

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

BIANCA MARIA LIMA CRUZ PEREIRA

**APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA O MAPEAMENTO DE RISCO A
INUNDAÇÕES A PARTIR DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA
REGIÃO METROPOLITANA DE MACEIÓ – AL**

Rio Largo

2025

BIANCA MARIA LIMA CRUZ PEREIRA

**APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA O MAPEAMENTO DE RISCO A
INUNDAÇÕES A PARTIR DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA
REGIÃO METROPOLITANA DE MACEIÓ – AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira.

Rio Largo

2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 – 1512

P436a Pereira, Bianca Maria Lima Cruz.

Aplicação do método ahp para o mapeamento de risco a inundações a partir de técnicas de geoprocessamento na região metropolitana de Maceió – AL. / Bianca Maria Lima Cruz Pereira. – 2025.

42 f.: il.

Orientador(a): Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) – Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Risco à inundação. 2. Geoprocessamento. 3. Suscetibilidade. 4. Região metropolitana de Maceió. 5. AHP. I. Título.

CDU: 528.8 (813.5)

Folha de Aprovação

BIANCA MARIA LIMA CRUZ PEREIRA

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA O MAPEAMENTO DE RISCO A INUNDAÇÕES UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA REGIÃO METROPOLITANA DE MACEIÓ – AL

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 18 de novembro de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **RAFAELA FACIOLA COELHO DE SOUZA FERREIRA**
Data: 24/11/2025 16:39:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientadora – Doutora em Geotecnia, Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **THIAGO ALBERTO DA SILVA PEREIRA**
Data: 24/11/2025 13:47:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Externo – Doutor em Engenharia Civil, Thiago Alberto da Silva Pereira, Campus Arapiraca

Documento assinado digitalmente
 **AYRTON MARTIM OLIVEIRA DIAS MELO**
Data: 24/11/2025 13:42:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Interno – Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Ayrton Martim de Oliveira Dias Melo, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias

Dedico este trabalho aos meus professores, que com sabedoria, paciência e dedicação, contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Dedico também às minhas vovós Sandra e Cleone, fonte inesgotável de carinho e cuidado, e ao meu pai David, que se foi, mas que deixou seus conhecimentos e inspiração. Dedico especialmente à minha mãe, Sandra Valéria, cujo amor e apoio tornaram essa conquista possível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por tudo. Pelas oportunidades me dadas; pela força, sabedoria e serenidade concedidas em cada etapa dessa jornada até aqui. Obrigada Pai por cuidar de mim, e por me oferecer luz quando o caminho parecia escuro.

Gostaria de agradecer imensamente ao corpo docente do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, cada um de vocês deixou uma feliz marca em meu caminho. Agradeço especialmente às professoras Regla, Rosilene e Fabiane, que foram as primeiras a me acolher e despertar meu interesse pela área. Aos professores Ravi, Arthur, Luciana e Michele, que me apresentaram com dedicação e entusiasmo às disciplinas específicas do curso. Ao professor Jhonathan, por cada conversa que se tornou uma aula. À minha coordenadora e professora Juciela, um exemplo de profissional, cuja orientação foi essencial na minha jornada.

Ao meu querido professor, co-orientador honorário e “hidrogologista” Ayrton, tão doce quanto um limão, que solicitou um parágrafo inteiramente dedicado à sua pessoa. Obrigada por todas as considerações sempre oportunas, pertinentes e relevantes.

Por fim, à minha “desorientadora”, que me adotou como filha acadêmica. Me ensinou com paciência, compartilhou conhecimento, acreditou no meu potencial e, acima de tudo, me inspirou com seu exemplo, tanto pessoal quanto profissional. Obrigada a todos vocês pelo conhecimento transmitido, as trocas de ideias e os bons momentos.

Agradeço também aos meus colegas de curso, pelo apoio mútuo nesse caminho que não foi fácil. Gabryel, que me ensinou a ter paciência (porque me fez perder muita), sempre me acompanhando no intervalo do estágio pra falar da vida. Edu, sempre bom com palavras e companhia. Valéria, que chegou depois, mas parece que conheço desde sempre. Muito bom trocar ideias com você, conversar por horas durante sua novela. Gosto tanto de você que esqueço que é arquiteta! Brincadeira, vicentei. Minha querida Andréa, meu raio de sol, luz da minha vida, obrigada por existir e fazer o mesmo curso que eu.

Também deixo meu agradecimento ao Laboratório de Regularização Fundiária da UFAL, que marcou de forma especial a reta final da minha graduação.

Por último e mais importante: agradeço à minha mãe. Sandra Valéria. Sem você, eu não estaria aqui. Nem nessa vida, nem nessa nova fase, concluindo uma graduação. Foi tudo graças ao seu amor, os valores que me ensinou, a paciência que teve (e a que não teve). Essa conquista é nossa. Obrigada por ser “mãeravilhosa”. Te amo, de todo o meu coração.

