



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

GABRIEL ADÃO ZECHINI DA SILVA

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL À INUNDAÇÃO EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2025

GABRIEL ADÃO ZECHINI DA SILVA

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL À INUNDAÇÃO EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Manejo de Recursos Naturais
Orientador: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti
Coorientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2025

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

S586a Silva, Gabriel Adão Zechini da, 1997-
Análise da vulnerabilidade socioambiental à inundação em
bacias hidrográficas do estado do Espírito Santo / Gabriel Adão
Zechini da Silva. - 2025.
88 f. : il.

Orientador: Sidney Sara Zanetti.
Coorientador: Roberto Avelino Cecílio.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.

1. Hidrologia. 2. Bacias Hidrográficas. 3. Água - Conservação.
4. Inundação. I. Zanetti, Sidney Sara. II. Cecílio, Roberto Avelino.
III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias. IV. Título.

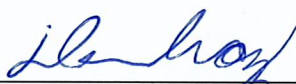
CDU: 630

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL À INUNDAÇÃO EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Gabriel Adão Zechini da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

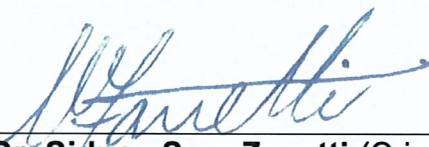
Aprovada em 26 de fevereiro de 2025.



Prof. Dr. Carlos Silva Dambroz (Examinador externo)
Instituto Federal Fluminense



Drª. Francielle Rodrigues de Oliveira (Examinadora externa)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

DEDICATÓRIA

Agradeço a Deus pela dádiva da vida.

Aos meus pais, Ana e Gilmar, pela motivação constante, carinho, apoio, exemplos inspiradores e amor incondicional, que me prepararam para enfrentar o mundo.

Às minhas irmãs, Natania e Elaine, pelo companheirismo, incentivo e apoio inabaláveis.

À minha sobrinha Sophie, por trazer leveza e alegria aos meus dias.

A todos os corações incansáveis que enfrentam desafios com resiliência e coragem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e oportunidade de correr atrás dos meus objetivos.

Aos meus pais, Gilmar e Ana, devo gratidão eterna por serem meu pilar e exemplo de perseverança e amor, sempre acreditando em meus sonhos e motivando-me a seguir adiante.

Às minhas irmãs, Elaine e Natania, por me apoiarem com amor e carinho ao longo da minha jornada, incentivando-me a não desistir.

À minha sobrinha Sophie, cuja inocência e ternura iluminam meus dias, agradeço a alegria e serenidade que sua presença traz ao meu coração.

À minha avó paterna Zulmira da Silva, por ser meu exemplo de vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti, agradeço profundamente pelo direcionamento sábio e pelas contribuições inestimáveis ao longo da minha jornada acadêmica.

Ao Coorientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio.

Aos membros da banca avaliadora, Prof. Dr. Carlos Silva Dambroz e Dra. Francielle Rodrigues de Oliveira.

Aos professores Daniel Henrique Breda Binoti e Vinicius Rocha Leite, agradeço por sua orientação valiosa e pelas cartas de recomendação que me abriram as portas para o mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES),

Ao Dr. Renato Yasutaka Faria Yaedú, cirurgião bucomaxilofacial e Dr. Cristiano Tonello cirurgião craniofacial do Hospital de Reabilitação de Anomalias Craniofaciais da Universidade de São Paulo, agradeço por transformar minha vida nos anos de 2019 e 2024, proporcionando-me uma nova visão e força para enfrentar desafios em meio a tantas diferenças e adversidades.

À minha conterrânea Josiane Seraphim Pedruzzi, cuja presença inesperada em Vargem Alta antes de iniciar o mestrado foi fundamental para minha jornada,

agradeço pelas palavras de encorajamento e suporte que me trouxeram até aqui, serei eternamente grato.

Às minhas amigas Gabrielli, e Fernanda, Hanna e Elaine agradeço o apoio nas horas mais difíceis, impulsionando-me a enfrentar desafios com coragem e determinação.

A Mariza de Oliveira Pereira Roza, pela dádiva de ser uma mãe, acolheu-me nos momentos iniciais, auxiliando-me e dando conselhos fundamentais não só para meu desenvolvimento acadêmico, mas também pessoal. Minha eterna gratidão!

Agradeço ainda, com muito carinho, a Cecília Uliana Zandonadi por me proporcionar momentos de companheirismo, e mais uma vez o destino fez com que nossas vidas se cruzassem, e eu sou grato por isso todos os dias, pela amizade presente e inestimável, os ensinamentos que compartilhamos, a confiança, o respeito e a forma como esteve ao meu lado em momentos importantes. Quero levá-la para minha vida sempre.

As companheiras da Prefeitura Municipal de Vargem Alta, em especial as servidoras Zelma, Ellen e Néia.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para esta pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

EPÍGRAFE

“O progresso é impossível sem mudança, e aqueles que não conseguem mudar suas mentes não conseguem mudar nada.”

(George Bernard Shaw)

RESUMO

SILVA, Gabriel Adão Zechini da. **Análise da vulnerabilidade socioambiental à inundação em bacias hidrográficas do estado do Espírito Santo**. 2025. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti.

O fenômeno das inundações é um dos desastres naturais mais críticos, cujos efeitos ainda podem ser agravados por fatores antrópicos como ocupação inadequada do solo e urbanização desordenada. No Brasil, muitas das áreas urbanas enfrentam condições críticas devido à impermeabilização do solo, desmatamento e infraestrutura inadequada, o que intensifica os efeitos negativos das inundações sobre a ótica social e econômica. No Espírito Santo, as bacias hidrográficas do rio Santa Maria da Vitória e do rio Jucu destacam-se como regiões críticas, devido à combinação de condições naturais desfavoráveis e fatores socioeconômicos desafiadores. O mapeamento da vulnerabilidade socioambiental pode ser utilizado como uma ferramenta estratégica de planejamento e gestão eficaz destas bacias, pois possibilita não apenas a mitigação de impactos, mas também o suporte ao planejamento de infraestrutura e ações emergenciais. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo mapear a vulnerabilidade socioambiental das bacias hidrográficas do rio Santa Maria da Vitória e do rio Jucu, integrando critérios ambientais e socioeconômicos que influenciam a ocorrência e os impactos das inundações. A metodologia baseou-se na análise multicritério com álgebra de mapas, utilizando critérios ambientais (geomorfologia, hidrografia, precipitação, declividade, uso e ocupação do solo) para o mapeamento de suscetibilidade e critérios socioeconômicos (educação, renda, grupo de risco, infraestrutura de saneamento) para a vulnerabilidade. As etapas incluíram definição de critérios, levantamento de bases geográficas, atribuição de pesos por análise hierárquica, processamento cartográfico e integração dos mapas finais em ambiente SIG. Os resultados apontaram que as áreas de maior suscetibilidade concentram-se nas faixas litorâneas e regiões densamente urbanizadas, como a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), marcadas por terrenos planos e intensa ocupação humana. A análise

integrada revelou que grande parte dessas áreas coincidem com regiões de alta vulnerabilidade socioeconômica, onde a densidade populacional, a precariedade da infraestrutura de drenagem e a impermeabilização do solo amplificam os riscos. O mapeamento oferece uma visão clara das regiões prioritárias para intervenções oriundas de políticas públicas. Conclui-se que a RMGV, principalmente os municípios de Vitória, Vila Velha e Cariacica apresentam áreas com grau muito alto de vulnerabilidade socioambiental a inundações, sendo estas as regiões mais críticas da bacia do rio Santa Maria da Vitória e do rio Jucu.

Palavras-chave: Análise multicritério, análise hierárquica de processos, precipitação, desastres naturais, ocupação urbana desordenada.

ABSTRACT

SILVA, Gabriel Adão Zechini da. **Analysis of Socioenvironmental Vulnerability to Flooding in Watersheds of the State of Espírito Santo**. 2025. Dissertation (Master's in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti.

The phenomenon of flooding is one of the most critical natural disasters; however, its effects can be further exacerbated by anthropogenic factors such as unplanned urban expansion and accelerated urbanization. In Brazil, many urban areas face critical conditions due to soil impermeabilization, deforestation, and inadequate infrastructure, which intensify the negative social and economic impacts of flooding. The Santa Maria River and Jucu River watersheds in Espírito Santo are particularly critical regions due to the combination of unfavorable natural conditions and challenging socioeconomic factors. Mapping socio-environmental vulnerability emerges as a relevant strategic tool for effective disaster planning and management, enabling not only the mitigation of impacts but also supporting infrastructure planning and emergency actions. In this context, this study aims to map the socio-environmental vulnerability of the Santa Maria River and Jucu River watersheds by integrating environmental and socioeconomic criteria that influence the occurrence and impacts of flooding. The methodology was based on multicriteria analysis with map algebra, using environmental criteria (geomorphology, HAND, precipitation, slope, land use and cover) for susceptibility mapping and socioeconomic criteria (education, income, risk groups, sanitation infrastructure) for vulnerability mapping. The steps included the definition of criteria, geographic data collection, weighting using the AHP method, cartographic processing with data reclassification and normalization, weighted algebra application, and the integration of final maps in a GIS environment. The results indicated that areas of highest susceptibility (grade 5) are concentrated along the coastal zones and densely urbanized regions, such as the Metropolitan Region of Greater Vitória, characterized by flat terrain and intense human occupation. The integrated analysis revealed that these areas overlap with regions of high socioeconomic vulnerability, where population density, precarious drainage infrastructure,

and soil impermeabilization amplify risks. The mapping provides a clear view of the priority areas for interventions and public policies. It is concluded that the metropolitan region of Vitória, particularly the municipalities of Vitória, Vila Velha, and Cariacica, contains areas classified as having very high levels of socio-environmental vulnerability to flooding, making them the most critical regions within the Santa Maria da Vitória and Jucu River basins.

Keywords: Multi-criteria analysis, hierarchical analysis of processes, occurrences, natural disasters, disorderly occupation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema ilustrado dos tipos de leitos fluviais.	22
Figura 2 – Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.	23
Figura 3 – Esquema ilustrativo do processo de análise multicritério utilizando álgebra de mapas.	28
Figura 4 – Representação da estrutura hierárquica de decisão do AHP.	30
Figura 5 – Localização da área de estudo no estado do Espírito Santo.	35
Figura 6 -Fluxograma esquemático das atividades executadas.	39
Figura 7 - Fluxograma do processo de análise multicritério para elaboração do mapa de susceptibilidade à inundação.	40
Figura 8 - Fluxograma do processo de análise multicritério para elaboração do mapa de vulnerabilidade socioeconômica.	42
Figura 9 - a) Suceptibilidade a inundação. b) Bacia do rio Santa Maria da Vitória e da bacia do rio Jucu. c) Grau de Suceptibilidade declividade. d) Grau de susceptibilidade HAND Model. e) Grau de susceptibilidade Precipitação. f) Grau de susceptibilidade uso e ocupação do solo. g) Grau de susceptibilidade geomorfologia.	62
Figura 10 – a) Vulnerabilidade socioeconômica da bacia do rio Santa Maria da Vitória e da bacia do rio Jucu. b) Saneamento. c) Renda. d) Grupo de Risco. e) Educação.	69
Figura 11 – a) Vulnerabilidade Socioambiental da bacia do rio Santa Maria da Vitória e da bacia do rio Jucu. b) susceptibilidade à inundação. c) vulnerabilidade socioeconômica.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grau de susceptibilidade à inundação das unidades geomorfológicas.....	44
Tabela 2 – Grau de susceptibilidade a inundação das classes de declividade	45
Tabela 3 – Grau de susceptibilidade a inundação das classes de HAND	46
Tabela 4 – Grau de susceptibilidade a inundação das classes de precipitação.....	47
Tabela 5 – Grau de susceptibilidade a inundação das classes de uso e ocupação do solo	48
Tabela 6 – Grau de vulnerabilidade socioeconômica.....	49
Tabela 7 – Grau de susceptibilidade a inundação	51
Tabela 8 – Escala de valores para comparação pareada dos critérios.....	54
Tabela 9 – Matriz de comparação pareada entre os critérios de susceptibilidade a inundação.....	55
Tabela 10 – Matriz de comparação pareada entre os critérios de vulnerabilidade socioeconômica	55
Tabela 11 – Pesos dos critérios de susceptibilidade à inundação	56
Tabela 12 – Pesos dos critérios de vulnerabilidade socioeconômica.....	56
Tabela 13 – Valores de A_w determinados para susceptibilidade à inundação	57
Tabela 14 – Valores de A_w determinados para vulnerabilidade socioeconômica.....	58
Tabela 15 – Valores de λ para susceptibilidade à inundação	58
Tabela 16 – Valores de λ para vulnerabilidade socioeconômica.....	58
Tabela 17 – Índices Randômicos (IR) utilizados em matrizes para AHP	59
Tabela 18 – Grau de suscetibilidade à inundação do estado do Espírito Santo, da bacia do rio Santa Maria da Vitória e da bacia do rio Jucu	66
Tabela 19 – Grau de vulnerabilidade socioeconômica da bacia do rio Santa Maria da Vitória e da bacia do rio Jucu.....	70
Tabela 20 – Grau de suscetibilidade à inundação do estado do Espírito Santo, da bacia do rio Santa Maria da Vitória e da bacia do rio Jucu	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo Geral	20
2.2 Objetivos Específicos	20
3 REVISÃO DA LITERATURA	21
3.1 Inundações, alagamentos e enchentes	21
3.2 As inundações e seus impactos	23
3.3 Mapeamento de áreas de inundação	26
3.3.1 Geoprocessamento e SIG aplicado.....	26
3.3.2 Análise Multicritério (AMC)	27
3.3.3 Processo Analítico Hierárquico (AHP).....	29
3.4 Vulnerabilidade socioambiental.....	31
3.4.1 Gestão de desastres: risco, susceptibilidade e vulnerabilidade	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1 Caracterização da área de estudo	34
4.2 Descrição das etapas de trabalho	38
4. Definição dos critérios de interesse.....	43
4.4 Base de dados para susceptibilidade à inundação	43
4.4.1 Geomorfologia	43
4.4.2 Declividade	45
4.4.3 Modelo HAND – <i>Height Above the Nearest Drainage</i>	46
4.4.4 Precipitação.....	47
4.4.5 Uso e Ocupação do Solo.....	47
4.5 Base de dados para vulnerabilidade socioeconômica.....	48
4.5.1 Grupo de Risco	49
4.5.2 Educação	50
4.5.3 Renda	50

4.5.4 Saneamento	50
4.6 Elaboração do mapa de susceptibilidade à inundação	51
4.7 Elaboração do mapa de vulnerabilidade socioeconômica.....	52
4.8 Elaboração do mapa de vulnerabilidade socioambiental	53
4.9 Definição dos pesos dos critérios pelo método AHP.....	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
5.1 Mapeamento da susceptibilidade à inundação no Espírito Santo	61
5.2 Mapeamento da vulnerabilidade socioeconômica.....	68
5.3 Mapeamento da Vulnerabilidade Socioambiental da bacia Hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória e rio Jucu.....	72
6 CONCLUSÕES	76
7 REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno das inundações, um dos desastres naturais mais devastadores existentes ainda hoje, tem sua problemática agravada por uma série de fatores antrópicos, principalmente nas áreas urbanas (IBGE, 2018). Estes eventos estão intrinsecamente ligados às dinâmicas naturais de bacias hidrográficas e são intensificados pela ocupação desordenada e pelo crescimento populacional, desencadeando uma série de impactos negativos tanto para o meio ambiente quanto para as sociedades humanas (CARVALHO, 2017).

Nesse sentido, no Brasil, a urbanização desordenada, potencializada pelo crescimento demográfico exponencial nas últimas décadas, contribuiu significativamente para o agravamento dos impactos dos desastres naturais. A expansão urbana sobre áreas suscetíveis a inundações, sem planejamento adequado e sem a implementação de infraestrutura eficiente de mudança ou políticas de uso do solo, amplia os riscos associados a esses eventos, resultando em danos materiais, econômicos e sociais extensivos (CHRISTOFOLETTI, 1994; SANTOS, 2005; TUCCI, 2005).

Além disso, eventos climáticos extremos impactaram diversas cidades brasileiras de forma recorrente e significativa, manifestando-se como ondas de calor, estiagens, inundações. Essas últimas, as mais frequentes no país, ganharam destaque devido aos graves impactos socioambientais, incluindo perdas humanas, desabrigados, controle de doenças e prejuízos econômicos. A vulnerabilidade da população é agravada pela crescente exposição a riscos, intensificada pela urbanização desordenada, que potencializa os danos decorrentes de precipitações extremas, afetando sobretudo as populações mais vulneráveis (LOUREIRO et al., 2014).

As enchentes e inundações são eventos naturais que podem ter consequências expressivas para as comunidades e ecossistemas afetados (TUCCI, 2005). Para uma compreensão abrangente dessas características, é necessário considerar múltiplos fatores naturais associados às bacias hidrográficas, tais como a topografia da região, a distribuição e intensidade das chuvas, a declividade do terreno, a velocidade de

escoamento das águas e a estrutura da rede de drenagem, que afetam a capacidade de absorção e escoamento das águas pluviais (PINHEIRO, 2007).

Fatores naturais e antropogênicos influenciam sua ocorrência, exigindo uma análise multifatorial para compreender a vulnerabilidade socioambiental associada. Os fatores naturais que contribuem para as inundações estão relacionados às características da bacia hidrográfica, como a dinâmica do ciclo hidrológico, características ambientais e forma de uso e ocupação do solo existente (FARIAS; MENDONÇA, 2022).

Ademais, quando se estuda o grau de susceptibilidade a inundações em áreas de uma bacia hidrográfica, é importante considerar também a vulnerabilidade socioambiental dessa bacia. Isso porque, muitas vezes, o desenvolvimento do espaço geográfico não leva em conta a fragilidade dos sistemas naturais e, por consequência, das comunidades que deles dependem. Ao ignorar essa vulnerabilidade, aumentam as condições de risco enfrentadas tanto pelo meio ambiente quanto pelos grupos sociais que habitam a região (ADGER; WINKELS, 2006).

Nesse contexto, a vulnerabilidade dos grupos menos favorecidos aos impactos das mudanças climáticas também integra o debate sobre Justiça Ambiental. A percepção da desigualdade desses impactos, reforçada por diversos estudos sobre as alterações no clima, impulsiona o movimento internacional por Justiça Climática (MILANEZ; FONSECA, 2011).

Com o avanço tecnológico, algumas técnicas de geoprocessamento vêm contribuindo para o mapeamento e gestão de áreas de risco de inundações. A capacidade de integrar e analisar grandes volumes de dados geográficos, topográficos e socioeconômicos, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permite uma avaliação mais precisa das áreas susceptíveis e vulneráveis (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

Dessa forma, a técnica de análise multicritério associada ao método do Processo Analítico Hierárquico (AHP), no contexto de um ambiente SIG com álgebra de mapas,

desenvolvido originalmente por Saaty (1977) para aplicações corporativas, permite a incorporação de múltiplas perspectivas e conhecimentos no processo de tomada de decisão. Conforme Saaty (1994), uma vantagem do método é que ele permite que os valores das comparações entre alternativas sejam fundamentados tanto em experiência e intuição quanto em dados físicos. Isso significa que o AHP pode abordar tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos de um problema de decisão.

