia

A microbacia do Ribeirão Anhumas apresenta densidade demográfica de aproximadamente 740,23 hab/km<sup>2</sup>, segundo cálculos realizados com as informações do Censo 2010 (IBGE, 2010). Na Figura 18 é possível observar a distribuição espacial dos habitantes por quilômetro quadrado por toda extensão

da microbacia, dividida em setores censitários. Enquanto existem setores com menos de 100 hab/km<sup>2</sup>, majoritariamente nas áreas rurais, nos setores urbanos essa concentração pode chegar a mais de 11.000 hab/km<sup>2</sup>.

Figura 18 – Mapa de densidade demográfica por setor censitário da microbacia do Ribeirão Anhumas



Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados apresentados na Tabela 4 também indicam essa alta concentração da população no perímetro urbano, uma vez que a população na área rural é de apenas 548 habitantes, enquanto no perímetro urbano é de 17.957 habitantes. Visto que alguns dos setores censitários não estão inseridos em sua totalidade dentro da bacia, é importante salientar que foram feitos cálculos para representar a proporcionalidade destes setores, multiplicando-se a densidade original do setor como um todo pela sua área localizada dentro da bacia.

Comparando com os dados levantados pelo estudo de Teixeira (2022), que analisou os dados de densidade referentes à bacia do Ribeirão José Pereira, também situado em Itajubá, conclui-se que a área da microbacia do Anhumas é altamente povoada, pois mesmo tendo uma área menor, ela apresenta quase o dobro de



habitantes (18.505 contra 9.855), corroborando com a importância da análise efetuada.

Em relação aos dados econômicos analisados, 17,19% dos domicílios particulares permanentes possuem renda mensal per capita de até 1 salário mínimo (SM). Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), indivíduos que vivem com essa renda enfrentam dificuldades significativas para acessar bens e serviços básicos, comprometendo sua qualidade de vida. Estudos apontam que a insuficiência de recursos afeta diretamente o acesso a alimentação adequada, saúde, educação e moradia digna, aspectos essenciais para o bem-estar e o desenvolvimento humano (IPEA, 2020).

Tabela 4 – Indicadores sociais, econômicos e demográficos da microbacia do Ribeirão Anhumas

<b>Indicadores sociais, econômicos e demográficos do Censo 2010</b>	
Habitantes em domicílios permanentes (hab)	18.505
População urbana (hab)	17.957
População rural (hab)	548
Grau de alfabetização da população com mais de 5 anos (%)	92,29
População de crianças (<12 anos) e idosos (> 60 anos) (%)	31,05
População masculina (%)	48,54
População feminina (%)	51,46
Domicílios particulares permanentes com rendimento nominal mensal per capita de até 1 SM ou sem rendimento (%)	17,19
Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água por rede geral de distribuição (%)	94,13
Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial (%)	90,49
Domicílios particulares permanentes onde existe arborização (%)	49,78

Fonte: IBGE (2010)

Já para a questão do saneamento básico, pouco mais de 94% dos domicílios apresentavam abastecimento de água por rede geral de distribuição, enquanto 90% conta com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial, além de banheiro com uso exclusivo dos moradores. Ambos os fatores são importantes de se considerar durante e após eventos de inundação, já que permitem melhores condições de enfrentamento e recuperação causados por ela.

No que se refere a idade da população, quase um terço (31,05%) possui mais de 60 anos ou menos de 12, taxas consideradas as mais vulneráveis em termos de reação e mobilidade aos eventos extremos.

Por fim, e não menos importante, foi apurada a porcentagem de 49,70% de domicílios particulares permanentes com a existência de arborização. Conforme Costa e Ferreira (2009), para além da função estética das árvores, elas exercem um papel fundamental para o conforto térmico da população, além de proteger contra o vento, atenuar a luminosidade e melhorar a infiltração de água de uma região.

## **5. METODOLOGIA**

### **5.1 Delineamento da pesquisa**

Neste trabalho, será utilizada a metodologia proposta por Teixeira (2022), que identificou a vulnerabilidade socioambiental a inundações em outra microbacia da cidade de Itajubá, Sul de Minas Gerais. Para se alcançar os objetivos propostos, o trabalho foi dividido em diferentes etapas, sendo elas: o levantamento bibliográfico; a elaboração da base de dados georreferenciados, a confecção dos mapas temáticos referentes à área estudada e aplicação do método AHP para elaboração dos mapas de suscetibilidade a inundações e vulnerabilidade social.

Assim como salienta Gil (2002), o estudo apresenta um caráter descritivo, pois busca caracterizar determinada população ou fenômeno, que aqui se configura na identificação e na categorização da vulnerabilidade socioambiental do município, elencando as variáveis responsáveis pela influência da vulnerabilidade às inundações.

No processo de levantamento bibliográfico, foram conduzidas pesquisas a fim de embasar o referencial teórico e metodológico que sustentará o desenvolvimento deste estudo. Foram efetuadas investigações e revisões em artigos nacionais e internacionais, dissertações e teses relacionadas a eventos de inundação em escala global, com especial atenção para pesquisas prévias realizadas em Itajubá, Minas Gerais, e na microbacia hidrográfica do Ribeirão Anhumas.

### **5.2 Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental a inundação**

As variáveis utilizadas para o mapeamento da vulnerabilidade socioambiental a inundações da microbacia do Ribeirão Anhumas foram consideradas de modo a compreender de que forma os elementos naturais e sociais estão relacionados com a dinâmica do local.

Segundo proposto por Marques et al. (2017), o mapeamento foi realizado utilizando-se do índice de vulnerabilidade socioambiental (IVSA), conforme expresso na Equação 5. Esta análise compreendeu três grandes dimensões, sendo elas: a identificação das áreas suscetíveis a inundação (ISI), a avaliação da exposição (IEXP) e a caracterização da condição de vulnerabilidade social dos habitantes (IVS). A

dimensão ambiental recebeu a influência de 50% do índice final, enquanto a dimensão social foi igualmente dividida em 25% para a vulnerabilidade e 25% para a exposição da população, de acordo com a influência de cada variável.

$$IVSA = 0,50 \times ISI + 0,25 \times IVS + 0,25 \times IEXP \quad (5)$$

Para a avaliação da suscetibilidade a inundações (ISI), foram utilizados quatro fatores condicionantes de inundações, sendo eles: a distância do rio, o índice topográfico de Umidade (ITU), e os mapas de pedologia e uso e ocupação do solo, abordados no tópico 3.6.1. Já para a avaliação da exposição (IEXP), o indicador utilizado é a densidade demográfica, expressa em habitantes por quilômetro quadrado, e apresentado no item 4.2. Por fim, a dimensão social (IVS) utilizou-se de seis variáveis, descritas no tópico 3.6.2. Na Tabela 5 é possível visualizar todas elas.

Tabela 5 - Variáveis utilizadas no mapeamento da vulnerabilidade socioambiental à inundações

<b>Dimensão</b>	<b>Variável/Indicador</b>
<b>Suscetibilidade a inundações</b>	Distância do rio
	Índice Topográfico de Umidade (ITU)
	Pedologia
	Uso e cobertura do solo
<b>Exposição</b>	Densidade demográfica (hab/km <sup>2</sup> )
<b>Social</b>	Domicílios com rendimento mensal per capita inferior a 1 salário-mínimo (SM) ou sem rendimento (%)
	Domicílios com responsáveis do sexo feminino (%)
	Domicílios particulares permanentes alugados (%)
	População de crianças (<12 anos) e idosos (>60 anos) (%)
	Domicílios com abastecimento geral de água por rede geral de distribuição (%)
	Domicílios com banheiro de uso exclusivo dos moradores e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial (%)

Fonte: Teixeira 2022

Para o mapeamento da suscetibilidade a inundações, de acordo com a metodologia AHP, cada uma das variáveis recebeu um peso final de 0 a 1, sendo comparadas na matriz par a par, com a finalidade de se ponderar a respectiva influência de cada uma. Na matriz par a par, estes valores variaram de 1 a 9, com pesos maiores indicando maior predisposição da classe à ocorrência de inundações.

Com os pesos atribuídos, o próximo passo foi agregar os fatores condicionantes, utilizando a ferramenta *Calculadora Raster*, presente no *software* QGIS. A ferramenta permite a sobreposição das camadas *raster* que compõem cada uma das dimensões. Dentro da calculadora, é possível multiplicar cada um desses fatores por seu respectivo peso, gerando ao final a imagem da soma ponderada de cada pixel, de forma a obter o ISI.

Esta soma foi normalizada durante o processo de construção destes dados, através da constante de normalização. Sendo assim, os valores foram obtidos de forma linear, numa escala de 0 a 1, onde valores próximos a 1 indicam uma maior suscetibilidade a inundações.

Por sua vez, as variáveis obtidas na dimensão socioeconômica e demográfica também foram normalizadas em uma escala de 0 a 1, por meio de diferentes funções, já que possuem valores com amplitudes e unidades de medidas diferentes.

### 5.3 Elaboração da base de dados georreferenciados

A base de dados georreferenciados foi criada utilizando o *software* de geoprocessamento QGIS versão 3.34.10. Com esse suporte, também foram desenvolvidos os mapas temáticos que incluem as principais variáveis físico-territoriais e socioeconômicas do município de Itajubá. A base foi elaborada pelos seguintes arquivos:

- a) Modelo Digital de Elevação – MDE: obtido diretamente do banco de dados NASADEM (NASA, 2020), através do complemento *Open Topography*, disponível no *software* QGIS 3.34.10, com resolução de 30m.
- b) Delimitação da bacia hidrográfica a partir do MDE, utilizando a ferramenta *r.water.outlet*.
- c) Composição colorida no espectro visível R(3)G(2)B(1): bandas do satélite CBERS 04A, disponível para download no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020), referente ao ano de 2010, com resolução espacial de 2m, obtida através do processo de *pansharpening*.
- d) Mapa pedológico e litológico da microbacia do Ribeirão Anhumas elaborados por Gonçalves (2019).

- e) Malhas digitais do limite municipal e estadual de Minas Gerais do ano de 2010, disponíveis no site do IBGE.
- f) Malha digital dos setores censitários do município de Itajubá referente ao ano de 2010, disponível no site do IBGE.
- g) Perímetro urbano do município disponibilizado pela Prefeitura de Itajubá.
- h) Dados agregados por setor censitário do Censo Demográfico de 2010, em formato .xls: disponível no site do IBGE (IBGE, 2011a).

Tanto para os arquivos do tipo *raster* quanto *vetoriais*, foi utilizado o sistema de referência espacial Datum SIRGAS 2000, projeção UTM, zona 23S.

## 5.4 Elaboração dos mapas temáticos

### 5.4.1 Mapa do Índice Topográfico de Umidade (ITU)

Para o mapeamento do índice Topográfico de Umidade (ITU), foi necessária a utilização de um MDE (Modelo Digital de Elevação) da área desejada, já que este tipo de arquivo permite obter informações sobre a declividade do terreno, fundamental para se determinar o índice. Para tanto, utilizou-se o software livre SAGA GIS v2.3.2 (CONRAD et al., 2015), conhecido por sua ampla variedade de algoritmos para determinação da direção de fluxo (OLIVEIRA et al., 2016)

O procedimento seguiu as etapas recomendadas por Mattivi et al. (2019), começando com o pré-processamento do MDE, através da ferramenta *Fill Sinks* (Wang & Liu, 2006), para preencher as depressões e gerar um MDE contínuo, adequado para o cálculo do mapa de fluxo acumulado. Em seguida, para a extração do fluxo acumulado, utilizou-se a ferramenta *Flow Accumulation (Top-Down)*, optando pelo algoritmo *Multiple Flow Direction*, desenvolvido por Quinn et al. (1991). Este algoritmo permite que a área de afluência acumulada de qualquer célula seja distribuída entre todas as direções de vertente, permitindo obter a contribuição para jusante em até oito direções de fluxo (MORAES et al., 2014; QUINN et al., 1991).

O mapa de acúmulo de fluxo resultante representa a área de captação total, possibilitando o cálculo da área de contribuição específica (*As*) através da ferramenta *Flow Width and Specific Catchment Area*. Utilizando o MDE preenchido e o fluxo acumulado como entradas, obteve-se a largura do fluxo e a *As*, essenciais para a

extração do ITU. Para este processo, também foi necessário calcular a declividade em radianos com a ferramenta *Slope, Aspect, Curvature*, empregando o MDE bruto, sem preenchimento de depressões.

A etapa final envolveu a geração do ITU por meio da ferramenta *Topographic Wetness Index*, que requer os mapas de inclinação e de *As* como entradas, aplicando a equação 3.1 para gerar o mapa de ITU da área de estudo.

#### 5.4.2 Mapa de uso e cobertura do solo

Para o mapeamento do uso e cobertura do solo, foi utilizada uma composição de imagem colorida das bandas do satélite CBERS 04A, com resolução de 2m. A partir desta imagem foi possível identificar cada tipo de solo, utilizando-se do método de classificação supervisionada de imagens, utilizando a ferramenta *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) versão 7.10.11, desenvolvida por Congedo (2021). A ótima resolução da imagem do satélite permitiu uma classificação mais precisa, ao se identificar com facilidade os diferentes tipos de uso do solo.

Neste método, é necessário realizar áreas de treinamento, ou os chamados ROI (*Regions of interest*). Essas amostras são usadas para treinar o algoritmo de classificação, que posteriormente aplicará esses padrões a toda a imagem, categorizando cada pixel de acordo com seu uso do solo.

A classificação supervisionada é então realizada, onde o algoritmo MáxVer do SCP utiliza as amostras selecionadas para classificar toda a imagem de satélite, ou seja, uma vez feito este processo, o algoritmo consegue escanear a área e identificar superfícies pertencentes às mesmas classes (CONGEDO, 2021), processando todos os pixels dentro da área selecionada, identificando a resposta espectral deste conjunto.

Após a classificação, é importante validar os resultados, comparando-os com dados de referência ou realizando verificações de campo, para assegurar que a classificação corresponda à realidade. Para tanto, foi utilizado o índice *Kappa*, um coeficiente muito utilizado para avaliar a acurácia de uma classificação de imagens, onde a qualidade dessa classificação pode ser: ruim (valores entre 0 e 0,2); razoável (0,2 a 0,4); boa (0,4 a 0,6); muito boa (0,6 a 0,8); e excelente (0,8 a 1,0) (LANDIS; KOCH, 1977). Para determinar os valores, foi utilizada a ferramenta *r.kappa*, da aplicação GRASS, presente dentro do software QGIS 3.34.10. Ao inserir os

parâmetros necessários, foi possível obter tanto o índice *Kappa* (que varia de 0 a 1) quanto o valor de exatidão global, em porcentagem (0 a 100%).

Como o Ribeirão Anhumas possui largura pequena em relação ao restante da área, foi elaborado um polígono para se calcular sua área, ao invés de usar uma classe específica para água, afim de garantir maior precisão da classificação. Em seguida foi feita a classificação das demais camadas, sem o polígono do rio, a fim de evitar uma duplicação de cálculos. Para calcular o restante das áreas, o mapa foi vetorizado, permitindo a utilização da função *\$área*, presente na calculadora de campo.

#### **5.4.3 Mapa de distâncias do rio**

O mapa de distância do rio foi elaborado através da criação de diversos *buffers*. Um *buffer* é uma zona ou área de influência criada ao redor de uma determinada feição geográfica, seja um ponto, linha ou polígono. Essa ferramenta é amplamente utilizada em análises espaciais para determinar áreas de impacto ou influência ao redor de uma feição específica, que neste caso é o curso d'água principal do Ribeirão Anhumas.

Para criar os *buffers* basta utilizar a ferramenta que contém o mesmo nome e está localizada na aba *Geoprocessamento*. Nas opções da ferramenta, foram inseridos cinco intervalos de distâncias, sendo eles: maior que 50m, entre 50 e 100m, entre 100 e 500m, entre 500 e 1000m e maior que 1000m, assim como o curso do ribeirão Anhumas como referência. Para se calcular o buffer é necessário que a camada vetorial esteja em um sistema de referência plana, que possibilita a criação do *buffer* em metros.

#### **5.5 Mapas das variáveis socioeconômicas e demográficas**

As variáveis utilizadas para realizar o estudo social da microbacia do Ribeirão Anhumas foram as disponibilizadas pelo IBGE (2011) e referem-se ao Censo Demográfico de 2010, relativos a condições socioeconômicas, demográficas e de infraestrutura. Esses dados estão disponíveis para download na seção “Estatística” do site do IBGE, e encontram-se em planilhas no formato .xls. Eles são agregados por setores censitários e abrangem todo o estado de Minas Gerais, sendo necessário



realizar uma filtragem para a área de interesse. Apesar da intenção de se utilizar dados mais recentes neste estudo, referentes ao Censo de 2022, não foi possível, já que muitos dos dados necessários dentro da metodologia não foram disponibilizados a tempo de realizar esta pesquisa.

Também foi utilizada uma malha digital dos setores censitários do município de Itajubá, referente ao ano de 2010, disponível no site do IBGE. Estes encontram-se na seção “Geociências”, e estão disponíveis a nível estadual, sendo necessário realizar um recorte para a área desejada. Para isso, basta utilizar a ferramenta *recortar*, presente na aba *Geoprocessamento*, onde deve-se inserir o polígono em formato *shapefile* do contorno da bacia, que servirá como delimitador para realizar este corte.

Outra importante etapa compreendeu a espacialização dos dados agregados em seu respectivo setor censitário, sendo necessário realizar uma união entre as tabelas com o *shapefile*. Para isso, inicialmente, é necessário inserir a tabela com os dados desejados dentro do software QGIS 3.35.10, através da opção *adicionar camada vetorial*. Em seguida, utiliza-se a função *União*, que viabiliza esta junção através de valores iguais presentes em ambos os arquivos, que correspondem ao código utilizado pelo IBGE para cada setor. Após esta etapa, cada setor censitário irá conter as informações inseridas em sua tabela de atributos.

Para a normalização das variáveis relacionadas ao rendimento mensal per capita, domicílios alugados, domicílios com responsável do sexo feminino e população de idosos e crianças, foi utilizada uma função linear crescente, com relação direta, ou seja, quanto maior o valor (dentro da escala de 0 a 1), maior a vulnerabilidade. Essa função é dada pela Equação 5.1

$$Valor\ Normalizado = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (5.1)$$

onde:

X é o valor da variável

$X_{min}$  é o menor valor da variável

$X_{max}$  é o maior valor da variável

Já para as variáveis relacionadas a abastecimento de água e domicílios com a presença de esgotamento sanitário, foi utilizada uma função de relação inversa, já

que, nestes dois casos, quanto menor o valor (menos domicílios com água e esgoto) maior a vulnerabilidade. Sendo assim, a função utilizada é a expressa na Equação 5.2.

$$Valor\ Normalizado = 1 - \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (5.2)$$

onde:

X é o valor da variável

$X_{min}$  é o menor valor da variável

$X_{max}$  é o maior valor da variável

Para ambos os casos, basta inserir a função na *Calculadora Raster* do software QGIS, da seguinte maneira: (“camada\_raster” – “menor\_valor” / “maior\_valor” – “menor\_valor”) e  $1 - ((\text{“camada\_raster”} - \text{“menor\_valor”} / \text{“maior\_valor”} - \text{“menor\_valor”}))$ , respectivamente. Ao executar a operação, o resultado será a camada raster com os valores normalizados.

