

PROPOSTA DE ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL A INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO DE UMA SUB-BACIA DE ITAJUBÁ, MG

Débora Luisa Silva Teixeira

Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Itajubá, MG, Brasil
deboralsteixeira@gmail.com

Nívea Adriana Dias Pons

Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Itajubá, MG, Brasil
npons@unifei.edu.br

Samara Calçado de Azevedo

Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Itajubá, MG, Brasil
samara_calcado@unifei.edu.br

Daniela Rocha Teixeira Riondet-Costa

Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Itajubá, MG, Brasil
danielart@unifei.edu.br

Irving Rodrigues de Souza

Universidade Estadual Paulista, Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, SP, Brasil
irvingrods@gmail.com

Benedito Cláudio da Silva

Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Itajubá, MG, Brasil
silvabenedito@unifei.edu.br

Luiz Tadeu da Silva

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, SP, Brasil
luiz.tadeu@inpe.br

RESUMO

Em um contexto de grande carência de informações a respeito da vulnerabilidade da população exposta ao risco de desastres naturais, o presente trabalho tem como objetivo propor um índice para mapear áreas de vulnerabilidade socioambiental a inundações, tendo como estudo de caso uma sub-bacia de Itajubá-MG. Utilizou-se técnicas de geoprocessamento para elaborar os mapas temáticos das variáveis sociais e ambientais, avaliando-se a suscetibilidade a inundações e a influência de indicadores sociais, econômicos e demográficos por meio do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). O mapa de vulnerabilidade socioambiental a inundações apresentou 10,09% da área com vulnerabilidade média e 2,48% com vulnerabilidade alta/muito alta. Os resultados mostraram uma concentração de áreas de alta vulnerabilidade no perímetro urbano, onde há alta taxa de impermeabilização do solo e os maiores índices de densidade demográfica. O estudo dos indicadores sociais da sub-bacia, por sua vez, mostrou uma tendência de áreas rurais com alta vulnerabilidade social, ao mesmo tempo que evidenciou as discrepâncias sociais existentes no perímetro urbano da sub-bacia. Entende-se, portanto, que o índice proposto pode fornecer informações relevantes para identificar populações em maior risco, tanto por vulnerabilidade socioeconômica quanto pela exposição a inundações, auxiliando a atuação do poder público em níveis local e regional.

Palavras-chave: Suscetibilidade. Risco. Sistema de Informações Geográficas. Processo Analítico Hierárquico.

PROPOSAL OF A SOCIO-ENVIRONMENTAL VULNERABILITY INDEX TO FLOODS: A CASE STUDY OF A SUB-BASIN IN ITAJUBÁ, BRAZIL

ABSTRACT

In a context of significant information scarcity regarding the vulnerability of populations exposed to the risk of natural disasters, this study aims to propose an index for mapping areas of socio-environmental vulnerability to floods, using a sub-basin in Itajubá-MG, as a case study. Geoprocessing techniques were employed to develop thematic maps of social and

environmental variables, assessing flood susceptibility and the influence of social, economic, and demographic indicators through the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The socio-environmental vulnerability map for floods indicated that 10.09% of the area had medium vulnerability, while 2.48% exhibited high or very high vulnerability. Results revealed a concentration of high-vulnerability areas within the urban perimeter, characterized by a high rate of soil imperviousness and the highest population density indices. Conversely, the analysis of social indicators in the sub-basin demonstrated a tendency for rural areas to exhibit high social vulnerability, while highlighting existing social disparities within the urban perimeter of the sub-basin. The proposed index is thus considered capable of providing relevant insights for identifying populations at greater risk, both due to socioeconomic vulnerability and flood exposure, supporting public sector interventions at local and regional levels.

Keywords: Susceptibility. Risk. Geographic Information System. Analytic Hierarchy Process.

INTRODUÇÃO

No Brasil, os desastres de origem hidrometeorológica, associados a eventos extremos, destacaram-se como os principais responsáveis por danos materiais e perdas humanas entre 1991 e 2022. Dados do Atlas Digital de Desastres no Brasil (Brasil, 2023) revelam que, no período, estiagens e secas afetaram o maior número de pessoas, representando 51,31% dos registros de desastres, seguidas por enxurradas (16,77%) e inundações (10,35%). As inundações, em particular, acarretam custos significativos, tanto diretos, como a perda de móveis e utensílios domésticos, disseminação de doenças de veiculação hídrica e danos às vias públicas, quanto indiretos, como a depreciação de moradias e bairros, despesas com limpeza de propriedades e logradouros e a assistência às pessoas desalojadas (Menezes; Robaina; Trentim, 2020).

Grandes áreas das regiões Sudeste e Sul do Brasil apresentam alta suscetibilidade natural a inundações, resultante da combinação de chuvas intensas e frequentes com paisagens caracterizadas por planícies e vales estreitos (Amaral; Ribeiro, 2009; Mendes *et al.*, 2018; Mendonça; Silva, 2020). O município de Itajubá (MG) é uma dessas áreas, tendo registrado mais de 70 eventos de cheia do Rio Sapucaí, sendo que o maior deles ocorreu em 1874 e o último grande evento em 2000 (Pinheiro, 2005). Chuvas intensas ou mais fracas, porém, persistentes por vários dias consecutivos, são responsáveis por deflagrar os eventos de enchentes, inundações e alagamentos ocorridos no município de Itajubá (Silva *et al.*, 2019).

O Ribeirão José Pereira, afluente do Rio Sapucaí, também vem sofrendo frequentes inundações, agravadas por intervenções em seu curso natural, como a retificação para permitir a expansão urbana, o estrangulamento por meio de uma longa galeria e a presença de pontes subdimensionadas ao volume do fluxo d'água de eventos de cheias, que atuam como pontos de estrangulamento da vazão (Carvalho, 2012; CPRM, 2014).

Esse cenário torna-se ainda mais alarmante quando se considera o impacto das mudanças climáticas e o aumento de eventos extremos de chuva, que contribuem para a intensificação de desastres induzidos por precipitações (Chen *et al.*, 2019; Marengo *et al.*, 2020). Exemplos recentes, como as inundações catastróficas no sul do Brasil em maio de 2024, que resultaram em 213 mortes ou desaparecimentos e afetaram 2,4 milhões de pessoas, evidenciam a urgência de medidas de mitigação e adaptação para enfrentar os impactos das mudanças do clima (Pillar; Overbeck; 2024).

É importante destacar, contudo, que embora os processos naturais representem uma ameaça potencial para qualquer indivíduo, a gravidade dos impactos varia significativamente em função de fatores sociais, econômicos e demográficos, aumentando a vulnerabilidade e a exposição de determinadas populações aos eventos extremos (Mendonça *et al.*, 2016; Hummel; Cutter; Emrich, 2016; IBGE, 2018). Estudos mostram que as áreas mais afetadas por desastres geralmente correspondem a locais de baixo padrão socioeconômico, deficientes em infraestrutura básica e/ou densamente povoados (Freire; Bonfim; Natenzon, 2014; Malta; Costa; Magrini, 2017; Marques *et al.*, 2017; Guerra, 2020). Essas condições não apenas intensificam os riscos de desastres, mas também reduzem a capacidade de resposta e afetam negativamente a qualidade de vida dessa parcela da população (Cutter, 1996; Freitas; Cunha, 2012).

Surgem, então, importantes ferramentas voltadas à compreensão dos fatores socioeconômicos e demográficos que tornam determinados grupos sociais mais vulneráveis a riscos ambientais, como o *Social Vulnerability Index* (Índice de Vulnerabilidade Social - SoVI), desenvolvido por Cutter, Boruff e Shirley (2003). A partir dessa abordagem, estudos passaram a incorporar também variáveis ambientais e territoriais, ampliando a análise para o que se convencionou chamar de vulnerabilidade socioambiental (Vieira *et al.*, 2023). Internacionalmente, trabalhos como os de Gupta *et al.* (2020) Grigorescu *et al.* (2021) e Castro (2023) destacam a importância da análise integrada da vulnerabilidade, demonstrando sua aplicação em diferentes contextos geográficos e socioeconômicos. No Brasil, iniciativas como as de Malta, Costa e Magrini (2017), Vieira *et al.* (2023) e Mello *et al.* (2023) ilustram a aplicação de índices compostos para identificar áreas críticas à gestão de riscos, sobretudo em regiões urbanas sujeitas a inundações, deslizamentos e outros eventos hidrometeorológicos. Ao integrar dados sociais, econômicos e ambientais, esses índices se consolidam como instrumentos estratégicos para o planejamento territorial e a formulação de políticas públicas mais justas e eficazes.

Diante desse contexto e conhecendo-se o processo de urbanização crescente verificado na bacia do Ribeirão José Pereira, com zonas de expansão previstas pelo poder público local através do Plano Diretor de Desenvolvimento de Itajubá, (Itajubá, 2019; Santos *et al.*, 2021), o objetivo deste trabalho é propor um índice para mapear áreas de vulnerabilidade socioambiental a inundações, considerando os fatores atuantes na sub-bacia do Ribeirão José Pereira, Itajubá-MG. Espera-se que a análise realizada não apenas oriente a implementação de obras e serviços para redução de riscos, mas também contribua para a formulação de políticas públicas que aumentem a resiliência dos moradores da região.

METODOLOGIA

Área de estudo

O município de Itajubá se localiza ao sul do Estado de Minas Gerais, apresentando uma área de 294,84 km² e população estimada de 96.632 habitantes (IBGE, 2024). Assim como em diversas regiões do país, teve sua ocupação iniciada às margens dos rios, principalmente em razão da topografia local, que é caracterizada como ondulada-montanhosa (Felix *et al.*, 2019). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima de Itajubá é o Cwa, isto é, clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Reboita *et al.*, 2016). A temperatura média do mês mais quente é superior a 22° C e o total médio anual de chuvas é de aproximadamente 1.375 mm, sendo que cerca de 80,00% desse valor ocorre entre os meses de outubro a março (Reboita *et al.*, 2016; ANA, 2019).