A análise multicritério aplicada ao mapeamento de áreas de risco a inundações promove uma abordagem participativa, integrando visões diversas dos atores envolvidos, o que resulta em análises mais ricas e representativas das realidades locais. Esta metodologia, ao considerar a complexidade e a interconectividade das variáveis envolvidas, facilita a identificação e a priorização de intervenções estratégicas na gestão de riscos de inundações (Silva; Nunes, 2009).

No estudo de Marchioro e Coutinho (2020), os autores abordam que a inundação é um processo que ocorre em diferentes espaços geográficos, ocasionando problemas socioambientais. Em função disso, o trabalho possuiu o objetivo de mapear e analisar o processo de inundação associado ao evento extremo de precipitação pluvial do mês de dezembro de 2013 na bacia hidrográfica do rio Duas Bocas (ES) e o efeito do remanso de água promovido pelo rio Santa Maria da Vitória (ES), localizado no estado do Espírito Santo.

Já o estudo de D'ávila (2018), realizado na bacia do Rio Marinho, localizado na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), descreve sobre as inundações em áreas urbanas que são frequentemente associadas a grandes prejuízos e até fatalidades, ocorrendo quando as águas dos canais de transporte transbordam para as áreas periféricas.

Apesar dos estudos prévios existentes, e das ações até então tomadas pelo poder público, o estado do Espírito Santo sujeita-se ainda a frequentes inundações, e enfrenta desafios semelhantes aos observados em outras áreas brasileiras, como a urbanização descontrolada, a degradação ambiental e a ocupação de áreas de risco. Nessa

perspectiva, no território capixaba, a bacia hidrográfica do rio Jucu se destaca como uma das mais relevantes, abrangendo aproximadamente 2.220 km², o que equivale a 4,81% da extensão estadual. Juntamente com a bacia do rio Santa Maria da Vitória, essas regiões abrigam cerca da metade da população estadual e desempenham um papel essencial no abastecimento hídrico na região metropolitana da grande Vitória, além de contribuir para a geração de energia hidrelétrica local. As atividades econômicas desenvolvidas nos municípios inseridos nessas bacias representam 62% do Produto Interno Bruto estadual (SOPRANI et al., 2007).

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo mapear a vulnerabilidade socioambiental às inundações nas bacias hidrográficas dos rios Santa Maria da Vitória e Jucu, no estado do Espírito Santo. Para isso, foram considerados critérios ambientais que influenciam a ocorrência desses eventos, bem como fatores socioeconômicos que determinam a vulnerabilidade das populações expostas. Essa abordagem permitirá uma análise integrada dos riscos, auxiliando na identificação de áreas mais suscetíveis e na formulação de estratégias de gestão e mitigação dos impactos das inundações.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Mapear a vulnerabilidade socioambiental às inundações na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória e na bacia hidrográfica do Rio Jucu, no estado do Espírito Santo (ES), a partir de critérios ambientais que influenciam na ocorrência de inundações e de critérios que influenciam na vulnerabilidade socioeconômica.

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar mapa de susceptibilidade à ocorrência de inundações para o estado do Espírito Santo por meio da técnica de análise multicritério com método AHP em ambiente SIG com álgebra de mapas;
- Elaborar mapa de vulnerabilidade socioeconômica para as bacias hidrográficas do Rio Santa Maria da Vitória e do Rio Jucu por meio da técnica de análise multicritério com método AHP em ambiente SIG com álgebra de mapas;
- Realizar a análise integrada do mapa de susceptibilidade à inundações e do mapa de vulnerabilidade socioeconômica, gerando o mapa de vulnerabilidade socioambiental para as bacias hidrográficas do Rio Santa Maria da Vitória e do Rio Jucu.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Inundações, alagamentos e enchentes

Para o correto estudo dos fenômenos de inundação, alagamento e enchentes, é fundamental a compreensão dos conceitos que definem cada uma das terminologias, uma vez que, estes termos embora frequentemente tratados como sinônimos, possuem diferenças conceituais importantes que muitas são ignoradas por parte de diversos autores, até mesmo no meio científico.

Para melhor compreensão dos termos, é necessário entender a frequência das cheias em uma planície de inundação e os tipos de canais fluviais que são caracterizados basicamente em leito vazante, leito menor e leito maior (TRICART, 1966).

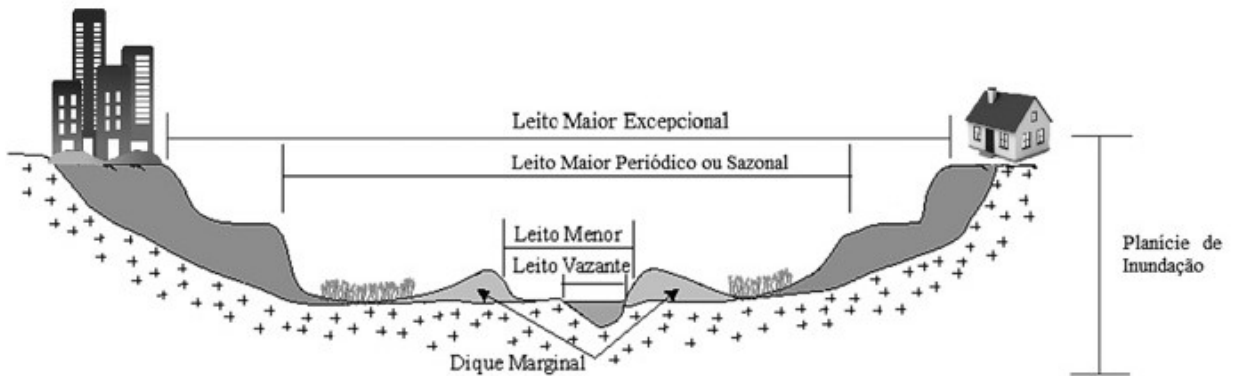
O leito vazante é a parte do canal fluvial ocupado por água durante o escoamento das águas de vazante nos períodos de estiagem;

- O leito menor corresponde à parte do canal ocupada, frequentemente, pelas águas em períodos de chuva;
- O leito maior é composto por toda a planície de inundação existente no local, uma área de várzea que percorre os rios e geralmente é plana, em decorrência de sedimentações. Esse espaço só é preenchido em cheias muito intensas, que não apresentam um período exato de recorrência e pode variar de acordo com o relevo.

Assim, de acordo com Christofolletti (1994), as planícies de inundação, também conhecidas como área de várzea, correspondem ao leito maior sendo, portanto, parte dos sistemas fluviais tanto quanto o canal principal do curso d'água e em situação de pico hidrológico toda essa área torna-se leito do rio.

No esquema ilustrado apresentado na Figura 1 é possível identificar os leitos fluviais no perfil esquemático de um rio identificando ainda as regiões mais propícias para a ocupação urbana, isto é, além das cotas das planícies de inundação.

Figura 1 – Esquema ilustrado dos tipos de leitos fluviais.



Fonte: IGCE/UNESP (2001), adaptado pelo autor.

Para o Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2007), o fenômeno de inundação ocorre quando o volume de água no curso d'água ultrapassa os limites da calha regular, atingindo áreas adjacentes conhecidas como planícies de inundação. Isso ocorre quando há precipitações com determinada intensidade que gera um escoamento superficial efetivo com volume de água superior a capacidade de drenagem da calha do rio, fazendo com que o escoamento das águas supere o leito menor do rio (CORDERO; MEDEIROS; TERAN, 2009). Essas áreas, em seu estado natural, têm a função de amortecer o excesso de água em eventos de cheia, reduzindo o impacto do escoamento sobre o restante da bacia hidrográfica (ANA, 2013).

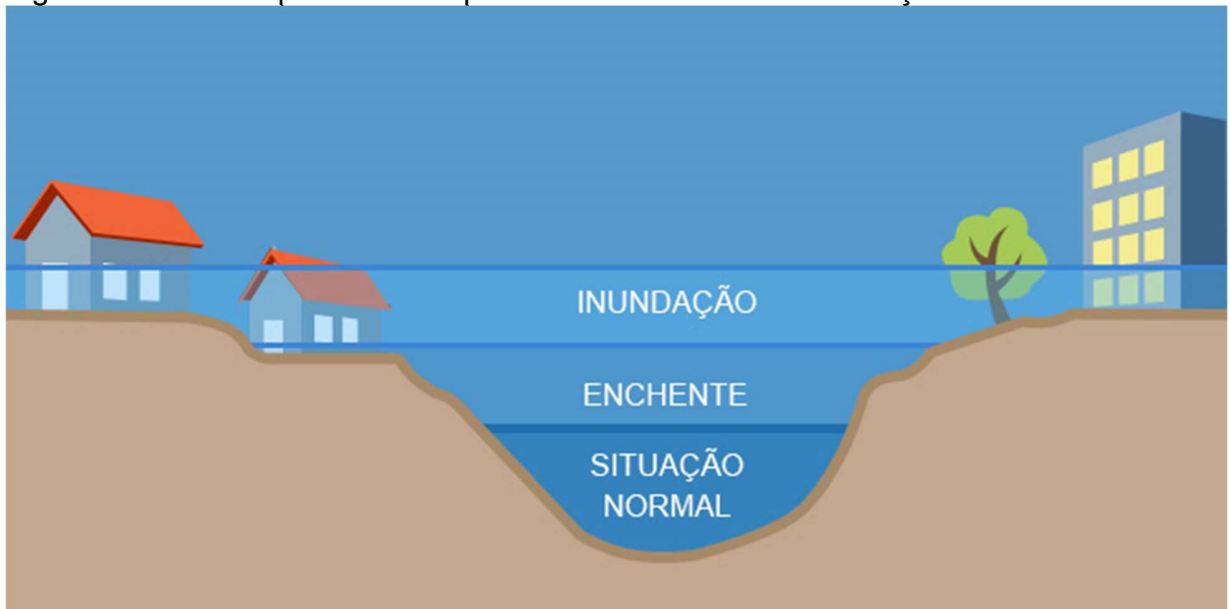
Por outro lado, Pinheiro (2007) considera que as enchentes se referem ao aumento do nível da água dentro da calha de um curso d'água, permanecendo contida em seu leito menor, também chamada de calha regular. Embora represente uma elevação temporária dos níveis de água, as enchentes não implicam necessariamente em danos diretos às áreas adjacentes, mas pode ser uma etapa preliminar para eventos mais extremos, como as inundações (TUCCI; COLLISCHONN, 1998).

Já os alagamentos referem-se ao acúmulo de água em áreas urbanas, geralmente provocado por chuvas intensas em combinação com sistemas de drenagem insuficientes ou mal projetados (MMA, 2007). Esse fenômeno ocorre principalmente devido à impermeabilização do solo, característica das cidades, que reduz a capacidade de

infiltração da água, aumentando o volume de escoamento superficial. A água acumulada frequentemente encontra barreiras que impedem sua dispersão, como ruas pavimentadas e bueiros obstruídos (ANA, 2013). Assim, o alagamento não depende diretamente do transbordamento de rios ou córregos, mas é causado pela incapacidade de o sistema urbano escoar o volume de água gerado pela precipitação.

No esquema ilustrado da Figura 2 é possível identificar as áreas de ocupação das águas fluviais nos fenômenos de enchente e inundação.

Figura 2 – Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.



Fonte: (CEMADEN, 2025), adaptado pelo autor.

3.2 As inundações e seus impactos

A proximidade histórica das populações humanas com corpos d'água e partes mais baixas do relevo reflete uma necessidade básica de acesso à água e ao solo fértil. Regiões ribeirinhas frequentemente possuem solos adequados para cultivo agrícola e irrigação, além de serem locais estratégicos para o estabelecimento de portos (MAGALHÃES; THIAGO, 2011).

As inundações urbanas são amplamente abordadas em estudos acadêmicos, governamentais e empresariais, devido aos impactos significativos sobre comunidades humanas e ecossistemas naturais. Esses eventos podem causar prejuízos financeiros e culturais, configurando-se como um problema recorrente em cidades de todos os portes. (LEAL; BARBOSA; AQUINO, 2020).

De acordo com Koene (2012), condições específicas de relevo juntamente com as chuvas concentradas por longa duração, são os principais fatores que podem resultar em inundações, tanto em áreas urbanas como em ambientes naturais. No contexto urbano, a impermeabilização do solo, por meio de construções, asfalto e concreto, reduz a capacidade de infiltração da água da chuva, resultando em maior escoamento superficial e aumentando o risco de inundações. Além disso, muitas cidades possuem sistemas de drenagem inadequados para lidar com grandes volumes de água, o que pode levar ao acúmulo e transbordamento em áreas baixas.

Segundo Furlan e Trentin (2021), os fatores antrópicos estão muito associados ao processo de urbanização que reduz as áreas permeáveis e aumenta as superfícies impermeáveis, intensificando o escoamento superficial direto. Ao substituir áreas naturais por superfícies impermeáveis, gera-se o aumento do volume e da velocidade de escoamento superficial, sobrecarregando sistemas de drenagem já insuficientes e reduzindo a capacidade de infiltração do solo. Esse processo resulta no aumento das vazões de pico e na ampliação das áreas potencialmente inundáveis. Além disso, intervenções urbanas, como a retificação de cursos d'água e a ocupação inadequada de planícies de inundação, podem agravar a vulnerabilidade das cidades, ampliando os riscos tanto de alagamentos quanto de inundações (Tucci; Bertoni, 2003).

Além destes processos, a ocupação de regiões urbanas próximas a rios e planícies de inundação, sem o devido planejamento, intensificam os impactos negativos das inundações. O aumento da densidade populacional em áreas urbanas, chegando em mais de 80% da população brasileira de acordo com o Censo de 2010, é consequência do êxodo rural ocorrido entre as décadas de 1960 e 1990, marcadas pelo

desenvolvimento industrial do país e, conseqüentemente, pela busca por melhores condições de vida da população rural. Contudo, essa migração populacional ocorreu sem um planejamento adequado, com as pessoas ocupando espaços irregulares para moradia (LEAL; BARBOSA; AQUINO, 2020).

O contexto histórico da formação dos centros urbanos no Brasil, contudo, reflete um panorama de urbanização desordenada, com sistemas de drenagem inadequados que visam apenas o escoamento rápido da água precipitada, repercutindo no aumento das vazões máximas, erosão de margens de cursos d'água, deposição de sedimentos e resíduos no leito de rios, que não somente deterioram a qualidade da água como também causam ocorrência de fenômenos de assoreamento (TUCCI; BERTONI, 2003).

Em concordância aos pontos levantados anteriormente sobre o processo de urbanização acelerado, Tucci e Collischonn (1998) afirmam que as inundações causadas pela urbanização são resultado da impermeabilização das pequenas e médias bacias hidrográficas urbanas. Esse processo altera o ciclo natural da água ao substituir a vegetação original por superfícies impermeáveis, o que reduz a infiltração da água no solo (impermeabilização) e diminui a evapotranspiração. Isso leva a um aumento do escoamento superficial, resultando em maior vazão dos rios urbanos durante períodos de cheia. Além disso, a urbanização causa alterações na rede de drenagem natural, substituindo-a por estruturas artificiais, aumentando a extensão de áreas impermeáveis e modificando o microclima local (TUCCI; VILLANUEVA; CRUZ, 1998). Com a maior impermeabilização, ocorre uma redução na infiltração, na recarga do aquífero e na vazão do rio entre os eventos de cheia.

De acordo com Mário e Uacane (2023) destacam a desordem no seio da comunidade e degradação da qualidade de vida da população como os principais impactos à sociedade, resultantes de inundações. Complementarmente, é importante apontar a evacuação e desalojamento das residências, perdas de vidas humanas, isolamento de áreas residenciais, danos a propriedade pública e privada, e a suspensão do fornecimento de bens ou serviços básicos (água, energia, saneamento, internet,

saúde e educação), como exemplos que deterioram a qualidade de vida da população no perímetro urbano.

3.3 Mapeamento de áreas de inundação

3.3.1 Geoprocessamento e SIG aplicado

O geoprocessamento pode ser compreendido como técnicas matemáticas e computacionais voltadas para a coleta, tratamento, manipulação e apresentação de dados e informações espaciais (LOPES et al., 2018). Nesse contexto, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR) configuram-se como importantes sistemas que apoiam a execução dos processos que envolvendo as técnicas de geoprocessamento.

O SIG é um sistema operacional composto por um conjunto de técnicas que permitem análises complexas ao integrar dados de várias fontes, como dados cartográficos, de censo e imagens de satélite, criando bancos de dados georreferenciados (SCHATZ, 2022). Além disso, o SIG automatiza a produção de documentos cartográficos, como mapas (LOPES et al., 2018). No contexto deste trabalho, o SIG foi utilizado para gerar mapas temáticos, juntamente com as demais etapas e integrá-los, visando analisar a suscetibilidade à inundação da região.

A identificação e delimitação de áreas propensas a sofrerem inundações, por meio de técnicas de geoprocessamento, em ambiente SIG, são consideradas medidas não estruturais que oferecem uma alternativa valiosa para diagnosticar regiões mais propensas a esses eventos. Essas ações desempenham um papel crucial no planejamento do uso e ocupação do solo, contribuindo para um ordenamento territorial mais eficiente e seguro (GARCIA; DOURADO; DE AVILA, 2022).

Estas análises possibilitam a geração de produtos cartográficos que auxiliam na compreensão mais efetiva sobre as áreas de risco e vulneráveis à inundação, bem como servem de base para o planejamento e proposição de intervenções e soluções para mitigação ou prevenção dos desastres provocados por inundações e alagamentos em

áreas urbanas (DINÍZIO; NASCIMENTO, 2023). Nesse contexto, o SIG permite a análise espacial dos dados e a criação de mapas temáticos através da integração de informações espaciais, sendo possível identificar áreas de alta suscetibilidade à inundações, onde a população e a infraestrutura encontram-se sob maior risco (SCHATZ, 2022).

Além disso, métodos que utilizam Modelos Digitais de Elevação (MDE) têm se mostrado eficazes, como é o caso do modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*), amplamente discutido por (NOBRE et al., 2016). Abordagens mais refinadas, como o HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System*) e o HEC-RAS (*River Analysis System*), integram modelos hidrológicos e hidrodinâmicos para simular o escoamento nos canais fluviais. Essas ferramentas permitem calcular manchas de inundação com base em diferentes probabilidades de ocorrência de eventos de precipitação oferecendo resultados mais detalhados e precisos (METROPLAN, 2015; CABRAL et al., 2016).