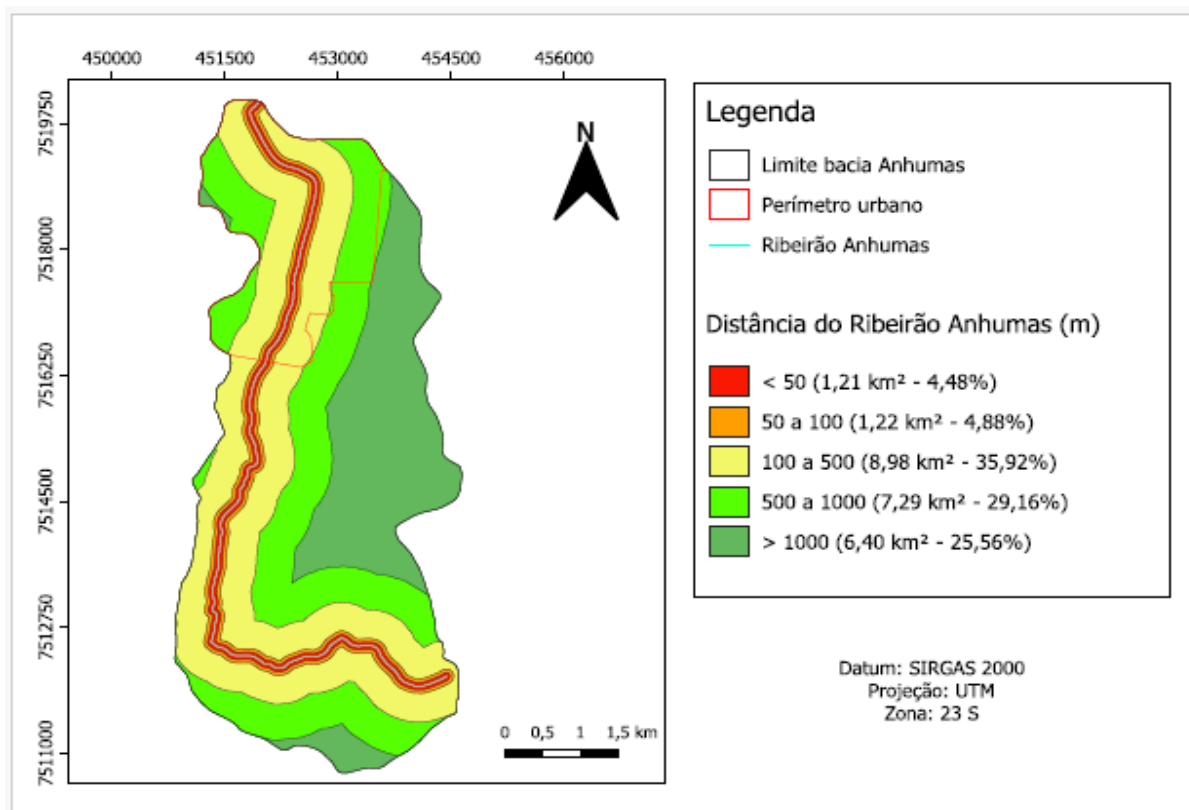
## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir das análises realizadas durante a pesquisa. A primeira análise refere-se à dimensão ambiental, através do índice de suscetibilidade a inundações (ISI) e o respectivo mapa de suscetibilidade; a segunda, analisa o índice de vulnerabilidade social (IVS), em conjunto com o índice de exposição (IEXP). Por fim, tem-se as discussões daquele que é o objetivo principal da dissertação, o mapeamento da vulnerabilidade socioambiental na microbacia do Ribeirão Anhumas.

### 6.1 Dimensão ambiental

Para realizar o mapeamento de suscetibilidade a inundações, foi necessário gerar, primeiramente, os mapas dos quatro fatores condicionantes, sendo eles: distância do curso d'água, ITU (índice topográfico de umidade), solos (tipos de solo) e uso e ocupação do solo, que, combinados, geram o mapa final de suscetibilidade, objetivo final desta etapa. Na Figura 14, pode-se observar o mapa de distâncias das áreas em relação ao Ribeirão Anhumas.

Figura 19 – Mapa de distância do Ribeirão Anhumas

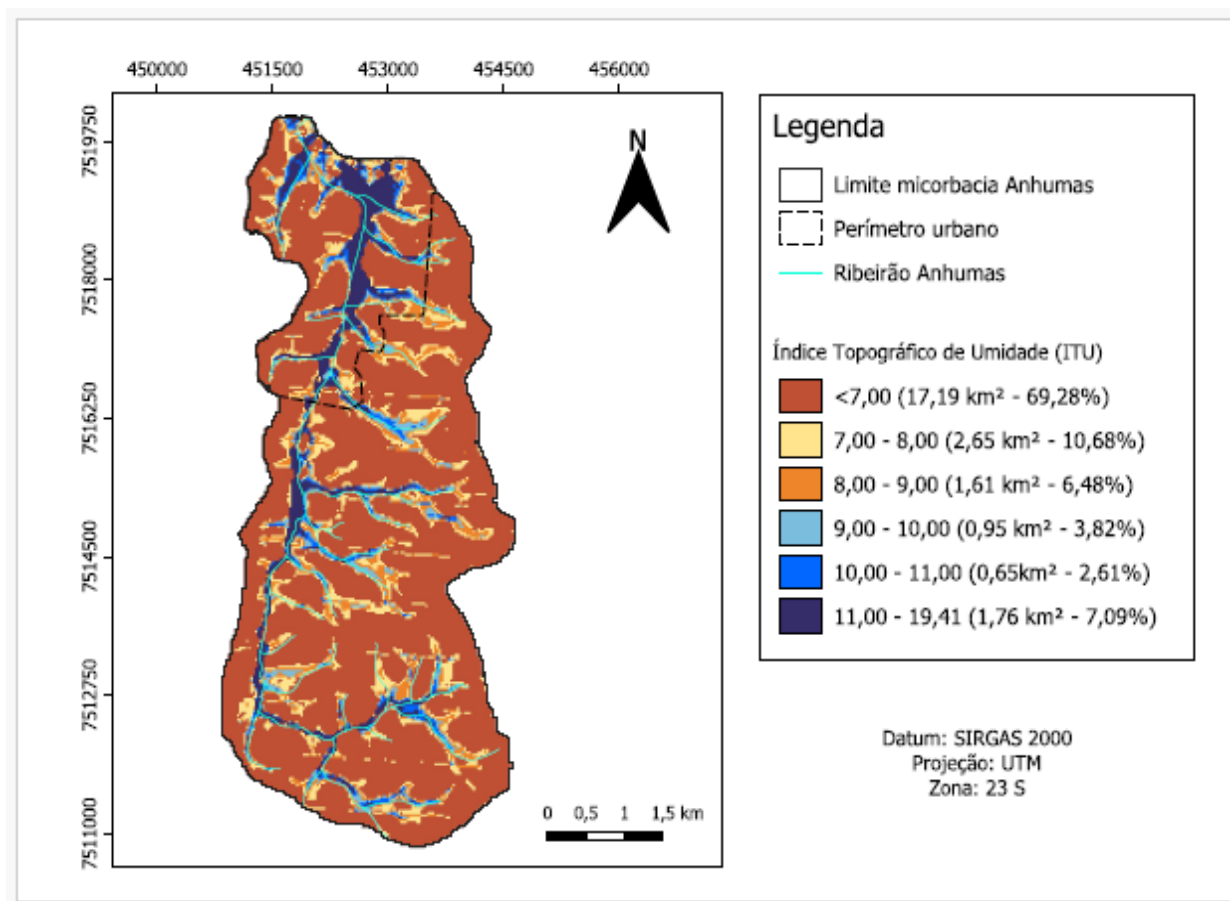


Fonte: Elaborado pelo autor

As áreas próximas às margens dos rios são as mais suscetíveis à elevação dos níveis de água durante o período de chuvas intensas, configurando-se em um importante fator de risco e fundamental de se considerar para a segurança dos domicílios e moradores (TUCCI, 2007). Na área de estudo do presente trabalho, as áreas mais alarmantes, com distâncias inferiores a 100m, correspondem a 9,36%. Além disso, temos uma predominância no perímetro urbano da faixa com variação de 100 a 500m, que também deve ser considerada alarmante, já que a rua Delfim Moreira (Bairro Medicina), uma das mais afetadas pelas inundações (COURA E SANTOS, 2016), está situada a 350m do rio (GOOGLE, 2024).

Já na Figura 15 é apresentado o mapa com a distribuição espacial do ITU, elaborado seguindo a metodologia proposta por Mattivi et al. (2019), utilizando-se o software SAGA GIS 9.3.1. Altos valores do índice indicam áreas com maior potencial de acúmulo de água, geralmente associadas a terrenos planos ou depressões, enquanto valores baixos indicam áreas mais secas, tipicamente encostas íngremes onde a água escoar rapidamente (Moore, Grayson, & Ladson, 1991).

Figura 20 – Mapa do ITU da microbacia do Ribeirão Anhumas

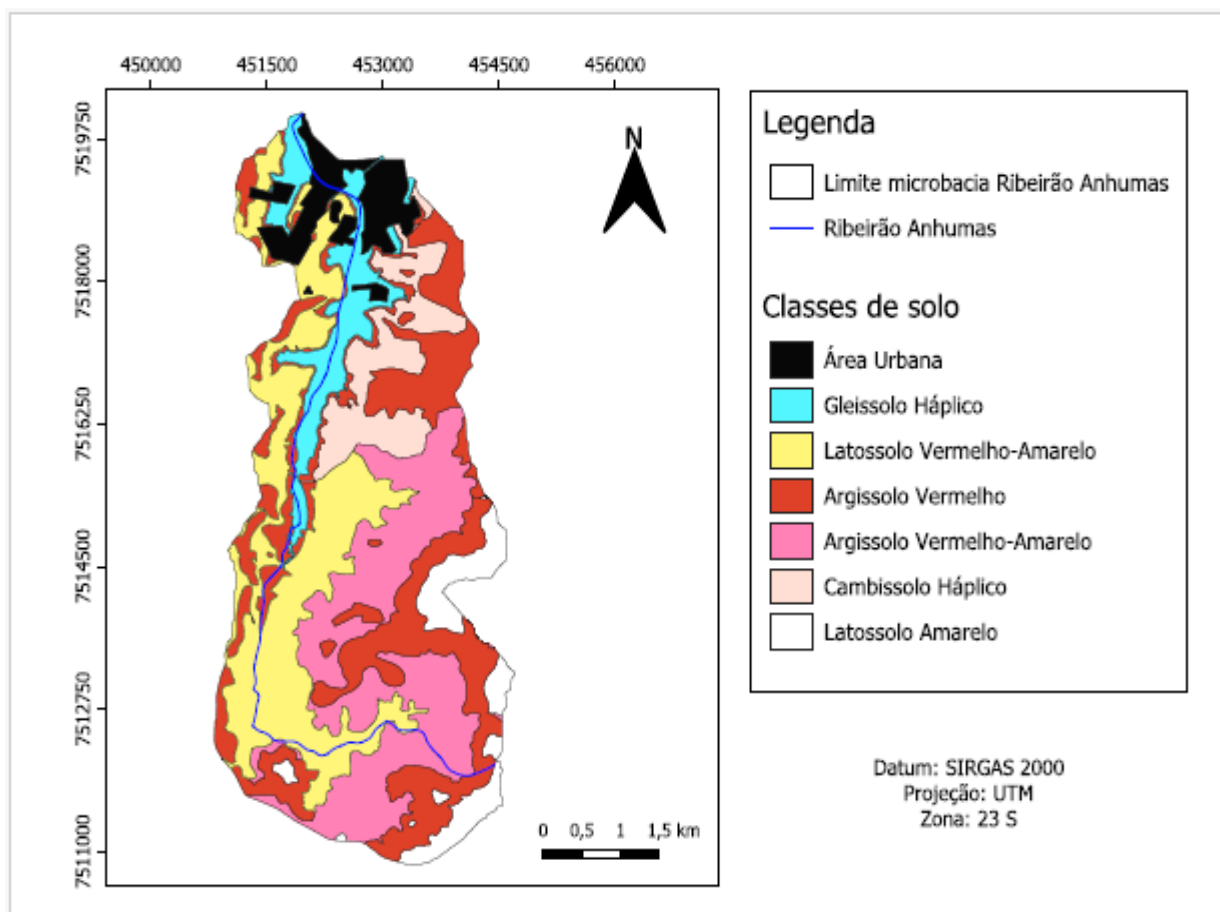


Fonte: Elaborado pelo autor

Sendo assim, esse índice é essencial para identificar zonas propensas à saturação do solo e à formação de zonas úmidas. Como é possível observar, a planície de inundação do Ribeirão Anhumas, localizada principalmente dentro do perímetro urbano, foi a que apresentou os maiores valores do índice, o que significa uma área onde há um maior acúmulo do fluxo de água. Valores mais elevados do índice ITU indicam áreas que são naturalmente alagáveis, e estão representadas no mapa pelo tom mais escuro de azul, compreendendo 7,09% da microbacia. Segundo Silva e Barbosa (2018) são consideradas áreas de risco e deve-se evitar a ocupação, o que não acontece na realidade da microbacia.

Em relação às classes de solo, o mapa da Figura 16 foi elaborado através de uma adaptação de Gonçalves (2019), já que o original, apresentado no tópico 4.5.1, não considerou a área urbana, que é a principal influência no agravamento das inundações, recebendo maior peso em relação às outras classes de solos no momento da confecção da matriz de Análise Hierárquica Ponderada (AHP). No tópico 4.5.1 também foram abordadas as características das outras classes identificadas na região.

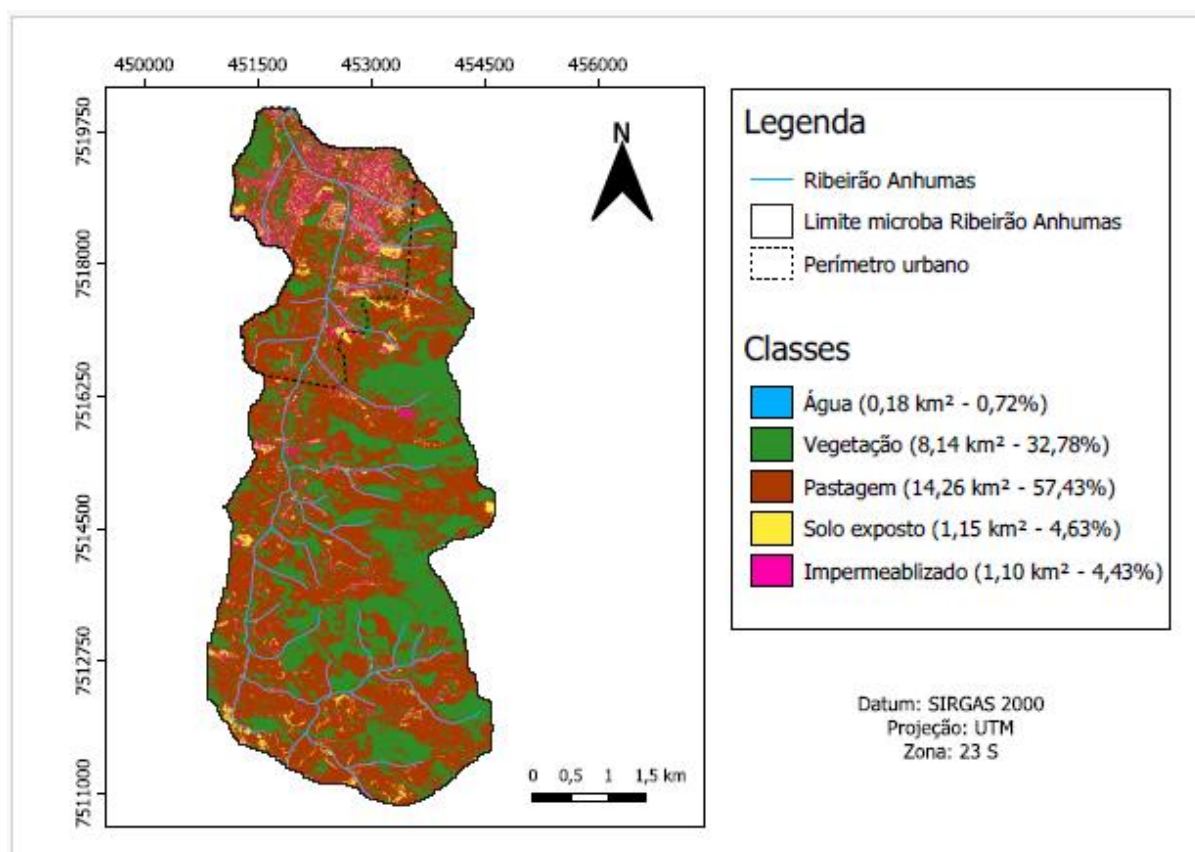
Figura 21 – Classes de solos presentes na microbacia do Ribeirão Anhumas



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2019)

Para o mapa de uso e cobertura do solo da Figura 17, obteve-se um índice *Kappa* de 0,6983, enquadrando a classificação como muito boa, de acordo com a classificação elaborada por Landis e Koch (1977), bem como uma exatidão global de 78,19%. Observa-se que a microbacia apresenta vegetação predominantemente com características de domínio da Mata Atlântica, onde, apesar de estarem presentes no perímetro urbano de Itajubá, encontram-se principalmente nas áreas de ocupação com características de zona rural. No mapa de uso e ocupação, também é possível observar que o tipo de uso do solo mais abrangente dentro dos limites da bacia é o de pastagens, com 57,43% da área, com vegetação composta basicamente por braquiárias, além da presença de pequenos arbustos e árvores de pequeno porte nas partes com relevo mais acentuado.

Figura 22 – Mapa de uso e cobertura de solo



Fonte: elaborado pelo autor

Além das braquiárias, que são espécies exóticas, também existem espécies nativas na região, principalmente próximas aos fragmentos florestais. Representados pela cor verde no mapa, essa vegetação de dossel fechado é a segunda mais presente, abrangendo 32,78% da área, onde a parte preservada está nas regiões de

maiores altitudes e acentuadas declividades, principalmente nos topos de morros. Segundo Vasconcelos (2019), as pastagens são voltadas principalmente para a bovinocultura. Ainda segundo o autor, os topos de morros são as áreas mais preservadas, com vegetação de cabeceira em estágio inicial de sucessão, e a presença de arbustos e árvores espaçadas.

Em relação ao perímetro urbano, vê-se a predominância das classes que merecem mais atenção, por serem as mais críticas: solo exposto e áreas impermeabilizadas. O solo exposto é a classe referente a solo sem nenhum tipo de vegetação, podendo ser de loteamentos abertos sem construções, estradas de terra, áreas de empréstimo e similares, sendo a terceira classe mais presente, com 4,63%.

Já a classe de área impermeabilizada, que envolve a parte urbanizada da microbacia, com suas casas, edifícios e estradas asfaltadas é a quarta forma de uso mais presente, com 4,43%. São as áreas mais críticas e as que recebem maior peso na análise de sua influência na suscetibilidade a inundações, já que impede a infiltração da água no solo. Além disso, como analisado no tópico 4.1.2, houve um aumento dessas áreas ao longo do tempo, com alguns pontos que ainda permitem a expansão urbana, e, devido a esta tendência de crescimento, devem ser fiscalizadas e planejadas corretamente. Por fim, a classe de água ocupa 0,72% da bacia, representando principalmente o Ribeirão Anhumas e seus afluentes.

Com a finalização dos mapas temáticos, as classes de cada condicionante foram comparadas em uma matriz par a par, e foi atribuído um valor de importância referente ao relacionamento entre essas classes, com base na escala de Saaty (1980), conforme detalhado na seção 3.6.1. Essa escala expressa a intensidade com que uma classe prevalece sobre outra em termos da predisposição à ocorrência de eventos, neste caso, as inundações. Conforme ilustrado na Tabela 6, que exhibe a matriz de comparação para todas as variáveis, todos os julgamentos apresentaram Razão de Consistência inferior a 0,1, indicando que não houve inconsistências, ou seja, que as comparações foram coerentes.

No que se refere às distâncias do Ribeirão Anhumas, as menores distâncias receberam os maiores pesos, uma vez que os eventos de inundação ocorrem próximos ao curso d'água. Por outro lado, à medida que essa distância aumenta, a inclinação e a elevação tornam-se maiores, reduzindo a suscetibilidade a inundações (DAS, 2018).