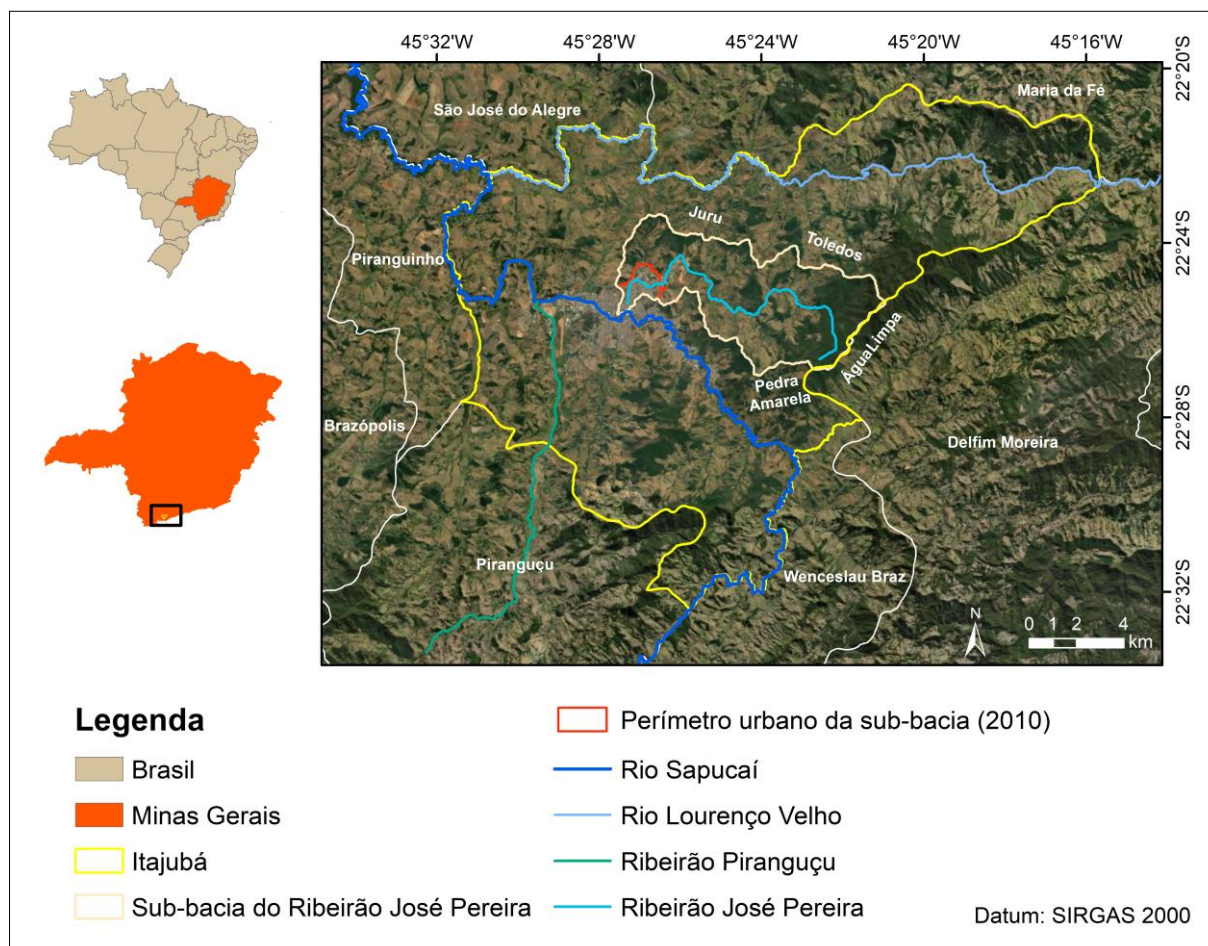
A sub-bacia hidrográfica do Ribeirão José Pereira, área de estudo do presente trabalho, está localizada integralmente no município de Itajubá (Figura 1) e apresenta uma área de 39,54 km², sendo delimitada ao sul pela Serra da Pedra Amarela, a leste, pela Serra da Água Limpa, a norte, pelas serras do Juru e dos Toledos, e a oeste por pequenos divisores que a separam da bacia do rio Sapucaí (Flauzino, 2012). Segundo Flauzino *et al.* (2016), a ocupação da sub-bacia ocorre de forma desordenada, criando um mosaico de diferentes cenários, representados pela urbanização nas menores altitudes e intensivo uso pecuário nas porções média e alta. Essa forma de ocupação, associada às características topográficas do relevo forte ondulado e à suscetibilidade natural dos solos, favoreceram a instalação de processos erosivos, levando à degradação ambiental da região.

Em um estudo sobre o uso conflitivo do solo em Áreas de Preservação Permanente na sub-bacia, Santos *et al.* (2021) constataram um aumento de 72,79% de áreas com uso conflitivo do solo no período de 2011 a 2020, observando-se o loteamento de novas áreas e o crescimento do perímetro urbano na direção leste da sub-bacia, em decorrência da instalação do novo centro administrativo do município.

A construção de moradias em zonas inadequadas para a ocupação humana, associada a chuvas intensas ou mais fracas e prolongadas na sub-bacia, tem levado a eventos de inundação que impactam fortemente a vida da população que mora e transita na região. Um desses eventos ocorreu em 24 de janeiro de 2017. Segundo Silva *et al.* (2019), a estação meteorológica da Universidade Federal de Itajubá, inserida na sub-bacia, registrou aproximadamente 57,00 mm de chuva um dia antes do evento, devido a uma tempestade ocorrida na Serra dos Toledos, no extremo leste da sub-bacia. Os autores afirmam, ainda, que devido ao desnível nas altitudes entre a serra e a região do Ribeirão, houve escoamento da água precipitada para o Ribeirão e, somado a isso, o solo possivelmente já se

encontrava encharcado em virtude das chuvas ocorridas ao longo do mês de janeiro, desencadeando processos de inundação na sub-bacia.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Os autores, 2024.

Procedimentos metodológicos

Para o alcance do objetivo proposto, foram necessárias diferentes etapas de trabalho, organizadas e executadas de forma sistematizada. Dentre essas etapas, o levantamento bibliográfico e a elaboração da base de dados georreferenciados e dos mapas temáticos foram atividades indispensáveis, pois subsidiaram as análises propostas.

O mapeamento da vulnerabilidade socioambiental a inundações da sub-bacia do Ribeirão José Pereira envolveu o estudo de três aspectos: a identificação das áreas suscetíveis a inundações; a avaliação da exposição e a caracterização da condição de vulnerabilidade social da população. A base de dados georreferenciados foi elaborada com o suporte do *software* de geoprocessamento ArcGIS® 10.2, e contou com os principais indicadores físico-territoriais e socioeconômicos do município de Itajubá, apresentados no Quadro 1.

É importante salientar que o estudo teve como referência o ano de 2010, que corresponde ao período dos últimos dados agregados por setor censitário publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Embora o Censo Demográfico de 2022 tenha sido realizado, até o momento da

finalização deste trabalho, seus dados completos e detalhados por setor censitário ainda não haviam sido divulgados.

Quadro 1 - Variáveis adotadas no mapeamento da vulnerabilidade socioambiental

Dimensão	Variável/Indicador
Suscetibilidade a inundações	Distância do rio
	Índice Topográfico de Umidade (ITU)
	Pedologia
	Uso e cobertura do solo
Exposição	Densidade demográfica (hab/km ²)
Social	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: Os autores, 2024.

Elaboração dos mapas temáticos

Distância do rio

O mapa de distâncias do Ribeirão José Pereira foi obtido através da ferramenta *Euclidean Distance* do ArcGIS®, cujo algoritmo calcula distâncias a partir do centro da célula de origem até o centro de cada uma das células vizinhas através da aplicação do teorema de Pitágoras, onde a distância é a hipotenusa (ESRI, 2014a). O dado de entrada na ferramenta foi o arquivo vetorial do curso d'água, vetorizado em tela, tendo como referência a imagem de satélite utilizada no estudo. Salienta-se que o Ribeirão José Pereira não atinge o exutório da sub-bacia, que compreende o ponto de deságue no Rio Sapucaí, por ter sido canalizado em seu trecho final, por meio de uma longa galeria, nas proximidades do centro comercial do município de Itajubá.

Índice Topográfico de Umidade

Entre os índices topográfico-hidrológicos, o Índice Topográfico de Umidade (ITU), do inglês *Topographic Wetness Index*, é o mais comumente utilizado e descreve a tendência de uma célula em acumular água (Mattivi *et al.*, 2019; Tehrany; Jones; Shabani, 2019). Segundo Moore, Grayson e Ladson (1991), o ITU é definido como uma função logarítmica do quociente entre área de contribuição e a declividade, conforme apresentado na Equação 1, em que A_s é a área de contribuição a montante de uma determinada célula e B é a declividade dessa célula (expressa em radianos).

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

Para o mapeamento do ITU da sub-bacia estudada foi utilizado o MDE com resolução de 12,5 m disponibilizado pelo *Alaska Satellite Facility* (ASF, 2011) no ambiente do software livre *System for Automated Geoscientific Analyses* - SAGA GIS v2.3.2 (Conrad *et al.*, 2015) que apresenta uma ampla base em relação aos algoritmos de direção de fluxo (Oliveira; Klinke Neto; Pereira, 2016). O procedimento baseou-se nas etapas recomendadas por Mattivi *et al.* (2019).

Pedologia

As classes de solo da área de estudo foram espacializadas com base no trabalho de Lima (2012), que teve como objetivo caracterizar, classificar e mapear perfis de solo em catenas na sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira. Nesse mapeamento, a sub-bacia foi segmentada em três compartimentos topomorfológicos (superior, médio e baixo), definidos por variações no relevo, contatos entre granitóides e zonas de cisalhamento, além da configuração das curvas de nível. O estudo considerou oito catenas distribuídas nesses compartimentos, abrangendo um total de 31 perfis de solo dispostos do topo ao sopé.

Uso e cobertura do solo

Para a obtenção das características de uso e cobertura do solo da área de estudo foi realizada uma classificação orientada a objeto no ambiente *software* livre QGIS 3.16.4, através de ferramentas do complemento *Orfeo ToolBox* (OTB) 7.4.0. O processo de classificação envolveu as seguintes etapas: segmentação; caracterização das classes, amostragem e extração de atributos; treinamento; classificação; avaliação da classificação e pós-classificação, descritas com maiores detalhes nos trabalhos de De Luca *et al.* 2019 e Zollini *et al.* (2020).

A imagem classificada tratou-se de uma composição colorida RGB de imagem de alta resolução (50 cm) do satélite *QuickBird* datada de 21 de maio de 2011. Dos polígonos (segmentos) amostrados na imagem de satélite, 70% foram destinados ao treinamento do classificador *Support Vector Machine* (SVM) e 30% para a sua validação, conforme os trabalhos de Abdi (2020) e Diniz *et al.* (2020). A ferramenta de treinamento do OTB fornece a matriz de confusão, produzida com base nas amostras indicadas para validação e gera um *log* que, dentre as informações inerentes ao processamento, também indica o classificador utilizado, uma cópia da matriz de confusão e algumas métricas de acurácia. Como a imagem de satélite disponível para o estudo apresentava nuvens e sombras, os segmentos referentes a essas classes foram reclassificados com base em imagens de satélite georreferenciadas dos anos de 2010 e 2011, disponíveis no *software Google Earth Pro*, a fim de eliminar classes sem relevância para o mapeamento de suscetibilidade a inundações da sub-bacia. Além disso, algumas confusões resultantes da classificação foram corrigidas através da edição da tabela de atributos do arquivo vetorial resultante.