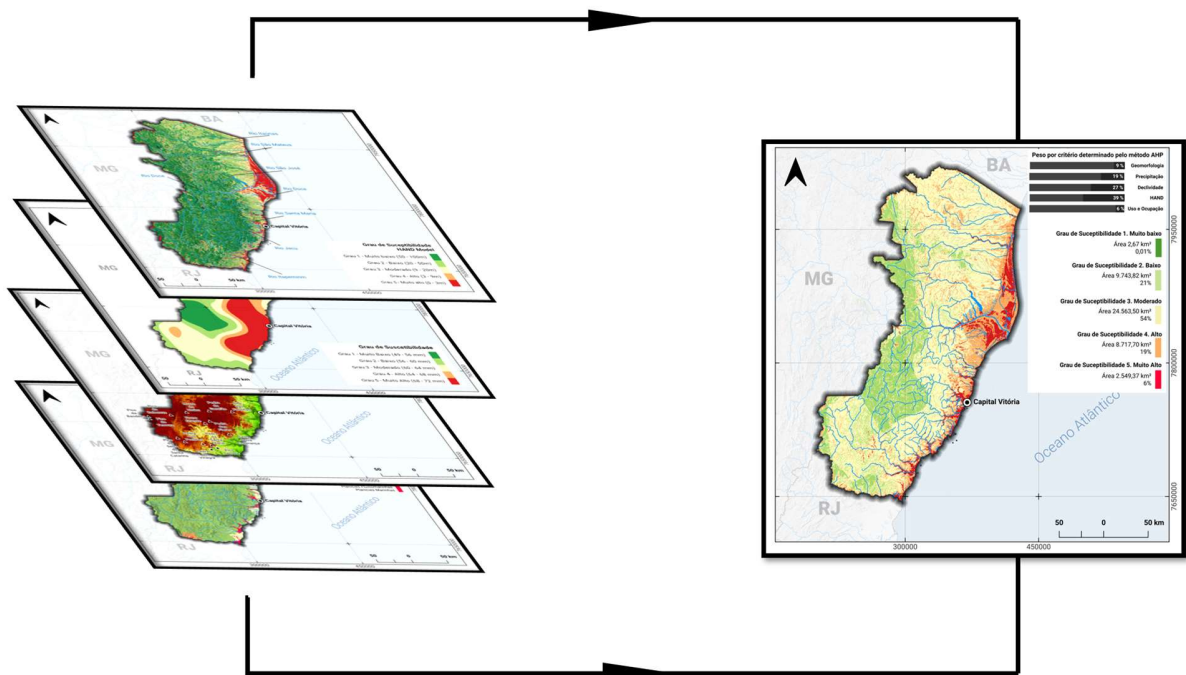
3.3.2 Análise Multicritério (AMC)

A análise multicritério é uma metodologia matemática que permite comparar diferentes opções com base em múltiplos critérios, auxiliando os tomadores de decisão a realizarem escolhas mais bem fundamentadas (FRENCH; ROY, 1997). Segundo Moura (2007) essa técnica possibilita não apenas a comparação entre alternativas, mas também a atribuição de pesos que definem a relevância de cada variável e suas respectivas categorias, contribuindo para a elaboração de mapas-síntese. Assim, a análise multicritério é amplamente aplicada em estudos voltados à avaliação de vulnerabilidades e riscos, proporcionando uma análise detalhada da importância relativa de diferentes fatores.

A integração entre os métodos de análise de multicritérios em ambiente SIG vem sendo amplamente empregada, sendo entendida como um processo que combina e transforma dados espaciais em uma resposta para a tomada de decisão, onde as regras de decisão definem as relações entre os dados espaciais (mapas de entrada) e os dados de saída (mapa final) (EASTMAN, 1998; MALCZEWSKI, 2006).

A Figura 3 apresenta o esquema de aplicação da análise multicritério com álgebras de mapas, o método permite integrar diferentes variáveis e critérios espaciais, utilizando ferramentas de geoprocessamento para realizar uma avaliação detalhada das áreas de interesse, considerando múltiplos fatores simultaneamente.

Figura 3 – Esquema ilustrativo do processo de análise multicritério utilizando álgebra de mapas.



Fonte: o autor.

Traficante et al. (2021) realizaram um estudo acerca da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Capivara, em Botucatu-SP, utilizando álgebra de mapas para a realização da AMC. Considerando fatores como uso da terra, solos, declividade e geologia, os dados foram padronizados e ponderados, e cada categoria recebeu uma pontuação de um a cinco. Os fatores foram convertidos para formato matricial (raster) para sobrepor os mapas e gerar novas informações. O estudo envolvendo áreas com diferentes níveis de fragilidade e concluiu que as áreas de fragilidade média e altas são consideradas para a redução da disponibilidade de água devido à exploração descontrolada dos recursos naturais.

3.3.3 Processo Analítico Hierárquico (AHP)

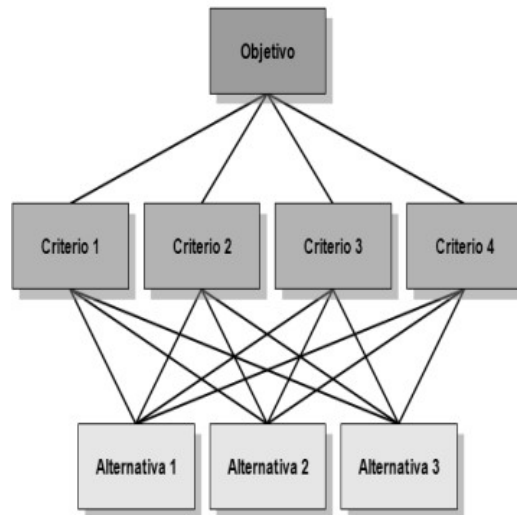
A Análise Hierárquica de Processos (AHP), desenvolvida por Thomas L. Saaty na década de 1970, é um método de auxílio à decisão baseado em múltiplos critérios. Seu objetivo é facilitar a escolha entre alternativas, levando em consideração diferentes critérios e subcritérios, tanto qualitativos quanto quantitativos (SAATY, 1977). Ainda segundo o autor, a AHP cria uma hierarquia de decisões, que permitem a definição da importância de diferentes critérios adotados, assim como uma visão holística (AZEVEDO et al., 2016).

Este método se baseia na criação de uma hierarquia de decisão, com diferentes níveis de importância, que permitem uma visão abrangente das relações envolvidas no processo (AZEVEDO et al., 2016). A ideia é priorizar as alternativas, considerando a importância de cada critério, o que ajuda o tomador de decisão a ter uma visão geral do sistema e de suas interações para alcançar o objetivo desejado. O método AHP fundamenta-se em três princípios do pensamento analítico, conforme Costa (2002), sendo eles: a construção de hierarquias, definição de prioridades e consistência lógica.

O AHP oferece uma abordagem sistemática para a hierarquização e ponderação de critérios, permitindo que as decisões sejam fundamentadas em comparações par a par e na aplicação de escalas padronizadas, como a proposta por (SAATY, 1980). Isso não apenas aumenta a consistência na definição dos pesos, mas também viabiliza a verificação da consistência das decisões tomadas, garantindo maior robustez à análise. Assim, o uso do AHP contribui para reduzir a subjetividade inerente ao método, tornando-o mais confiável e adequado para aplicações em análises complexas, como aquelas voltadas à gestão de riscos ambientais e planejamento territorial.

Na análise AHP, o problema é organizado em níveis hierárquicos para facilitar a compreensão e avaliação. Os objetivos são colocados no primeiro nível, os critérios no segundo e as alternativas no terceiro, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Representação da estrutura hierárquica de decisão do AHP.



Fonte:(SAATY, 1977), adaptado pelo autor.

Na AHP, o processo de priorização é baseado na capacidade do tomador de decisão de perceber a influência relativa de cada elemento nos diferentes níveis hierárquicos (SACRAMENTO, 2020). Para isso, o tomador de decisão faz comparações em pares entre os elementos da hierarquia (critérios, subcritérios e alternativas), atribuindo valores da escala de Saaty (1991), que varia de 1 a 9.

Conforme apontado por Costa (2002), um dos benefícios da AHP, neste contexto, é a capacidade de avaliar a consistência do modelo de priorização desenvolvido. Essa avaliação é feita através da razão de consistência (RC), que é obtida dividindo o Índice de Consistência (ICon) pelo Índice de Consistência Randômica (IR). O valor da RC varia de 0 a 1, sendo 0 indicativo de total consistência e 1 de total inconsistência, conforme explicado por (SACRAMENTO, 2020).

Na literatura, diversos estudos empregam o método AHP para mapear áreas de risco de inundação. A seleção das variáveis utilizadas varia conforme as características dos locais estudados e os dados disponíveis. Por exemplo, Rezende, Marques e Oliveira (2017) e Miranda et al. (2019) utilizaram parâmetros como tipos de solo, uso do solo, altitude e declividade, enquanto Coelho (2017) analisou dados de declividade, taxa de

impermeabilização e topografia. Por sua vez, Viegas, Terra e Aragona (2017) empregaram informações sobre classes de solo, uso e cobertura do solo, altitude, declividade, densidade de fluxo e índice espectral de água.

Os autores Magalhães e Thiago (2011) aplicaram o método AHP e a coleta de dados em campo para mapear áreas suscetíveis a inundações em Guaçuí/ES, com o objetivo de comparar os resultados dos dois métodos. O método AHP, considerando critérios como declividade, altitude, uso do terreno e tipo de solo, estabeleceu uma área inundável de 188,78 ha. A análise das áreas inundáveis mostrou pouca discrepância entre os métodos, evidenciando a precisão do AHP no mapeamento. O trabalho conclui que o modelo AHP é eficaz, destacando a vantagem de delimitar áreas de risco exclusivamente no ambiente SIG.

No entanto, Dalfi et al. (2013), compararam dois cenários de mapeamento de áreas de alto risco de inundação em bairros de Alegre, ES. No primeiro cenário, foi aplicada a metodologia do IPT adaptada pelos autores, com dados encontrados in loco. No segundo, utilizou-se o método AHP, considerando critérios como altitude, declividade e uso da terra. O cenário 1, baseado em dados locais, apresentou melhor precisão na delimitação das áreas com maior risco de inundação. A área de inundação ocorreu como "Muito alto risco" no primeiro cenário foi de 18,64 ha (3,31%), enquanto no segundo cenário foi de 69,48 ha (12,33%). O estudo concluiu que a AHP superestimou o risco de inundação em relação ao mapeamento feito com coleta in loco.

3.4 Vulnerabilidade socioambiental

3.4.1 Gestão de desastres: risco, susceptibilidade e vulnerabilidade

Para o correto mapeamento de áreas influenciadas por fenômenos de inundação, é fundamental a compreensão dos conceitos de suscetibilidade, vulnerabilidade e risco.

O termo risco está associado a probabilidade de um evento adverso ocorrer em locais considerados suscetíveis à manifestação de processos perigosos (MARANDOLA; HOGAN, 2004).

A suscetibilidade refere-se à predisposição natural de um terreno a ser afetado por inundações, levando em conta apenas características físicas ambientais da região (WILVERT, 2010). Segundo o CPRM - Serviço Geológico do Brasil; IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2014), esta susceptibilidade é associada a fatores como topografia, tipo de solo, declividade, proximidade de corpos d'água e padrões de precipitação. Por exemplo, planícies aluviais ao longo de rios são áreas naturalmente suscetíveis, pois acumulam água em períodos de cheia. Da mesma forma, terrenos com baixa permeabilidade do solo, como os argilosos, favorecem o escoamento superficial e aumentam a suscetibilidade a inundações. Estudos de suscetibilidade são essenciais para identificar onde eventos de inundação têm maior probabilidade de ocorrer, mas não consideram os aspectos humanos ou sociais.

Por outro lado, a vulnerabilidade está relacionada à capacidade de uma população ou sistema ambiental em resistir, responder e se recuperar de uma inundação. Esse conceito inclui fatores socioeconômicos e estruturais, como a qualidade das habitações, a presença de saneamento básico, o nível de escolaridade, a renda e a composição demográfica (MARANDOLA; HOGAN, 2004). Por exemplo, um bairro com alta densidade populacional, onde a maioria dos moradores vive em condições precárias, terá uma vulnerabilidade maior do que uma área com infraestrutura adequada e serviços públicos disponíveis.

Além disso, grupos específicos, como idosos, crianças pequenas e pessoas com deficiência, são mais vulneráveis devido à dificuldade de adaptação e mobilidade em emergências (CUTTER, 2011). Estudos de vulnerabilidade, como o de Marandola e Hogan (2004), buscam entender como as condições sociais e econômicas afetam a capacidade de recuperação de uma comunidade, independentemente da suscetibilidade

natural do local. Nele vemos que fatores como a renda, grau de escolaridade e renda familiar são fatores relevantes.

É importante ressaltar a relevância do mapeamento de áreas de risco à inundação no processo de tomada de decisão dos gestores públicos, fomentando uma melhor compreensão e delimitação das zonas vulneráveis, alocação de recursos financeiros e a criação de planos de emergência, como forma de prevenir ou mitigar impactos causados pela ocorrência de acidentes hidrológicos (PORTELA et al., 2023). Nesse âmbito, Leal; Barbosa e Aquino (2020) destacam que o mapeamento de vulnerabilidade socioambiental auxilia na definição de regiões prioritárias criação de planos, programas, assim como implementação de políticas públicas para mitigar a vulnerabilidade a inundação e alagamento da região.

Diante disso, Esteves (2011) aborda a vulnerabilidade ambiental como a maneira pela qual os riscos ambientais, como enchentes ou desastres naturais, afetam diferentes áreas e causam danos a elas. Para Alves (2006), esse conceito é usado para entender o impacto desses riscos em regiões ou ecossistemas, e a localização desses problemas é fundamental. Quando consideramos tanto os aspectos sociais quanto os ambientais, o termo “vulnerabilidade socioambiental” se aplica, pois detecta que os riscos não afetam apenas o meio ambiente, mas também são influenciados por questões sociais, econômicas e culturais.

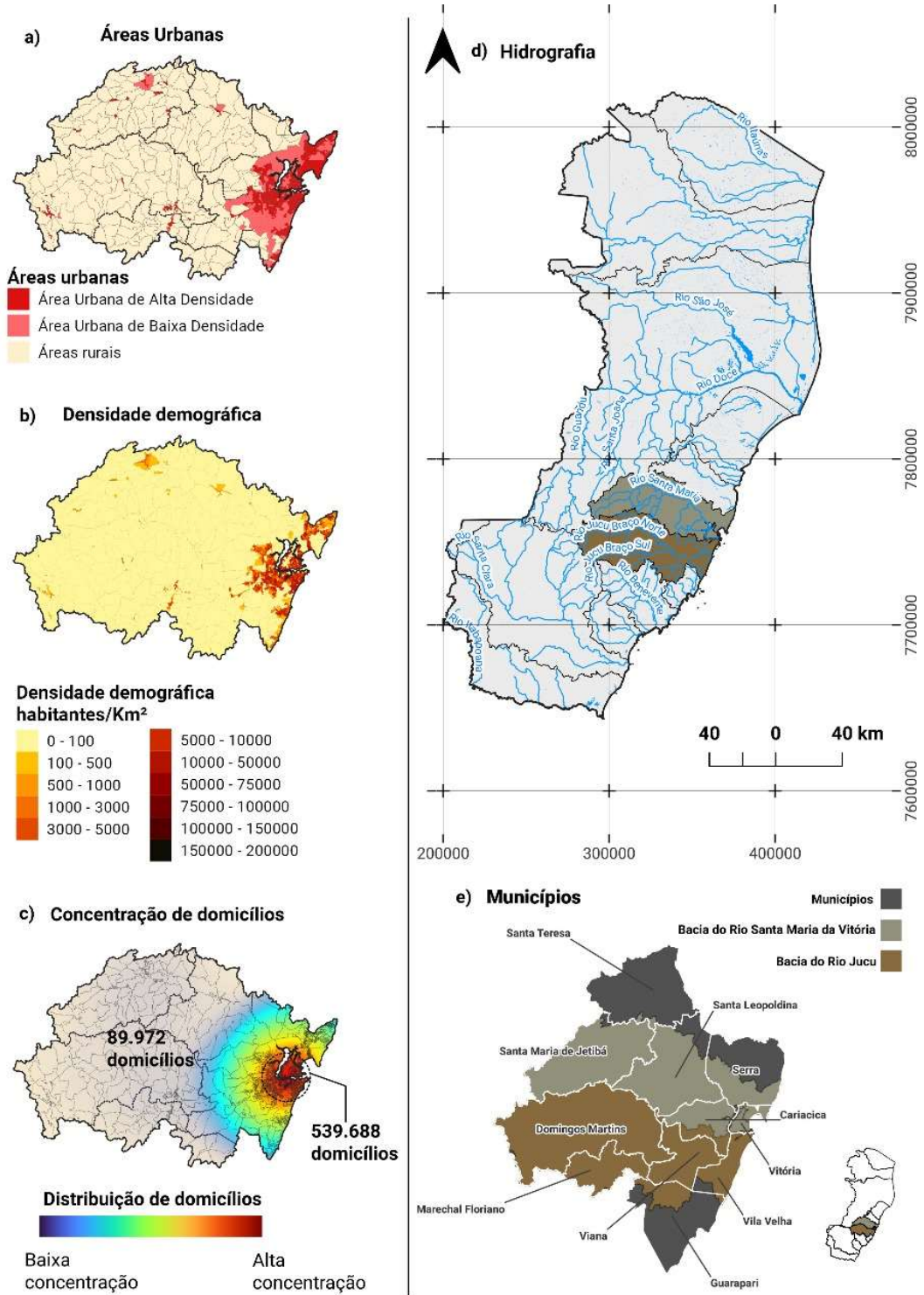
4 MATERIAL E MÉTODOS

No presente tópico está detalhada a caracterização da área de estudo, abrangendo a localização geográfica e a caracterização físico-ambiental do estado do Espírito Santo, evidenciando os fatores que influenciam na ocorrência de inundações na região. Além disso, também são apresentados os procedimentos metodológicos empregados para o desenvolvimento das atividades e obtenção dos resultados. Apresentam-se, ainda, informações acerca dos critérios associados à susceptibilidade à inundação, levantamento das bases de dados geográficos e detalhamento da técnica de análise multicritério com o método AHP, em ambiente SIG, empregada para elaboração do mapa de susceptibilidade à inundação e do mapa de vulnerabilidade socioambiental à inundação.

4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo definida para a realização da presente pesquisa é o estado do Espírito Santo. O estado está situado entre as coordenadas 17° e 22° de latitude sul e entre 39° e 42° de longitude oeste, integrando a região Sudeste do Brasil, em conjunto com São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Na Figura 5 encontra-se disponível as informações referentes a localização da área de estudo no estado do Espírito Santo, com enfoque na bacia do rio Santa Maria da Vitória e do rio Jucu, ilustrando os municípios, densidade demográfica, distribuição espacial de domicílios, estabelecimentos e respectivas áreas urbanizadas e rurais.

Figura 5 – Localização da área de estudo no estado do Espírito Santo.



Fonte: o autor. Base de dados obtida junto ao IBGE (2022), ANA (2013) e IEMA (2012).

Com relação ao clima do estado, é classificado como tropical úmido. Este regime climático é caracterizado por temperaturas médias anuais em torno de 23°C, sendo marcado por uma estação chuvosa bem definida, principalmente durante o verão. A precipitação anual média é de 1.400 mm, com uma distribuição particularmente intensa nos meses mais quentes do ano (Espírito Santo, 2024).

O estado apresenta uma abrangente rede hidrográfica, composta por diversas bacias e sub-bacias que desempenham um papel crucial na disponibilidade de água e no desenvolvimento de suas atividades socioeconômicas. São administrados 14 comitês de bacias hidrográficas e órgãos colegiados responsáveis pela gestão dos recursos hídricos (AGERH, 2024). Entre as principais bacias encontram-se: a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória e do rio Jucu (AGERH, 2024).