Tabela 6 – Matriz de comparação par a par das classes dos fatores condicionantes à inundações

**Classes das variáveis**

Distância do curso d'água	1	2	3	4	5	Peso (w)		
(1) < 50,00	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00	0,486		
(2) 50,00 - 100,00	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00	0,317		
(3) 100,00 - 500,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	0,069		
(4) 500,00 - 1000,00	0,14	0,20	1,00	1,00	1,00	0,065		
(5) > 1000,00	0,11	0,14	1,00	1,00	1,00	0,063		
Razão de consistência = 0,0417								
Uso e cobertura do solo	1	2	3	4	5	Peso (w)		
(1) Área impermeabilizada	1,00	2,00	3,00	5,00	7,00	0,382		
(2) Solo exposto	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00	0,286		
(3) Pastagem	0,33	0,50	1,00	3,00	5,00	0,209		
(4) Vegetação	0,20	0,25	0,33	1,00	2,00	0,080		
(5) Água	0,14	0,17	0,20	0,50	1,00	0,043		
Razão de consistência = 0,0300								
ITU	1	2	3	4	5	6	Peso (w)	
(1) < 7,00	1,00	0,50	0,33	0,25	0,14	0,11	0,033	
(2) 7,00 - 8,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,20	0,14	0,058	
(3) 8,00 - 9,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,20	0,098	
(4) 9,00 - 10,00	4,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,25	0,150	
(5) 10,00 - 11,00	7,00	5,00	3,00	2,00	1,00	0,33	0,256	
(6) 11,00 - 19,41	9,00	7,00	5,00	4,00	3,00	1,00	0,405	
Razão de consistência = 0,0257								
Solos	1	2	3	4	5	6	7	Peso (w)
(1) Área urbanizada	1,00	7,00	2,00	5,00	5,00	4,00	4,00	0,339
(2) Cambissolo háplico	0,14	1,00	0,17	0,50	0,50	0,33	0,33	0,036
(3) Gleissolo háplico	0,50	6,00	1,00	4,00	4,00	3,00	3,00	0,260
(4) Latossolo amarelo	0,20	2,00	0,25	1,00	1,00	0,50	0,50	0,066
(5) Latossolo vermelho-amarelo	0,20	2,00	0,25	1,00	1,00	0,50	0,50	0,066
(6) Argissolo vermelho	0,25	3,00	0,33	2,00	2,00	1,00	1,00	0,116
(7) Argissolo vermelho-amarelo	0,25	3,00	0,33	2,00	2,00	1,00	1,00	0,116
Razão de consistência = 0,0139								

Fonte: elaborado pelo autor

Quanto ao ITU, altos valores representam planícies com baixo gradiente de declive e solo úmido, enquanto valores baixos indicam terras altas com alto gradiente de declive (LAPPAS & KALLIORAS, 2019). Sendo assim, quanto maior o valor do índice, maior foi o peso adotado, resultando em maior suscetibilidade a inundações.

O tipo de solo e o uso e cobertura do solo foram ponderados em relação à capacidade de infiltração e drenagem, onde áreas impermeabilizadas tendem a acumular mais água na superfície do que solos com cobertura florestal (solos menos



compactados e com mais porosidade) (ENDRENY, 2006), razão pela qual receberam os maiores pesos em ambos os condicionantes.

Uma vez que os Gleissolos são característicos de áreas de várzea, planícies aluvionares mal ou muito mal drenadas, onde o lençol freático permanece elevado durante grande parte do ano (ANTUNES et al., 2013), ele foi o tipo de solo que recebeu o segundo maior peso. Por sua vez, os Argissolos possuem profundidade variável, e segundo a Embrapa (2018), variam de forte a imperfeitamente drenados, recebendo o terceiro maior peso. Os latossolos, caracterizados por sua excelente capacidade de infiltração e eficiente drenagem (SARTORI et al., 2005), foram atribuídos ao quarto maior peso. Já os Cambissolos, que são encontrados principalmente em áreas mais íngremes da microbacia, são considerados indicativos de regiões com potencial para movimentos de massa, conforme Antunes et al. (2013). Por essa razão, esses solos receberam a menor ponderação no que diz respeito à suscetibilidade a inundações.

Em relação ao uso e ocupação do solo, as classes de solo exposto e pastagem também receberam pesos mais altos, já que além da área impermeabilizada, elas também são mais suscetíveis a inundações. De forma geral, a perda de cobertura vegetal, seja para uso agrícola ou para ocupação urbana, dificulta a infiltração de água e favorece o escoamento superficial (SANTOS et. al. 2017)

Após a elaboração da matriz comparando os parâmetros de cada classe, os fatores condicionantes também foram comparados entre si através do julgamento apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Matriz de comparação par a par dos fatores condicionantes de inundações

Fator condicionante	1	2	3	4	w(pesos)
(1) Uso e cobertura do solo (UCS)	1	2	2	3	0,387
(2) Distância di curso d'água (DIST)	1/2	1	2	3	0,315
(3) ITU	1/2	1/2	1	2	0,194
(4) Solos (S)	1/3	1/3	1/2	1	0,105
<i>Razão de consciência = 0,0309</i>					

Fonte: elaborado pelo autor

Levando em conta que na microbacia do Ribeirão Anhumas os eventos de inundação ocorrem principalmente nas áreas de várzea do ribeirão, situadas na zona urbana, foram atribuídos maiores pesos ao uso e cobertura do solo e à proximidade do curso d'água. O ITU recebeu o terceiro maior peso, já que, embora o índice esteja

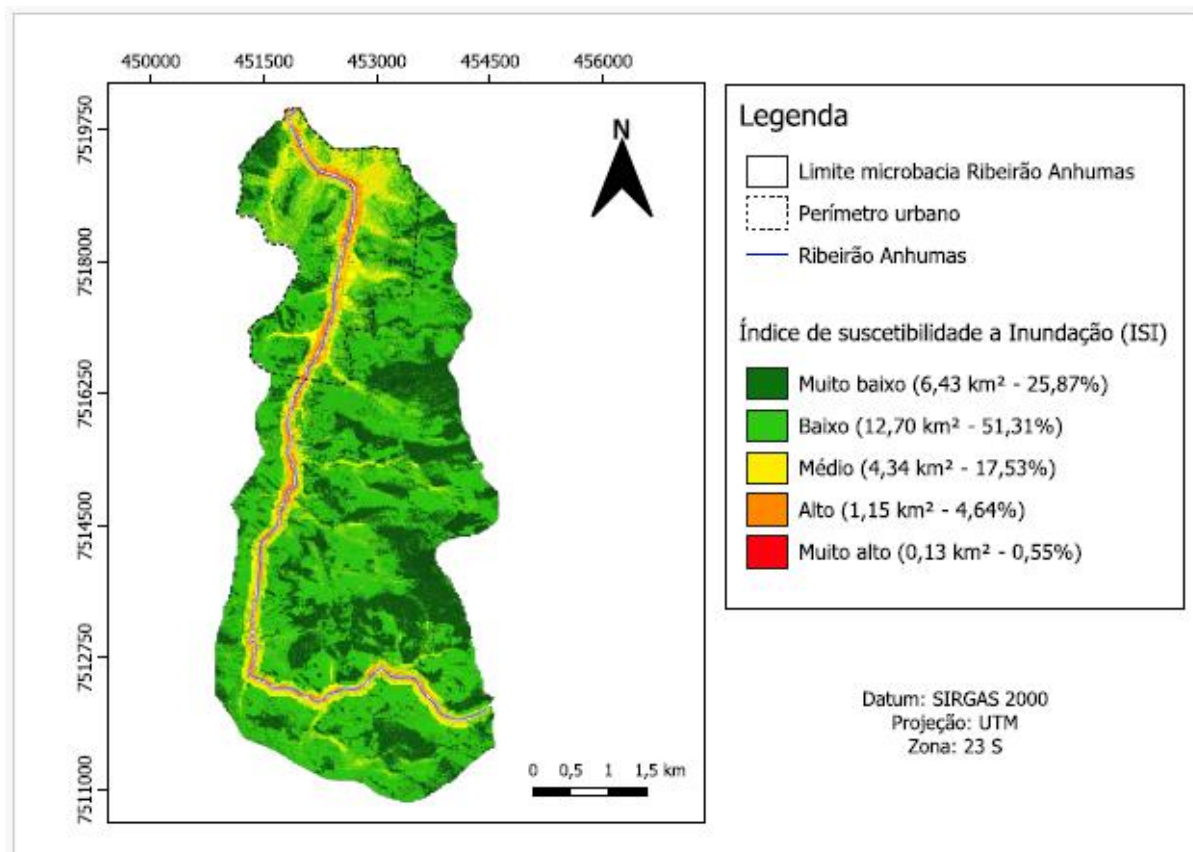
diretamente ligado à quantidade de fluxo de água que pode se acumular em qualquer ponto da bacia, a cobertura do solo pode ser crucial na geração de escoamento superficial (SANTOS et. al, 2023). Já o fator solo sofre fortes influências do manejo e ação antrópica sobre ele (MOISA et. al, 2022), recebendo, portanto, o menor peso entre os outros fatores condicionantes.

Sendo assim, o índice de suscetibilidade a inundações na microbacia do Ribeirão Anhumas foi calculado através da Equação 6.1:

$$ISI = 0,387 * UCS + 0,315 * DIST + 0,194 * ITU + 0,105 * S \quad (6.1)$$

Com os valores determinados na matriz de comparação e a respectiva fórmula apresentada, inserida na calculadora de campo do QGIS 3.34.10, foi possível gerar o mapa final da distribuição do ISI para a área de estudo, apresentado na Figura 18.

Figura 23 – Mapa de suscetibilidade a inundações da microbacia do Ribeirão Anhumas



Fonte: Elaborado pelo autor

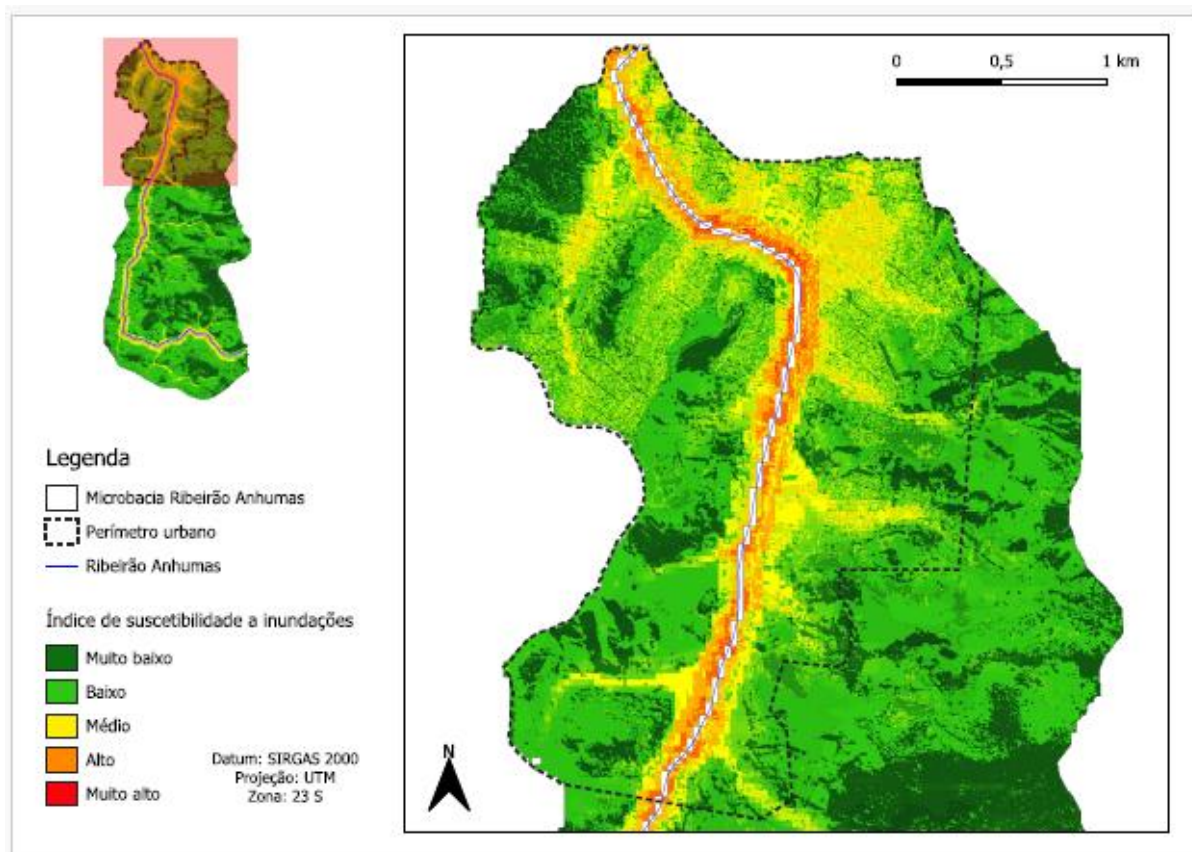
Observa-se que as áreas consideradas mais suscetíveis, que apresentaram índice alto ou muito alto, compreendem 5,19% do território (5,49 km²), presentes

principalmente na área de várzea do Ribeirão Anhumas. Outros 17,53% correspondem às áreas com ISI classificado como médio, com presença predominante no perímetro urbano, sendo áreas que também podem gerar risco, principalmente em decorrência das transformações sofridas pelo uso e ocupação do solo.

Já as áreas que apresentaram índice de suscetibilidade baixo ou muito baixo correspondem a 77,18% do território e não apresentam riscos de inundação. A maior parte dessas faixas encontram-se em áreas mais afastadas do curso d'água e apresentam uma topografia que não favorece o acúmulo de água além de um solo mais bem estruturado devido a vegetação (e, portanto, com menor taxa de impermeabilização).

Para melhor visualizar as condições de suscetibilidade a inundações no perímetro urbano, a Figura 19 traz uma ampliação do mapeamento realizado para esta área de interesse, já que é onde se concentra a maior parte da população.

Figura 24 – Ampliação do mapa de suscetibilidade para o perímetro urbano



Fonte: Elaborado pelo autor

As áreas que apresentaram índice muito alto de suscetibilidade, estão em uma distância de até 60 m do ribeirão, enquanto as que apresentaram índice alto podem ser encontradas em até 120 m de distância, compreendendo, portanto, a faixa de maior risco. Áreas que apresentaram um risco médio podem ser encontradas até 1000 m de distância do curso principal, já que elas costumam estar próximas de seus afluentes, o que pode gerar riscos em eventos extremos.

Comparando este mapa com os quatro outros que o originaram, fica evidente as relações estabelecidas ao longo do texto, onde as áreas mais suscetíveis coincidem respectivamente com: áreas mais próximas do rio (mapa de distância), áreas de maior acúmulo de água (mapa de ITU), áreas impermeabilizadas e mais modificadas pelo homem (uso e ocupação do solo) e solos mais compactados que dificultam a infiltração da água (mapa de solos).

Na Figura 19, ainda é possível evidenciar uma forte incidência do índice médio de suscetibilidade na região norte e nordeste do perímetro urbano, áreas que já apresentam histórico de inundações, principalmente no bairro Medicina, como apontado por Coura e Santos (2016), além do bairro São Vicente. Essas são áreas que juntamente com as áreas de expansão apresentadas na Figura 5 (item 4.2.1) devem receber maior atenção quanto ao risco natural de sofrerem com os eventos das fortes chuvas e consequente inundações.

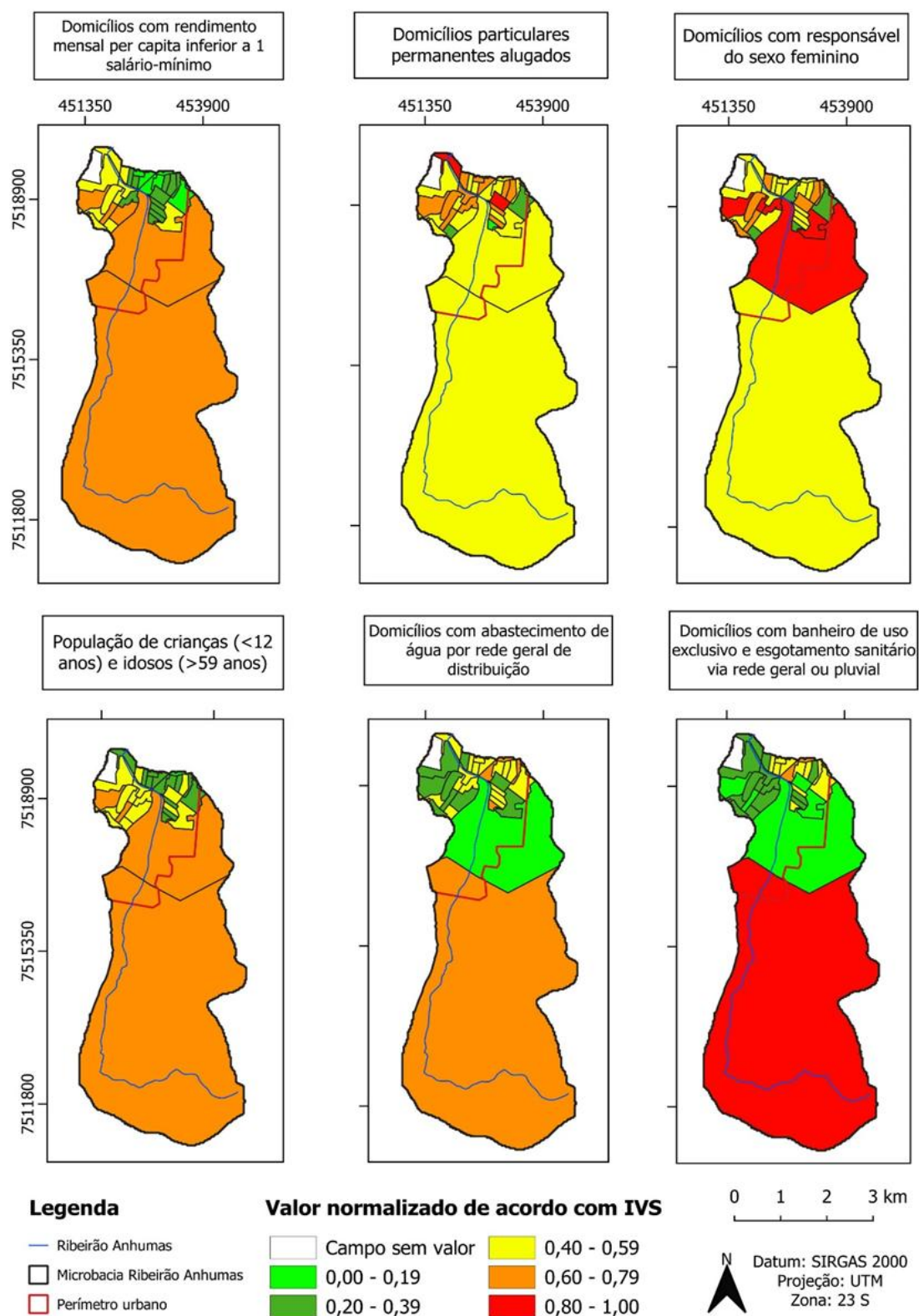
## **6.2 Dimensão social**

No processo de mapeamento do índice de vulnerabilidade social (IVS), os indicadores sociais selecionados a partir do Censo Demográfico de 2010 (rendimento mensal per capita, domicílios alugados, domicílios com responsável do sexo feminino e população de idosos e crianças) foram inicialmente normalizados em uma escala de 0 a 1 - ou seja, quanto maior o valor, maior a vulnerabilidade. O resultado dessa normalização, que reflete o impacto desses fatores na vulnerabilidade social, está apresentado na Figura 20.