Variáveis socioeconômicas e demográficas

Para o estudo social da sub-bacia do Ribeirão José Pereira foram utilizados os dados do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2011). Os dados relativos a condições socioeconômicas e demográficas foram obtidos através das tabelas em formato .xls, contendo os resultados agregados por setor censitário em todo o Estado de Minas Gerais e disponibilizados na área de *downloads* do site do IBGE, seção “Estatísticas”. A malha digital em formato vetorial dos setores censitários do município de Itajubá, por sua vez, foi obtida na seção “Geociências” e possibilitou a espacialização dos resultados agregados por setor censitário (variáveis socioeconômicas e demográficas) em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental a inundações

O mapeamento da vulnerabilidade socioambiental a inundações foi realizado através de um índice de vulnerabilidade socioambiental (IVSA), no qual foram considerados valores de influência distintos para as dimensões apresentadas no Quadro 1, conforme a Equação 2. Para dimensão ambiental considerou-se influência de 50% no índice final. A influência da dimensão social, porém, foi dividida igualmente entre a vulnerabilidade social (25%) e a exposição da população (25%).

$$IVSA = 0,50 \times ISI + 0,25 \times IVS + 0,25 \times IEXP \quad (2)$$

No mapeamento da suscetibilidade a inundações, as quatro variáveis adotadas foram comparadas em uma matriz par a par, de acordo com a metodologia Processo Analítico Hierárquico (AHP), proposto por Saaty (1980), gerando-se um peso de 0 a 1 para cada um, a fim de se ponderar a influência desses condicionantes na ocorrência de inundações. Os valores de entrada da matriz par a par variaram de 1 a 9 para os condicionantes e suas classes de variáveis, sendo que pesos maiores indicam maior predisposição da classe à ocorrência de inundações.

Após atribuídos os pesos, os fatores condicionantes foram agregados de acordo com a técnica *Weighted Linear Combination* (WLC), utilizando-se a ferramenta *Weighted Sum*, no ArcGIS®. Esta ferramenta permite a sobreposição de cada *raster* multiplicado por seu respectivo peso, gerando a soma ponderada de cada pixel na imagem final (ESRI, 2014b). Em seguida, a soma resultante foi normalizada em uma escala de 0 a 1, por meio de uma função *fuzzy linear*, utilizando-se a ferramenta *Fuzzy Membership* no software ArcGIS®. Esse tipo de função transforma valores de entrada linearmente em uma escala de 0 a 1, onde 0 é atribuído ao menor valor de entrada e 1 ao maior valor de entrada. Todos os valores intermediários recebem algum valor de pertinência com base em uma escala linear, onde uma possibilidade mais alta, ou mais próxima de 1, é atribuída aos valores de entrada mais altos (ESRI, 2014c). Obteve-se, assim, o ISI da sub-bacia estudada, com valores próximos a 1 indicando uma alta suscetibilidade a inundações.

Por sua vez, o índice de vulnerabilidade social (IVS) foi constituído por seis indicadores extraídos do Censo Demográfico de 2010, considerando os setores censitários como unidade de área para o mapeamento desse índice. Por apresentarem valores com amplitude e unidades de medida diferentes, esses indicadores foram normalizados em uma escala de 0 a 1 por meio de diferentes funções *fuzzy* disponíveis na ferramenta *Fuzzy Membership*. A função *fuzzy linear* foi utilizada para indicadores cujos valores mais altos implicariam em um maior valor de exposição/vulnerabilidade social (próximo de 1) e valores mais baixos implicariam em um IEXP ou um IVS próximo de 0, como é o caso da densidade demográfica e da porcentagem de domicílios com rendimento mensal per capita inferior a 1 SM ou sem rendimento. Já a função *fuzzy small* é comumente utilizada quando é mais provável que um pequeno valor possa influenciar em um dado evento (ESRI, 2014c; Sönmez; Bizimana, 2020). Isso ocorre, neste caso, com os indicadores relacionados à infraestrutura de saneamento básico dos domicílios, pois quanto menor a porcentagem de domicílios atendidos em um setor censitário, maior será a vulnerabilidade social do mesmo. O IVS foi obtido após a combinação ponderada das seis variáveis, utilizando-se os pesos de 0 a 1, obtidos pela metodologia AHP, na ferramenta *Weighted Sum* do ArcGIS®.

Foi abrangido, ainda, o grau de exposição (IEXP) da população operacionalizado pela normalização dos valores calculados de densidade demográfica (hab/km²) por setor censitário. Por fim, a ferramenta *Weighted Sum* foi utilizada no cálculo final do IVSA atribuindo-se as influências definidas pela Equação 2. Após normalização por função *fuzzy linear*, os valores finais foram distribuídos nos intervalos e classes adotados no trabalho, onde valores próximos a 0 indicam muito baixa vulnerabilidade socioambiental a inundações e próximos a 1, muito alta vulnerabilidade. A metodologia proposta abrangeu, ainda, o estabelecimento de uma hierarquia nominal para os índices, sendo elas: muito baixa (valores de ISI/IEXP/IVS/IVSA entre 0,00 e 0,20); baixo (0,20 a 0,40); médio (0,40 a 0,60); alto (0,60 a 0,80) e muito alto (0,80 a 1,00).

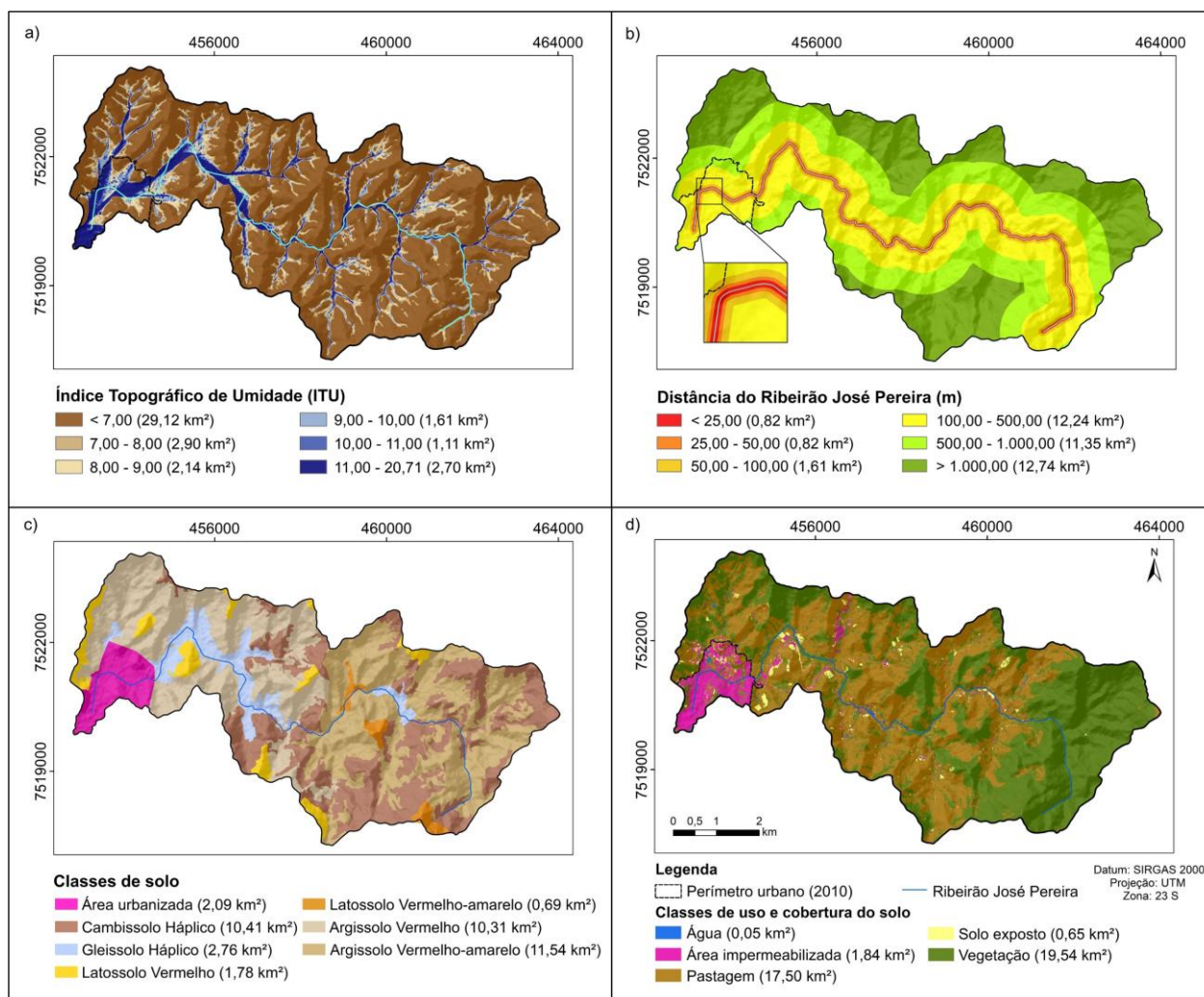
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Índice de suscetibilidade a inundações

Para o mapeamento da suscetibilidade a inundações, primeiramente foram elaborados os mapas dos fatores condicionantes: ITU, distância do curso d'água, solos e uso e cobertura do solo. No que se refere à distribuição espacial do ITU na sub-bacia, observa-se pela Figura 2a que a planície de inundação do Ribeirão José Pereira apresentou os maiores valores do índice, demonstrando que corresponde a uma área onde há acúmulo do fluxo de água. Os valores mais elevados de ITU são áreas naturalmente alagáveis e podem ser ocupadas pelo rio em período de cheias, portanto, são consideradas como áreas de risco e não deveriam ser permitidas ocupações humanas (Silva; Barbosa, 2018; Jancewicz; Migoñ; Kasprzak, 2019). Na sub-bacia estudada, essas áreas representam mais de 6,00% do território e, em grande parte, são ocupadas pela população.

Quanto ao mapa de distâncias em relação ao curso d'água (Figura 2b), verifica-se que a maior porção do perímetro urbano está localizada a menos de 500 metros do curso do Ribeirão José Pereira. As áreas próximas aos rios estão mais sujeitas a inundações frequentes, representando um fator crítico para os riscos de enchentes e para a segurança de residências e seus ocupantes (Ghosh; Kar, 2018). Na área de estudo, as zonas situadas a menos de 100 metros do curso d'água correspondem a 4,07% da extensão total da sub-bacia.

Figura 2 - Mapas das variáveis ambientais envolvidas no ISI



Fonte: Os autores, 2024.

Segundo o mapeamento pedológico realizado por Lima (2012), a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão José Pereira possui seis diferentes tipos de solo, distribuídos em relevos distintos (Figura 2c). Os Gleissolos Háplicos ocupam 6,97% da sub-bacia e segundo Lima (2012) estão situados em drenagem deficiente, em presença de lençol freático próximo à superfície, em média a 70 cm. Além disso, essa classe de solos também está presente em vales suspensos da área de estudo. Sob o ponto de vista geotécnico, são solos saturados que ocorrem em relevo plano e, em vários casos, sujeitos a alagamentos em épocas de precipitação mais intensa (Antunes *et al.*, 2013).

Já em relação ao uso e cobertura do solo, na classificação orientada a objeto da imagem do satélite *QuickBird* realizada utilizando-se o complemento OTB do QGIS, foram destinadas 226 amostras para a validação do classificador, enquanto outras 527 amostras foram utilizadas no treinamento do modelo,

que utilizou o algoritmo SVM. O índice *Kappa* obtido foi de 0,8877, enquadrando a classificação como excelente, de acordo com a qualidade da classificação proposta por Landis e Koch (1977).