Segundo dados do Censo do IBGE (2022), o estado do Espírito Santo possui uma área total de 46.074,45 km² e uma população de 3.833.712 habitantes, resultando em uma densidade demográfica média de 83,21 habitantes/km². Contudo, a distribuição da população ocorre de maneira bastante heterogênea, cerca de 50% da população do estado está concentrada na RMGV, principalmente nos municípios de Vitória, Vila Velha, Serra e Cariacica.

O município de Vitória, de acordo com a Figura 5e, está inserido na bacia do rio Santa Maria da Vitória, enquanto Vila Velha está inserida na bacia do rio Jucu. Já o município de Cariacica tem seu território em ambas as bacias. Essas duas bacias concentram aproximadamente 42% da população total do estado, evidenciando uma forte pressão demográfica sobre essas áreas. A alta densidade demográfica observada na região litorânea está diretamente associada a fatores históricos e econômicos, como a localização estratégica para o desenvolvimento urbano e a logística portuária devido à proximidade com os recursos hídricos.

O mapa de densidade demográfica do estado por setor censitário mostra que Vitória apresenta uma densidade demográfica bastante expressiva, com áreas onde os valores ultrapassam 150.000 habitantes/km². Esse cenário de adensamento urbano é

bastante característico de áreas metropolitanas, o que acaba gerando desafios socioeconômicos relacionados à infraestrutura, à gestão de recursos hídricos e à vulnerabilidade socioambiental. Em Vila Velha e Cariacica, os padrões de ocupação territorial também mostram altas densidades demográficas em áreas próximas ao rio Santa Maria, indicando maior susceptibilidade a eventos hidrológicos extremos, como inundações e alagamentos como pode ser observado na Figura 5b.

Ao analisar a distribuição espacial dos domicílios, conforme os dados do IBGE (2022), na Figura 5c, fica mais evidente a maior concentração populacional na porção costeira das bacias hidrográficas do rio Santa Maria e do rio Jucu. Aproximadamente 89% dos domicílios georreferenciados pelo IBGE nas duas bacias estão localizados na porção costeira, sendo que 539.688 (65%) dos domicílios estão situados apenas nos municípios de Vitória, Vila Velha e Cariacica. Enquanto isso, a densidade de domicílios decresce em direção ao interior das bacias hidrográficas, especialmente nas áreas rurais, com apenas 89.972 domicílios (11%) nas demais áreas.

O padrão de adensamento urbano também fica evidente ao se visualizar as zonas urbanas e rurais de cada um dos municípios inseridos nestas duas bacias, conforme Figura 5a. Observa-se que as áreas urbanizadas com alta e baixa edificação estão concentradas na mesma região densamente povoada, enquanto as áreas rurais apresentam baixa densidade populacional. Por outro lado, as áreas rurais, localizadas predominantemente nas porções interiores das bacias, apresentam um padrão de ocupação mais espaçado, associado a uso e ocupação típico de áreas rurais, como agropecuárias e florestais. Esses territórios desempenham um papel essencial na preservação dos recursos hídricos, devido à maior presença de vegetação natural, que contribui para a regulação do ciclo hidrológico e a redução do escoamento superficial.

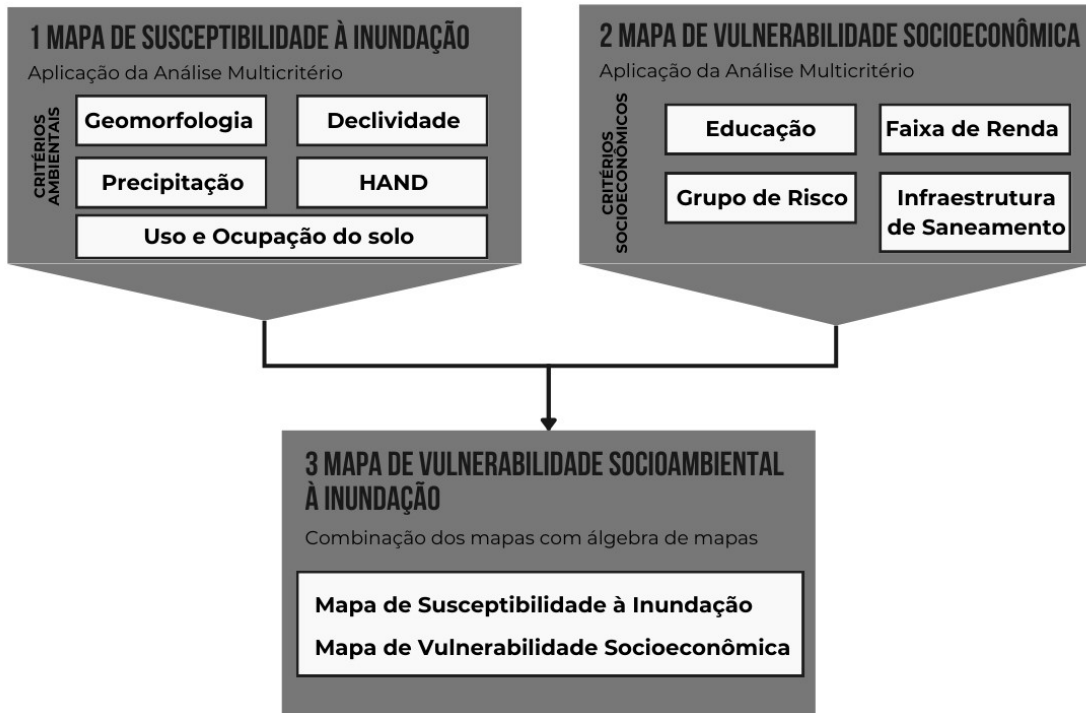
4.2 Descrição das etapas de trabalho

Para o mapeamento da vulnerabilidade socioambiental associada à ocorrência de inundações na bacia hidrográfica do rio Santa Maria e na bacia do rio Jucu, no estado do Espírito Santo, foi empregada técnica de análise multicritério (AMC) com o método do Processo Analítico Hierárquico (AHP), em ambiente SIG, com o uso da álgebra de mapas

Dessa forma, o desenvolvimento desta pesquisa abrangeu desde a revisão de literatura, passando pela definição dos critérios ambientais e socioeconômicos que pode influenciar diretamente os processos estudados, levantamento das bases de dados cartográficas, processamento e reclassificação dos dados, elaboração dos mapas temáticos de cada critério, elaboração do mapa de susceptibilidade à inundação, elaboração do mapa de vulnerabilidade socioeconômica e, por fim, a integração destes para gerar o mapa de vulnerabilidade socioambiental.

Assim, foram executados uma série de procedimentos metodológicos que, para uma melhor compreensão, foram apresentados de forma esquemática na Figura 6, onde pode ser visualizado o fluxograma esquemático das atividades executadas ao longo da pesquisa, as quais serão apresentadas em mais detalhes a seguir.

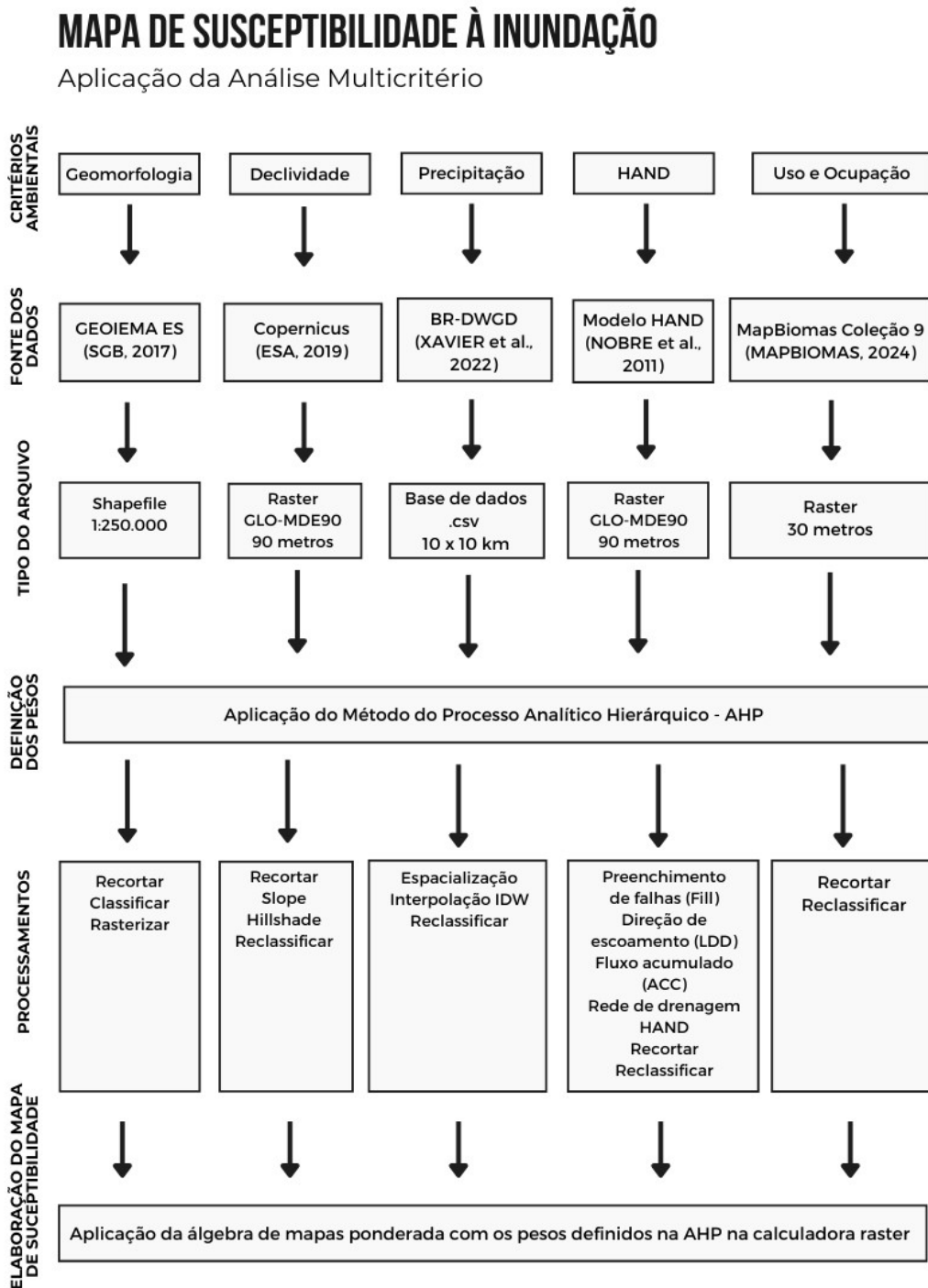
Figura 6 -Fluxograma esquemático das atividades executadas.



Fonte: o autor.

A primeira etapa da pesquisa consistiu na elaboração do mapa de susceptibilidade à inundação por meio da técnica de análise multicritério (AMC), conforme fluxograma de etapas da Figura 7. Para o mapeamento inicial das áreas susceptíveis, foram considerados cinco critérios ambientais que são frequentemente associados à ocorrência de inundação: geomorfologia, declividade, HAND (*Heights Above the Nearest Drainage*), precipitação e uso e ocupação do solo.

Figura 7 - Fluxograma do processo de análise multicritério para elaboração do mapa de susceptibilidade à inundação.

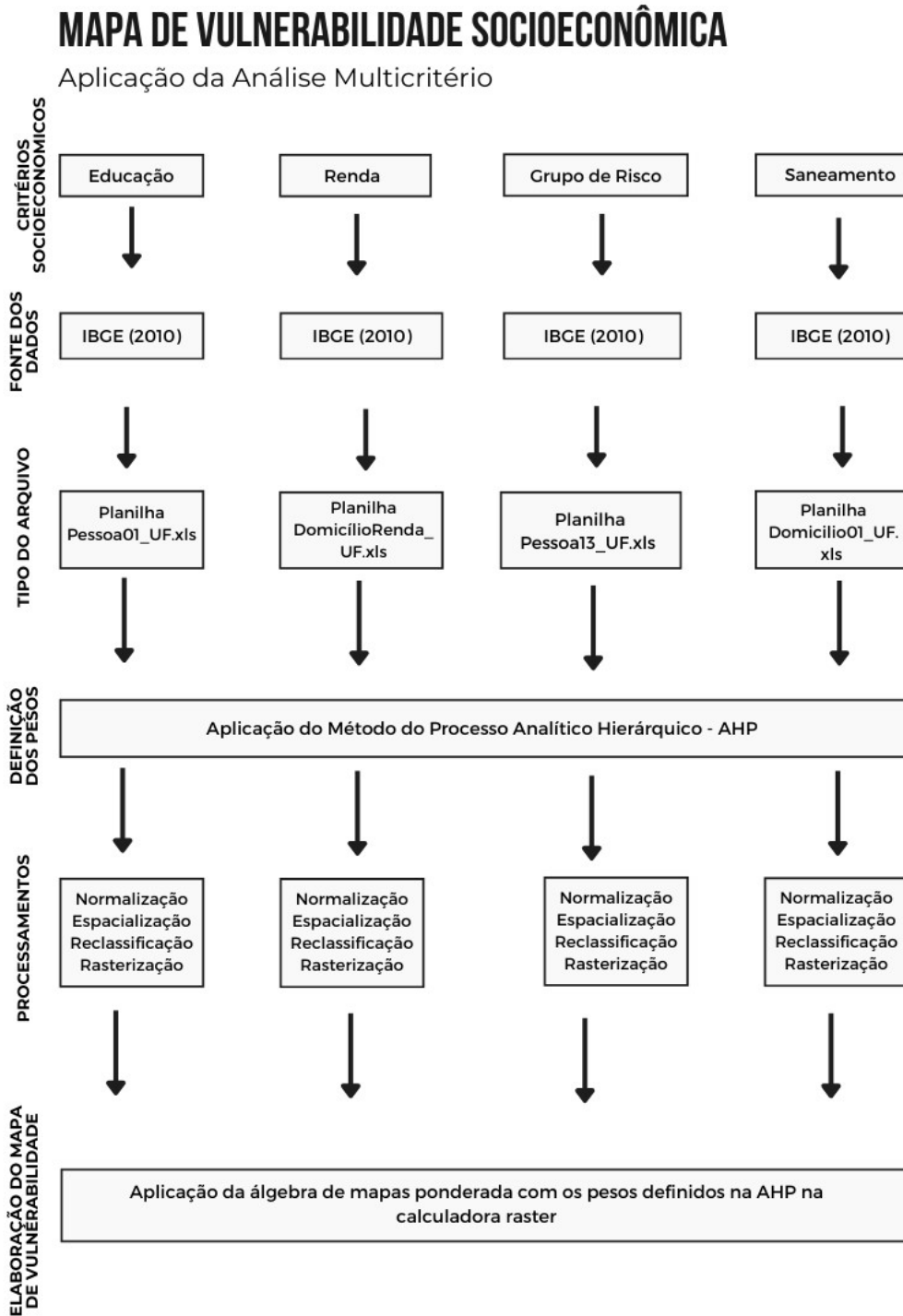


Fonte: o autor.

Na sequência, elaborou-se o mapa de vulnerabilidade socioeconômica novamente por meio da técnica de análise multicritério, com o uso da AHP, conforme fluxograma de etapas da Figura 8. Para este mapa foram considerados quatro critérios relacionados à vulnerabilidade socioeconômica da região: educação, faixa de renda mensal, população em grupos de risco (população com faixa etária superior a 60 anos) e a infraestrutura de saneamento básico disponível.

Por fim, os dois mapas gerados foram integrados em ambiente SIG, por meio da técnica de álgebra de mapas, resultando no mapa de vulnerabilidade socioambiental para as bacias de estudo.

Figura 8 - Fluxograma do processo de análise multicritério para elaboração do mapa de vulnerabilidade socioeconômica.



Fonte: o autor.

4.3 Definição dos critérios de interesse

Para o mapeamento da susceptibilidade a inundações, foram considerados cinco critérios ambientais de grande relevância para ocorrência de inundações: geomorfologia; declividade; HAND; precipitação; e uso e ocupação do solo. A seleção desses critérios foi fundamentada na revisão bibliográfica que identificou os critérios mais relevantes e mais frequentemente utilizados em estudos acadêmicos sobre essa temática, como no estudo de (CARVALHO, 2017; CAMPIOLI; VIEIRA, 2019; NASCIMENTO, 2020; GARCIA; DOURADO; DE AVILA, 2022 e SANTOS et al., 2022).

Para o mapeamento da vulnerabilidade socioeconômica, foram considerados quatro critérios associados à vulnerabilidade socioeconômica, de acordo com estudos de Nascimento (2020) e Makrakis (2017), sendo utilizados os critérios de educação, renda, grupo de risco, e o saneamento básico para avaliação do grau de vulnerabilidade socioeconômica.

4.4 Base de dados para susceptibilidade à inundação

4.4.1 Geomorfologia

Os dados geomorfológicos da área de estudo foram obtidos a partir da plataforma GEOIEMA, uma plataforma *on-line* desenvolvida pela Coordenação de Geomática, Inovação Tecnológica e Informações Ambientais (CGEO) do Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA) do estado do Espírito Santo (ES). A partir dessa base cartográfica foi desenvolvida análise espacial da diversidade geomorfológica no estado, contemplando as unidades geomorfológicas presentes no Espírito Santo.

Na sequência, foi feita uma análise das unidades geomorfológicas existentes. Cada uma das unidades geomorfológicas identificadas no estado foi classificada com base em seu nível de susceptibilidade a inundações. O grau de susceptibilidade variou entre muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. A classificação foi realizada levando em consideração as características inerentes a cada unidade, como a

topografia, de modo que unidades de maior elevação apresentam menor susceptibilidade devido ao escoamento eficaz, enquanto áreas planas ou depressões, próximas a rios, lagos ou ao oceano, tendem a ser mais vulneráveis. A presença de influências marinhas ou fluviais também contribuiu para a susceptibilidade das diferentes unidades. Além disso, também foram considerados outros estudos na área e a nota técnica para modelagens de inundação elaborada pelo SGB (2021). Assim, foram atribuídos os graus de susceptibilidade a inundação a cada uma das unidades geomorfológicas presentes no estado, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Grau de susceptibilidade à inundação das unidades geomorfológicas

Unidade geomorfológica	Grau de susceptibilidade	Reclassificação
Alinhamentos de Cristas da Paraíba do Sul	Muito baixo	1
Bloco Montanhoso Central	Muito baixo	1
Maçiços do Caparaó	Baixo	2
Colinas e Maciços Costeiros	Baixo	2
Patamares Escalonados do Sul Capixaba	Baixo	2
Chãs Pré-Litorâneas	Moderado	3
Tabuleiros Costeiros	Moderado	3
Terraços Fluviais	Moderado	3
Terraços Marinhos	Moderado	3
Depressão do Médio rio Doce	Alto	4
Depressão Escalonada dos rios Pomba-Muriaé	Alto	4
Depressão Marginal	Alto	4
Planícies de Enxurrada	Muito alto	5
Planícies Fluviais	Muito alto	5
Planícies Fluvio-lacustres	Muito alto	5
Planícies Fluvio-marinhas	Muito alto	5
Planícies Fluvio-lagunares	Muito alto	5
Planícies Marinhas	Muito alto	5

Fonte: o autor.