Começando pelo aspecto da renda familiar, foi constatado que 52,89% dos domicílios inseridos dentro da microbacia possuíam rendimento mensal per capita inferior a 1 salário-mínimo (SM) ou sem rendimento, sendo que na zona rural 70,34% dos domicílios encontram-se nessa condição. Já no perímetro urbano, o maior valor

verificado dentro de um mesmo setor foi de 74%, além de mais 9 setores com valores acima dos 60% (de um total de 33 setores).

Figura 25 – Mapa das variáveis sociais utilizadas no IVS com valores normalizados



Fonte: Elaborado pelo autor

Já em relação aos domicílios particulares permanentes alugados, este valor chegou a 27,14% do total dos domicílios, com destaque aos setores em vermelho que atingiram média de 42% de domicílios alugados, sendo os mais vulneráveis para esta variável. Os setores em laranja ficaram com média de 34% dos domicílios para esta variável. Na zona rural esse número é baixo, representando apenas 14,44% dos domicílios.

No que se refere a quantidade de domicílios com responsável do sexo feminino, o percentual chegou a 55,68%, onde os setores mais altos encontram-se dentro do perímetro urbano, com taxas variando entre 60% e 90% para as cores vermelhas, e valores para os setores laranja, também elevados, que variaram entre 48% e 63%. A população considerada mais vulnerável (crianças menores de 12 anos e idosos acima dos 59) representam 29,77% da população analisada, com uma concentração de 30,63% na área rural e com setores de até 35,54% de domicílios na área urbana.

Por fim, foi feita a análise para a distribuição dos dados em relação à infraestrutura de saneamento básico na microbacia. Em relação ao abastecimento de água, a microbacia apresentou um alto índice, onde 96,82% dos domicílios possuem abastecimento de água por rede geral de distribuição. Na zona rural, área mais crítica em relação a esta variável, o valor corresponde a apenas 40% dos domicílios, contrastando com os setores do perímetro urbano, onde muitos setores chegam a 100% ou muito próximos, e os menores valores estão na média dos 94%.

Para a variável de esgotamento sanitário via rede geral ou pluvial, a área analisada também apresentou altos índices, com 93,94% dos domicílios apresentando este tipo de infraestrutura. O dado alarmante fica para a zona rural, com apenas 15,25% dos domicílios. Já no perímetro urbano, os menores valores encontrados variam de 95 a 98%.

Vale salientar que, para os valores normalizados referentes a abastecimento de água e esgotamento sanitário, foi utilizada a lógica inversa na normalização, já que nestes casos, os valores próximos de 0 é que estão associados a uma baixa vulnerabilidade social (maior porcentagem de domicílios atendidos), os próximos a 1 indicam alta vulnerabilidade socioambiental (atendimento próximo a 0%).

Com base na análise dos mapas gerados, juntamente com um levantamento bibliográfico realizado, os indicadores foram comparados em uma matriz par a par,



com o objetivo de hierarquizar sua influência na vulnerabilidade social da população. O resultado desse julgamento está apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Matriz de comparação par a par dos fatores envolvidos na vulnerabilidade social

Indicadores	1	2	3	4	5	6	w(pesos)
(1) Renda mensal per capita de até 1SM ou sem rendimento	1	2	4	4	5	5	0,396
(2) Domicílios particulares permanentes alugados	0,50	1	2	2	3	3	0,217
(3) Responsável do sexo feminino	0,25	0,50	1	1	2	2	0,127
(4) População de idosos e crianças	0,25	0,50	1	1	2	2	0,127
(5) Abastecimento de água por rede geral	0,2	0,33	0,50	0,50	1	1	0,067
(6) Banheiro exclusivo e esgotamento via rede geral	0,2	0,33	0,50	0,50	1	1	0,067
<i>Razão de consistência = 0,007</i>							

Fonte: elaborado pelo autor

A renda é um dos principais fatores para a manutenção da família e da moradia, sendo um elemento crucial para a resiliência em situações de desastre. A capacidade de uma comunidade em enfrentar e mitigar danos está diretamente relacionada ao aumento da renda, pois uma maior estabilidade financeira tende a resultar em melhores condições de prevenção e resposta a desastres (MARCHEZINI; FORINI, 2019). Por esse motivo, foi atribuído ao fator renda o maior peso na análise.

Já para o indicador referente à condição de domicílios alugados foi atribuído o segundo maior peso, uma vez que estudos no Brasil apontam dificuldades de realocação após eventos de enchentes, devido à falta de moradias adequadas, condições financeiras precárias ou inexistência de alternativas habitacionais equivalentes. Após eventos de inundação, muitas famílias enfrentam perdas financeiras severas e necessitam de suporte governamental para pagar aluguéis ou restaurar suas casas. No entanto, a assistência pública frequentemente se revela ineficaz e insuficiente (SOUZA, STOLL e SCHONARDIE, 2019)

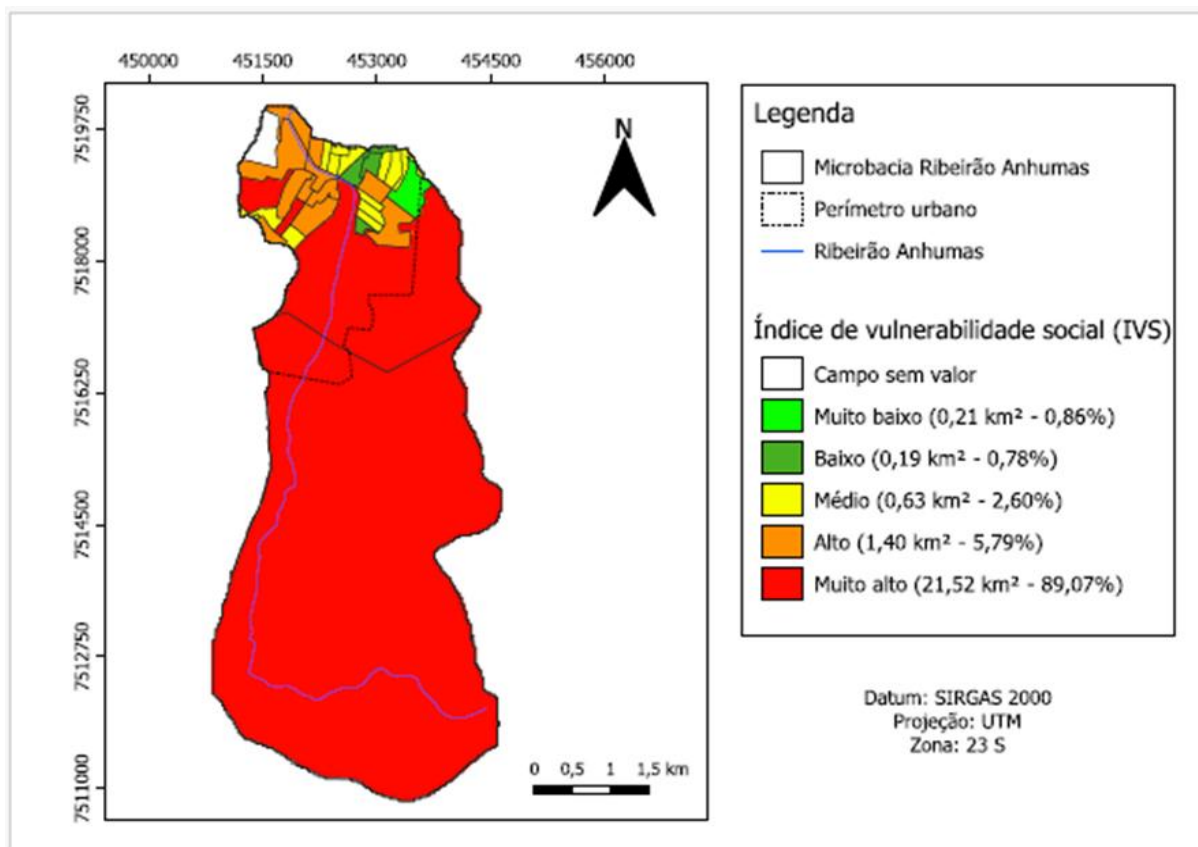
Grupos populacionais como as crianças e idosos são particularmente vulneráveis a desastres ambientais, devido a menor capacidade de resposta e recuperação a estes eventos (FREITAS et al., 2012). Essa situação é ainda mais agravada pela falta de habitação adequada e baixa renda, que limitam as opções de proteção e resiliência frente a eventos adversos. Sendo assim, os indicadores

relacionados à presença de crianças, idosos e de mulheres como chefes de família receberam o terceiro maior peso.

Por fim, encontram-se as variáveis associadas ao saneamento básico. A falta de infraestrutura adequada resulta em problemas durante períodos de chuvas intensas, como a escassez de água potável e o acúmulo de resíduos, que favorecem a presença de esgotos a céu aberto. Isso, por sua vez, facilita a reprodução de vetores e hospedeiros, impactando negativamente a saúde das populações afetadas (PORTELA et al., 2020).

Após a atribuição dos pesos relativos a cada variável, os fatores foram agregados utilizando a *Calculadora Raster* do QGIS 3.34.10 e posteriormente normalizadas na escala de 0 a 1, de modo a obter o mapa final da distribuição do IVS, apresentado na Figura 26.

Figura 26 – Mapa de vulnerabilidade social da microbacia do Ribeirão Anhumas



Fonte: elaborado pelo autor

De acordo com o resultado obtido, destaca-se os setores que atingiram os índices “Alto” e “Muito alto” de vulnerabilidade social, e, portanto, merecem atenção especial por serem os mais críticos. Entretanto, vale destacar que apesar do alto valor

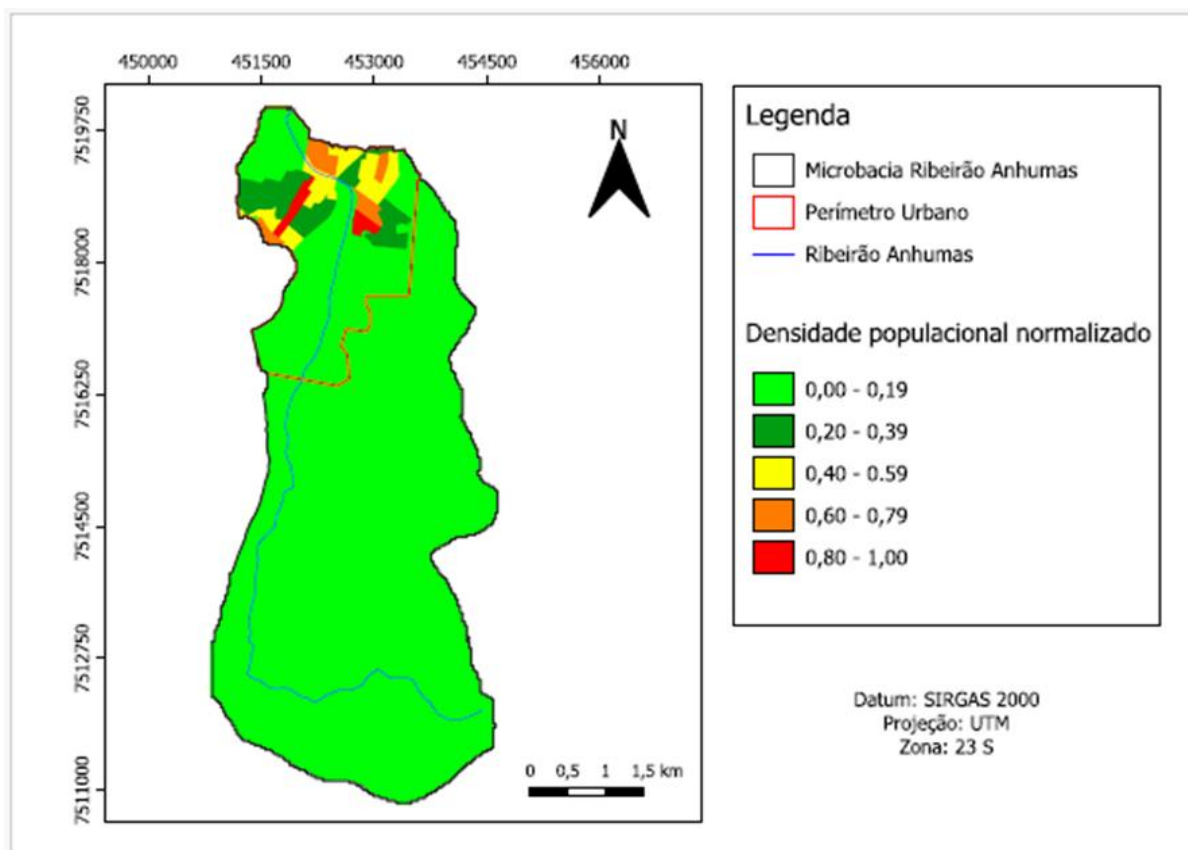


para o índice “Muito alto” (89,07%), ele se justifica pelo fato de que uma grande área do setor rural se encontra dentro dos limites da bacia, não refletindo o mesmo impacto no perímetro urbano, que será melhor analisado no mapa final de vulnerabilidade socioambiental.

Todo o setor rural encontra-se no máximo índice de vulnerabilidade social, já que apresentou baixos índices relacionados a infraestrutura, com menos de 40% dos domicílios atendidos, além de 70% dos domicílios com renda inferior a um salário mínimo. Já os altos valores encontrados dentro dos setores do perímetro urbano foram alavancados principalmente pelos altos valores de domicílios com até um salário mínimo, além de domicílios alugados e com responsável do sexo feminino, já que os índices relacionados a infraestrutura obtiveram bons números.

A Figura 27 ilustra os valores normalizados para a densidade demográfica, que representa o grau de exposição da população ao risco de inundações.

Figura 27 – Distribuição espacial da densidade demográfica após normalização



Fonte: elaborado pelo autor

Essa variável complementa a análise da dimensão social do índice de vulnerabilidade socioambiental. Enquanto o setor da área rural não ultrapassou 50

hab/km<sup>2</sup>, na área urbana os menores valores (em verde claro) variaram entre 254,85 e 2.433 hab/km<sup>2</sup> - os valores em verde, ficaram em uma média de 6.000 hab/km<sup>2</sup>, enquanto as áreas médias (em laranja) ficaram entre 10.600 e 13.433 hab/km<sup>2</sup>. Já as mais críticas, em vermelho, estão todas acima de 14.000 hab/km<sup>2</sup>, alcançando o valor máximo de 17.775 hab/km<sup>2</sup>. Como salienta Koks et al. (2015), uma elevada densidade demográfica aumenta significativamente a exposição de pessoas aos riscos de inundações, intensificando os danos ao meio ambiente. Áreas mais povoadas sofrem com maior degradação ambiental, poluição e pressão sobre a infraestrutura de drenagem, agravando os efeitos negativos dos desastres naturais.

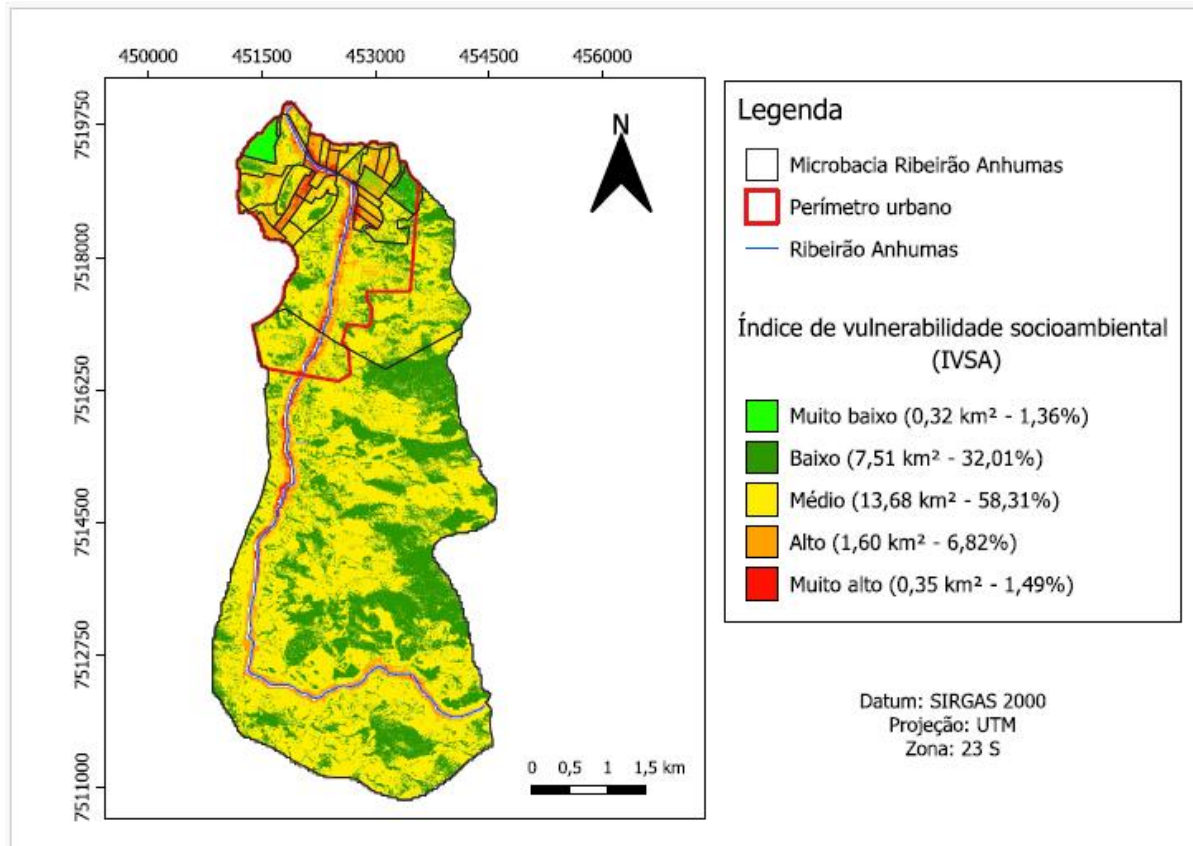
### **6.3 Vulnerabilidade socioambiental**

Após a análise das dimensões ambientais, sociais e demográficas da microbacia, os mapas gerados foram integrados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), aplicando-se os pesos estabelecidos pela Equação 5. Nesse cálculo, a suscetibilidade a inundações teve um peso de 50%, enquanto a vulnerabilidade social e a exposição da população foram consideradas com 25% cada. O resultado dessa agregação pode ser observado no mapa final da distribuição do IVSA apresentado na Figura 28.

Em linhas gerais, a classe de média vulnerabilidade socioambiental foi a predominante na bacia, representando 58,31% da área, muito em conta por sua forte presença na área rural. Esta região, apesar da baixa densidade populacional, apresentou altos valores quanto aos índices de vulnerabilidade social, principalmente relacionados à ausência da infraestrutura de saneamento básico. Além disso, boa parte da área em amarelo é a mesma que segue os afluentes do Ribeirão Anhumas, e, portanto, próximas de suas margens, além de apresentarem uso do solo predominantemente de pastagens (evidente no mapa de uso e ocupação do solo).

Áreas predominantemente compostas por pastagens têm menor capacidade de infiltração de água em comparação a áreas cobertas por vegetação nativa ou florestas, já que sua estrutura de solo é mais compactada, devido ao pisoteio dos animais e à menor cobertura vegetal densa. Geralmente, as pastagens têm raízes mais superficiais, que não promovem uma boa aeração do solo, nem melhoram sua capacidade de absorção (SANTOS et. al. 2017). Dentro do contexto urbano, a média vulnerabilidade também se fez bastante presente.