A classe com maior extensão na sub-bacia foi a vegetação, representando 49,38% do total da área, em virtude, principalmente, da presença da Reserva Biológica Municipal Serra dos Toledos na região. Em seguida, tem-se a pastagem, com 44,22% de cobertura da área de estudo. Segundo Flauzino *et al.* (2016), não foram verificadas práticas de manejo conservacionista, como terraços, cordões de isolamento e rotação de pastejo na sub-bacia. Além disso, foi observado o uso intensivo de queimadas para limpeza dos pastos, demonstrando o alto índice de degradação sofrido na região. A classe de área impermeabilizada é a terceira forma de uso mais presente na bacia, correspondendo a 4,64% da área, e envolvendo parte da cidade de Itajubá, edificações ao longo da sub-bacia e as estradas asfaltadas. Essa porcentagem vem crescendo nos últimos anos, visto que a sub-bacia do Ribeirão José Pereira se encontra em constante processo de expansão urbana, devido à ocorrência de loteamentos, áreas de empréstimo, aberturas de vias e construção de residências (Flauzino, 2012, Santos *et al.* 2021).

Com os mapas temáticos finalizados, os fatores condicionantes foram comparados em uma matriz par a par, com base na escala de Saaty (1980), que expressa a intensidade com que uma classe predomina sobre a outra em relação à predisposição de ocorrência de um evento, no caso as inundações. O julgamento realizado pode ser visualizado na Tabela 1. A fim de se avaliar se a matriz de julgamentos é consistente, procedeu-se ao cálculo da Razão de Consistência, valores de CR inferiores a 0,1 indicam que não houve inconsistência nos valores atribuídos aos julgamentos, e valores superiores indicam que os julgamentos realizados precisam ser reavaliados (Saaty, 1980).

Considerando-se que na sub-bacia do Ribeirão José Pereira a maior ocorrência de eventos de inundação se dá nas áreas de várzea do ribeirão localizadas na área urbana, os maiores pesos foram atribuídos para o uso e cobertura do solo e para a distância do curso d'água. O ITU recebeu o terceiro maior peso, tendo em vista que mesmo que o índice esteja diretamente relacionado com a quantidade de fluxo a se acumular em qualquer ponto da área de uma bacia, a cobertura do solo pode ser determinante na geração de escoamento superficial. Da mesma forma, o manejo e a ação antrópica sobre o solo também influenciam na sua taxa de infiltração (Schuler, 2003), levando o fator solo a ter um peso menor que os outros três condicionantes.

Tabela 1 - 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 do 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
Razão de consistência = 0,0309					

Fonte: Os autores, 2024.

Dessa forma, o índice de suscetibilidade a inundações na sub-bacia do Ribeirão José Pereira pode ser calculado pela Equação 3:

$$ISI = 0,387 * UCS + 0,315 * DIST + 0,194 * ITU + 0,105 * S \quad (3)$$

As classes de cada condicionante foram comparadas em matriz par a par, atribuindo-se valores de importância relativa ao seu relacionamento, conforme Tabela 2. Quanto às distâncias do Ribeirão José Pereira, as menores distâncias receberam os maiores pesos, visto que os eventos de inundação ocorrem nas proximidades do curso d'água. Em contrapartida, à medida que essa distância aumenta, a inclinação e a elevação tornam-se maiores, diminuindo a suscetibilidade a inundações (Das, 2018).

Em relação ao ITU, valores altos representam planícies com baixo gradiente de declive e com solo úmido, enquanto valores baixos representam terras altas com alto gradiente de declive (Mojaddadi *et*

al., 2017; Lappas; Kallioras, 2019). Dessa forma, quanto maior o valor do índice, maior foi o peso adotado e maior será a suscetibilidade a inundações. O tipo de solo e de uso e cobertura do solo foram ponderados, por sua vez, em relação à capacidade de infiltração e drenagem. As áreas impermeabilizadas tendem a acumular mais água em superfície do que em solos com cobertura florestal (solos pouco compactados) (Magalhães *et al.*, 2011) e, por essa razão, apresentaram os maiores pesos em ambos os condicionantes.

Após a atribuição dos pesos, os fatores foram agregados utilizando-se a ferramenta *Weighted Sum* do ArcGIS® 10.2. Esta soma foi, então, normalizada na escala de 0 a 1 e disposta nos intervalos estabelecidos. O mapa final da distribuição do ISI na área de estudo pode ser visualizado na Figura 3. Como pode-se observar, as áreas com ISI médio a muito alto (3,76 km² - 9,53%) se concentraram principalmente na área de várzea do Ribeirão José Pereira. Mais de 90,00% da sub-bacia (áreas em verde) não apresentava riscos de inundação, compreendendo áreas mais afastadas do curso d'água, com menor taxa de impermeabilização e com topografia que não favorece o acúmulo do fluxo de água.

Tabela 2 - Matriz de comparação par a par dos fatores condicionantes de inundações

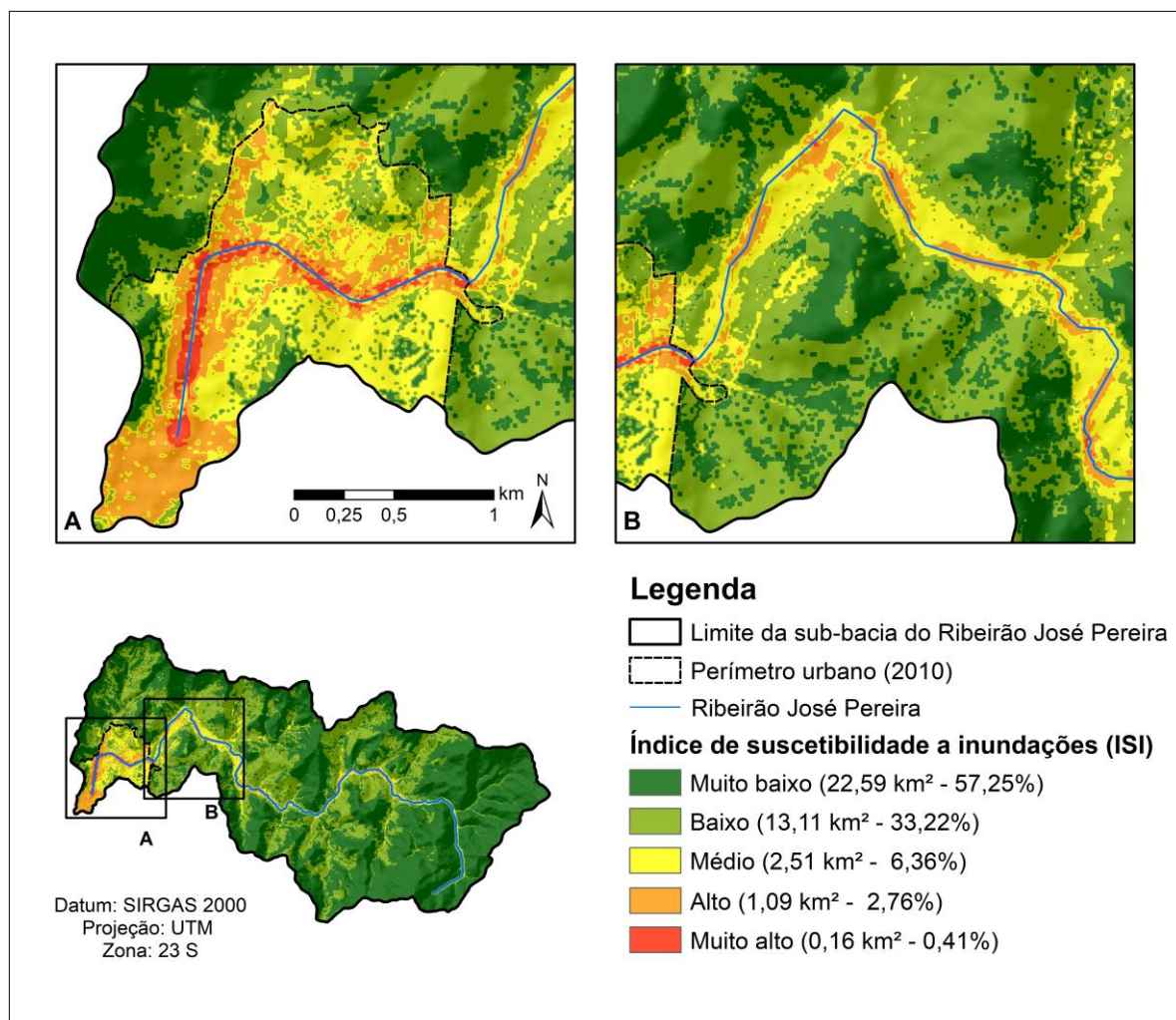
Classes das variáveis								
Distância do curso d'água	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	w (pesos)	
(1) < 25,00	1	2	4	5	7	9	0,413	
(2) 25,00 - 50,00	1/2	1	3	4	6	8	0,332	
(3) 50,00 - 100,00	1/4	1/3	1	3	5	7	0,141	
(4) 100,00 - 500,00	1/5	1/4	1/3	1	1	1	0,041	
(5) 500,00 - 1000,00	1/7	1/6	1/5	1	1	1	0,037	
(6) > 1000,00	1/9	1/8	1/7	1	1	1	0,035	
Razão de consistência = 0,0630								
ITU	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	w (pesos)	
(1) < 7,00	1	1/2	1/3	1/4	1/7	1/9	0,033	
(2) 7,00 - 8,00	2	1	1/2	1/3	1/5	1/7	0,058	
(3) 8,00 - 9,00	3	2	1	1/2	1/3	1/5	0,098	
(4) 9,00 - 10,00	4	3	2	1	1/2	1/4	0,150	
(5) 10,00 - 11,00	7	5	3	3	1	1/3	0,256	
(6) 11,00 - 20,71	9	7	5	4	3	1	0,405	
Razão de consistência = 0,0257								
Solo	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	w (pesos)
(1) Área urbanizada	1	7	2	5	5	4	4	0,339
(2) Cambissolo Háplico	1/7	1	1/6	1/2	1/2	1/3	1/3	0,036
(3) Gleissolo Háplico	1/2	6	1	4	4	3	3	0,260
(4) Latossolo Vermelho	1/5	2	1/4	1	1	1/2	1/2	0,066
(5) Latossolo Vermelho-Amarelo	1/5	2	1/4	1	1	1/2	1/2	0,066
(6) Argissolo Vermelho	1/4	3	1/3	2	2	1	1	0,116
(7) Argissolo Vermelho-Amarelo	1/4	3	1/3	2	2	1	1	0,116
Razão de consistência = 0,0139								
Uso e cobertura do solo	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)			w (pesos)
(1) Área impermeabilizada	1	2	3	5	7			0,382
(2) Solo exposto	1/2	1	2	4	6			0,286
(3) Pastagem	1/3	1/2	1	3	5			0,209
(4) Vegetação	1/5	1/4	1/3	1	2			0,080
(5) Água	1/7	1/6	1/5	1/2	1			0,043
Razão de consistência = 0,0300								

Fonte: Os autores, 2024.

Quanto à distância em relação ao curso d'água, as áreas classificadas com muito alto ISI abrangem regiões situadas até 64 metros do ribeirão, enquanto as de alta suscetibilidade apresentam, em média, uma distância de 112 metros. Essas zonas podem ser visualizadas com maior clareza no enquadramento "A" da Figura 3, que detalha o mapeamento em regiões de interesse. As áreas de alta e muito alta suscetibilidade também exibem um ITU médio de 12,45, com valores que podem alcançar até 20,22. Tal padrão é consistente, dado que índices mais elevados são característicos de áreas de várzea e com alto potencial de geração de escoamento superficial (Adam; David, 2011; Das, 2020).