Após a atribuição do grau de susceptibilidade na tabela de atributos do arquivo shapefile, foi realizada a sua conversão para o formato raster, de maneira que as feições classificadas como grau muito baixo ficaram com valor de 1, grau baixo com valor de 2, grau moderado com valor de 3, grau alto com valor de 4 e grau muito alto com valor de 5.

4.4.2 Declividade

Os dados de declividade do terreno foram gerados a partir do processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) do *Copernicus* Global, com resolução espacial de 90 m (GLO-MDE90). A partir do MDE foi realizado o processamento para geração dos valores de declividade em porcentagem. Para elaboração do mapa temático foi feita a classificação dos valores de declividade % conforme as classes de referência estabelecidas pela EMBRAPA (1979), que classifica a declividade do terreno em 06 classes, variando desde o plano (com declividade entre 0 e 3%) até o relevo escarpado (com declividade superior a 75%).

Em seguida foram atribuídos graus de susceptibilidade a ocorrência de inundação para cada classe definida pela EMBRAPA. Por fim, foi feita a reclassificação do arquivo raster por meio da ferramenta *reclass*, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Grau de susceptibilidade à inundação das classes de declividade

Declividade %	Grau de susceptibilidade	Reclassificação
> 75 % Escarpado	Muito baixo	1
45 – 75 % Montanhoso	Baixo	2
20 – 45 % Forte ondulado	Moderado	3
8 – 20% Ondulado	Moderado	3
3 – 8% Suave ondulado	Alto	4
0 – 3% Plano	Muito alto	5

Fonte: o autor.

4.4.3 Modelo HAND – *Height Above the Nearest Drainage*

O levantamento do modelo HAND do estado também foi gerado a partir do processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Copernicus Global, com resolução espacial de 90 m (GLO-MDE90). Elaborado por Nobre et al. (2016), o modelo HAND representa a altura acima da drenagem mais próxima, utilizando a diferença entre a altitude extraída do MDE e a rede de drenagem gerada a partir do MDE para calcular alturas relativas. Essa altura possui correlação com a profundidade do lençol freático e com a topografia do terreno, de modo que regiões com menor diferença de altura tendem a ter maior suscetibilidade a inundações. Essa é uma variável bastante relevante em cálculos de modelos hidrostáticos, representando de forma efetiva a cota de inundação de uma área em eventos de inundação. O modelo HAND identifica automaticamente a rede de drenagem e subtrai os valores dos pixels mais próximos dos correspondentes à drenagem.

Para geração do HAND foi feito o processamento do MDE no *software HAND model*, Nobre et al., (2016) realizando os seguintes procedimentos: correção dos vazios, geração do fluxo acumulado, geração das drenagens e geração das direções de fluxo. Em seguida, os dados raster foram reamostrados utilizando o método de quartil para cinco classes. A cada uma dessas classes foram atribuídos graus de susceptibilidade à ocorrência de inundações, de acordo com a análise proposta. Posteriormente, o arquivo raster foi reclassificado utilizando a ferramenta reclass, que permitiu reorganizar os valores das classes conforme os critérios estabelecidos para a análise em Tabela 3.

Tabela 3 – Grau de susceptibilidade à inundação das classes de HAND

HAND	Grau de susceptibilidade	Reclassificação
50 – 100 m	Muito baixo	1
20 – 50 m	Baixo	2
9 – 20 m	Moderado	3
3 – 9 m	Alto	4
0 – 3 m	Muito alto	5

Fonte: o autor.

4.4.4 Precipitação

Os dados de precipitação para a área de estudo foram obtidos a partir do conjunto de dados de precipitação diários brasileiros aprimorados em grade (1961–2020), desenvolvidos por (XAVIER et al., 2022).

Com base na análise de dados, foi calculada a média da precipitação máxima diária anual considerando os anos hidrológicos, pois leva em conta a chuva máxima registrada em cada estação chuvosa. Esses valores médios máximos foram então espacializados por técnica geoestatística de interpolação, com resolução espacial 50x50 metros, utilizando o método do inverso do quadro da distância (IDW).

Em seguida, o conjunto de dados de precipitação para área foi agrupado por intervalos iguais em 5 classes. Para cada uma dessas classes foram atribuídos graus de susceptibilidade à ocorrência de inundações, de acordo com a análise proposta. Posteriormente, o arquivo raster foi reclassificado utilizando a ferramenta reclass, que permitiu reorganizar os valores das classes conforme os critérios estabelecidos para a análise em Tabela 4.

Tabela 4 – Grau de susceptibilidade à inundação das classes de precipitação

Precipitação (mm)	Grau de susceptibilidade	Reclassificação
48 – 56	Muito baixo	1
50 – 56	Baixo	2
56 – 62	Moderado	3
62 – 67	Alto	4
67 – 75	Muito alto	5

Fonte: o autor.

4.4.5 Uso e Ocupação do Solo

Os dados de uso e ocupação do solo da área de estudo foram obtidos a partir da plataforma MapBiomas, utilizando a Coleção 9 de dados de Uso e Cobertura da Terra. Os dados de uso e ocupação foram baixados em formato raster em seguida recortados

para área de estudo, foi feita uma análise das classes de cobertura existentes no estado. Para a partir da análise das classes de uso e cobertura da terra presentes no estado, foram atribuídos graus de susceptibilidade para cada uma das classes. Em seguida, o raster de uso e ocupação foi reclassificado conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Grau de susceptibilidade à inundação das classes de uso e ocupação do solo

CLASSE	Grau de susceptibilidade	Reclassificação
Floresta: formação florestal, savanas, restinga arbórea.	Muito baixo	1
Formação Natural não Florestal: formação campestre, restinga herbácea, outras formações.	Baixo	2
Agropecuária: pasto, silvicultura, lavoura temporária, vários usos, lavoura perene.	Moderado	3
Área não Vegetada: área urbana, outras áreas não vegetadas.	Alto	4
Área de praias e dunas.		5
Corpos d'água: rios.	Muito alto	5
Manguezais.	Muito alto	5
Wetlands.	Muito alto	5

Fonte: o autor.

4.5 Base de dados para vulnerabilidade socioeconômica

O levantamento dos dados para os critérios socioeconômicos foi realizado a partir do Censo Demográfico de 2010, utilizando informações sociais, econômicas e demográficas da população. Esses dados foram extraídos das planilhas de resultados do universo por setor censitário, disponibilizadas pelo IBGE.

4.5.1 Grupo de Risco

Para o critério grupo de risco, foi utilizado o quantitativo de habitantes com idade igual ou superior a 60 anos em cada setor censitário. Essa informação foi extraída do arquivo idade total (planilha Pessoa13), somando os valores das colunas V099 (pessoas com 60 anos) até V0134 (pessoas com 100 ou mais anos).

Os dados foram normalizados de acordo com Henderi, (2021) de forma linear para uma escala entre 0 e 1. Essa padronização elimina diferenças de escala e magnitude, evitando distorções em análises comparativas e facilitando a interpretação e comparação entre as variáveis. Após a normalização, o valor 1 representa o setor com a maior concentração de pessoas em grupo de risco, e o valor 0 representa o setor com a menor concentração. Dessa forma, valores mais próximos de 1 indicam uma situação mais crítica, enquanto valor mais próximos de 0 indicam uma situação menos vulnerável. A partir da normalização (Equação 1), os dados normalizados foram classificados em 5 classes, muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta, onde entre 0 e 0,2, muito baixa entre 0,2 e 0,4, baixa entre 0,4 e 0,6, moderada, 0,6 e 0,8, alta, 0,8 e 1, muito alta, conforme Tabela 6.

$$X(\text{normalizado}) = \frac{x - \text{mi}(x)}{\text{max}(x) - \text{min}(x)} \quad (1)$$

Onde: X= valor normalizado; Max (X) = valor máximo; Min (X) = valor mínimo

Tabela 6 – Grau de vulnerabilidade socioeconômica

Classe	Normalização	Reclassificação
Muito Baixa	0 – 0,2	1
Baixa	0,2 – 0,4	2
Moderada	0,4 – 0,6	3
Alta	0,6 – 0,8	4
Muito alta	0,8 – 1,0	5

Fonte: o autor.

4.5.2 Educação

Para o critério educação, foi utilizado o quantitativo de habitantes alfabetizados com idade igual ou superior a 5 anos em cada setor censitário. Esses dados foram extraídos do arquivo alfabetização total (planilha Pessoa01), na coluna V001, que representa pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade.

Os dados foram submetidos ao mesmo processo de normalização entre 0 e 1, e os setores censitários foram classificados nas mesmas cinco categorias de vulnerabilidade descritas anteriormente. Essa abordagem destaca setores onde a baixa escolaridade pode aumentar a vulnerabilidade socioeconômica.

4.5.3 Renda

Para o critério renda, foi utilizado o quantitativo de domicílios sem renda mensal per capita. Essa informação foi obtida a partir do arquivo renda dos domicílios (planilha domicílio renda), na coluna V014, que indica domicílios particulares sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita.

Os dados também foram normalizados e classificados nas mesmas cinco categorias. Esse critério permite identificar áreas com maior fragilidade econômica, indicando maior dificuldade para enfrentar situações de risco.

4.5.4 Saneamento

O critério saneamento foi definido com base no quantitativo de domicílios com coleta de lixo e domicílios com esgoto a céu aberto. Os dados foram extraídos do arquivo domicílio, características gerais (planilha domicilio01), considerando as seguintes colunas: V035 domicílios particulares permanentes com lixo coletado e V050, V052 e V054: domicílios particulares permanentes com esgoto a céu aberto.

Para esse critério, foi calculada a média entre os indicadores selecionados, seguido do processo de normalização linear entre 0 e 1. Os setores censitários foram então classificados nas mesmas cinco categorias de vulnerabilidade. Este critério evidencia

áreas com condições inadequadas de saneamento, fator crítico para a saúde pública e a qualidade de vida, sobretudo em situações de risco como inundações.

4.6 Elaboração do mapa de susceptibilidade à inundação

Para a elaboração do mapa de susceptibilidade à inundação, foram utilizados os arquivos raster reclassificados referentes aos critérios de geomorfologia, precipitação, declividade, HAND e uso e ocupação do solo. Após a reclassificação, foi realizada a integração dos critérios por meio da álgebra de mapas, utilizando a ferramenta "Calculadora Raster" no QGIS. Para isso, foi empregada a álgebra ponderada, que consiste na soma dos termos em função dos pesos de cada critério, ou seja, considerando os pesos atribuídos a cada critério com base nos resultados do método AHP disposto no item 4.9. A operação combinou os valores reclassificados de cada critério, ponderados por seus respectivos pesos, resultando em um arquivo raster único que representa a susceptibilidade à inundação, com resolução espacial 50x50 metros.

O arquivo raster resultante apresentou valores que variaram entre 0,97 e 4,85, indicando o grau de susceptibilidade de cada pixel. Para a construção do mapa final, os valores do raster foram classificados em intervalos definidos, conforme os critérios estabelecidos na Tabela 7. A simbologia foi ajustada para representar visualmente as classes de susceptibilidade, permitindo identificar de maneira clara as áreas de maior e menor vulnerabilidade à ocorrência de inundações.

Tabela 7 – Grau de susceptibilidade à inundação

Valor do raster	Grau de susceptibilidade
0 <= 1,0	Muito baixo
1,0 <= 2,0	Baixo
2,0 <= 3,0	Moderado
3,0 <= 4,0	Alto
4,0 <= 5,0	Muito alto

Fonte: o autor.

4.7 Elaboração do mapa de vulnerabilidade socioeconômica

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade socioeconômica, foram utilizados os arquivos raster reclassificados referentes aos critérios de grupo de risco, educação, renda e saneamento. Para isso, foi empregada a álgebra ponderada, considerando os pesos atribuídos a cada critério com base nos resultados do método AHP. A operação combinou os valores reclassificados de cada critério, ponderados por seus respectivos pesos, resultando em um arquivo raster único que representa a vulnerabilidade socioeconômica com resolução espacial 50x50 metros.

O arquivo raster resultante apresentou valores que variaram entre 0 e 4, indicando o grau de vulnerabilidade de cada pixel. Para a construção do mapa final, os valores do raster foram classificados em intervalos definidos, conforme os critérios de renda, educação, grupo de risco e saneamento. A simbologia foi ajustada para representar visualmente as classes de susceptibilidade, permitindo identificar de maneira clara as áreas de maior e menor vulnerabilidade à ocorrência de inundações.

Vale ressaltar que a normalização dos dados ocorreu da seguinte forma: Para cada seleção, como renda, educação, saneamento e grupo de risco, a fórmula foi utilizada de acordo com cada critério. Quando a renda for “baixa” e quando se tem “maior” número de pessoas idosas, as áreas são mais vulneráveis. Já no caso do critério de educação, a situação é diferente: quanto maior o número pessoas que sabem ler e escrever, menor a vulnerabilidade, então, usamos a fórmula inversamente. No caso do saneamento, foi realizado a média entre dois critérios: a coleta de lixo e o esgoto a céu aberto. Neste caso, como ter coleta de lixo é “bom”, e ter esgoto a céu aberto é “ruim”, foi realizada a normalização utilizado a fórmula inversamente para a coleta de lixo, ou seja, as áreas sem a coleta de lixo e com esgoto a céu aberto tornando-se um critério “negativo” e, posteriormente, calculada a média para juntar esses dois fatores e quantificar quanto cada área é vulnerável.

4.8 Elaboração do mapa de vulnerabilidade socioambiental

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade socioambiental foi feita a integração dos mapas de susceptibilidade e vulnerabilidade. Para isso, calculada a média aritmética entre os dois mapas por meio da calculadora raster. O arquivo raster resultante apresentou valores que variaram entre 0 e 4, indicando o grau de vulnerabilidade de cada pixel. Para a construção do mapa final a simbologia foi ajustada para representar visualmente as classes de vulnerabilidade, permitindo identificar de maneira clara as áreas de maior e menor vulnerabilidade socioambiental, conforme os critérios estabelecidos na tabela 7.

4.9 Definição dos pesos dos critérios pelo método AHP

O primeiro passo para a aplicação do Método AHP na definição dos pesos atribuídos a cada critério relacionado à ocorrência de inundações foi realizar uma comparação dois a dois, utilizando uma matriz de comparação pareada. Nessa abordagem, os critérios foram organizados em uma matriz, onde as linhas e colunas representam as variáveis a serem comparadas e cada uma das células da matriz reflete a comparação entre dois critérios.

A comparação foi realizada por meio da atribuição de valores numéricos que expressam o grau de importância ou dominância de um critério em relação a outro, no contexto do fenômeno estudado. Esses valores foram atribuídos com base na escala de Saaty (1991), que varia de 1 a 9, onde o valor 1 indica igual importância entre os critérios e valores mais altos indicam extrema dominância de um critério sobre outro. Para as comparações inversas, o valor atribuído foi o inverso do grau de importância da comparação direta, garantindo a consistência matemática da matriz. A diagonal principal da matriz, que representa o cruzamento de cada critério consigo mesmo, foi preenchida com o valor 1, evidenciando que um critério possui igual importância em relação a si próprio. Na

Tabela 8 é apresentada a escala de valores da AHP elaborada por Saaty, (1991) para realização da comparação pareada entre os critérios.

Tabela 8 – Escala de valores para comparação pareada dos critérios

Grau de importância do critério	Definição do grau de importância do critério	Descrição da relação
1	Importância Igual entre os critérios	Os dois critérios contribuem igualmente
2	Importância ligeiramente menor de um critério sobre o outro	Um dos critérios é ligeiramente mais relevante
3	Importância menor de um critério sobre o outro	
4	Importância moderadamente menor de um critério sobre o outro	Um dos critérios é nitidamente mais relevante
5	Importância maior de um critério sobre o outro	Um dos critérios é fortemente mais relevante
6	Importância bem maior de um critério sobre o outro	Um dos critérios é muito mais relevante
7	Importância muito maior de um critério sobre o outro	Um dos critérios é claramente muito mais fortemente em relação ao outro podendo ser percebido na prática
8	Importância extremamente maior de um critério sobre o outro	Um dos critérios é extremamente predominante em relação ao outro
9	Importância absolutamente maior de um critério sobre o outro	Um dos critérios é na mais alta ordem possível superior ao outro

Fonte: Saaty (1990), adaptado pelo autor.

Na Tabela 9 são apresentados os valores de importância atribuídos pela comparação pareada para a susceptibilidade a inundação. Já na Tabela 10 são apresentados os valores para a vulnerabilidade socioeconômica.

Tabela 9 – Matriz de comparação pareada entre os critérios de susceptibilidade à inundação

Critérios	HAND	Declividade	Uso e ocupação	Precipitação	Geomorfologia
HAND	1	4	3	4	4
Declividade	1/4	1	2	4	4
Uso e ocupação	1/3	1/2	1	3	3
Precipitação	1/4	1/4	1/3	1	1/2
Geomorfologia	1/4	1/4	1/3	2	1

Fonte: o autor.

Tabela 10 – Matriz de comparação pareada entre os critérios de vulnerabilidade socioeconômica

Critérios	Grupo de risco	Renda	Educação	Saneamento
Grupo de risco	1	1/7	1/6	1/8
Renda	7	1	1/2	1/2
Educação	6	2	1	1/2
Saneamento	8	2	2	1

Fonte: o autor.

Conforme metodologia da AHP, após a comparação pareada dos critérios e preenchimento da matriz, foi feito o cálculo dos pesos de cada critério por meio da somatória dos valores obtidos pela comparação pareada. Assim, foi feita a soma de cada uma das linhas, resultando na coluna D. Em seguida, os valores foram normalizados, através da divisão dos valores de cada critério pelo somatório da coluna, resultando nos pesos de cada um dos critérios, conforme as equações 2 e 3.

$$D_i = \sum_{j=1}^n M_{ij} \quad (2)$$

Onde: D_i corresponde ao somatório das linhas de cada critério; M corresponde aos valores de importância atribuídos nas linhas para cada um dos critérios.

$$W_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \quad (3)$$

Onde: W_i corresponde aos pesos de cada critério calculado a partir da normalização dos valores de D_i para cada linha;

Na Tabela 11 são apresentados os pesos resultantes da AHP para cada um dos critérios de susceptibilidade à inundação.

Tabela 11 – Pesos dos critérios de susceptibilidade à inundação

Critérios	D	W	Pesos
HAND	16,0	$16/41,3 = 0,39$	39%
Declividade	11,3	$11,3/41,3 = 0,27$	27%
Precipitação	7,8	$7,8/41,3 = 0,19$	19%
Uso e ocupação	2,3	$2,3/41,3 = 0,06$	6%
Geomorfologia	3,8	$3,8/41,3 = 0,09$	9%
Soma	41,3		

Fonte: o autor.