Figura 28 – Mapa de vulnerabilidade socioambiental a inundações da microbacia do Ribeirão Anhumas



Fonte: elaborado pelo autor

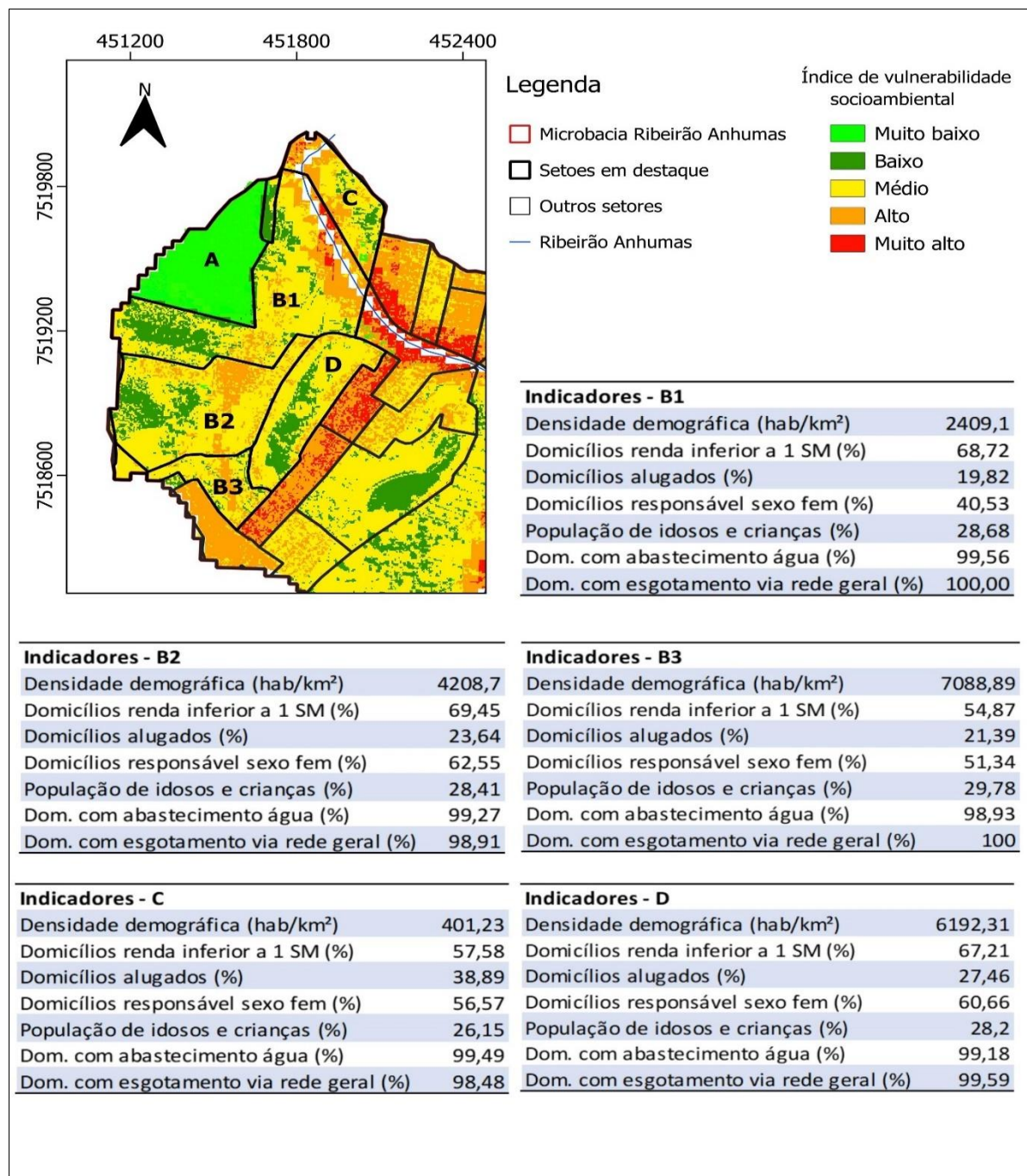
Já a região com baixo IVSA aparece em segundo lugar, cobrindo 32,01% dos limites da microbacia, também marcando forte presença na área rural, coincidindo com as áreas de vegetação mais densa. Essa vegetação é composta por árvores de raízes mais profundas, que ajudam a criar porosidade, facilitando a infiltração e reduzindo o escoamento superficial (COSTA & FERREIRA, 2009).

As classes alto e muito alto, que representam os maiores índices de vulnerabilidade socioambiental, estão presentes em 8,31% do território, localizadas principalmente dentro do perímetro urbano, onde existe uma maior população exposta ao risco e maiores índices de suscetibilidade a inundações. Por essa razão, a compreensão destes setores necessita de uma análise mais detalhada.

Nas Figuras 29 a 36 é possível observar com mais detalhes o comportamento do índice de vulnerabilidade socioambiental para os setores do perímetro urbano. Estes setores foram agrupados e analisados segundo sua proximidade, similaridade de características e pertencimento aos mesmos bairros, já que é o modo que a maioria das pessoas conhece a cidade, facilitando a identificação dos mesmos.

Também foi realizado o detalhamento dos resultados de todos os indicadores analisados para cada setor, visível em suas respectivas tabelas. Na Figura 29 são mostrados os detalhes para os setores de A a D.

Figura 29 – Ampliação do IVSA para os setores do perímetro urbano – A a D



Fonte: elaborado pelo autor

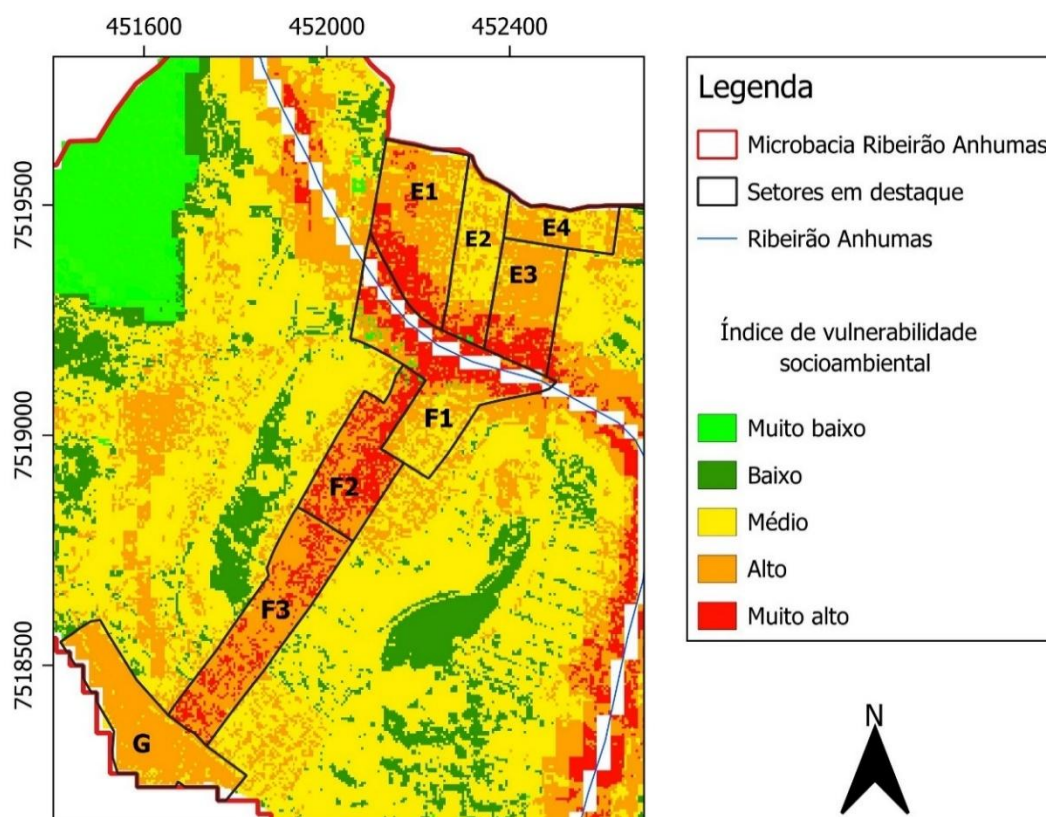
Começando pelo extremo superior esquerdo da bacia, o primeiro grupo foi dividido em 6 setores censitários, sendo eles A, B1, B2, B3, C e D. A maior parte da área categorizada como muito baixo está concentrada principalmente no setor A, já



que não possui nenhum morador, por se tratar de uma área pertencente ao Horto Florestal de Itajubá, completamente ocupada por vegetação arbórea. Essa característica evidencia a importância dessas áreas dentro do perímetro urbano, pois contribuem enormemente para estabilidade da bacia, por sua alta capacidade de absorção de água, fator comprovado pela análise de suscetibilidade a inundações (setor classificado como muito baixo, por suas características ambientais).

Os setores B1, B2 e B3 estão localizados no bairro Vila Podis, enquanto C no Boa Vista e D está no Santo Antônio. Todos esses setores possuem características semelhantes, apresentando em sua maioria médio e baixo IVSA, com um ou outro ponto mais crítico, principalmente em B1 e C, que estão próximos ao rio. Já na Figura 30, é possível visualizar os setores E (1 a 4), F (1 a 3) e G.

Figura 30 – Ampliação do IVSA para os setores do perímetro urbano – Grupos E a G



Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 9 – Indicadores detalhados para os setores de E a G

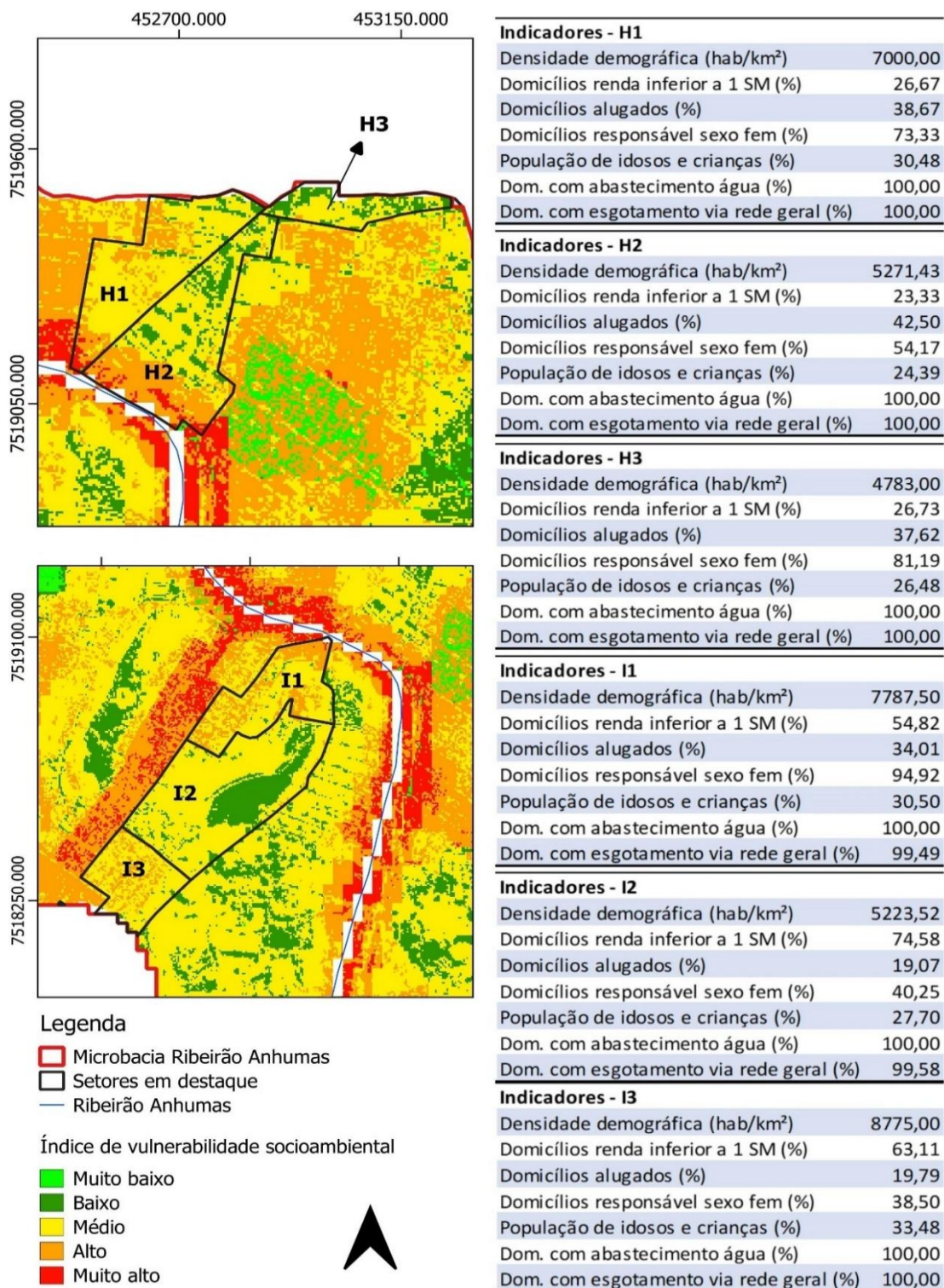
<b>Indicadores - E1</b>		<b>Indicadores - E2</b>	
Densidade demográfica (hab/km²)	12250,00	Densidade demográfica (hab/km²)	11575,00
Domicílios renda inferior a 1 SM (%)	48,33	Domicílios renda inferior a 1 SM (%)	38,93
Domicílios alugados (%)	25,00	Domicílios alugados (%)	31,54
Domicílios responsável sexo fem (%)	48,35	Domicílios responsável sexo fem (%)	63,76
População de idosos e crianças (%)	34,01	População de idosos e crianças (%)	31,10
Dom. com abastecimento água (%)	100,00	Dom. com abastecimento água (%)	100,00
Dom. com esgotamento via rede geral (%)	100,00	Dom. com esgotamento via rede geral (%)	95,30
<b>Indicadores - E3</b>		<b>Indicadores - E4</b>	
Densidade demográfica (hab/km²)	10975,00	Densidade demográfica (hab/km²)	10450,00
Domicílios renda inferior a 1 SM (%)	41,18	Domicílios renda inferior a 1 SM (%)	35,29
Domicílios alugados (%)	34,64	Domicílios alugados (%)	46,41
Domicílios responsável sexo fem (%)	60,13	Domicílios responsável sexo fem (%)	53,59
População de idosos e crianças (%)	35,54	População de idosos e crianças (%)	30,14
Dom. com abastecimento água (%)	100,00	Dom. com abastecimento água (%)	100,00
Dom. com esgotamento via rede geral (%)	99,35	Dom. com esgotamento via rede geral (%)	100,00
<b>Indicadores - F1</b>		<b>Indicadores - F2</b>	
Densidade demográfica (hab/km²)	8050,00	Densidade demográfica (hab/km²)	17775,00
Domicílios renda inferior a 1 SM (%)	54,59	Domicílios renda inferior a 1 SM (%)	64,59
Domicílios alugados (%)	35,27	Domicílios alugados (%)	22,49
Domicílios responsável sexo fem (%)	49,28	Domicílios responsável sexo fem (%)	91,39
População de idosos e crianças (%)	29,04	População de idosos e crianças (%)	33,47
Dom. com abastecimento água (%)	100,00	Dom. com abastecimento água (%)	100,00
Dom. com esgotamento via rede geral (%)	100,00	Dom. com esgotamento via rede geral (%)	99,54
<b>Indicadores - F3</b>		<b>Indicadores - G</b>	
Densidade demográfica (hab/km²)	14883,32	Densidade demográfica (hab/km²)	13433,32
Domicílios renda inferior a 1 SM (%)	73,52	Domicílios renda inferior a 1 SM (%)	69,78
Domicílios alugados (%)	26,88	Domicílios alugados (%)	17,33
Domicílios responsável sexo fem (%)	48,62	Domicílios responsável sexo fem (%)	59,11
População de idosos e crianças (%)	33,82	População de idosos e crianças (%)	31,02
Dom. com abastecimento água (%)	100,00	Dom. com abastecimento água (%)	100,00
Dom. com esgotamento via rede geral (%)	99,60	Dom. com esgotamento via rede geral (%)	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

Seguindo para a porção central da bacia, estão localizados os setores com maior concentração de índice alto e muito alto de vulnerabilidade socioambiental, sendo que E1, E2, E3 e E4 estão todos localizados no bairro Avenida, enquanto F1, F2 e F3 no Santo Antônio e G na divisa entre os bairros Santa Luzia e Jardim Bernadete. Observa-se que todos são setores altamente povoados, o que contribui muito para o alto valor dos índices encontrados, principalmente para os setores E1, F2 e F3, os mais críticos e habitados da região. Além disso, chama-se atenção também para as altas porcentagens de domicílios com renda inferior a um salário mínimo para os setores F2, F3 e G, com média de 69,23%. Dentre os fatores sociais,

a renda é o principal fator para se recuperar dos possíveis desastres relacionados a enchentes. A figura 31 apresenta os dados para os setores H (1 a 3) e I (1 a 3).

Figura 31 – Ampliação do IVSA para os setores do perímetro urbano – Grupos H a G

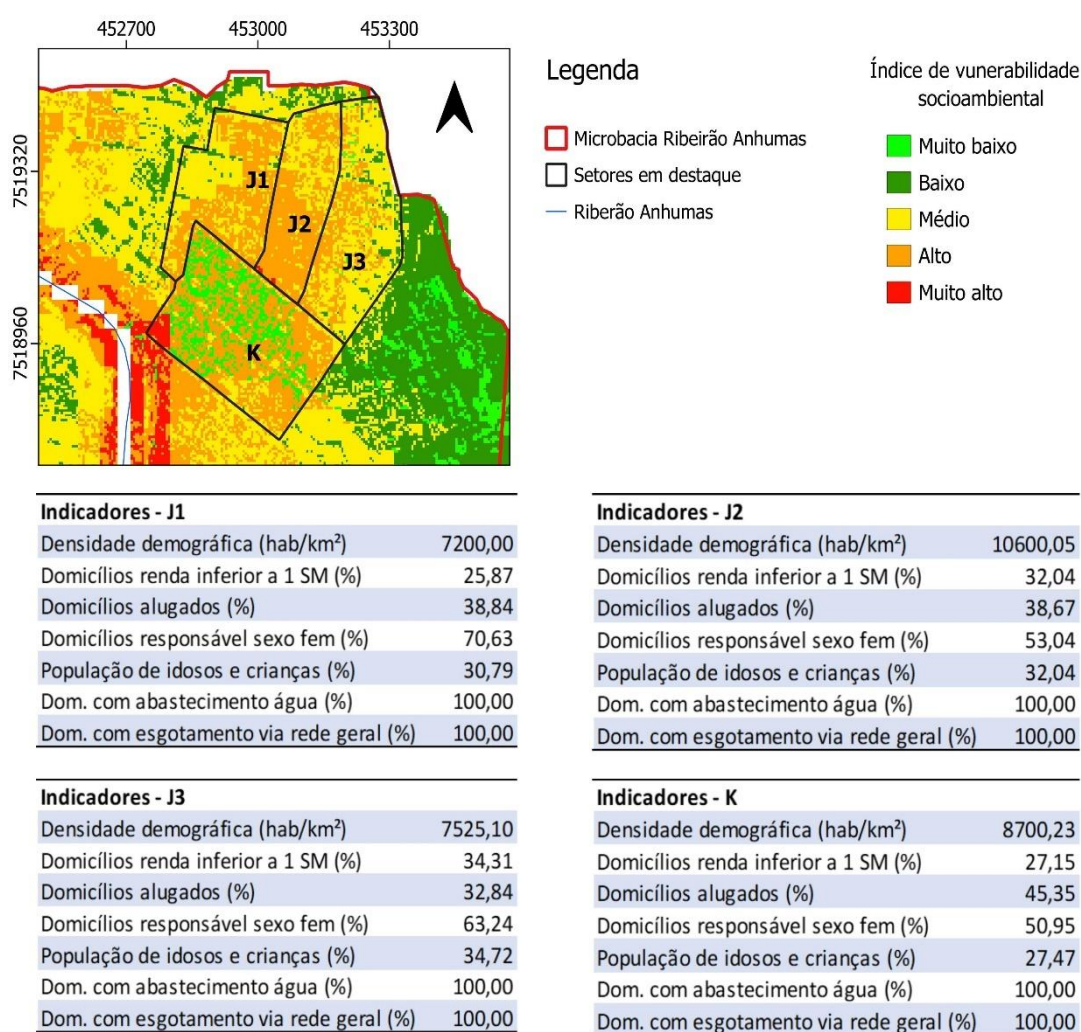


Fonte: elaborado pelo autor



Enquanto H1 localiza-se no bairro Avenida, H2 está no Medicina e H3 no São Vicente. Por sua vez, I1 encontra-se no bairro Santo Antônio, e I2 e I3 no Santa Luzia. Estes são setores que apresentam algum risco somente próximo ao rio (principalmente H2), tendo comportamento estável no restante das variáveis, com boa infraestrutura e renda. Os setores I2 e I3, apesar de apresentarem altos índices de domicílios com baixa renda (74,58% e 68,11% respectivamente) têm pouca probabilidade de inundação, por estarem distantes do rio e possuírem características topográficas favoráveis ao não acúmulo de água. Na Figura 32, é possível observar em detalhes os setores J (1 a 3) e K.