A respeito dos tipos de solo, as classes de médio a muito alto ISI predominam nas regiões urbanas. Fora desse perímetro, essas áreas, destacadas no enquadramento "B" do mapa da Figura 3, são majoritariamente ocupadas por gleissolos. Na região estudada, esses solos apresentam características hidromórficas, resultantes do excesso de umidade devido à sua localização em terrenos de baixa declividade, associada a má drenagem e à presença de lençol freático entre 60 e 130 cm de profundidade (Lima, 2012). Tais características tornam o gleissolo especialmente vulnerável a inundações.

Figura 3 - Mapa de suscetibilidade a inundações da sub-bacia do Ribeirão José Pereira



Fonte: Os autores, 2024.

Dimensão social

No mapeamento da vulnerabilidade social (IVS), os indicadores sociais selecionados do Censo Demográfico de 2010 primeiramente foram normalizados numa escala de 0 a 1 por diferentes funções *fuzzy* disponíveis na ferramenta *Fuzzy Membership* do ArcGIS® 10.2. O resultado da normalização pode ser visualizado na Figura 4. Em relação à renda domiciliar, pode-se observar que os setores de maior preocupação se encontram na zona rural da sub-bacia, onde, em média, 75,13% dos domicílios apresentavam, em 2010, renda per capita inferior a 1 SM ou não possuíam rendimento. Dentro do perímetro urbano, essa média cai para 29,01%, sendo que o valor máximo observado foi de 54,89% (região em laranja). No perímetro urbano, tem-se, também, que em média 34,12% dos domicílios particulares permanentes eram alugados. Alguns setores atingiram, no entanto, um total de 57,86% domicílios alugados, enquanto na área rural o máximo encontrado foi de 9,17%.

No que se refere aos responsáveis pelo domicílio, existiam setores na área urbana que apresentavam 62,96% dos domicílios com responsável do sexo feminino. Em contrapartida, fora do perímetro urbano a porcentagem máxima encontrada foi de 33,01%. A população mais vulnerável (crianças e idosos), por sua vez, corresponde, em média, a 30% da população dos setores censitários da área de estudo, com regiões podendo alcançar 39,34% (setores em vermelho).

Quanto à infraestrutura de saneamento básico na sub-bacia, pode-se observar que as áreas rural e urbana apresentavam condições contrastantes. Na área urbana, em média 95,84% dos domicílios possuíam abastecimento de água por rede geral de distribuição, enquanto nos setores rurais essa média diminuí para 33,33%. Em média, 97,32% dos domicílios dentro do perímetro urbano dispunham de banheiro de uso exclusivo dos moradores e esgotamento sanitário via rede pluvial de esgoto, enquanto na área rural essa média decaía para 21,45%. Nesse caso, os valores normalizados próximos a 0 estão associados à baixa vulnerabilidade social (atendimento próximo a 100%), enquanto os próximos de 1 à alta vulnerabilidade socioambiental (atendimento próximo a 0%).

Com base na análise dos mapas e no levantamento bibliográfico realizado, esses indicadores foram comparados em uma matriz par a par, a fim de se hierarquizar a influência destes na vulnerabilidade social da população. O julgamento realizado pode ser visualizado na Tabela 3.

Tabela 3 - 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	2	3	4	4	0,345
(2) Domicílios particulares permanentes alugados	1/2	1	2	2	3	3	0,233
(3) Responsável do sexo feminino	1/2	1/2	1	1	2	2	0,139
(4) População de idosos e crianças	1/3	1/2	1	1	2	2	0,139
(5) Abastecimento de água por rede geral	1/4	1/3	1/2	1/2	1	1	0,073
(6) Banheiro exclusivo e esgotamento via rede geral	1/4	1/3	1/2	1/2	3	1	0,073
<i>Razão de consistência</i> = 0,008							

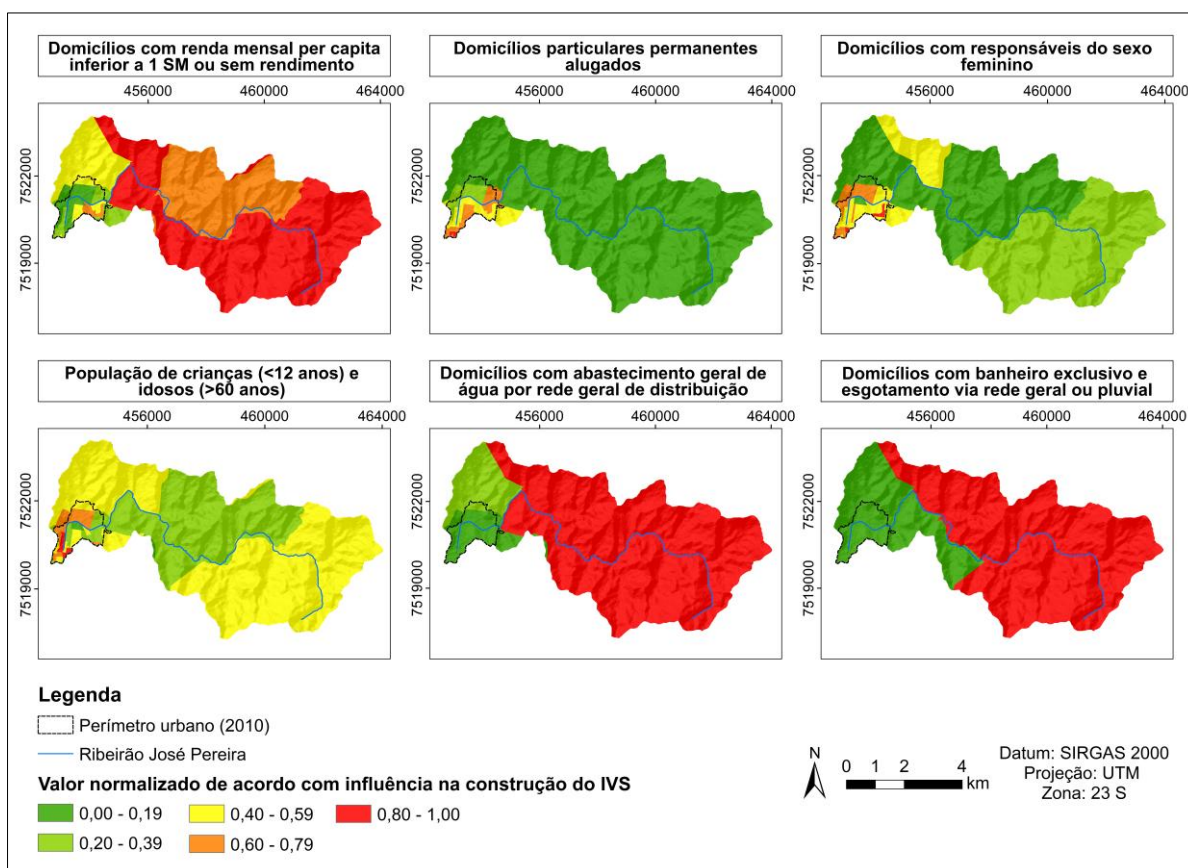
Fonte: Os autores, 2024.

A renda constitui um dos aspectos centrais para a manutenção da família e da moradia, elementos essenciais na construção da resiliência frente a desastres. A capacidade de uma sociedade em prevenir e enfrentar os impactos de eventos adversos tende a aumentar proporcionalmente às melhorias financeiras (Marchezini; Forini, 2019; Alvino-Borba *et al.*, 2020). Por esse motivo, o indicador relacionado à renda recebeu o maior peso na análise.

O segundo maior peso foi atribuído ao indicador referente à condição de ocupação do domicílio. Estudos realizados no Brasil destacam as dificuldades enfrentadas por famílias em processos de realocação durante situações de inundação, frequentemente associadas à ausência de alternativas de moradia, insuficiência de recursos financeiros ou à inexistência de locais com condições equivalentes às anteriores (Abreu; Zanella, 2015; Silva; Martins; Spink, 2020). Após sofrerem grandes prejuízos financeiros decorrentes de inundações, muitas famílias dependem de assistência pública para arcar

com aluguel ou realizar a recuperação pós-desastre. Entretanto, como apontado por Araújo (2019), a atuação do poder público é frequentemente marcada por ineficiência e omissão na garantia do direito constitucional à moradia digna, agravando a vulnerabilidade das populações afetadas.

Figura 4 - Mapas das variáveis sociais envolvidas no IVS com seus valores normalizados



Fonte: Os autores, 2024.

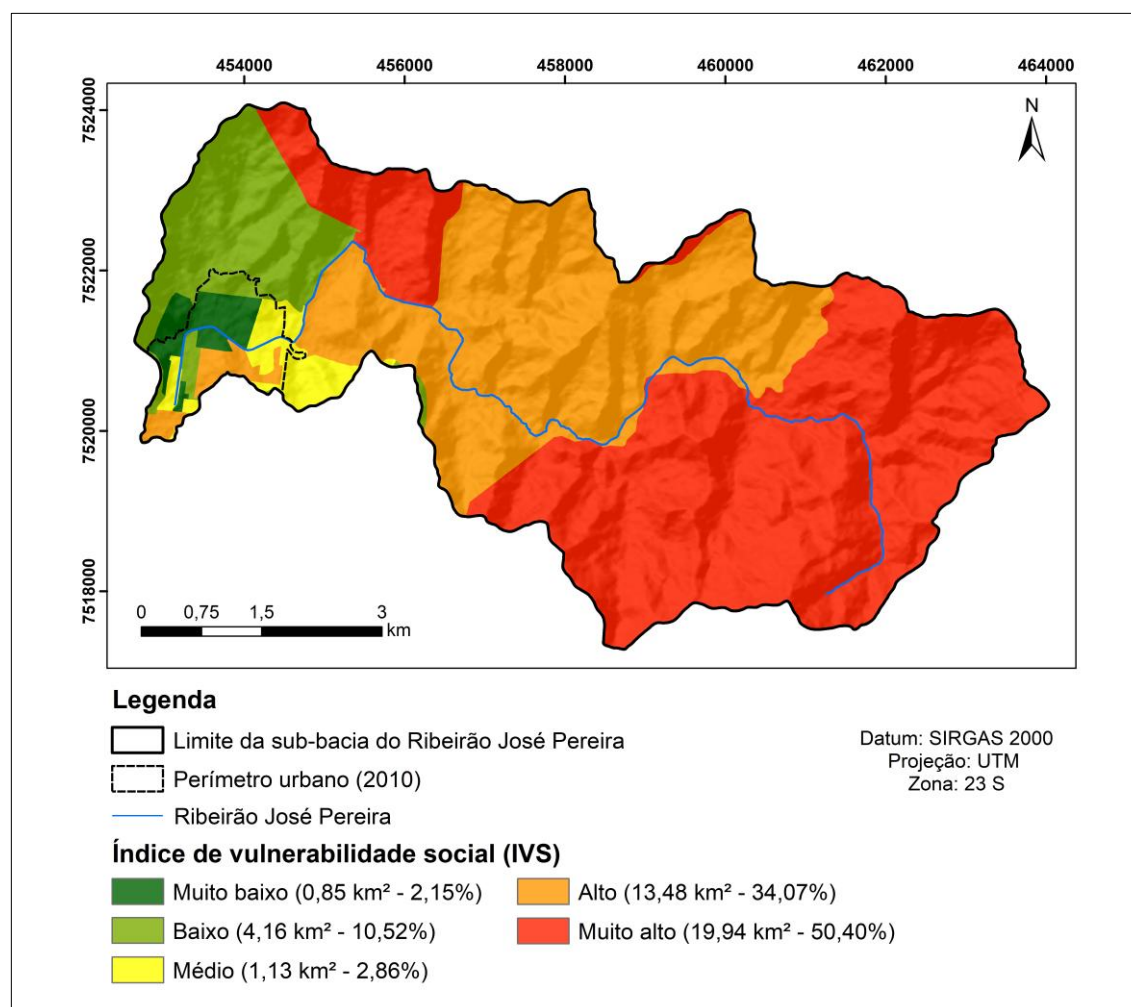
A precariedade habitacional e a baixa renda, por sua vez, intensificam a vulnerabilidade de grupos específicos, como mulheres, crianças e idosos, diante de desastres naturais (Freitas *et al.*, 2014). Por esse motivo, os indicadores relacionados à proporção de crianças e idosos na população, bem como à presença de mulheres como chefes de família, receberam o terceiro maior peso na análise. Por último, destacam-se as variáveis associadas ao saneamento básico. Durante episódios de precipitações intensas, a carência de infraestrutura adequada, como distribuição de água potável, gestão de resíduos sólidos e esgotamento sanitário, favorece o acúmulo de resíduos, a contaminação ambiental e a proliferação de vetores de doenças (Barcellos; Sabroza, 2001; Portela; Kobiyama; Goerl, 2020). Esses problemas, amplificados pela urbanização desordenada, agravam os riscos à saúde pública em áreas vulneráveis. Os pesos atribuídos aos fatores foram integrados utilizando a ferramenta *Weighted Sum* no ArcGIS® 10.2. Posteriormente, os resultados foram normalizados em uma escala de 0 a 1 e classificados em intervalos predefinidos. O mapa final que apresenta a distribuição do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) na área de estudo está ilustrado na Figura 5.