Observa-se que o HAND foi considerado como critério de maior relevância frente aos demais, com peso de 39%, isso devido a estar associado a proximidade com drenagens e corpos hídricos, o que o torna um dos indicadores mais representativos na avaliação de áreas propensas a este fenômeno. O uso e ocupação foi considerado o critério menos relevante com peso de 6%; contudo, o critério apresenta boa capacidade de refletir as condições de impermeabilização do solo, o que influencia no padrão de escoamento, visto que áreas urbanizadas, com maior impermeabilização, tendem a intensificar o volume e a velocidade do fluxo superficial, contribuindo para a ocorrência de enchentes. Na Tabela 12 são apresentados os pesos resultantes da AHP para cada um dos critérios de vulnerabilidade socioeconômica.

Tabela 12 – Pesos dos critérios de vulnerabilidade socioeconômica

Critérios	D	W	Pesos
Grupo de risco	1,4	$1,4/32,93=0,04$	4%
Renda	9,0	$9,0/32,93=0,27$	27%
Educação	9,5	$9,5/32,93=0,29$	29%
Saneamento	13,0	$13,0/32,93=0,39$	39%
Soma	32,93		

Fonte: o autor.

Observa-se que o critério de saneamento foi considerado como o de maior relevância frente aos demais, por refletir a importância das condições de saneamento para a saúde pública e a qualidade de vida das populações, especialmente em contextos de áreas urbanas densamente povoadas e vulneráveis. O grupo de risco considera a população idosa, com faixa etária igual ou superior a 65 anos, este critério foi considerado o menos relevante com peso de 4% devido a distribuição proporcionalmente menor desse grupo etário em relação à população total da área de estudo, contudo este critério reflete a vulnerabilidade específica de uma parcela da população com mobilidade reduzida e maior susceptibilidade a problemas de saúde durante eventos extremos.

Após o cálculo dos pesos, é necessário avaliar a consistência dos pesos, isto é, avaliar se os pesos obtidos pela comparação pareada são aceitáveis. Para isso, foi calculado a Razão de Consistência (RC), de maneira que para ser considerável aceitável deve ser no máximo de 0,1, sendo necessário revisar o modelo caso o RC ultrapasse este limiar.

Assim, para determinar a RC, primeiramente foi calculado os valores de A_w , que corresponde ao vetor da soma ponderada. Para isso, foi feito o produto matricial entre cada linha da matriz de comparação pareada com a matriz W , de acordo com a Equação 4, resultando assim na matriz A_w da Tabela 13 e Tabela 14.

$$A_{wi} = D \times W \quad (4)$$

Onde: A_{wi} corresponde vetor da soma ponderada de cada critério;

Tabela 13 – Valores de A_w determinados para susceptibilidade à inundação

Critérios	A_w
HAND	2,65
Declividade	1,35
Precipitação	0,90
Uso e ocupação	0,33
Geomorfologia	0,43

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 14 – Valores de A_w determinados para vulnerabilidade socioeconômica

Critérios	A_w
Grupo de risco	0,18
Renda	0,92
Educação	1,29
Saneamento	1,87

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Na sequência foi calculado o vetor λ a partir da divisão dos valores de W pelos autovalores correspondentes A_w , conforme Equação 5, gerando os valores apresentado na Tabela 15 e Tabela 16.

$$\lambda_i = \frac{A_{wi}}{W_i} \quad (5)$$

Onde: λ_i corresponde ao vetor da soma ponderada dos critérios;

Tabela 15 – Valores de λ para susceptibilidade à inundação

Critérios	λ
HAND	6,82
Declividade	4,94
Precipitação	4,76
Uso e ocupação	5,86
Geomorfologia	4,68

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 16 – Valores de λ para vulnerabilidade socioeconômica

Critérios	λ
Grupo de risco	4,13
Renda	3,37
Educação	4,48
Saneamento	4,73

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

A partir dos valores de λ , foi calculado o autovetor (λ_{\max}) por meio da Equação 6, resultado no valor de 5,41 para a susceptibilidade a inundações e 4,18 para vulnerabilidade socioeconômica.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \lambda_i \quad (6)$$

Onde: λ_{\max} corresponde ao vetor de consistência; n corresponde ao número de critérios que estão sendo utilizados na análise.

Em seguida, foi possível calcular o índice de consistência (IC), aplicando o λ_{\max} na Equação 7, obtendo assim um IC de 0,10 para a susceptibilidade a inundações e 0,06 para vulnerabilidade socioeconômica.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

Na sequência foi calculada a Razão de Consistência (RC), para isso foi necessário identificar o Índice Randômico (IR) correspondente a quantidade de critérios utilizados para cada análise, conforme

Tabela 17 de índices elaborada por Saaty (1991), obtendo assim um IR de 1,12 para a susceptibilidade a inundações e 0,89 para vulnerabilidade socioeconômica.

Tabela 17 – Índices Randômicos (IR) utilizados em matrizes para AHP

N	2	3	4	5	6	7
IR	0,0	0,58	0,89	1,12	1,24	1,32

Fonte: Saaty (1990), adaptado pelo autor.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (8)$$

Onde: RC é a razão de consistência; IC é o índice de consistência; IR é o índice randômico.

Por fim, a partir da Equação 8, a RC determinada para a susceptibilidade à inundações foi de 0,09 e 0,06 para vulnerabilidade socioeconômica, ficando ambos abaixo

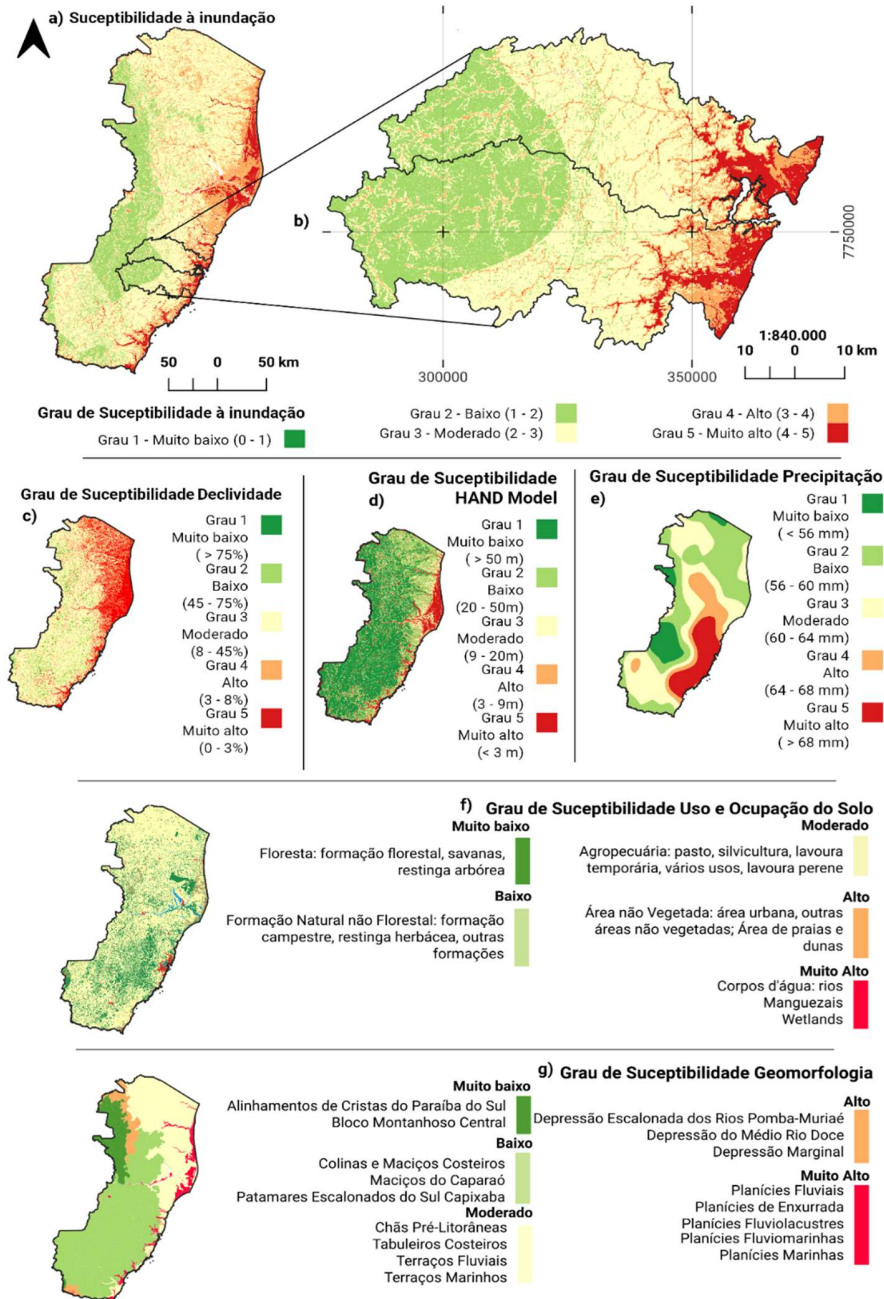
do limiar de 0,10, o que indica que os pesos determinados apresentam consistência e são aceitáveis (SAATY, 1990).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Mapeamento da susceptibilidade à inundação no Espírito Santo

Na Figura 9 é apresentado o resultado do mapeamento da susceptibilidade à inundação, desenvolvido para o estado do Espírito Santo, com destaque para as bacias do rio Santa Maria da Vitória e do rio Jucu. A Figura 9 também apresenta a distribuição espacial dos critérios (geomorfologia, pluviometria, declividade e HAND) utilizados na integração ponderada por meio da análise multicritério, que contribuíram para a identificação dos diferentes graus de susceptibilidade à inundação. O destaque dado às duas bacias que compõem a área de estudo do projeto possibilita uma análise espacial mais detalhada, permitindo identificar como os graus de susceptibilidade estão distribuídos espacialmente ao longo dessas bacias.

Figura 9 - a) Suceptibilidade a inundações. b) Bacia do rio Santa Maria da Vitória e da bacia do rio Jucu. c) Grau de Suceptibilidade declividade. d) Grau de susceptibilidade HAND Model. e) Grau de susceptibilidade Precipitação. f) Grau de susceptibilidade uso e ocupação do solo. g) Grau de susceptibilidade geomorfologia.



Sistema de coordenadas UTM, DATUM SIRGAS 2000, Zona 24 Sul.

Fonte: o autor. Base de dados obtida junto ao IBGE (2022), IEMA (2019), Nobre et. al. (2011), Xavier et. al. (2022), MAPBIOMAS (2023).

As áreas mais críticas do estado, isto é, as que receberam grau de susceptibilidade mais elevado (muito alto e alto) encontram-se em regiões de planícies costeiras. Essas regiões são caracterizadas por pequenas declividades, variando entre 0% e 3%, e valores baixos de HAND, inferiores a 3 metros. Estas características ambientais são típicas de formações geomorfológicas costeiras, predominantes em todo o estado. Esses resultados evidenciam que a susceptibilidade à inundação no estado é fortemente influenciada por atributos topográficos e hidrológicos, fatores estes que influenciaram também na atribuição dos pesos mais elevados para os critérios de HAND (39%) e declividade (27%) no modelo multicritério, seguidos pela precipitação (19%), geomorfologia (9%) e uso e ocupação do solo (6%).

O relevo do estado apresenta uma grande geodiversidade, abrangendo desde as planícies costeiras até áreas montanhosas com altitudes mais elevadas. As unidades geomorfológicas localizadas em regiões de maior declividade e altitude possuem menor susceptibilidade à inundação, devido à maior eficiência no escoamento superficial, enquanto áreas planas, depressões e regiões próximas a corpos hídricos, como rios, lagos ou o oceano, são mais vulneráveis ao acúmulo de água. Essa condição é amplificada em áreas que sofrem influência direta de sistemas marinhos ou fluviais, destacando a interação entre as características topográficas e os processos hidrológicos.

A análise espacial evidenciou que as áreas de menor declividade estão amplamente distribuídas ao longo da faixa litorânea, com destaque para a região nordeste do estado, onde municípios como Linhares, Jaguaré e São Mateus apresentam extensas planícies. Nessas localidades, a baixa altitude e a declividade limitada comprometem o escoamento natural das águas pluviais, resultando em um maior risco de alagamentos. Essa vulnerabilidade é ainda mais acentuada em zonas urbanizadas, onde a impermeabilização do solo impede a infiltração da água e dificulta a drenagem natural, corroborando os resultados apresentados na literatura, como os de (AGUIAR; CECCONELLO; CENTENO, 2019). A região metropolitana, caracterizada por uma predominância de terrenos planos, apresentou elevados graus de susceptibilidade, refletindo a necessidade de estratégias específicas de gestão de riscos.

Além disso, as áreas próximas às fozes dos rios Doce, Santa Maria da Vitória, Jucu e Itapemirim foram identificadas como locais de alta susceptibilidade. Nesses pontos, a baixa elevação relativa, combinada com a proximidade vertical de corpos hídricos e a predominância de terrenos planos, reforçam a importância de intervenções urbanísticas e de medidas de mitigação de riscos para reduzir os impactos de eventos extremos. As condições geomorfológicas e hidrológicas dessas áreas tornam-nas especialmente vulneráveis, demandando atenção prioritária em ações de planejamento e gestão de riscos.

Por outro lado, as unidades geomorfológicas montanhosas localizadas em áreas mais afastadas da costa, caracterizadas por maior declividade e altitude, apresentaram menor suscetibilidade à inundação. Nesses locais, o escoamento eficiente das águas, aliado à ausência de proximidade com corpos hídricos, contribui para uma menor acumulação de água e menor risco de alagamentos. Conforme destacado por Szymasni et al. (2022), estudos realizados em bacias hidrográficas de geomorfologia montanhosas no sul do Brasil, como relevo declivoso e a presença de leques aluviais, influenciam diretamente a dinâmica das inundações. Modelagens hidrológicas realizadas pelos autores evidenciam que estas áreas tendem a apresentar escoamento superficial mais rápido, diminuindo o tempo de concentração da água e minimizando a formação de alagamentos prolongados. Em contrapartida, terrenos planos próximos a corpos d'água são mais susceptíveis e exigem ações integradas para a mitigação de riscos e impactos decorrentes destes eventos.

Embora a declividade e o HAND tenham sido os principais critérios ambientais que influenciaram no grau de susceptibilidade à inundação neste estudo, a precipitação também exerce forte influência, uma vez que a intensidade, frequência e distribuição das chuvas influenciam na extrapolação da capacidade do solo e dos sistemas de drenagem em absorver e escoar a água. Áreas que recebem grandes volumes de precipitação em curtos períodos estão mais propensas a alagamentos, especialmente se combinadas a fatores não climáticos como baixa topografia, solos com baixa capacidade de infiltração

ou alta impermeabilização, devido à urbanização e a má gestão de resíduos sólidos (MUNZHEDZI et al., 2024).

As áreas mais críticas, em relação à precipitação diária, estão localizadas, principalmente, no litoral da região metropolitana da capital, Vitória, e no centro-sul do estado, que apresentam maior risco de ocorrência de inundações. Isso ocorre porque, nessas regiões, o volume de água que pode precipitar em um único dia é elevado, o que pode superar a capacidade de drenagem natural e artificial do solo, resultando em inundações. No caso de Vitória, o estudo de Nali e Rigo (2011) indica que os sistemas de drenagem da cidade já estão comprometidos pelas influências das marés, e essa situação tende a piorar com o aumento projetado do nível do mar, em função de mudanças climáticas globais.

O livro histórico de desastres do estado do Espírito Santo 2000-2009, publicado pela Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Espírito Santo (2010), aponta que as chuvas intensas, concentradas em curtos períodos, são responsáveis por 73,4% dos casos registrados de deslizamentos de terra e inundações. Essa situação, combinada com a drenagem deficiente em áreas baixas, especialmente durante eventos climáticos extremos já enfrentados pelo estado, aumenta consideravelmente o risco de inundações (MARENGO et al., 2018). Embora elevações moderadas em *decks* costeiros ofereçam alguma proteção, muitas vezes elas são insuficientes para evitar inundações severas durante tempestades (MARENGO et al., 2018).

Ainda que o nível de precipitação seja um critério relevante para determinar a suscetibilidade às inundações, a interação entre precipitação e uso do solo desempenha um papel igualmente importante. Em áreas urbanizadas, como as zonas costeiras de Vitória e outras cidades, onde há maior impermeabilização do solo, mesmo chuvas moderadas podem causar alagamentos. Isso ocorre porque o solo não consegue absorver a água, devido à presença de pavimentação com concreto e asfalto; assim, os sistemas de drenagem, frequentemente, perdem a capacidade para lidar com grandes volumes de água em um curto intervalo de tempo (MACHADO; VESTENA, 2024).

Com base no mapeamento realizado para o estado e para as duas bacias de interesse, foi possível quantificar as áreas enquadradas em diferentes graus de susceptibilidade, proporcionando um embasamento mais sólido para as discussões, especialmente ao considerar a extensão quantitativa das áreas mais críticas, como apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Grau de suscetibilidade à inundação do estado do Espírito Santo, da bacia do rio Santa Maria da Vitória e da bacia do rio Jucu

Grau de susceptibilidade	Espírito Santo		Bacia do rio Santa Maria da Vitória		Bacia do rio Jucu	
	área (km ²)	área (%)	área (km ²)	área (%)	área (km ²)	área (%)
Muito baixo	2,7	0,6	0	0	0	0
Baixo	9.743,8	21	398,9	22	839,3	38
Moderado	24.563,5	54	10.598,0	58	966,5	44
Alto	8.717,7	19	220,0	12	249,9	11
Muito alto	2.549,4	6	158,2	9	158,4	7

Fonte: o autor.

Ao analisar estes dados, é possível observar que, no estado do Espírito Santo, a maior parte da área está classificada como de moderada susceptibilidade à inundação, correspondendo a 54% do território, o que representa 24.563,5 km². Em seguida, as classes de baixo e alto graus de susceptibilidade abrangem, respectivamente, 21% (9.743,8 km²) e 19% (8.717,7 km²) da área total. Por outro lado, as áreas classificadas com muito alto grau de susceptibilidade à inundação representam 6% (2.549,4 km²), enquanto as de muito baixo grau de susceptibilidade são insignificantes, abrangendo apenas 2,7 km².

Na bacia do rio Santa Maria da Vitória, a maior parte da área está classificada como de moderada susceptibilidade, representando 58% (10.598,0 km²), seguida pela classe de baixo grau de susceptibilidade, com 22% (398,9 km²). As áreas de alto e muito alto grau de susceptibilidade somam 21%, indicando uma vulnerabilidade significativa em regiões específicas. Na bacia do rio Jucu, a susceptibilidade moderada também predomina, enquanto a classe de baixo grau ocupa 38% (839,3 km²), evidenciando uma maior extensão de áreas com menor risco relativo em comparação à bacia do Santa

Maria da Vitória. As áreas classificadas como de alto e muito alto grau de susceptibilidade somam 18%, o que também reforça a necessidade de atenção a essas regiões.

A distribuição do grau de susceptibilidade bem semelhante entre as duas bacias pode ser atribuída a proximidade geográfica entre elas. As bacias do Rio Jucu e Santa Maria da Vitória, por exemplo, compõem juntas a principal fonte de abastecimento de água para a RMGV. Entretanto, nas últimas décadas, o avanço da urbanização no baixo curso do Rio Jucu tem causado alterações hidrológicas significativas, resultando em alagamentos e inundações frequentes nessa área da bacia, o que pode prejudicar a função de provedor hídrico desempenhado pela bacia (DEINA; COELHO, 2017).