Figura 32 – Ampliação do IVSA para os setores do perímetro urbano - Grupos J e K



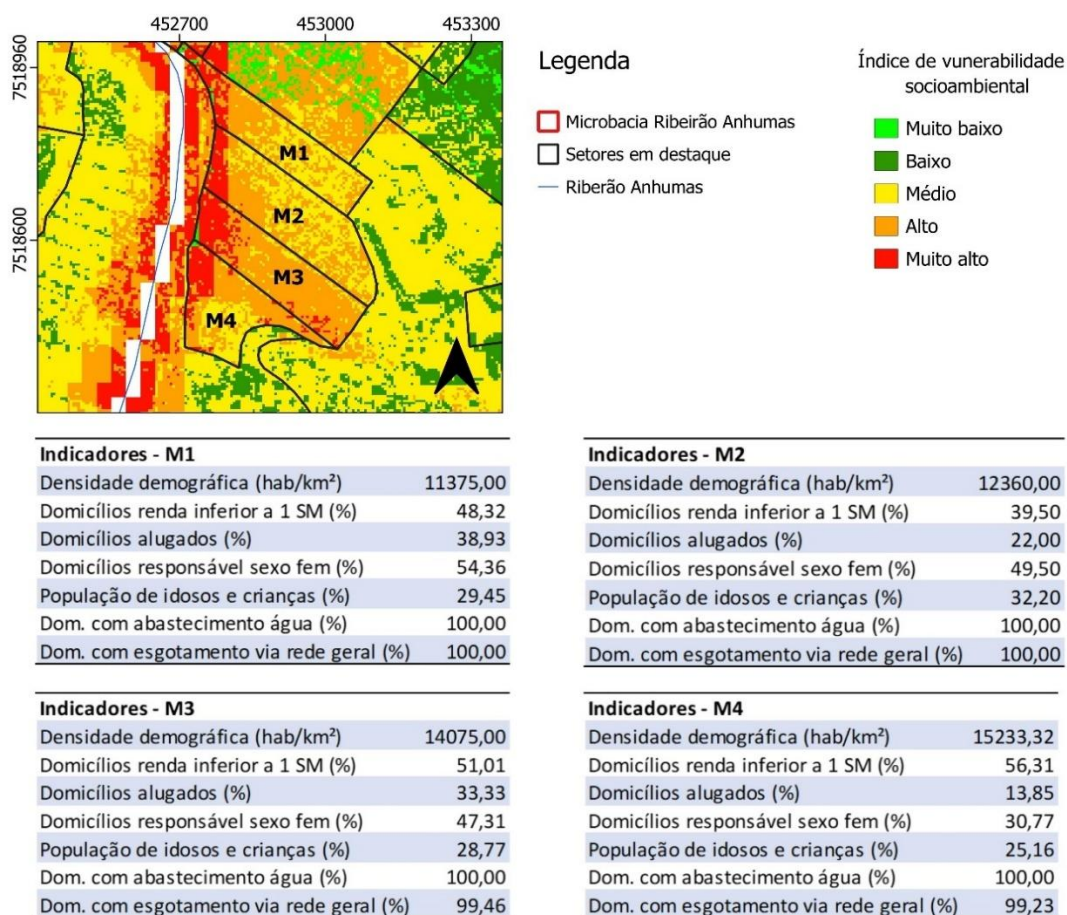
Fonte: elaborado pelo autor

Os setores J1, J2 e J3 pertencem ao bairro São Vicente, enquanto K está localizado no Medicina. Ambos os 3 primeiros apresentam porcentagem significativa



do índice alto de vulnerabilidade socioambiental, devido à alta densidade demográfica e o elevado número de domicílios com responsável do sexo feminino, chegando a 70% em J1 e mais de 60% em J3. Segundo Neumayer e Plümper (2007) os desastres naturais afetam a expectativa de vida de mulheres de maneira distinta em relação aos homens, não apenas devido a exposições físicas e diferenças fisiológicas, mas também por fatores de discriminação e desigualdade de gênero. Além disso, em desastres mais graves, há uma maior mortalidade entre mulheres, e a idade média das vítimas femininas é inferior à dos homens. Já o setor K é diferente, pois mescla índices altos com muito baixos. Ao mesmo tempo que possui boa renda (baixo índice de domicílios com menos de 1 salário mínimo), boa infraestrutura e baixa população de idosos e crianças, apresentou muito domicílios alugados e pouco mais de 50% de domicílios com responsável do sexo feminino

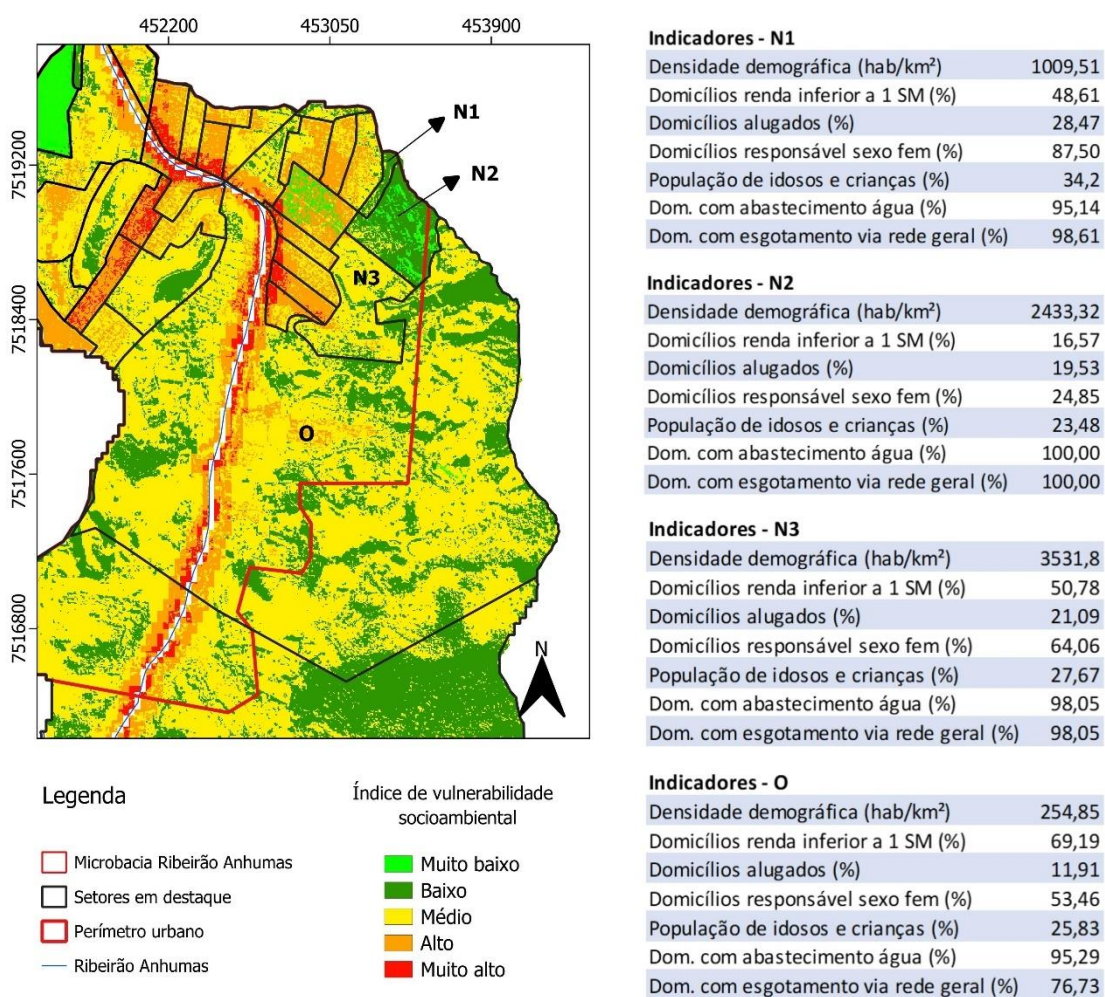
Figura 33 – Ampliação do IVSA para os setores do perímetro urbano – Grupo M (1 a 4)



Fonte: elaborado pelo autor

Logo abaixo do setor K, estão localizados os próximos setores analisados, sendo eles M1, M2, M3 e M4, na Figura 33. Todo este grupo de setores pertence ao bairro Medicina e possuem um comportamento parecido, pois além de terem tamanhos similares, estão muito próximos ao rio e são densamente povoados. Esta é uma área crítica que eventualmente sofre com as enchentes, e compõe o grupo de setores com maiores IVSA, juntamente com os grupos E e F. Chama-se atenção principalmente aos setores M3 e M4, que possuem mais de 50% de domicílios com baixa renda cada. Por fim, o próximo grupo da Figura 34 é composto pelos setores N1, N2, N3 e O.

Figura 34 – Ampliação do IVSA para os setores do perímetro urbano – Grupo N e O



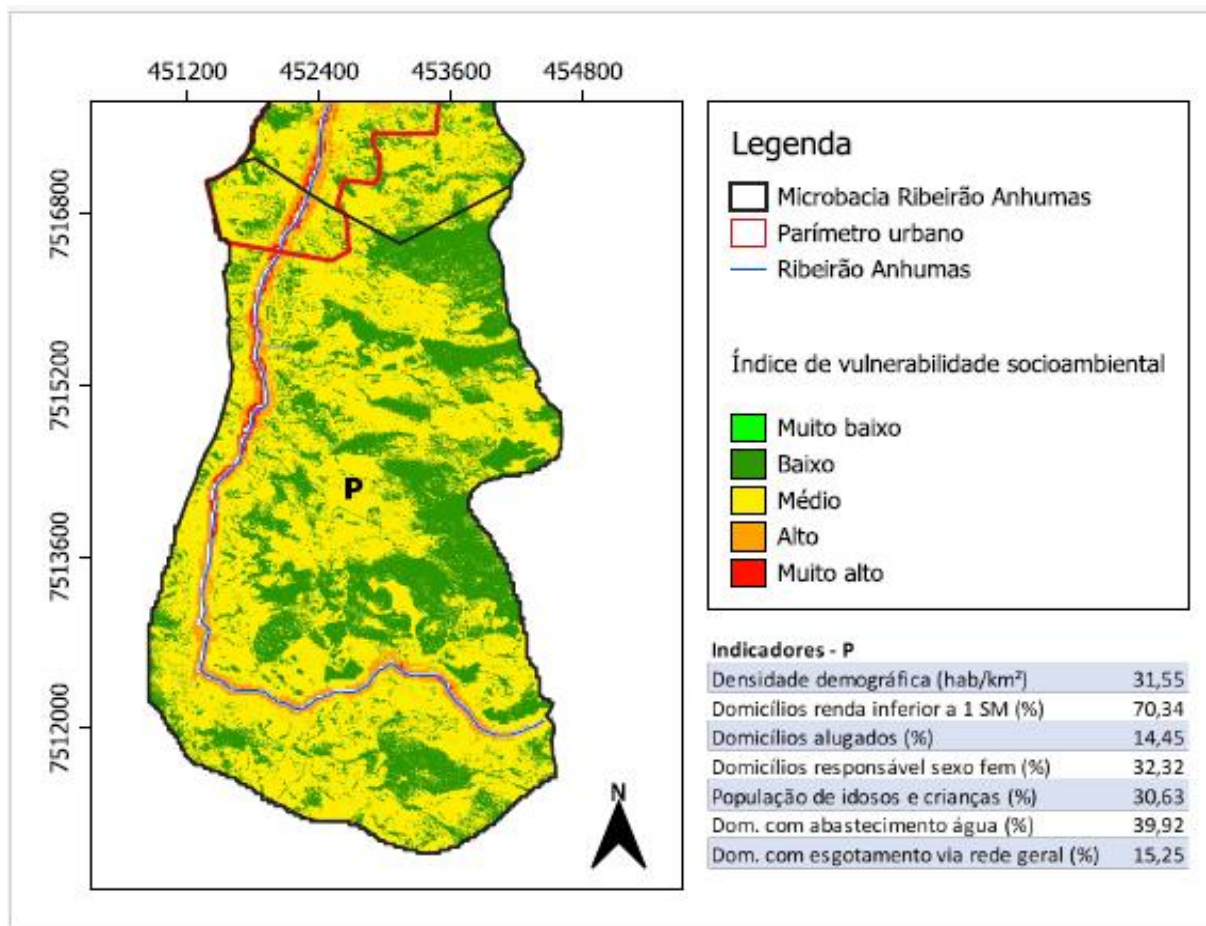
Fonte: elaborado pelo autor

Os setores N1, N2 e N3 também estão localizados no bairro Medicina, mas diferentemente dos setores do grupo M (1 a 4), eles estão afastados do rio, já

próximos da área rural, e possuem baixa densidade populacional. Destaca-se N2 como o setor da área urbana menos vulnerável da bacia, pois além dos fatores mencionados anteriormente, possui ótimos índices sociais em praticamente todas as variáveis, com uma boa renda, baixa porcentagem de domicílios alugados e baixa porcentagem de populações vulneráveis. Já o setor O é o maior setor da área urbana, e que também pega o setor rural (porém praticamente não há domicílios nessa região), e está situado entres os bairros Santa Luzia e Anhumas.

Tanto N3 quanto O possuem grandes áreas de médio e baixo IVSA e já são áreas um pouco mais afastadas do núcleo urbano, pouco povoadas. Eles estão na transição entre a área urbana e área rural, apresentando mais vegetação e menos impermeabilização do solo. Este contraste entre os diferentes setores ajuda a compreender como cada uma das variáveis influencia de forma a determinar a vulnerabilidade das áreas, juntamente com suas características ambientais. Na Figura 35 é possível ver o setor P, único setor rural localizado dentro da microbacia.

Figura 35 – Ampliação do IVSA para o setor P da área rural

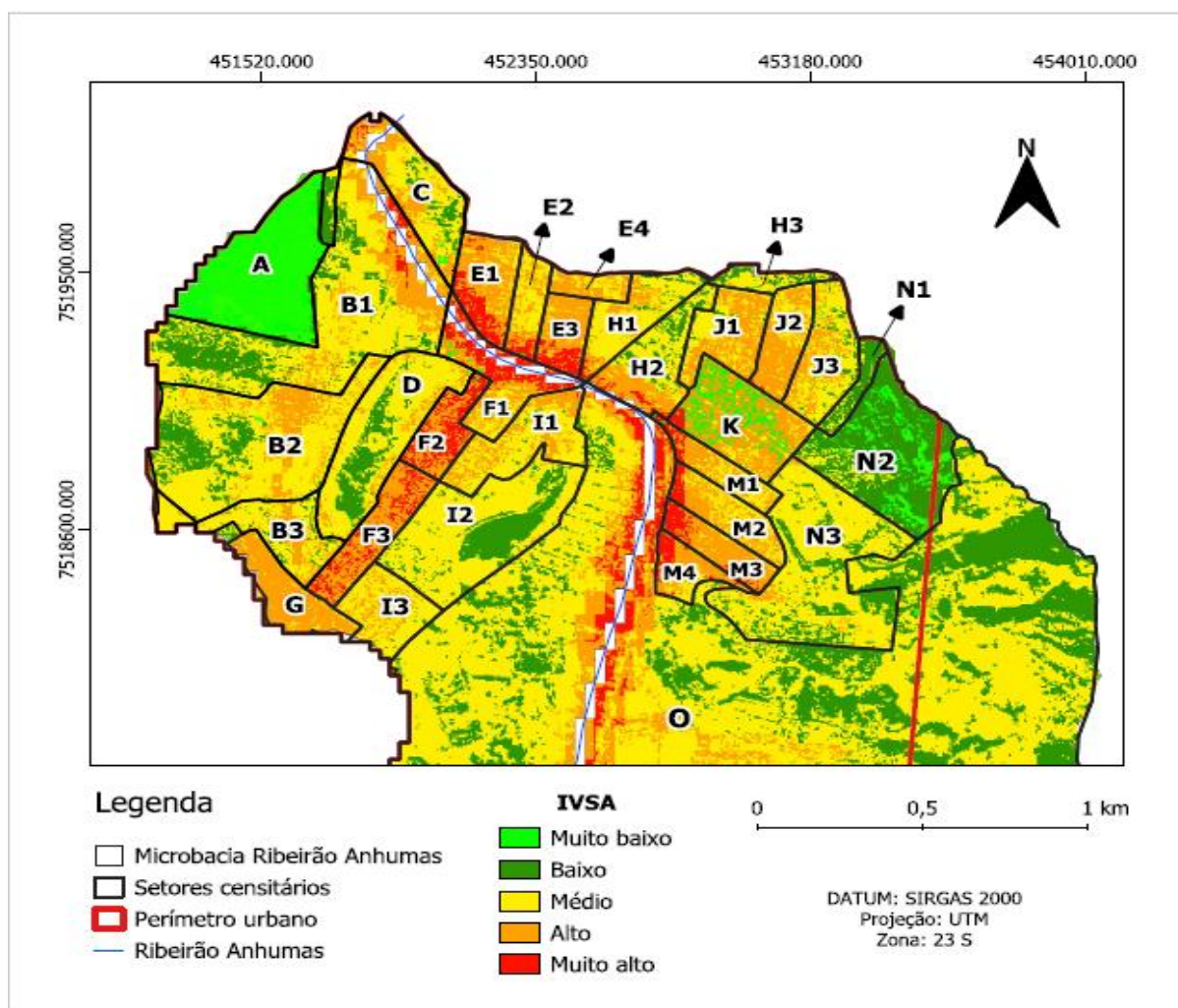


Fonte: elaborado pelo autor



O setor P está praticamente todo situado na área rural, e suas características já foram analisadas no tópico 6.3, sendo o setor com menor densidade em toda bacia, e praticamente não oferece riscos a seus moradores. No entanto, o poder público deve estar atento a essas populações, já que a falta de infraestrutura adequada nessas áreas não só compromete o acesso à água potável e ao saneamento, mas também favorece a contaminação e a disseminação de doenças, principalmente nas regiões em que se faz uso da fossa séptica, cenário em que as fossas podem transbordar ou ser contaminadas pela entrada de água da enchente (PORTELA et al., 2020). Na Figura 36 é possível observar todos os 32 setores do perímetro urbano que foram analisados.

Figura 36 – Ampliação do IVSA para todos os setores do perímetro urbano



Fonte: elaborado pelo autor

Mesmo com o fator ambiental (ISI) recebendo o maior peso no cálculo final do índice de vulnerabilidade social (IVSA), nota-se a grande influência que os fatores

sociais possuem, aumentando consideravelmente a vulnerabilidade da população, como é possível observar nos setores com predominância das cores vermelha e laranja. Neste caso, os setores que apresentaram os maiores índices foram: E1, E3, F2, F3 e M3, seguidos por F1 e M4.