Como pode-se observar, as áreas com IVS muito alto (50,40%) se concentram na zona rural da sub-bacia, nos quais os setores censitários apresentavam, em 2010, 74,76% a 80,34% dos domicílios sem rendimento ou com rendimento mensal per capita de até 1SM e péssimos índices relacionados à infraestrutura de saneamento básico, com menos de 50% dos domicílios atendidos. Em contrapartida, em setores com IVS muito baixo (2,15%) as infraestruturas de saneamento básico atendem a mais de

98% dos domicílios e menos de 14% dos domicílios possuem rendimento mensal per capita inferior a 1SM ou não possuem renda mensal.

A dimensão social do índice de vulnerabilidade socioambiental proposto no presente trabalho abrange, ainda, a exposição da população ao risco de inundações, instrumentalizada pela densidade demográfica. Para a inclusão dessa variável, a densidade demográfica também foi normalizada através de uma função *fuzzy* no ambiente do ArcGIS® 10.2. Existiam, em 2010, setores censitários na porção rural que não ultrapassavam 100 hab/km². Em contrapartida, alguns setores próximos ao centro urbano do município apresentavam densidade demográfica próxima de 15.000 hab/km². Segundo Jacobi, Schult e Bohn (2013) e Koks *et al.* (2015), a elevada densidade demográfica implica numa maior exposição de pessoas e bens ao risco de inundações, ampliando os impactos negativos sobre a população e o meio ambiente.

Figura 5 - Mapa de vulnerabilidade social da sub-bacia do Ribeirão José Pereira



Fonte: Os autores, 2024.

Vulnerabilidade socioambiental

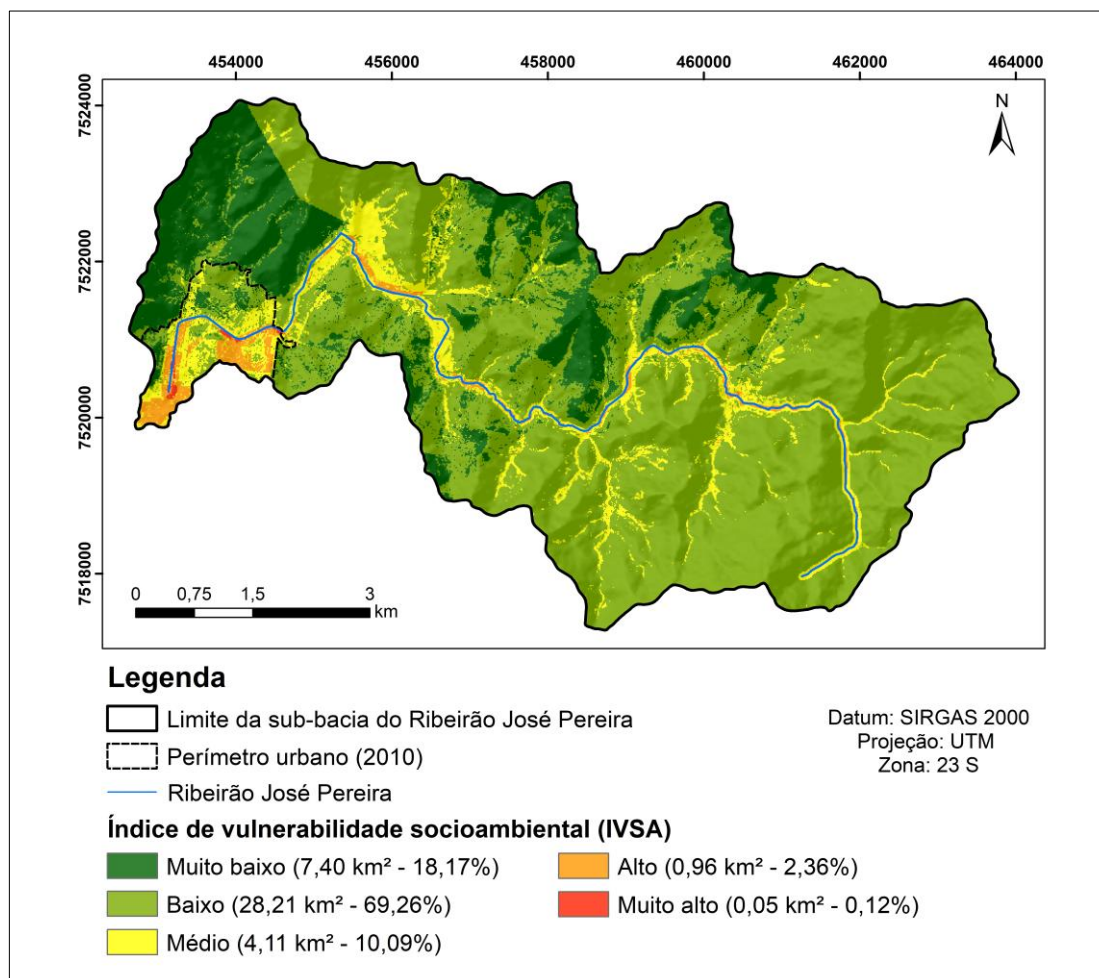
Após o estudo das dimensões ambiental e social da sub-bacia, os mapas resultantes foram agregados em ambiente SIG, utilizando-se os pesos definidos pela Equação 2, que considera 50% de influência para a suscetibilidade a inundações, 25% de influência para a vulnerabilidade social e 25% de influência para a exposição da população. O mapa final da distribuição do IVSA na área de estudo pode ser visualizado na Figura 6.

Como pode-se observar, a classe de baixa vulnerabilidade socioambiental prevalece, principalmente fora do perímetro urbano, devido às características ambientais (relevo mais ondulado e montanhoso) e a baixa densidade demográfica. Já as áreas de alto e muito alto IVSA, que representam 2,48% da sub-bacia, estão reunidas, majoritariamente, na área urbana, onde existe uma maior população exposta ao risco e maiores índices de suscetibilidade a inundações.

A fim de proporcionar uma discussão mais aprofundada dos fatores que levaram uma região a ter um baixo ou alto IVSA, alguns setores censitários foram destacados, como pode ser observado na Figura 7. Foi realizado, ainda, o detalhamento dos índices e indicadores de alguns desses setores, como o ISI médio e seu desvio padrão e os dados sociais. O setor “A”, que possui áreas de médio a alto IVSA, está localizado nas margens do Ribeirão José Pereira e apenas 2,65% dos domicílios nele situados apresentavam rendimento mensal per capita inferior a 1SM ou não apresentavam rendimento. No entanto, este setor possui alta taxa de impermeabilização, topografia plana típica de várzea de rio e a maior densidade demográfica da sub-bacia, corroborando para um alto/muito alto IVSA.

A realidade dessa população que reside nesse setor “A”, representada por setores com baixa taxa de domicílios sem rendimento mensal per capita é, no entanto, diferente da observada nos setores “C” e “D”, que também apresentam alta densidade populacional, e nos quais a situação socioeconômica da população é mais crítica. Nessa região mais de 40% dos domicílios apresentavam renda mensal per capita de até 1SM ou não apresentavam rendimento.

Figura 6 - Mapa de vulnerabilidade socioambiental da sub-bacia do Ribeirão José Pereira



Fonte: Os autores, 2024.