No alto e médio curso de ambas as bacias, são observadas elevadas declividades e formas de uso e cobertura do solo mais rurais. Já no baixo curso, existem fragilidades principalmente associadas à baixa topografia, às características dos solos e ao modelo exploratório de uso e cobertura da terra, resultando em problemas na drenagem e inundação recorrente de áreas urbanas, quando da ocorrência de chuvas intensas. Nesse contexto, um exemplo do uso exploratório provém desde a época dos jesuítas, quando diversas alterações foram realizadas diretamente nos canais fluviais para viabilizar o transporte de mercadorias (IEMA, 2009).

Analisando os municípios inseridos nestas duas bacias, observa-se que Vitória, Vila Velha, Serra e Cariacica se destacam por apresentarem maior extensão de áreas enquadradas com grau de susceptibilidade a inundação muito alto. Estas áreas estão inseridas em regiões com alta densidade de habitantes, com destaque para os seguintes bairros de cada município (IBGE, 2022):

- **Cariacica:** Vila Cajueiro, Foz do Rio Bubu, Jardim América, Vasco da Gama, Rio Marinho.
- **Serra:** Novo Horizonte, José de Anchieta, Pitanga, Solar de Anchieta, Cantinho do Céu, Feu Rosa, Laranjeiras Velha, Bicanga, Polo Industrial Tubarão, Residencial Vista do Mestre, Planalto Carapina, Praia de Carapebus, Jardim Tropical, Terminal Industrial, Jacuhy, Cidade Continental, Manguinhos, Lagoa de Carapebus, Central

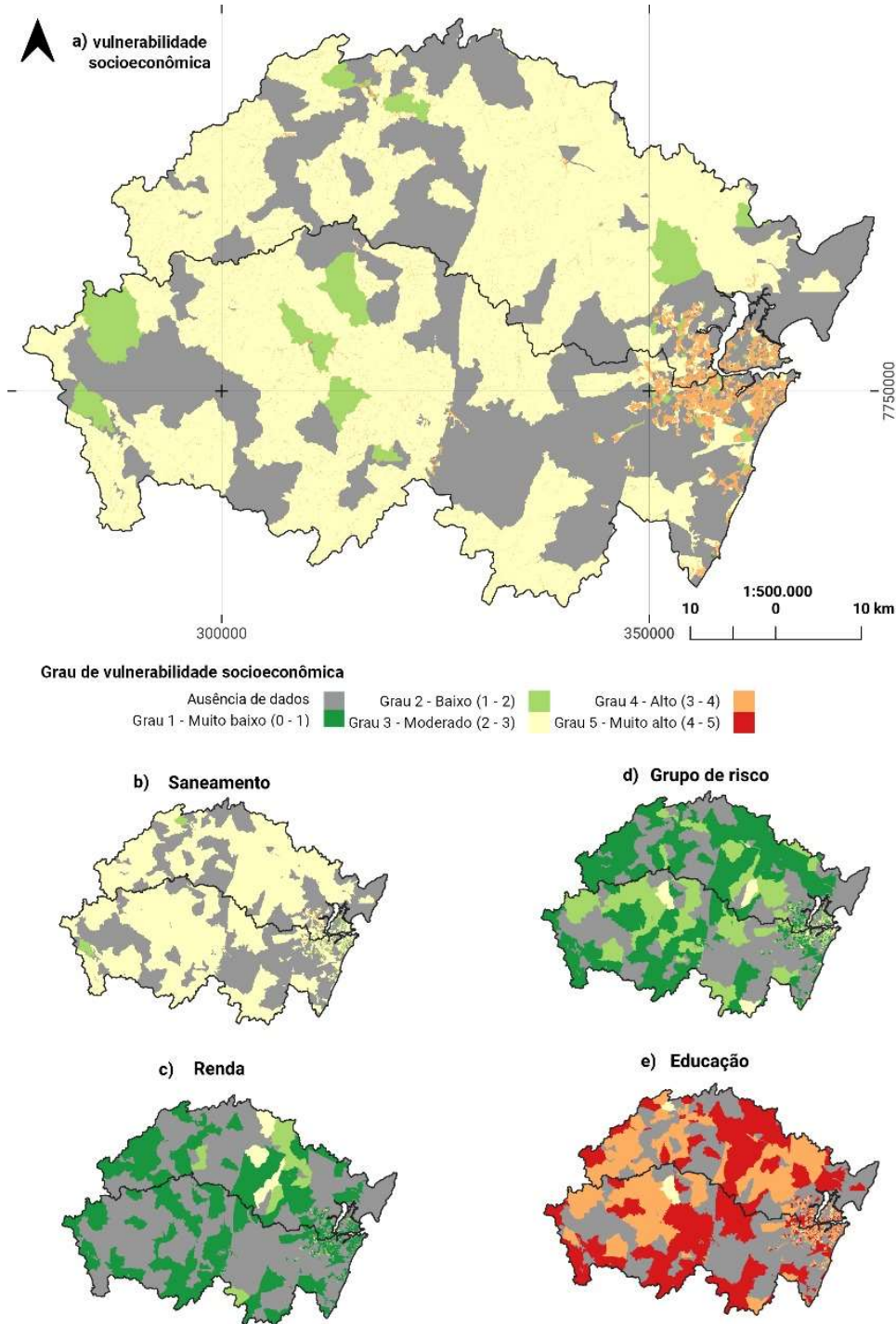
Carapina, Carapina Grande, José de Anchieta, Ourimar, São Diogo II, Praia de Itaparica, Portar de Jacaraípe.

- **Vila Velha:** Centro de Vila Velha, Vista da Penha, Jockey de Itaparica, Residencial Itaparica, Ilha dos Ayres, Soteco, Divino Espírito Santo, Glória, Santa Inês, Santa Mônica, Coqueiral de Itaparica, Santa Mônica Popular, Cristóvão Colombo, Praia das Gaivotas, Praia da Costa, Cocal, Boa Vista II, Boa Vista I, Ilha dos Bentos, Jardim Guaranhuns, Jardim Asteca, Ibes, Vale Encantado, Novo México, Jardim Guadalajara, Santa Clara, Pontal das Garças, Jardim Marilândia, Darly Santos, Nova Itaparica, Ataíde, Araçás, Guaranhuns, Nossa Senhora da Penha, Jardim do Vale, Barra do Jucu, Interlagos, Ponta da Fruta, Vinte e Três de Maio, Morro da Lagoa, Praia dos Recifes, Ulisses Guimarães, Cidade da Barra, Riviera da Barra, Morada da Barra, Jabaeté, Morada do Sol, João Goulart, Nova Ponta da Fruta, Santa Paula I, Terra Vermelha, Santa Paula II, Barramares, Cobilândia, Cobi de Baixo, Nova América.
- **Vitória:** Enseada do Suá, Santa Lúcia, Ilha do Frade, Praia do Canto, Ilha do Boi, Praia do Suá, Barro Vermelho, Santa Luíza, Parque Industrial, Aeroporto, Jardim da Penha, Maria Ortiz, Goiabeiras, Mata da Praia, Pontal de Camburi.

5.2 Mapeamento da vulnerabilidade socioeconômica

Na Figura 10 é apresentado o mapeamento da vulnerabilidade socioeconômica para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória e do rio Jucu. A Figura 10 apresenta a integração dos critérios socioeconômicos (renda, educação, grupo de risco e saneamento) utilizados na análise multicritério, que contribuíram para a identificação dos diferentes graus de vulnerabilidade socioeconômica da área de estudo.

Figura 10 – a) Vulnerabilidade socioeconômica da bacia do rio Santa Maria da Vitória e da bacia do rio Jucu. b) Saneamento. c) Renda. d) Grupo de Risco. e) Educação.



Sistema de coordenadas UTM, DATUM SIRGAS 2000, Zona 24 Sul.
 Fonte: o autor. Base de dados obtida junto ao IBGE (2010) e IBGE (2022).

Com base no mapeamento realizado para as duas bacias de interesse, foi possível quantificar as áreas enquadradas em diferentes graus de vulnerabilidade socioeconômica conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Grau de vulnerabilidade socioeconômica da bacia do rio Santa Maria da Vitória e da bacia do rio Jucu

Grau de susceptibilidade	Bacia do rio Santa Maria da Vitória		Bacia do rio Jucu	
	área (km ²)	área %	área (km ²)	área %
Muito baixo	0	0	0	0
Baixo	74	4	155	7
Moderado	1106	60	1064	48
Alto	74	4	133	6
Muito alto	0	0	0	0
Sem dados	590	32	865	39

Fonte: o autor.

Na bacia do rio Santa Maria da Vitória, 4% do território foi classificado como de alta vulnerabilidade, já para a bacia do rio Jucu, 6% foram classificadas como alta. Apesar da baixa porcentagem territorial com classificação mais elevada, observa-se que estas áreas estão localizadas exatamente onde existe maior ocupação e densidade populacional, enquanto as áreas de moderada e baixa vulnerabilidade situam-se em zonas rurais e regiões com menor densidade populacional.

As áreas mais críticas da área de estudo encontram-se em setores censitários com maior quantidade de domicílios sem renda per capita, maior quantidade de pessoas não alfabetizadas acima de 5 anos e com carência em infraestruturas de saneamento, como abastecimento público de água e coleta de lixo e de esgoto. A vulnerabilidade foi fortemente influenciada por estes fatores, devido ao peso maior dado para o critério de saneamento (39%), educação (29%) e renda (27%) no modelo multicritério, seguidos pelo grupo de risco que ficou com apenas 4%.

As áreas sem dados censitários em ambas as bacias estão localizadas em áreas rurais, não representando, portanto, um ponto crítico neste estudo, pois as áreas urbanas, mais populosas e povoadas, foram bem representadas.

A educação está diretamente relacionada à capacidade das comunidades de compreender, se preparar e responder a desastres naturais. Populações com maior acesso à educação tendem a ter maior consciência sobre situações de desastres ambientais e as medidas preventivas, além de adotarem comportamentos que minimizam os impactos de eventos extremos, como inundações (AVELINO et al., 2024). O mapeamento de áreas que relacionam níveis de educação à suscetibilidade a inundações é essencial para compreender como esses fatores interagem, e para direcionar políticas públicas e estratégias de gestão. Dados do quantitativo de pessoas alfabetizadas, com idade superior a 5 anos, revelam que o grau “muito alto” de suscetibilidade a inundações está associado a populações com baixos índices de alfabetização.

A faixa de renda é um critério diretamente relacionado à capacidade das populações de se prevenir, mitigar e responder a desastres naturais. Famílias de baixa renda frequentemente habitam áreas de maior risco, como margens de rios, encostas ou regiões planas suscetíveis a alagamentos, devido ao custo mais baixo desses terrenos (DERIA; GHANNAD; LEE, 2020). Essas populações também enfrentam limitações no acesso a infraestrutura adequada, como sistemas de drenagem eficientes, serviços de alerta precoce e moradias construídas com materiais resistentes; que são cruciais para mitigação de catástrofes (PATANKAR, 2020). Além disso, a falta de recursos financeiros reduz a capacidade dessas famílias de adotar medidas preventivas, como aquisição de seguros contra desastres, reforço estrutural de suas casas ou mudanças para áreas mais seguras.

A infraestrutura de saneamento presente nas comunidades influencia diretamente a vulnerabilidade, a resiliência e a capacidade de uma área lidar com grandes volumes de água, prevenindo acúmulo e impactos negativos associados. Sistemas de saneamento adequados, especialmente relacionados à drenagem urbana, desempenham um papel fundamental na prevenção de inundações, ao possibilitar o escoamento eficiente das águas pluviais (KERPACI; LAKO, 2024). Por outro lado, áreas com infraestrutura de saneamento inadequada ou inexistente, tendem a acumular água, aumentando o risco de alagamentos e agravando os impactos associados, como a

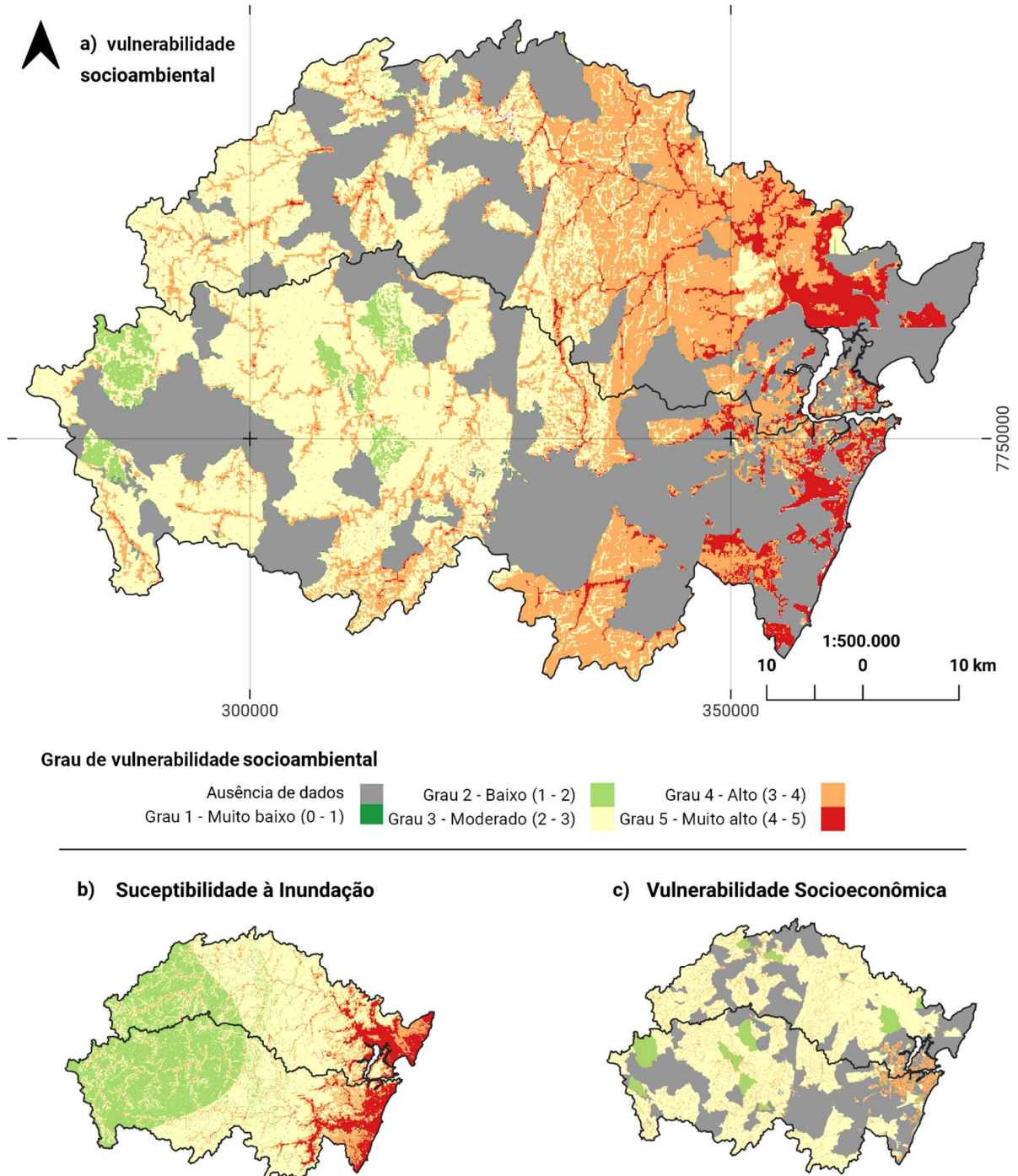
contaminação por esgoto, danos materiais e problemas de saúde pública (LEBU et al., 2024).

A avaliação de grupos de risco é um direcionamento fundamental na análise da suscetibilidade a inundações, pois esse segmento da população apresenta características que os tornam mais vulneráveis aos impactos desses eventos. Os idosos muitas vezes possuem mobilidade reduzida, condições de saúde fragilizadas e maior dependência de assistência externa, o que dificulta tanto a evacuação em emergências quanto a recuperação pós-desastre (BODSTEIN; LIMA; BARROS, 2014). Ainda segundo Bodstein; Lima e Barros (2014), a vulnerabilidade dos idosos em situações de desastres está diretamente ligada à redução da mobilidade típica desta faixa etária, assim como maior dificuldade e resistência a aderir sinais de evacuação. No Brasil, os projetos e programas direcionados para os idosos ainda não são totalmente eficazes na redução desses riscos, o que reforçam a necessidade de estratégias voltadas para a prevenção e resgate deste grupo. Além disso, muitos idosos vivem sozinhos ou em condições de baixa renda, o que agrava ainda mais sua capacidade de responder a eventos extremos, seja pela ausência de suporte imediato, seja pela limitação de recursos financeiros para investir em medidas preventivas ou corretivas (KIM; KIM, 2021).

5.3 Mapeamento da Vulnerabilidade Socioambiental da bacia Hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória e rio Jucu

Na Figura 11 é apresentado o resultado do mapeamento da vulnerabilidade socioambiental à inundação para as bacias do rio Santa Maria da Vitória e do rio Jucu.

Figura 11 – a) Vulnerabilidade Socioambiental da bacia do rio Santa Maria da Vitória e da bacia do rio Jucu. b) susceptibilidade à inundação. c) vulnerabilidade socioeconômica.



Sistema de coordenadas UTM, DATUM SIRGAS 2000, Zona 24 Sul.

Fonte: o autor. Base de dados obtida junto ao IBGE (2022), IEMA (2019), Nobre et. al. (2011), Xavier et. al. (2022), Mapbiomas (2023).

Com base no mapeamento realizado para as duas bacias de interesse, foi possível quantificar as áreas enquadradas em diferentes graus de vulnerabilidade, proporcionando um embasamento mais sólido para as discussões, especialmente ao considerar a extensão quantitativa das áreas mais críticas, como apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 – Grau de suscetibilidade à inundação da bacia do rio Santa Maria da Vitória e da bacia do rio Jucu

Grau de suscetibilidade	Bacia do rio Santa Maria da Vitória		Bacia do rio Jucu	
	área (km ²)	área (%)	área (km ²)	área (%)
Muito baixo	0	0	0	0
Baixo	0	0	44	2
Moderado	553	30	776	35
Alto	626	34	421	19
Muito alto	147	8	111	5
Sem dados	590	32	865	39

Fonte: o autor.

As áreas classificadas como de muito alto grau de vulnerabilidade representam não apenas a presença de fatores ambientais que favorecem a ocorrência de inundações, mas também a existência de populações humanas em situações vulneráveis economicamente, o que acaba tornando essas áreas mais sensíveis, tanto aos impactos causados pela ocorrência de inundações, quanto pela dificuldade em se recuperar de eventos hidrológicos como estes.