Também vale ressaltar que parte da região que compreende os setores E3, H1, H2, J1, J2, J3 e K são as que apresentaram maior índice topográfico de umidade (ITU) e, portanto, são naturalmente propensos ao acúmulo de água. Além disso, na região central do setor O é onde está havendo uma expansão urbana (vide Figura 7), e deve-se tomar os cuidados necessários para que se respeite a distância do rio e as limitações do local, assim como a implementação de infraestrutura adequada de saneamento e drenagem das águas da chuva.

É importante destacar que outras variáveis poderiam ser incorporadas ao mapeamento da vulnerabilidade a inundações, como o tipo de pavimentação, qualidade dos acessos a serviços essenciais, presença de rotas de fuga, o tipo específico de cada vegetação, estrutura e altura das edificações, entre outros. A escolha dos indicadores, no entanto, envolve um processo complexo que depende da disponibilidade de dados e da necessidade de uma abordagem integrada da vulnerabilidade, ao passo que simplifique a realidade da área de estudo e forneça subsídios para a compreensão do fenômeno estudado (BIRKMANN et al., 2013).

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1 Proposição de melhorias na região – soluções baseadas na natureza

Neste tópico busca-se sugerir algumas estratégias, incluindo estudos e melhorias na área analisada, de forma a garantir a segurança dos que lá vivem e aumentar os índices de resiliência do local. Dentre essas estratégias, a utilização da natureza como uma aliada no combate aos impactos adversos do clima tem se destacado pela sua eficácia e sustentabilidade (COHEN-SHACHAM et al., 2016).

As soluções baseadas na natureza são abordagens que utilizam processos e componentes naturais para enfrentar desafios ambientais, sociais e econômicos. Essas soluções visam a proteção, gestão sustentável e restauração de ecossistemas naturais e modificados, promovendo simultaneamente benefícios à biodiversidade e ao bem-estar humano (EUROPEAN COMMISSION, 2023). A ideia principal por trás destas soluções é trazer a natureza de volta às cidades, para desempenhar seu papel mais importante, e fazer o que fez desde sempre, que é regular e adaptar-se às condições ambientais da Terra, e com isso, proteger seu entorno.

Diferentemente das soluções tradicionais, também conhecidas como infraestrutura cinza (por suas obras de concreto), que muitas vezes são ineficientes, limitadas, e de alto custo para serem implementadas, a premissa das soluções baseadas na natureza é que há uma alternativa mais eficiente, duradoura, e barata, tanto para ser implementada quanto para manter, na tentativa de controlar os efeitos sofridos pelos ecossistemas e territórios. Seu princípio básico inclui a priorização da conservação ambiental, e a partir disso elaborar soluções que respeitem e fortaleçam os sistemas naturais, reduzindo os riscos a desastres e favorecendo adaptações climáticas (DEPIETRI & MCPHEARSON, 2017).

Diversas soluções naturais podem ser aplicadas na microbacia do Ribeirão Anhumas. Uma possibilidade viável é conectar os fragmentos florestais encontrados na bacia, criando corredores ecológicos que ajudam a enfrentar enchentes e deslizamentos nos momentos mais críticos. Na Figura 11 (página 46), que mostra a ocupação no perímetro urbano, é possível identificar alguns destes fragmentos. A região já possui um grande ponto de referência para realizar essas conexões, que é a grande área verde do Horto Florestal (setor A), além de uma grande área de

interesse ambiental (Figura 11), com grande área vegetada nos extremos da microbacia.

Uma sugestão de estudo é fazer um mapeamento de todas as áreas verdes no entorno e dentro da microbacia, apontando a viabilidade de conexão entre elas. Investir na mobilidade ativa e áreas de recreação através da criação de parques lineares também faz parte dessa estratégia, pois além de ajudar a interligar essas áreas verdes, promove inúmeros benefícios para a cidade, como aumento do conforto térmico e a opção de rotas alternativas de deslocamento.

Essas soluções, aliadas a medidas estruturais e políticas públicas, podem ser uma estratégia eficaz e sustentável para enfrentar os desafios impostos pelos eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes no Brasil, onde a natureza pode ser uma aliada poderosa na luta contra os impactos das mudanças climáticas.

## **7.2 Conclusões**

Até pouco tempo atrás, quando se falava a respeito de mudanças climáticas e suas consequências, dificilmente questões como urbanismo e políticas municipais eram relacionadas conjuntamente. Eventos recentes, como as trágicas enchentes no Rio Grande do Sul, trouxeram à tona novamente um problema que exige um olhar focado nas reais causas do problema, assim como pensar nas soluções que sejam efetivas a longo prazo. Essas soluções passam obrigatoriamente pelo planejamento urbano, que deve assumir um papel central no combate aos efeitos das mudanças climáticas e na resiliência das cidades. E para que ocorra o planejamento urbano adequado, é necessária uma análise ampla e detalhada da área desejada, de modo a compreender sua dinâmica e características principais.

Sendo assim, através deste estudo da vulnerabilidade socioambiental da microbacia do Ribeirão Anhumas, localizada no município de Itajubá, foi possível observar as áreas mais e menos vulneráveis a inundações, permitindo identificar de que modo as condições ambientais, econômicas, sociais e demográficas influenciam neste fenômeno em todos os 34 setores censitários presentes na microbacia.

O mapeamento da dimensão ambiental mostrou que 5,19% da microbacia apresenta altos índices de suscetibilidade a inundações, indicando uma tendência de acúmulo de água em alguns setores, principalmente na região que interliga os bairros Avenida, São Vicente e Medicina, compreendendo os setores: E3, H1, H2, J1, J2, J3

e K. Já a análise da vulnerabilidade social evidenciou as discrepâncias sociais existentes dentro do perímetro urbano, onde comprovou-se que a combinação de áreas densamente povoadas com populações de baixa renda geram cenários de muita preocupação em relação à vulnerabilidade socioambiental, e devem ser os setores priorizados para a implementação de medidas mitigadoras, que amenizem os riscos relacionados a enchentes.

Em relação a estes setores mais suscetíveis aos eventos de inundação, que obtiveram os índices alto e muito alto de IVSA, considerando a combinação dos fatores sociais e ambientais, eles correspondem a 8,31% do território da microbacia, e estão localizados principalmente no perímetro urbano, com destaque negativo para os setores F1, F2 e F3, situados nos bairros Santo Antônio e Santa Luzia; E1 e E2, situados no bairro Avenida e M3 e M4 situados no bairro Medicina.

Dessa forma, através dos dados socioeconômicos provenientes do censo demográfico do IBGE e de análises ambientais utilizando geoprocessamento, a proposta metodológica utilizada neste trabalho possibilitou a criação de um índice de vulnerabilidade socioambiental aplicado aos setores censitários da microbacia, fornecendo informações importantes a nível local e regional, acerca das populações que necessitam de um olhar cuidadoso do poder público, seja por estarem mais expostas ao risco, seja por estarem em situação de vulnerabilidade socioeconômica.

Uma das limitações do estudo foi a indisponibilidade de dados mais recentes, uma vez que os mesmos não foram disponibilizados a tempo pelo IBGE para o uso. Portanto, é importante replicar a metodologia com os dados do Censo de 2022, o que também pode servir posteriormente como um comparativo de como ocorreu a dinâmica das transformações sociais durante esse período. A atualização dos dados também é importante em razão da constante expansão urbana que ocorre nas cidades.

Entretanto, a aplicação do IVSA proposto mostrou-se eficaz em atender aos objetivos do estudo, oferecendo uma visão detalhada das vulnerabilidades socioambientais da área analisada. No cenário brasileiro, caracterizado por acentuadas desigualdades sociais, compreender a distribuição da vulnerabilidade é essencial para a formulação de políticas que mitiguem os impactos das enchentes, para além de somente identificar as áreas de risco ambiental.

Através do conhecimento das áreas suscetíveis é possível realizar o controle da expansão urbana e o desenvolvimento de ações de redução de risco voltadas para



as áreas que já estão ocupadas. O planejamento de medidas preventivas é essencial para reduzir a ocorrência dos eventos, como melhorias na drenagem urbana, planejamento do uso e ocupação do solo e o gerenciamento de resíduos. Além disso, sistemas de alerta e políticas públicas sobre mudanças climáticas e desastres naturais também são fundamentais.

## 8 REFERÊNCIAS

ACSERALD, H. Vulnerabilidade ambiental, processos e relações. Comunicação ao II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais, FIBGE, Rio de Janeiro, 2006.

ACSELRAD, H., MELLO, C. C. D. A., & BEZERRA, G. D. N. O que é justiça ambiental? Rio de Janeiro: Garamond. 2009.

ADGER, W. N. Vulnerability. *Global Environmental Change*, v. 16, n. 3, p. 268-281, 2006. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006.

ALMEIDA, J. L.; SILVA, V. A. R.; SANTOS, J. S., SANTOS, J. R. N., ARAÚJO, M. L. S.; PYLES, M. V.; SILVA, F. B. O cenário de fragilidade ambiental do baixo curso do rio Mearim. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n.01, p. 102-120, 2020.

ALVES, Humberto Prates da Fonseca. Análise de um indicador de vulnerabilidade socioambiental da Região Metropolitana de Campinas no contexto das mudanças climáticas. In. XIX Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, realizado em São Pedro/SP – Brasil. 2014. Disponível em: <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/2064/2022>. Data de acesso: 03/10/2023.

ALVES, R. F.; SILVA S. A. S.; ALVAREZ W. P. Relação de Voçorocas e áreas de fragilidade ambiental na microbacia do rio Jaracuçu no município de Brasil Novo - Pará. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, v.22, n.31, p. 01-18, 2018.

ALVIOLI, M.; MELILLO, M.; GUZZETTI, F.; ROSSI, M.; PALAZZI, E.; von HARDENBERG, J.; BRUNETTI, M.T.; PERUCCACCI, S. Implications of climate change on landslid ehazard in Central Italy. *Science of The Total Environment*, v. 630, p. 1528-1543, 2018.

ALVINO-BORBA, A.; GUERRA, P. M.; MOREIRA, L. A. G.; SACHT, H. M.; ALMEIDA, J. A.; MATA-LIMA, H. Desastres naturais no Brasil e no mundo: uma análise holística com ênfase nos impactos dos eventos hidrológicos e meteorológicos. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p. 73718-73740, 2020.

AMÂNCIO, D. V.; COELHO, G.; MARQUES, R. F. P. V.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.. Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos rios Capivari e Mortes, Minas Gerais. *Scientia Agraria, Curitiba*, v.19, n.1, p.75-86, 2018. DOI:<http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v19i1.53175>

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. D.; SANTORO, J.; AMARAL, R (Org.). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. cap. 3, p. 39-52.

AMORIM, R. R. Um novo olhar na Geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas antrópicos e sistemas ambientais. Revista Caminhos de Geografia. Uberlândia v. 13, n. 41. P.80-101. 2012.

ANA (Agência Nacional de Águas). Relatórios de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 14 maio 2024.

ARAÚJO, S. M. V. G. As Áreas de Preservação Permanente e a Questão Urbana. Consultoria Legislativa da Área XI Meio Ambiente e Direito Ambiental, Organização Territorial, Desenvolvimento Urbano e Regional. Brasília, Câmara dos Deputados, Estudo de agosto de 2002.

ANA. Agência Nacional de Águas. Dados de série histórica: estação pluviométrica 02245083. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. 2019. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 11 mar. 2021

BAER, P.; ATHANASIOU, T. The Greenhouse Development Rights Framework. Heinrich Böll Foundation, 2008.

BARBOSA A. A.; OLIVEIRA G. M.; OLIVEIRA T. J. Histórico de enchentes em Itajubá. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, v.9 , n. 4 , jul - dez, 2015.

BARBOSA, A. A. et al (org). Relatório da Comissão de Avaliação Técnica para Recuperação e Urbanização das Margens do Rio Sapucaí e seus Afluentes da Área Urbana. Itajubá: UNIFEI. p. 61, 2000.

BARROS, R. G. L.; SANTOS, A. M. Panorama dos estudos sobre vulnerabilidade socioambiental aos eventos pluviométricos extremos. Revista Geográfica Venezolana, v. 63, n. 2, pg. 166-179, 2022. Disponível em: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/48890>. Acesso em: 15 set. 2023.

BARROS, D. P. Diagnóstico da cobertura vegetal da cidade de Itajubá/MG, utilizando geoprocessamento e proposta de plano de manejo. 2015. 134 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

BARROS, M. T. L. de. Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento. In PHILIPPI Jr. A, Saneamento, saúde e ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Manole, - (coleção Ambiental; 2). 2005

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. Infiltração da água no solo, 2. ed. Editora UFV, Viçosa: 2003, 98p.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. The Nature and Properties of Soils. Pearson, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Comparação entre enchentes, inundações e alagamentos no contexto urbano. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/e/enchentes>. Acesso em: 15 abr. 2025.

BEVEN, K. J. Rainfall-runoff modelling: The Primer. John Wiley & Sons, 2019.

BECK, U. Risk Society. Towards a New Modernity. London: Sage Publications, 1992.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. v. 3.

BIRKMANN, J.; BIRKMANN, J.; CARDONA, O. D.; CARREÑO, M. L.; BARBAT, A. H.; PELLING, M.; SCHNEIDERBAUER, S.; KIENBERGER, S.; KEILER, M.; ALEXANDER, D.; ZEIL, P.; WELLE, T. Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. Natural hazards, v. 67, n. 2, p. 193-211, 2013.

CARVALHO, P. S. R. Estudo da propagação de ondas de cheias no Ribeirão José Pereira, em Itajubá, utilizando HEC-RAS. Itajubá. UNIFEI, p. 12, 2012.

CARVALHO, M. B. Mapeamento das suscetibilidades a inundações e movimentos de massa usando SIG no município de Itajubá, MG. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.

CANHOLI, Aluísio Pardo. Drenagem urbana e controle de enchentes. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 384 p.

CEPED. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

CHEN, C. -W.; TUNG, Y. -S.; LIOU, J. -J.; LI, H. -C.; CHENG, C.-T.; CHEN, Y.-M.; OGUCHI, T. Assessing landslide characteristics in a changing climate in northern Taiwan. Catena, v. 175, p. 263-277, 2019.

CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. Social Vulnerability to Environmental Hazards. Social Science Quarterly, v. 84, n. 2, p. 242-261, 2003. DOI: 10.1111/1540-6237.8402002.

CUTTER, S. L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. Revista Crítica de Ciências Sociais, v. 93, n. 1, p. 59-70, jun. 2011.

CUNHA, L. Vulnerabilidade: a face menos visível do estudo dos riscos naturais. Riscos naturais, antrópicos e mistos. Homenagem ao Professor Fernando Rebelo, n. November, p. 153–165, 2013.

COHEN-SHACHAM, E.; WALTERS, G.; JANZEN, C.; MAGINNIS, S. Nature-based solutions to address global societal challenges. IUCN International Union for Conservation of Nature, 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. Danos e Prejuízos Causados por Desastres no Brasil entre 2013 a 2022. Brasília: CNM, abril de 2022. Disponível em: [https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/Danos%20e%20Preju%C3%ADzos%20causados%20por%20desastres\\_2013%20a%202022\\_atualizado%20em%20abril.pdf](https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/Danos%20e%20Preju%C3%ADzos%20causados%20por%20desastres_2013%20a%202022_atualizado%20em%20abril.pdf). Acesso em: 19 maio 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. Danos e Prejuízos Causados por Excesso de Chuvas em Todo o Brasil entre 10 e 31 de dezembro de 2022. Brasília: CNM, dezembro de 2022. Disponível em: [https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/ET\\_Defesa%20Civil\\_20230104\\_Danos%20e%20preju%C3%ADzos%20causados%20por%20excesso%20de%20chuvas%20em%20todo%20Brasil%20entre%2001%20e%2031%20de%20dez%202022.pdf](https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/ET_Defesa%20Civil_20230104_Danos%20e%20preju%C3%ADzos%20causados%20por%20excesso%20de%20chuvas%20em%20todo%20Brasil%20entre%2001%20e%2031%20de%20dez%202022.pdf). Acesso em: 19 maio 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. Desastres em 47% dos municípios forçaram mais de 4,3 milhões a deixarem suas casas nos últimos 10 anos. Brasília: julho de 2023. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/desastres-em-47-dos-municipios-forcaram-mais-de-4-2-milhoes-a-deixarem-suas-casas-nos-ultimos-10-anos>. Acesso em: 29/11/2023.

CONGEDO, L. *Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS*. *Journal of Open Source Software*, [S. l.], v. 6, n. 64, p. 3172, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHMANN, V.; BÖHNER, J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. **Geoscientific Model Development**, v. 8, p. 1991-2007, 2015.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICES (C3S). July 2023 sees multiple global temperature records broken. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/july-2023-sees-multiple-global-temperature-records-broken>. Publicado em 8 de agosto de 2023. Acesso em: 4 de outubro de 2023.

COSTA, L. M. Rios e paisagens urbanas em cidades brasileiras. Rio de Janeiro: PROURB – FAU - UFRJ, 2006.

COSTA, L. R. F.; OLIVEIRA, V. P. V.; SANTOS, J. O. Fragilidade ambiental no contexto de sítio urbano na sub-bacia hidrográfica do Rio Banabuiú - Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, p. 2580-2594, 2019.

COSTA, R. G. S.; FERREIRA, C. C. M. Análise do Índice de Áreas Verdes (IAV) na área central da cidade de Juiz de Fora, MG. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 4, n. 1, p. 39-57, 2009.

COURA, C. L.; SANTOS, P. D. Proposta de soluções para os problemas de enchentes na rua Delfim Moreira, localizada no Bairro medicina em Itajubá-MG. *Revista Univap* v. 22, n. 40, p.191-196, 2016.

CUNHA, S. B. Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João (Rio de Janeiro – Brasil). Editora do Instituto de Geociências da UFRJ: Rio de Janeiro. 378p. , 1995.

DAS, S. Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. **Arab. J. Geosci.**, v. 11, n. 19, p. 576, 2018.

DESCHAMPS, M. V. Estudo sobre a vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba. *Revista Cadernos de Metr  pole*, n   19, 1   semestre, p. 191-219. 2008.

DEPIETRI, Y, MCPHEARSON, T. Integrating the Grey, Green, and Blue in Cities: Nature-Based Solutions for Climate Change Adaptation and Risk Reduction. In: Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn, A. (eds) *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas. Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_6). 2017

DOLLAN, I. J., MAGGIONI, V., JOHNSTON, J., COELHO, G. A., & KINTER, J. L. III. (2022). Seasonal variability of future extreme precipitation and associated trends across the Contiguous U.S. *Frontiers in Climate*, 4, 954892, 2022. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.95489>

DUARTE, F. Planejamento urbano. 2   ed. Curitiba, Editora Ibpx, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classifica  o de solos. 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, p.212, 1997.

ENDRENY, T. Land use and land cover effects on runoff processes: Urban and Suburban Deveopment. Encyclopedia of Hydrological Sciences. Chichester: Wiley, 2006. Cap. 122. DOI: 10.1002/0470848944.hsa122.

EUROPEAN COMMISSION. Nature-based solutions, 2023. Disponível em: <https://research-and-innovation.ec.europa.eu>

ESPINDOLA, C. R. Material de origem do solo. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 59-70, 2017.

FARIA, C. E. T.; BARBOSA, A. A. Manchas de inundação no município de Itajubá-MG. ForScience, Formiga, v. 8, n. 2, e00594, jul./dez. 2020. DOI: 10.29069/forscience.2020v8n2.e594.

FELIX, R. R. O. M.; ALVES, V.; LIMA, J. P. Gestão do uso do solo no entorno do Rio Sapucaí em Itajubá (MG). urbe, Revista Brasileira de Gestão Urbana. v. 11, e20170180, 2019.

FORMAN, E. H.; GASS, S. I. O Processo Hierárquico Analítico: Uma Exposição. Operations Research, v. 49, n. 4, p. 469-486, 2001.