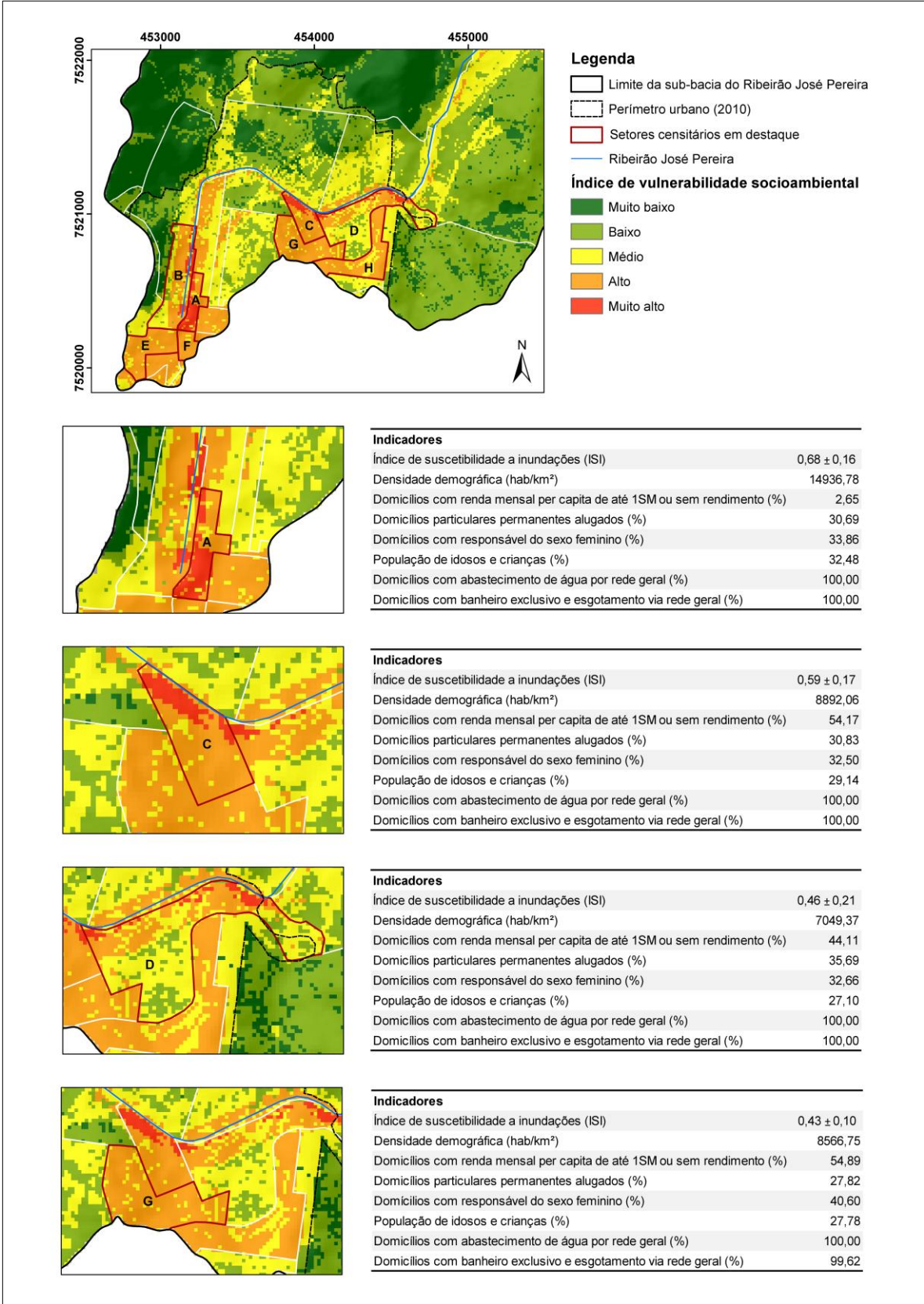
A baixa renda é um grande fator de vulnerabilidade, visto que, como verificado após alguns eventos de desastres, é comum que o valor de auxílio-moradia fornecido pelo poder público seja insuficiente para cobrir os custos e os atingidos não tenham renda complementar para arcar com os custos de energia, água, alimentação e transporte (Marchezini; Forini, 2019; Silva *et al.*, 2020). Nesse sentido, Souza (2011) aponta que a existência de medidas de proteção e de políticas públicas de assistência social e recuperação socioeconômica de áreas atingidas atuam como colaboradores no enfrentamento dos desafios do cenário pós-desastre.

Em relação aos setores “E” a “H”, estes apresentam maiores taxas de domicílios com responsável do sexo feminino. Neumayer e Plümper (2007) relatam a diferença no impacto dos desastres naturais na expectativa de vida de mulheres em comparação aos homens, principalmente pelos padrões de discriminação e desigualdade de gênero. Apontaram, ainda, que, em geral, quanto mais grave um desastre natural, mais mulheres falecem e que a média de idade das mulheres mortas é inferior à dos homens. Dessa forma, quando uma mulher responsável por um domicílio é severamente afetada por um evento de desastre, seja em sua saúde física e/ou mental ou situação econômica, a unidade domiciliar pode tornar-se mais frágil e apresentar maiores dificuldades na fase pós-desastre.

Os setores “E” e “F”, assim como os demais setores localizados nessa extremidade da sub-bacia (correspondente a uma parte do centro de Itajubá), e classificados, predominantemente, com alto IVSA, necessitam também de atenção do poder público, principalmente por estarem localizadas em áreas que podem receber o fluxo excedente de água não comportado na galeria em eventos de cheia, levando a alagamentos e possíveis transtornos à população. O setor “F” apresenta, ainda, a maior taxa da população de crianças e idosos. No geral, o grupo etário infantil é o mais afetado por desastres naturais, representando, em média, 30 a 50% da população acometida por esses eventos (Moss *et al.*, 2006), tendo em vista que quanto mais jovem e imatura for a criança, menor sua percepção de risco e maior sua vulnerabilidade e dependência de terceiros. Em relação aos idosos, as doenças e limitações funcionais ampliam ainda mais sua vulnerabilidade em situações de desastres, dado que o comprometimento de variáveis como percepção de risco, estado de alerta, atenção, agilidade e mobilidade dificultam ou impedem as respostas nessas situações (Bodstein; Lima; Barros, 2014).

Já os setores “G” e “H”, apresentam áreas classificadas com alta vulnerabilidade devido ao alto adensamento populacional e à taxa de domicílios em vulnerabilidade econômica. Apesar da presença de média suscetibilidade a inundações, as áreas mais baixas desses setores podem sofrer principalmente com acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem, causando transtornos à população. Nessa região, os aspectos sociais tiveram grande participação na classificação da vulnerabilidade, comportamento também observado em outros estudos que buscaram analisar a vulnerabilidade socioambiental a partir da integração de dados físicos e sociais, como os de Freitas, Rossetti e Oliveira (2015) em Santos (SP) e Marques, Silva e Camargo (2017) em Campinas (SP).

Figura 7 - Detalhamento do IVSA em setores no perímetro urbano da sub-bacia



Fonte: Os autores, 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da vulnerabilidade socioambiental na sub-bacia do Ribeirão José Pereira, em Itajubá, revelou áreas mais e menos vulneráveis a inundações, destacando a influência do uso do solo e das condições sociais, econômicas e demográficas nesse fenômeno. O mapeamento ambiental identificou que aproximadamente 3,17% da sub-bacia é suscetível a inundações e os fatores condicionantes da metodologia avaliaram adequadamente os aspectos ambientais relacionados ao risco de inundação, alinhando-se a áreas críticas indicadas no relatório do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014). Já a análise da vulnerabilidade social indicou maior risco em áreas rurais e revelou desigualdades no perímetro urbano, evidenciadas por diferentes padrões de urbanização e pela porcentagem de domicílios economicamente vulneráveis.

Dessa forma, a proposta metodológica possibilitou, a partir dos principais indicadores de vulnerabilidade social provenientes do Censo Demográfico do IBGE e de dados ambientais de fácil acesso, a criação de um índice de vulnerabilidade socioambiental que forneça informações em nível local e regional das populações que necessitam de um olhar mais atento do poder público, seja por estarem em situação de vulnerabilidade socioeconômica, seja por apresentarem alto grau de exposição ao risco de inundações. Como resultado, cerca de 12% da sub-bacia apresentou médio a muito alto IVSA, com áreas concentradas no perímetro urbano, onde há alta taxa de impermeabilização do solo e os maiores índices de densidade demográfica.

Compreende-se que esses resultados podem subsidiar o desenvolvimento e implementação de políticas públicas a fim de tornar essas populações mais resilientes frente aos desastres naturais. Essas ações, além de estarem alinhadas com a garantia da qualidade de vida da população, são também agenda política da Organização das Nações Unidas - ONU, através dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS. No ODS 13, por exemplo, há um apelo para a necessidade de reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e promover capacitação para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas.

É importante ressaltar, ainda, a necessidade de que esse mapeamento seja atualizado após a publicação dos dados do Censo Demográfico 2022 do IBGE, a fim de avaliar a evolução do IVSA na sub-bacia, em razão de sua constante expansão urbana. Nesse sentido, imagens gratuitas do satélite CBERS-04A, operado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e com resolução panorâmica de 2m, podem ser utilizadas, visando facilitar a replicação da metodologia e a adaptação para regiões de estudo além da sub-bacia do Ribeirão José Pereira. O conhecimento das áreas suscetíveis a desastres naturais é crucial para o planejamento do uso do solo, controle da expansão urbana e avaliação de riscos, permitindo a implementação de medidas de restrição ou ações para redução de riscos. A sub-bacia do Ribeirão José Pereira, em específico, necessita de um planejamento urbano mais eficaz para evitar que a impermeabilização do solo agrave os riscos de inundações e alagamentos, exacerbando a vulnerabilidade de parte da população.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de pesquisa nível mestrado.

REFERÊNCIAS

- ABDI, A. M. Land cover and land use classification performance of machine learning algorithms in a boreal landscape using Sentinel-2 data. **GIScience & Remote Sensing**, v. 57, n. 1, p. 1-20, 2020. <https://doi.org/10.1080/15481603.2019.1650447>.
- ABREU, N. J. A.; ZANELLA, M. E. Percepção de riscos de inundações: estudo de caso no bairro Guabiraba, Maranguape - Ceará. **Okara: Geografia em debate**, v. 9, n. 1, p. 90-107, 2015.
- ADAM, T. N.; DAVID, M. C. Relationships between Arctic shrub dynamics and topographically derived hydrologic characteristics. **Environmental Research Letters**, v. 6, 045506, 2011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/045506>.

- 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. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-724>.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundação e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (org.). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. 2. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. cap. 3. p. 39-52.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Dados de série histórica**: estação pluviométrica 02245083. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 11 set. 2024.
- ANTUNES, F.; CAMPOS, T. M.; POLIVANOV, H.; CALDERANO, S.; ANDRADE, A. Desenvolvimento de classes e unidades geo-pedológicas a partir da interação entre a pedologia e a geotecnia. **Revista Luso-Brasileira de Geotecnia**, n. 127, p. 61-79, 2013. https://doi.org/10.14195/2184-8394_127_3.
- ARAÚJO, J. P. Remoções por Risco e Responsabilidade Civil dos Poderes Públicos. **Cadernos da Defensoria Pública do Estado de São Paulo**, v. 4, n. 25, p. 35-44, 2019.
- ASF. Alaska Satellite Facility. **ASF Data Search**: Hi-Res Terrain Corrected. 2011. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Acesso em: 25 maio 2024.
- BARCELLOS, C.; SABROZA, P.C. The place behind the case: leptospirosis risks and associated environmental conditions in a flood-related outbreak in Rio de Janeiro. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, p. 59-67, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000700014>.
- BODSTEIN, A.; LIMA, V. V. A.; BARROS, A. M. A. A vulnerabilidade do idoso em situações de desastres: necessidade de uma política de resiliência eficaz. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 157-174, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000200011>.
- BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Atlas Digital de Desastres no Brasil [recurso online]. Brasília: SEDEC/MIDR, 2023. Disponível em: <https://atlasdigital.mdr.gov.br/>. Acesso em: 22 ago. 2024.
- CARVALHO, P. S. R. Estudo da propagação de ondas de cheias no Ribeirão José Pereira, em Itajubá, utilizando HEC-RAS. 2012. 109 f. **Dissertação** (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.
- CASTRO, J. A. G. Denaturalizing climate change: environmental injustice and social vulnerability in contexts of socio-spatial segregation in Mexico. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 94, p. 103802, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103802>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.023>.
- CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHMANN, V.; BÖHNER, J. System for Automated Geoscientific Analyses v. 2.1.4. **Geoscientific Model Development**, v. 8, p. 1991-2007, 2015. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>.
- CPRM. **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa**. 2014. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/19291>. Acesso em: 01 set. 2024.
- CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress In Human Geography**, v. 20, n. 4, p. 529-539, 1996. <https://doi.org/10.1177/03091325960200040>.
- 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. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>.
- DAS, S. Flood susceptibility mapping of the Western Ghat coastal belt using multi-source geospatial data and analytical hierarchy process (AHP). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, 100379, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100379>.