Nessas áreas, onde predominam condições topográficas desfavoráveis marcadas pela presença de terrenos predominantemente planos que dificultam o escoamento superficial das águas e um intenso uso antrópico, como nas áreas densamente urbanizadas da Região Metropolitana da Grande Vitória, torna-se essencial priorizar intervenções. A maior concentração populacional mais vulnerável do ponto de vista socioeconômico, aliada à impermeabilização do solo e à ocupação desordenada, agrava os problemas relacionados à drenagem urbana, intensificando a vulnerabilidade das comunidades locais

Neste contexto, o município de Cariacica, Vila Velha e Serra apresentaram as condições mais críticas da área de estudo. Essas regiões são áreas urbanas e periurbanas próximas à baía de Vitória, onde o relevo plano, a proximidade de corpos hídricos e a impermeabilização do solo favorecem a ocorrência de inundações. Além disso, o mapa (Figura 11) evidencia que essas áreas também coincidem com zonas densamente povoadas, onde a vulnerabilidade é agravada por populações de baixa renda e carência no saneamento. Nessas regiões, os impactos de eventos hidrológicos tendem a ser mais severos, com maior dificuldade de recuperação devido à limitação de recursos financeiros, estruturais e institucionais.

A rápida urbanização nessas regiões intensificou os riscos de inundação, afetando particularmente as populações de baixa renda sem infraestrutura (PRATES; AMORIM, 2023). A partir disso, a convergência de fatores como baixa renda, acesso limitado à educação e saneamento inadequado, dificulta a capacidade de adaptação e resposta das comunidades aos eventos extremos, devendo haver intervenções direcionadas aos grupos sob essas condições, de forma prioritária (DHUNGANA; LIU, 2024). Em adição, conforme ilustrado anteriormente pelos respectivos mapeamentos, a precipitação e declividade nessas áreas também representam um agravante, que eleva a suscetibilidade a inundação nestas áreas.

6 CONCLUSÕES

Os mapeamentos realizados de suscetibilidade a inundações, vulnerabilidade socioeconômica e socioambiental, permitiram a identificação de áreas críticas para o estado do Espírito Santo, sobretudo nas bacias dos rios Jucu e Santa Maria da Vitória. A combinação desses mapas, obtida por meio da álgebra de mapas, revela que fatores físicos, como declividade, precipitação, uso e ocupação do solo, HAND e geomorfologia, aliados a aspectos socioeconômicos, como renda, educação, saneamento básico e grupos de risco, interagem entre si, permitindo a delimitação das áreas de maior vulnerabilidade e suscetibilidade.

De acordo com os mapeamentos apresentados, a identificação de regiões com maior suscetibilidade a inundações (grau 5) convergem para áreas localizadas nas faixas litorâneas do estado, sendo o seu entorno imediato apresentando características semelhantes, ainda que em menor intensidade (grau 4).

Conclui-se que a Região Metropolitana de Vitória, principalmente os municípios de Vitória, Vila Velha e Cariacica, apresentam áreas com grau muito alto de vulnerabilidade socioambiental às inundações, sendo estas as regiões mais críticas das bacias do rio Santa Maria da Vitória e do rio Jucu.

7 REFERÊNCIAS

ADGER, W.N; WINKELS, A. Vulnerabilidade, pobreza e bem-estar sustentável. In: Atkinson, G; Dietz, S; Neumayer, E. Manual de Desenvolvimento Sustentável. Elgar, Cheltenham. 2006.

AGERH. Agência Estadual de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/>. 2024.

AGUIAR, Márcia Farias; CECCONELLO, Samanta Tolentino; CENTENO, Luana Nunes. SANEAMENTO BÁSICO versus DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA NO MUNICÍPIO DE PELOTAS/RS. **HOLOS**, v. 3, p. 1–14, 23 dez. 2019.

ALVES, Humberto Prates da Fonseca. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 23, n. 1, 2006.

ANA. Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA. 2013.

AVELINO, Brent F. et al. DISASTER PREPAREDNESS, AWARENESS, AND PRACTICES OF RESIDENTS WITHIN RIVERINE FLOODING-AFFECTED AREAS IN DAVAO CITY, PHILIPPINES. **European Journal of Education Studies**, v. 11, n. 4, 17 mar. 2024.

AZEVEDO, Carlos Eduardo Ramos et al. Aplicação do método de análise hierárquica (AHP): para seleção de um sistema de software de gestão previdenciária para um instituto de previdência social de Macaé/RJ. 2016. Dissertação Mestrado, Rio das Ostras. 2016.

BODSTEIN, Airton; LIMA, Valéria Vanda Azevedo de; BARROS, Angela Maria Abreu de. The vulnerability of the elderly in disasters: The need for an effective resilience policy. **Ambiente e Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 157–174, 2014.

CABRAL, Samuellson Lopes et al. Integração do sig, HEC/HMS e HEC/RAS no

mapeamento de área de inundação urbana: Aplicação à bacia do rio granjeiro-ce. **Geociencias**, v. 35, n. 1, p. 90–101, 2016.

CAMPIOLI, Pâmela Fermino.; VIEIRA, Celso Voos. Revista Brasileira de Geografia Física Avaliação do Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. 2019.

CARVALHO, R. P. B. de. Geoindicadores físico-ambientais aplicados na avaliação da conectividade de bacias hidrográficas e seus efeitos em sistemas urbanos: o exemplo das bacias do rio Grande e do rio Anil (município do Rio de Janeiro). 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Cemaden/MCTI. Ministério da Ciência Tecnologia e Inovações. 2025.

CHRISTOFOLETTI, A. Impactos no meio ambiente ocasionados pela urbanização no mundo tropical. **Nat. e Soc. hoje uma leitura geográfica**. SÃO PAULO. 1994.

COELHO, André Luiz Nascentes. Aplicação do processo analítico hierárquico para mapeamento de áreas inundáveis. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. São Paulo,. SÃO PAULO. 2017.

COORDENADORIA ESTADUAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DO ESPÍRITO SANTO. Histórico de desastres do Estado do Espírito Santo 2000-2009,. p. 1–112, 2010.

CORDERO, Ademar; MEDEIROS, Péricles Alves; TERAN, Albanella Leon. Medidas de controle de cheias e erosões. p. 1–18. 2009.

COSTA, H. G. Introdução ao método de análise hierárquica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2002, São João Del Rei. Anais. Niterói. p. 81-82. 2002.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL; IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações - 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar

Yazbek Bitar. 2014.

CUTTER, S. L. A ciência da vulnerabilidade: Modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v. 93, p. 59-69, Coimbra,. 2011.

D'ÁVILA, Wilson Pimenta da Silva. Análise Ambiental dos Fatores de Risco de Inundação no Rio Marinho – Grande Vitória, Espírito Santo. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 14, n. 7, 5 set. 2018.

DALFI, Raphael Lima et al. CENÁRIOS DISTINTOS NO MAPEAMENTO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO NOS BAIRROS DO MUNICÍPIO DE ALEGRE, ES. **Cadernos de Geociências**, v. 10, n. 2001, p. 76–86, 2013.

DEINA, Miquelina Aparecida; COELHO, André Luiz Nascentes. Fragilidade emergente a inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Jucu/ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, XVIII, 2017. São José dos Campos: INPE. 2017.

DERIA, Anisha; GHANNAD, Pedram; LEE, Yong Cheol. Evaluating implications of flood vulnerability factors with respect to income levels for building long-term disaster resilience of low-income communities. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 48, 1 set. 2020.

DHUNGANA, Bishal; LIU, Weibo. Urban–Rural Exposure to Flood Hazard and Social Vulnerability in the Conterminous United States. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 13, n. 9, 2024.

DINÍZIO, L.S; NASCIMENTO, P.S.R. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados à análise da inundação e alagamento em Aracaju. In: ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE – ENREHSE, XV. 2023.

EASTMAN, J.R. Idrisi for Windows – Manual do usuário: introdução e exercícios tutoriais. Editores da versão em português, Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre, UFRGS Centro de Recursos Hidricos, 240p. 1998.

ESPÍRITO SANTO. Geografia. Disponível em: <https://www.es.gov.br/geografia>. Acesso

em: 01 fev. 2024.

ESTEVEES, Cláudio Jesus de Oliveira. Risco E Vulnerabilidade Socioambiental: Aspectos Conceituais. **Cad. IPARDES**, v. 1, n. 2, p. 62–79, 12 dez. 2011.

FARIAS, A.; MENDONÇA, F. Riscos socioambientais de inundações urbanas sob a perspectiva do sistema ambiental urbano. **Sociedade & Natureza**, 2022.

FRENCH, S.; ROY, Bernard. Multicriteria Methodology for Decision Aiding. **The Journal of the Operational Research Society**, Nonconvex Optimization and Its Applications. v. 48, n. 12, p. 1257, 1997.

FURLAN, André Ricardo; TRENTIN, Romario. URBANIZAÇÃO E EXPOSIÇÃO AO PERIGO DE INUNDAÇÃO: UM ESTUDO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO HENRIQUE, ERECHIM, RS. **ACTA GEOGRÁFICA**, v. 15, n. 37, p. 246–270, 2 maio 2021.

GARCIA, Bruno de Souza; DOURADO, Camila da Silva; DE AVILA, Ana Maria Heuminski. Physiographic analysis of the Atibaia River Basin and flood susceptibility mapping in the municipality of Campinas-SP, Brazil. **Revista Ambiente e Agua**, v. 17, n. 3, 25 maio 2022.

HENDERI, Henderi. Comparison of Min-Max normalization and Z-Score Normalization in the K-nearest neighbor (kNN) Algorithm to Test the Accuracy of Types of Breast Cancer. **IJIS: International Journal of Informatics and Information Systems**, v. 4, n. 1, p. 13–20, 1 mar. 2021.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2010.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama Censo 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 31 jan. 2024.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. População em áreas de risco no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

IEMA. **Delimitação das bacias hidrográficas do Estado do Espírito Santo**. 2012.

IEMA. INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Bacias hidrográficas de gerenciamento. Instituto Ecobacia. Documento Agenda das Bacias Estratégicas Rios Jucu e Santa Maria da Vitória. Comitês de Bacia Hidrográfica dos Rios Jucu e Santa Maria da Vitória. 2009.

IGCE/UNESP. Planície de inundação. 2001.

KERPACI, Andrin; LAKO, Alfred. **Integrated Water Supply and Sanitation Management: Environmental Impact Assessment and Wastewater and Stormwater Treatment**. *Grassroots Journal of Natural Resources*. Grassroots Institute. 2024.

KIM, Hae Ryung; KIM, Yoon Jung. Identification of Vulnerability Factors for Urban Floods : Considering Social Vulnerability of Vulnerable Groups in Seoul. **Journal of Climate Change Research**, v. 12, n. 2, p. 187–202, 30 abr. 2021.

KOENE, R.A. A influência do relevo da bacia hidrográfica do rio Negro nas inundações graduais ocorridas na cidade de Rio Negro/PR. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA – SINAGEO, IX,. 2012.

LEAL, Fernanda Cláudia Barboza da Silva; BARBOSA, Ioná Maria Beltrão Rameh; AQUINO, Joás Tomaz de. MAPEAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS À INUNDAÇÃO COM USO DO SIG E DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO: O CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA EM PERNAMBUCO. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 01, p. 20, 2020.

LEBU, Sarah et al. Assessment of sanitation infrastructure resilience to extreme rainfall and flooding: Evidence from an informal settlement in Kenya. **Journal of Environmental Management**, v. 354, 1 mar. 2024.

LOPES, Elfany Reis do Nascimento et al. Modelagem ambiental de bacias hidrográficas: caracterização morfométrica e pedológica da bacia do rio Una – Ibiúna, Brasil. **Geosul**, v. 33, n. 66, p. 105–127, 2018.

LOUREIRO, Renata Silva de. et al. Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. spe, p. 83–94, 2014.

MACHADO, Fabiula Eurich; VESTENA, Leandro Redin. Evolution of the Flood Mark and Built-up Areas in Flooded Lands in the City of Guarapuava, Paraná. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 10, n. 1, p. 537–550, 3 jan. 2024.

MAGALHÃES, I.L.; THIAGO, C.R. 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. 1993, p. 63–70, 2011.

MAKRAKIS, M. Mapeamento e análise das áreas suscetíveis a inundações no município de Lages-SC. 2017. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2017.

MALCZEWSKI, Jacek. GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, p. 703–726, ago. 2006.

MAPBIOMAS. Classes de uso e ocupação do solo: Coleção 9. 2023.

MARANDOLA, JR.; HOGAN, D.J. Vulnerabilidades e riscos: entre geografia e demografia. In: Encontro Nacional de estudos populacionais da ABEP. 2004.

MARCHIORO, Eberval; COUTINHO, Francini Nunes. Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Duas Bocas (ES): um evento extremo em 2013. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 30, n. 1, p. 477, 30 dez. 2020.

MARENGO, Jose A. et al. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. *Frontiers in Earth Science*. Frontiers Media S.A. 2018.

MÁRIO, Chanel Carlos; UACANE, Mário Silva. ANÁLISE DE RISCOS DA INUNDAÇÃO URBANA NA CIDADE DA BEIRA-MOÇAMBIQUE. **Educamazônia - Educação**,

Sociedade e Meio Ambiente, v. 16, n. 1 jan-jun, p. 248–261, 2023.

METROPLAN. Etapa – Plano de Trabalho: Produto N° 1 – Plano de trabalho consolidado. Porto Alegre, RS: Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional. 2015.

MILANEZ, Bruno; FONSECA, Igor Ferraz. JUSTIÇA CLIMÁTICA E EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS: UMA ANÁLISE DA PERCEPÇÃO SOCIAL NO BRASIL. **Revista Terceiro Incluído**, v. 1, n. 2, p. 82–100, 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. 2007.

MIRANDA, Nivea Morena Goncalves et al. Processo Hierarquico Analitico (AHP) em Modelagem Espacial da Vulnerabilidade a Inundacao em Ambientes Mistos. **Anuario do Instituto de Geociencias**, v. 42, n. 4, p. 172–181, 2019.

Ministério do Meio Ambiente. Manual de drenagem sustentável em áreas urbanas. Brasília: MMA. 2007.

MOURA, A.C.M. 2007. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análises de Multicritérios. In: ANAIS XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2899-2906,. 2007.

MUNZHEDZI, Lily et al. Trends in extreme rainfall and their relationship to flooding episodes in Vhembe district, South Africa. **Environmental Research Communications**, v. 6, n. 9, p. 095016, 18 set. 2024.

NALI, J O; RIGO, D. Urban floods : assessing the effects of sea level rise and mitigation measures.p. 10–15. 2011.

NASCIMENTO, P. W. F. Análise da vulnerabilidade ambiental à inundação na bacia hidrográfica do rio Grande, Baixada de Jacarepaguá (RJ). 2020. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,. 2020.

NOBRE, A. D.; SILVEIRA, A.; CUARTAS, L. A. Aspectos físicos e geográficos das áreas ripárias no Brasil: análise preliminar da legislação. In: Ciência para o Código Florestal.

São José dos Campos: Centro de Ciência para o Sistema Terrestre – INPE, 110 p. Relatório Científico. 2011.

NOBRE, Antonio Donato et al. HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 2, p. 320–333, 15 jan. 2016.

PATANKAR, Archana. Impacts of Natural Disasters on Households and Small Businesses in India. **SSRN Electronic Journal**, ADB Economics Working Paper Series. dez. 2020.

PINHEIRO, A. Enchente e Inundação. In: Santos, RF (Org.). Vulnerabilidade Ambiental. Desastres naturais ou específicos induzidos? (pp. 95-106). Brasília: MMA,. 2007.

PORTELA, Bárbara de Melo et al. Análise da Vulnerabilidade à Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Sirinhaém, utilizando o Método de Análise Hierárquica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1247–1262, 2023.

PRATES, Talita Bracher; AMORIM, Raul Reis. Vulnerabilidade socioambiental nas áreas suscetíveis a inundações do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Muriaé (RJ). p. 167–186. 2023.

REZENDE, Patrícia Soares; MARQUES, Daniela Vieira; OLIVEIRA, Luiz Antônio de. construção de modelo no qgis e utilização do método de processo analítico hierárquico – ahp para mapeamento de riscos à inundação na área urbana de paracatu – mg. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 61, p. 1–18, 2017.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill, p 287,. **New York: McGraw-Hill**, 1980.

SAATY, T. L.. The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation. Tradução e revisão por Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 278 p,. 1991.

SAATY, Thomas L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977.

SAATY, Thomas L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European**

Journal of Operational Research, v. 48, n. 1, p. 9–26, 5 set. 1990.

SAATY, Thomas L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p. 19–43, dez. 1994.

SACRAMENTO, Bruna Henrique. PROPOSTA METODOLÓGICA DE CONECTIVIDADE FLORESTAL E ANÁLISE DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS. 1–12 f. 2020.

SANTOS, Gonçalves Thiago et al. ANÁLISE MULTICRITERIAL DE DECISÃO APLICADA ÀS ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÃO NA BACIA DO CÓRREGO DO LENHEIRO – SÃO JOÃO DEL-REI, MINAS GERAIS. **GEOgraphia**, v. 24, n. 53, 22 nov. 2022.

SANTOS, M. A urbanização brasileira. 2005.

SAUSEN, T; LACRUZ, M. Sensoriamento Remoto para seca/estiagem. 2015.

SCHATZ, B. C. Análise da suscetibilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Enxofre por meio de ferramentas de geoprocessamento. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. SOROCABA, 2022.

SGB. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL . Unidades geomorfológicas do Espírito Santo. 2021.

SILVA, Cristiano Alves da; NUNES, Fábio de Paiva. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. 2009, NATAL. p. 5435–5442. 2009.

SOPRANI, J. et al. Navegando os rios capixabas: Rio Jucu e Rio Santa Maria da Vitória. A Tribuna, Espírito Santo, p. 12, 2007.

SZYMASNKI, Fernanda Dagostin et al. ANÁLISE DE INUNDAÇÕES EM BACIAS MONTANHOSAS NO SUL DO BRASIL POR MEIO DE MONITORAMENTO E MODELAGEM. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 3, p. 1564–1582, 2022.

TRAFICANTE, Daniela et al. FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIVARA, BOTUCATU-SP. A gestão de recursos hídricos e seus impactos. BOTUCATU.2021.

TRICART, Jean. Os tipos de Leitões Fluviais. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, n.11, p. 41-49. Jun. 1966.

TUCCI, C. E. M. *Gestão de águas pluviais urbanas*. 2005.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. *Inundações urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. PORTO ALEGRE. 2003.

TUCCI, C.E.M; COLLISCHONN, W. *Drenagem urbana e Controle de Erosão*. SÃO LEOPOLDO. p. 16.1998.

TUCCI, C.E.M; VILLANUEVA, A.; CRUZ, M.A.S. *Banco de eventos de cheias de bacias urbanas brasileiras*. PORTO ALEGRE. 1998.

VIEGAS, A. C; TERRA, F. S; ARAGONA, M. P. *Processo hierárquico analítico no mapeamento de risco à inundação em Pelotas/RS*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS – SBRH. Florianópolis. Anais. Florianópolis: ABRH. 2017.

WILVERT, Solange Richartz. *ANÁLISE DAS ÁREAS DE RISCO RELACIONADAS À DINÂMICA DO MEIO FÍSICO NA CIDADE DE ANTÔNIO CARLOS - SC*. 2010.

XAVIER, Alexandre C. et al. *New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020)*. **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390–8404, 30 dez. 2022.