FRANCO, V. S.; SOUZA, A. LIMA. Floods and social vulnerability: study on the Xingu river in Altamira/PA. Ambiente & Sociedade, v. 21, 2018.

FREITAS, C. M.; CARVALHO, M. L.; XIMENES, E. F.; ARRAES, E. F.; GOMES, J. O. Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência – lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na região Serrana, Brasil. **Cien. Saúde Colet.**, v. 06, n. 17, p. 3689-3696, 2012.

FREITAS, M. I. C. e L. CUNHA. “Cartografia da vulnerabilidade socioambiental: convergências e divergências a partir de algumas experiências em Portugal e no Brasil”. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 5(1): 15-31, 2013.

FREITAS, L. E.; NUNES, F. S. B.; CRUZ, J. C. H. O.; VILELA, C.; MENDES, S.; SILVA, A. C.; BORGES, G. Atlas ambiental da bacia hidrográfica do Rio Macaé. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil, 2015. 96 p.

FREIRE, N. C. F.; BONFIM, C. V.; NATENZON, C. E. Vulnerabilidade socioambiental, inundações e repercussões na Saúde em regiões periféricas: o caso de Alagoas, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 19, n. 9, p. 3755-3762, 2014.

FREIMAN, F. P.; CARVALHO, C. O. Modelagem espacial de áreas suscetíveis a inundações baseada em um modelo multicritério híbrido e Sistema de Informação Geográfica: um estudo de caso aplicado a bacia do rio bengalas. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 3, 1145, 2020.

GHOSH, A.; KAR, S. K. Application of Analytical Hierarchy Process (AHP) for flood risk assessment. *Natural Hazards*, v. 94, n. 1, p. 369-369, 2018.

G1 Sul de Minas. *Forte chuva alaga ruas, inunda casas e até salas da Unifei, em Itajubá, MG*. [G1], 27 fev. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2023/02/27/forte-chuva-alaga-ruas-inunda-casas-e-ate-salas-da-unifei-em-itajuba-mg.ghtml>. Acesso em: 9 ago. 2024.

GIL, A.C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIRÃO, Í. R. F.; RABELO, D. R. e M. E. ZANELLA. 2018. “Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade”. *Revista de Geociências do Nordeste*, 4: 71-83.

GONÇALVES, T. G. Mapeamento digital de solos: predição de classes e atributos para o município de Itajubá, Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2019

GORSKI, Maria Cecilia Barbieri. Rios e cidades: ruptura e reconciliação. São Paulo, SP: Ed. Senac São Paulo, 2010.

GUERRA, F. C. Mapeamento das áreas de vulnerabilidades socioambientais aos riscos hidrológicos: inundações em Bragança Paulista - SP. 2020. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2020.

HUMMELL, B. M. L.; CUTTER, S. L.; EMRICH, C. T. Social vulnerability to natural hazards in Brazil. *Int J. Disaster Risk Sci* v. 7, n. 2, p. 111-122, 2016.

IBGE. Cidades e estados. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/itajuba.html>. Acesso em: 04 dez. 2022

IBGE. IBGE Cidades: Panorama de Itajubá. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itajuba/panorama>. Acesso em: 10 abr. 2020.

IBGE. População em Áreas de Risco no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

IBGE. Mapa Político. Mapa Político, [S. l.], p. xx, 1 jan. 2012. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/politico/MG\\_Politico.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/politico/MG_Politico.pdf). Acesso em: 16 set. 2022

IBGE. Censo demográfico: características da população e dos domicílios. Rio de Janeiro. Recuperado em 21 de setembro de 2017, de <http://www.ibge.gov.br/home/>: 2010.

IKEME, J. Equity, environmental justice and sustainability: incomplete approaches in climate change politics. *Global Environmental Change*, v. 13, n. 3, p. 195-206, 2003.



IPCC - Global Warming of 1.5 °C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for Policymakers. 2018. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/sr15/>>. Acesso em: 10 de maio de 2024.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edição organizada por V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu e B. Zhou. Cambridge University Press, 2021.

IPCC. The evidence is clear: the time for action is now. We can halve emissions by 2030. Genebra: IPCC, 4 de abril de 2022. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2022/04/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_PressRelease\\_English.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2022/04/IPCC_AR6_WGIII_PressRelease_English.pdf). Acesso em: 4 de outubro de 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Distribuição de Renda e Pobreza no Brasil: Avanços e Desafios. Brasília: IPEA, 2020. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br>. Acesso em: 12 jul. 2024.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Gráficos Climatológicos. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: [HTTPS://portal.inmet.gov.br/servicos/graficos-climatologicos](https://portal.inmet.gov.br/servicos/graficos-climatologicos). Acesso em: 22 de Maio de 2023

ITAJUBÁ. Lei Municipal nº 3352, de 17 de dezembro de 2019. Aprova o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município de Itajubá e dá outras providências. Itajubá: Câmara Municipal, 2019. Disponível em: <http://www.itajuba.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/01/Lei-3352.pdf>. Acesso em: 02 Maio de 2024.

KOKS, E.E.; JONGMAN, B.; HUSBY, T.G.; BOTZEN, W.J.W. Combining Hazard, Exposure and Social Vulnerability to Provide Lessons for flood Risk Management. *Environmental Science & Policy*, v. 47, p. 42-52, 2015.

LAPPAS, I.; KALLIORAS, A. Flood Susceptibility Assessment through GIS-Based Multi-Criteria Approach and Analytical Hierarchy Process (AHP) in a River Basin in Central Greece. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 6, n. 3, p. 738-751, 2019.

LEE, D.; AHMADUL, H.; PATZ, J.; BLOCK, P. Predicting social and health vulnerability to floods in Bangladesh. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 21, p. 1807-1823, 2021. doi: 10.5194/nhess-21-1807-2021

LABORATÓRIO DE INFORMAÇÕES HÍDRICAS - Cota Santa Rosa 1930 a 2015. Itajubá: 2015.

LATOUR, B. **Reagregando o Social: uma introdução à Teoria do Ator-Rede**. Trad. Gilson César Cardoso de Sousa. Salvador/Bauru: Edufba/Edusc, 2012.

LANDIS, J.R; KOCH, G.G. (1977) An Application of Hierarchical Kappa-Type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers. *Biometrics*, 33, 363-374. <https://doi.org/10.2307/2529786>

MALTA, F. S.; COSTA, E. M. Socio-Environmental Vulnerability Index: an application to Rio de Janeiro-Brazil. *International Journal of Public Health*, v. 66, p. 1-11, 2021.

MAPBIOMAS. Cidades crescem mais em áreas de risco a desastres climáticos. 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2023/10/31/cidades-crescem-mais-em-areas-de-risco-a-desastres-climaticos/>. Acesso em: 14 maio 2024.

MARAÑÓN, G.; MULGADO, I. P.; RODRÍGUEZ, A. A. Impacto ambiental del vertido de residuales en la cuenca hidrográfica Guaos-Gascón de Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*, v. 32, n. 1, p. 154-171, 2021. Disponível em: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S222454212020000100154&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S222454212020000100154&lng=es&tlng=es). Acesso em: 12 dez. 2020.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; YOUNG, A.; BARRETO, N. J. C.; RAMOS, A. M. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1472, n. 1, p. 5-20, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nyas.14307>. Acesso em: 19 maio 2023.

MARICATO, Ermínia. Brasil, cidades: Alternativas para a crise urbana. Editora: Vozes, Petrópolis, 2008.

MARQUES, M. L.; SILVA, M. C.; CAMARGO, D. M. Análise espacial da vulnerabilidade socioambiental no município de Campinas, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 9, n. 69, p. 1711-1723, 2017.

MARCHEZINI, V.; FORINI, H. A. Dimensões sociais da resiliência a desastres. **Redes**, v. 24, n. 2, p. 9-28, 3 maio 2019.

MATTIVI, P.; FRANCI, F.; LAMBERTINI, A.; BITELLI, G. TWI computation: a comparison of different open source giss. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, v. 4, n. 6, p. 1-12, 2019

MENDONÇA, M. B.; SILVA, D. R. Integration of census data based vulnerability in landslide risk mapping - The case of Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brazil. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 50, 101884, 2020.

MENDONÇA, F. Riscos e Vulnerabilidades Socioambientais Urbanos à Contingência Climática. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, vol. 9, núm. 1, pp. 153-163, dezembro de 2010.

MITCHAM, C. En busca de una nueva relacion entre ciencia, tecnologia y sociedad. In: MEDINA, M.; SANMARTÍN, J. (Ed.). *Ciencia, tecnología y sociedad: estudios interdisciplinarios en la universidad, en la educación y en la gestión política y social*. Barcelona: Anthropos, 1990. p. 11-19.

MONTGOMERY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 104, n. 33, p. 13268-13272, 2007.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R.; LADSON, A. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrol. Process*, v. 5, n.1, p. 3-30, 1991.

MORAES, I. C.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L.; MORUZZI, R. B. Comparação de metodologias na definição de fluxos acumulados a partir de modelos digitais de elevação do terreno aplicado a suscetibilidade de inundações. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 2, p. 223-235, 2014.

MOISA, M. B.; DEJENE, I. N.; MERGA, B. B.; GEMEDA, D. O. Impacts of land use/land cover dynamics on land surface temperature using geospatial techniques in Anger River Sub-basin, Western Ethiopia. *Environmental Earth Sciences*, v. 81, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10221-2>

MUNDA, G.; NARDO, M. Indicadores compostos não compensatórios para classificação de países: uma abordagem defensável. *Ecological Economics*, v. 68, n. 10, p. 3066-3078, 2009.

MUNDO EDUCAÇÃO. *Elementos de uma bacia hidrográfica* [imagem]. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/bacia-hidrografica.htm>. Acesso em: 30 abr. 2025.

NEGRÃO, J. B. A.; GEMAQUE, V. H. M. Levantamento de dispositivos de drenagem de vias urbanas com funcionamento comprometido: estudo de caso (Belém/PA). 2010. 77 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

NEUMAYER, E.; PLÜMPER, T. The Gendered Nature of Natural Disasters: The Impact of Catastrophic Events on the Gender Gap in Life Expectancy, 1981–2002. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 97, n. 3, p. 551-66, 2007.

NOLL, J. F. Entre o líquido e o sólido: paisagens arquitetônicas nos limites e bordas fluviais. Blumenau: Edifurb, 2010

NUNES, L. H. Urbanização e desastres naturais, abrangência América do Sul. São Paulo: Oficina de Textos, 112 p., 2015.

NUR, I.; SHRESTHA, K. K. An integrative perspective on community vulnerability to flooding in cities of developing countries. *Procedia Engineering*, v. 198, p. 958-967, 2017.

ODUM, E. P.. Ecologia. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan, 1983.

OLIVEIRA, A. H.; KLINKE NETO, G.; PEREIRA, S. Y. Análise do relevo para o mapeamento de áreas favoráveis ao processo de infiltração. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 19., 2016, Campinas. Anais [...]. ABAS, 2016. p. 1-9.

PAIVA, A. C. E.; NATHÁLIA, N.; RODRIGUEZ, D. A.; TOMASELLA, J.; CARRIELLO, F.; REZENDE, F. S.. Urban expansion and its impact on water security: The case of the Paraíba do Sul River Basin, São Paulo, Brazil. *Science of the Total Environment*, v.720, n.137509, 2020. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137509>

PHILIPPI Jr, A; AGUIAR, A. de O. e. Resíduos sólidos: características e gerenciamento. In Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. 2º ed. MANOLE, 2005.

PINHEIRO, M. V. Avaliação Técnica e histórica das Enchentes em Itajubá. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>. Acesso em: 04 jan. 2021.

PORTELA, F. C.; KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. Panorama brasileiro da relação entre leptospirose e inundações. *Geosul*, v. 35, n. 75, p. 711-734, 2020.

PROVITOLLO, D. 2007. “Vulnérabilité aux inondations méditerranéennes en milieu urbain: une nouvelle démarche géographique”. *Annales de Géographie*, Armand Colin. 623(1): 23-40.

PROAG, V. The Concept of Vulnerability and Resilience. *Procedia Economics And Finance*, v. 18, p. 369-376, 2014.

QUINN, P.; BEVEN, K.; CHEVALLIER, P.; PLANCHON, O. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological Processes*, v. 5, n. 1, p. 59-79, 1991.

RAMOS, J. R. L.; ELMIRO, M. A. T.; NERO, M. A.; TEMBA, P. C.; ROSA, G. Lógica fuzzy associada ao risco de inundação no município de Nova Lima/MG. *Geografias*, v. 26, n. 2, p. 125-144, 2018.

REBOITA, M. S.; CORRÊA, M. P.; RODRIGUES, M.; SILVA, J. P. R. Um balanço do curso de ciências atmosféricas no sul de Minas Gerais: ensino, pesquisa, extensão e benefícios à sociedade. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 09, n. 07, p. 2312-2324, 2016.

REZENDE, Greyce Bernardes De Mello. AS CIDADES E AS ÁGUAS: uma abordagem metodológica das vulnerabilidades socioambientais dos rios Araguaia e das Garças, nos municípios de Barra do Garças, Pontal do Araguaia e Aragarças. (Tese de Doutorado) Universidade Federal de Campina Grande/PB, 2015. Disponível em: <http://200.130.18.222/images/stories/download/pct/2016/Mencoes-Honrosas/Ciencias-Ambientais-Greyce-Bernardes-Mello.PDF>. Data de acesso: 15/09/2023.

REBOITA, M. S.; SOUZA, D. C.; RAMALHO, V. Water Balance and Aridity Index in Itajubá. In: *Simpósio Internacional de Climatologia*, 5., 2013, Florianópolis. Anais [...]. Rio de Janeiro: SBMet, 2013.

ROSS, J.L.S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 8, p. 63-74, 1994.

SACHS, Ignacy. *Desenvolvimento: includente, sustentável, sustentado*. Rio de Janeiro, Garamond. 2004.

SAATY, T. L. Tomada de decisão com o processo hierárquico analítico. *International Journal of Services Sciences*, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SANTOS, A. M. Vulnerabilidade hidrológica das populações residentes na bacia hidrográfica do rio Una (Pernambuco) frente aos cenários de mudanças climáticas. 2015. Tese (Doutorado em Ciências Geográficas) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 943-952, 2017.

SANTOS, A. P. dos; SIMIONATTO, H. H.; ARANTES, L. T.; SIMONETTI, V. C.; OLIVEIRA, R. A. The influence of land use and land cover on surface temperature in a water catchment sub-basin. *Sociedade & Natureza*, v. 35, p. e69161, 2023.

SCATALON, A. P.; FRANCISCO, A. M. Morfologia Urbana das Áreas de Fundo de Vale do Córrego Água Bôscoli em Presidente Prudente, SP. Universidade Estadual Paulista – UNESP –Campus de Presidente Prudente. Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente.

Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão, Presidente Prudente, 2013.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000. Disponível em: [https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/16588/1/NT-Carta\\_Suscetibilidade.pdf](https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/16588/1/NT-Carta_Suscetibilidade.pdf). Acesso em: julho de 2021.

SEN, Amartya. Desenvolvimento como liberdade. São Paulo, Companhia das Letras, 2001.

SHUSTER, W. D. et al. Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. Urban Water Journal, v. 2, n. 4, p. 263-275, 2005.

SHUE, H. Climate Justice: Vulnerability and Protection. Oxford University Press, 2014.

SILVA, J. P. R.; REBOITA, M. S.; MATTOS, E. V.; LEMES, M. C. R. Estudo de um caso de transbordamento do Ribeirão José Pereira em Itajubá - Minas Gerais. Revista Brasileira de Climatologia, v. 25, n. 3, p. 623-639, 2019.

SILVA, B. et al. Monitoramento do Rio Sapucaí: Sistema de monitoramento de eventos extremos. In: Monitoramento do Rio Sapucaí. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://meteorologia.unifei.edu.br/hidrologia/sobre.php>. Acesso em: 16 set. 2022.

SILVA, L. O.; BARBOSA, K. V. Análise espacial da suscetibilidade à inundação na Sub-Bacia Muriaé 2, Campos dos Goytacazes (RJ). Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 9, n. 8, p. 127-138, 2018.

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ENCHENTES (SME). 2012. Disponível em: <https://meteorologia.unifei.edu.br/hidrologia/>. Acesso em: 15 jul. 2023.

SMITH, K.; WARD, R. Floods: Physical Processes and Human Impacts. Chichester: John Wiley & Sons, 1998.

SOUZA, D. S. L.; DELLARGINE F. L.; MIRA I. R. D.; SILVA G. T. G.; SILVA M. L. Análise e mapeamento da fragilidade ambiental no município de Inconfidentes - MG. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n.05, p. 2269-2292, 2020.

SOUZA, Carina Lopes de; STOLL, Sabrina Lehnem; SCHONARDIE, Elenise Felzke. DIREITO À MORADIA E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA: UMA ANÁLISE DOS DESASTRES CLIMÁTICOS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade, [S. l.], v. 10, n. 1, 2024. DOI: 10.26668/IndexLawJournals/2525-989X/2024.v10i1.10394. Disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/revistaDireitoUrbanistico/article/view/10394>. Acesso em: 9 out. 2024.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, n. 15, p.39-49, 2004.

SPINK, M. J. P. Viver em áreas de risco: tensões entre gestão de desastres ambientais e os sentidos de risco no cotidiano. Revista Ciênc. saúde coletiva, Rio de Janeiro, v. 19, n. 9, p.3743-3754, Set. 2014.

TEHRANY, M. S.; JONES, S.; SHABANI, F. Identifying the essential flood conditioning factors for flood prone area mapping using machine learning techniques. Catena, v. 175, p. 174-192, 2019

TEIXEIRA, D. L. S. Vulnerabilidade socioambiental a inundações: estudo de caso de uma sub-bacia no sul de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2022.

TRICART, J. Ecodinamica. FIBGE/SUPREN, Rio de Janeiro, 1977.

TUCCI, Carlos E. M.. Hidrologia: ciência e aplicação. Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

TUCCI, Carlos E.M. Impactos da variabilidade climática e o uso do solo sobre os recursos hídricos. Brasília: ANA – Fórum Brasileiro de mudanças climáticas, 2002.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2007.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. Porto Alegre: ABRH, 2007. Disponível em: [https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros\\_documentos\\_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF](https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF). Acesso em: 12 jul. 2024.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. Estudos Avançados, v. 22, p. 97 – 112, 2008.

VALENTE, O.F. Reflexões hidrológicas sobre inundações e alagamentos urbanos. Minha Cidade, São Paulo, ano 10, n. 109.01, Vitruvius, ago. 2009

VASCONCELOS, A. C. F.; C NDIDO, G. A.; FREIRE, E. M. X. Vulnerabilidade Socioambiental: Proposição de temas de Indicadores para cidades brasileiras. Gaia Scientia, v.13, n.2 , p. 1-18, 2019.

VIEIRA, R. S. V.; FERREIRA, E. P.; NETO, F. C. R.; OLIVEIRA, E. M.; BRAGA, S. E. Fragilidade ambiental emergente da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce -ES,Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v.14, n.03, p. 1253-1267, 2021.

WANG, L.; LIU, H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 20, n. 2, p. 193-213, 2006.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). July 2023 is set to be the hottest month on record. Publicado em 31 de julho de 2023. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/july-2023-set-be-hottest-month-record>. Acesso em: 4 de outubro de 2023.

WU, M.; WU, Z.; GE, W.; WANG, H.; SHEN, Y.; JIANG, M. Identification of sensitivity indicators of urban rainstorm flood disasters: a case study in China. *Journal of Hydrology*, v. 599, p. 1-9, 2021.

WOODROW, K.; LINDSAY, J. B.; BERG, A. A. Evaluating DEM conditioning techniques, elevation source data, and grid resolution for field-scale hydrological parameter extraction. *Journal of Hydrology*, v. 540, p. 1022-1029, 2016.