DAS, S. Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 11, n. 19, p. 576, 2018.
<https://doi.org/10.1007/s12517-018-3933-4>.

DE LUCA, G.; SILVA, J. M. N.; CERASOLI, S.; ARAÚJO, J.; CAMPOS, J.; FAZIO, S.; MODICA, G. Object-Based Land Cover Classification of Cork Oak Woodlands using UAV Imagery and Orfeo ToolBox. **Remote Sensing**, v. 11, n. 10, p. 1238, 2019. <http://dx.doi.org/10.3390/rs11101238>.

DINIZ, J. M. F. S.; MACIEL, D. A.; GAMA, F. F.; ADAMI, M. Avaliação do SENTINEL-2, NDVI e MLME para mapeamento do uso e cobertura da terra. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 2, p. 381-391, 2020. https://doi.org/10.11137/2020_2_381_391.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **Understanding Euclidean Distance**. 2014a. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-euclidean-distance-analysis.htm>. Acesso em: 15 ago. 2024.

ESRI. **How fuzzy membership works**. 2014c. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzymembership-works.htm>. Acesso em: 18 ago. 2024.

ESRI. **How Weighted Sum works**. 2014b. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-weighted-sumworks.htm>. Acesso em: 18 ago. 2024.

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.
<https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.AO02>.

FLAUZINO, B. K. Degradação do solo pela erosão hídrica e capacidade de uso em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais. 2012. **Dissertação** (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

FLAUZINO, B. K.; MELLONI, E. G. P.; PONS, N. A. D.; LIMA, O. de. Mapeamento da capacidade de uso da terra como contribuição ao planejamento de uso do solo em sub-bacia hidrográfica piloto no Sul de Minas Gerais. **Geociências: Unesp**, v. 35, n. 02, p. 277-287, 2016.

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. <https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.07572014>.

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. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 06, n. 17, p. 3689-3696, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600021>.

FREITAS, M. I. C.; CUNHA, L. Modelagem de Dados Socioambientais Visando 78 Estudos de Vulnerabilidade: o Caso de 17 Conselhos do Centro de Portugal. **Geonorte**, v. 1, p. 816– 829, 2012.

FREITAS, M. I.; ROSSETTI, L. A. F.; OLIVEIRA, R. B. N. Risk Mapping in urban áreas: methodological essay for sample área of Santos, São Paulo - Brazil. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 67/5, edição especial 27º ICC, p. 953-962, 2015. <https://doi.org/10.14393/rbcv67n5-44617>.

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. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3392-y>.

GRIGORESCU, I.; MOCANU, I.; MITRICĂ, Bianca; DUMITRASCU, Monica; DUMITRICĂ, Cristina; DRAGOTĂ, C. S. Socio-economic and environmental vulnerability to heat-related phenomena in Bucharest metropolitan area. **Environmental Research**, v. 192, p. 110268, 2021.
<https://10.1016/j.envres.2020.110268>.

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.

- GUPTA, A. K.; NEGI, M.; NANDY, S.; KUMAR, M.; SINGH, V.; VALENTE, D.; PETROSILLO, I.; PANDEY, R. Mapping socio-environmental vulnerability to climate change in different altitude zones in the Indian Himalayas. **Ecological Indicators**, v. 109, p. 105787, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105787>.
- HUMMELL, B. M. L.; CUTTER, S. L.; EMRICH, C. T. Social vulnerability to natural hazards in Brazil. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 7, n. 2, p. 111-122, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13753-016-0090-9>.
- IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>. Acesso em: 15 ago. 2024.
- IBGE. **IBGE Cidades**: panorama de Itajubá, Minas Gerais. 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itajuba/panorama>. Acesso em: 28 out. 2024.
- IBGE. **População em Áreas de Risco no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.
- 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: <https://www.itajuba.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/plano-diretor/77859>. Acesso em: 29 ago. 2024.
- JACOBI, P. R.; SCHULT, S. I. M.; BOHN, N. Ação e reação. Intervenções urbanas e a atuação das instituições no pós-desastre em Blumenau (Brasil). **Eure**, 39, 243-261, 2013. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612013000100010>.
- JANCEWICZ, K.; MIGOÑ, P.; KASPRZAK, M. Connectivity patterns in contrasting types of tableland sandstone relief revealed by Topographic Wetness Index. **Science of The Total Environment**, v. 656, p. 1046-1062, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.467>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.013>.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977. <https://doi.org/10.2307/2529310>.
- LAPPAS, I.; KALLIORAS, A. Flood Susceptibility Assessment through GIS-Based MultiCriteria 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.
- LIMA, O. Distribuição de solos em catenas e mapeamento pedológico de sub-bacia hidrográfica piloto na região de Itajubá-MG. 2012, 139 p. **Dissertação** (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.
- MAGALHÃES, I. A. L.; THIAGO, C. R. L.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. dos. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, p. 63-70, 2011.
- MALTA, F. S.; COSTA, E. M.; MAGRINI, A. Índice de vulnerabilidade socioambiental: uma proposta metodológica utilizando o caso do Rio de Janeiro, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 12, p. 3933-3944, 2017. <https://doi.org/10.1590/1413-812320172212.25032017>.
- MARCHEZINI, V.; FORINI, H. A. Dimensões sociais da resiliência a desastres. **Redes**, v. 24, n. 2, p. 9-28, 2019. <https://doi.org/10.17058/redes.v24i2.13000>.
- 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. <https://doi.org/10.1111/nyas.14307>.
- 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. <https://doi.org/10.14393/rbcv69n9-44081>.

- MATTIVI, P.; FRANCI, F.; LAMBERTINI, A.; BITELLI, G. TWI computation: a comparison of different open source GIS. **Open Geospatial Data, Software and Standards**, v. 4, n. 6, p. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.1186/s40965-019-0066-y>.
- MELLO, B. J.; SOUZA, C. M. M.; AUMOND, J. J.; SILVA, J. I. A. O.; LANGA, E. D.; NOVAES, J. M. A vulnerabilidade socioambiental a desastres: cenários e desafios para o município de Brusque (SC). **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, n. 12, v. 2, e22368, 2023. <https://doi.org/10.5585/geas.v12i2.22368>.
- MENDES, R. M.; ANDRADE, M. R. M. de; TOMASELLA, J.; MORAES, M. A. E. de; SCOFIELD, G. B. Understanding shallow landslides in Campos do Jordão municipality – Brazil: disentangling the anthropic effects from natural causes in the disaster of 2000. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 18, n. 1, p. 15-30, 2018. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-15-2018>.
- MENDONÇA, F.; BUFFON, E. M.; CASTELHANO, F. J.; SITO, G. Resiliência socioambiental-espacial urbana a inundações: possibilidades e limites no bairro Cajuru em Curitiba (PR). **Revista da ANPEGE**, v. 12, n. 19, p. 279-298, 2016. <https://doi.org/10.5418/RA2016.1219.0012>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101884>.
- MENEZES, D. J.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. ESTUDO DAS INUNDAÇÕES NA CIDADE DE ALEGRETE, RIO GRANDE DO SUL: probabilidade e espacialização do perigo. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 74, p. 213-225, 2020. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg217450113>.
- MOJADDADI, H.; PRADHAN, B.; NAMPAK, H.; AHMAD, N.; GHAZALI, A. H. Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi-sensor remote-sensing data and GIS. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 8, n. 2, p. 1080-1102, 2017. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1294113>.
- MOORE, I. D.; GRAYSON, R.; LADSON, A. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, n.1, p. 3- 30, 1991. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>.
- MOSS, W. J.; RAMAKRISHNAN, M.; STORMS, D.; HENDERSON SIEGLE, A.; WEISS, W. M.; LEJNEV, I.; MUHE, L. Child health in complex emergencies. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 84, p. 58-64, 2006.
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.2007.00563.x>.
- 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.
- PILLAR, V. D.; OVERBECK, G. E. Learning from a climate disaster: the catastrophic floods in southern Brazil. **Science**, v. 385, n. 6713, 2024. <http://dx.doi.org/10.1126/science.adr8356>.
- PINHEIRO, M. V. **Avaliação Técnica e histórica das Enchentes em Itajubá**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.
- PORTELA, F.; KOBAYAMA, M.; GOERL, R. Panorama brasileiro da relação entre leptospirose e inundações. **Geosul**, v. 35, p. 711-734, 2020. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n75p711>.
- REBOITA, M.; CORRÊA, M. RODRIGUES, M.; SILVA, J. Um balanço do curso de ciências atmosféricas no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, p. 2312-2324, 2016. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20160165>.
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1980. 287 p.
- SANTOS, K. B.; SOUZA, I. E. M.; TEIXEIRA, D. L. S.; PONS, N. A. D.; AZEVEDO, S. C. de; MARTINS, M. V. L. Uso conflitivo do solo em Áreas de Preservação Permanente da sub-bacia do

Ribeirão José Pereira, Itajubá/MG. In: Congresso Luso-Brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável, 9., 2021, Digital. **Anais [...]**. São Paulo: Unesp, 2021. p. 1251.

SCHULER, A. E. Fluxos hidrológicos em microbacias com floresta e pastagem na Amazônia Oriental, Paragominas, Pará. 2003. 119 p. **Tese** (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

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. <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.65308>.

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. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.008.0011>.

SILVA, S. L. A.; MARTINS, M. H. M.; SPINK, M. J. P. Percepção e hierarquia de riscos de inundação recorrente em área urbana regularizada: uma análise discursiva. **Saúde em Debate**, v. 44, p. 202-213, 2020. <https://doi.org/10.1590/0103-11042020E214>.

SÖNMEZ, O.; BIZIMANA, H. Flood hazard risk evaluation using fuzzy logic and weightage-based combination methods in geographic information system. **Scientia Iranica**, v. 27, n.2, p. 517-528, 2020. <https://doi.org/10.24200/sci.2018.21037>.

SOUZA, M. T. S. Resiliência e desastres naturais. **Ciência e Cultura**, v. 63, p. 4-5, 2011. <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252011000300002>.

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. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.011>.

VIEIRA, R. M. S. P.; TOMASELLA, J.; CUNHA, A. P. M. A.; BARBOSA, A. A.; POMPEU, J.; FERREIRA, Y.; SANTOS, F. C.; ALVES, L. M.; OMETTO, J. Socio-Environmental Vulnerability to Drought Conditions and Land Degradation: An Assessment in Two Northeastern Brazilian River Basins. **Sustainability**, n. 10, v. 15, 8029, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15108029>.

ZOLLINI, S.; ALICANDRO, M.; DOMINICI, D.; QUARESIMA, R.; GIALONARDO, M. UAV Photogrammetry for Concrete Bridge Inspection Using Object-Based Image Analysis (OBIA). **Remote Sensing**, v. 12, n. 19, 3180, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12193180>.

Recebido em: 30/11/2024

Aceito para publicação em: 21/08/2025