RESUMO

As inundações representam um desastre recorrente e de grande impacto na Região Metropolitana de Maceió (RMM), em virtude da urbanização desordenada, da degradação ambiental e da deficiência de infraestrutura. A recorrência histórica de inundações na região revela uma lacuna entre o conhecimento técnico existente e sua efetiva aplicação na gestão territorial. Este trabalho teve como objetivo mapear e modelar o risco a inundações na RMM por meio da integração de técnicas de geoprocessamento e do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Para a suscetibilidade, foram analisados oito critérios: elevação, declividade, curvatura, acumulação de fluxo, distância da drenagem, pedologia, pluviosidade e uso do solo. Para a vulnerabilidade, avaliaram-se sete critérios: densidade de domicílios, densidade populacional, distância de rodovias, crianças, idosos, acesso à água e esgoto. O AHP foi empregado para a ponderação, com os pesos determinados objetivamente pelo modelo estatístico Razão de Frequência (FR), baseado em dados históricos de cheias. Cada critério foi ponderado conforme sua relevância na deflagração do fenômeno, sendo aplicadas etapas de normalização e álgebra de mapas. Os resultados indicaram que 1,3% (37 km²) da RMM possui risco alto ou muito alto, porém concentrados em 34 km² de área urbana. Os municípios com maior proporção de área urbana em risco elevado foram Maceió, Satuba e Murici. A análise revelou que infraestruturas críticas, como escolas e unidades de saúde, além de dezenas de comunidades e milhares de domicílios, estão localizadas nessas zonas de risco. “Em Satuba e em alguns bairros de Maceió, observaram-se áreas classificadas como de alto e muito alto risco à inundação mesmo distantes da rede de drenagem, em função da elevada vulnerabilidade urbana, e também em locais protegidos por obras de contenção, evidenciando limitações do modelo em representar intervenções estruturais e particularidades locais. Ainda assim, o método apresentou excelente desempenho geral, com AUC de 0,826, e Índice de Consistência do AHP igual a 0,05, demonstrando coerência na atribuição dos pesos e eficácia na identificação das zonas de risco. Concluiu-se que o risco na RMM está fortemente concentrado em áreas de alta vulnerabilidade social, confirmando a desigualdade socioespacial como fator determinante do desastre.

Palavras-chave: risco à inundação; geoprocessamento; AHP; suscetibilidade; região metropolitana de maceió.

ABSTRACT

Flooding is a recurrent and high-impact disaster in the Metropolitan Region of Maceió (RMM), driven by unplanned urban expansion, environmental degradation, and deficient infrastructure. The historical recurrence of floods in the region highlights a gap between existing technical knowledge and its effective application in territorial management. This study aimed to map and model flood risk in the RMM through the integration of geoprocessing techniques and the Analytic Hierarchy Process (AHP). For susceptibility analysis, eight criteria were evaluated: elevation, slope, curvature, flow accumulation, distance to drainage, soil type, rainfall, and land use. For vulnerability, seven criteria were considered: household density, population density, distance to highways, presence of children, presence of elderly residents, access to water supply, and sewage services. AHP was used for weighting, with weights objectively determined using the Frequency Ratio (FR) statistical model based on historical flood data. Each criterion was weighted according to its relevance in triggering the phenomenon, followed by normalization and map algebra procedures. The results indicated that 1.3% (37 km²) of the RMM is classified as high or very high risk, with 34 km² of this area located within urban zones. The municipalities with the highest proportion of urban areas under elevated risk were Maceió, Satuba, and Murici. The analysis revealed that critical infrastructure—such as schools and health facilities—along with dozens of communities and thousands of households, are located within these high-risk zones. In Satuba and in some neighborhoods of Maceió, areas classified as high and very high flood risk were observed even at distances from the drainage network, due to elevated urban vulnerability, as well as in locations protected by flood-control structures. This highlights limitations of the model in representing structural interventions and local particularities. Nevertheless, the method demonstrated strong overall performance, with an AUC of 0.826 and an AHP Consistency Index of 0.05, indicating coherence in the weighting process and effectiveness in identifying risk zones. The study concludes that flood risk in the RMM is highly concentrated in areas of significant social vulnerability, confirming socio-spatial inequality as a determining factor in disaster outcomes.

Keywords: flood risk; geospatial analysis; AHP; susceptibility; Metropolitan Region of Maceió.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Representação esquemática dos tipos de eventos hidrológicos.....	24
Figura 2	- Mapa de localização da área de estudos (Região Metropolitana de Maceió - RMM)	42
Figura 3	- Bacias hidrográficas de contribuição da RMM, com os canais primários em destaque.....	43
Figura 4	- Densidade demográfica dos setores censitários existentes na RMM.....	45
Figura 5	- Indicadores socioeconômicos dos municípios da Região Metropolitana de Maceió (RMM).....	46
Figura 6	- Fluxograma da metodologia aplicada ao mapeamento de risco a inundações.....	47
Figura 7	- Localização das estações pluviométricas da ANA utilizadas.....	50
Figura 8	- Fluxograma das etapas de obtenção dos critérios condicionantes à suscetibilidade a inundações.....	52
Figura 9	- Microbacias de contribuição para cada ponto de cota de cheia e respectivas manchas de inundação calculadas.....	64
Figura 10	- Áreas com histórico de alagamento levantadas pela CPRM e que fizeram parte do inventário de dados de validação.....	65
Figura 11	- Fluxograma das etapas de obtenção dos critérios condicionantes à vulnerabilidade a inundações.....	66
Figura 12	- Mapa de elevação e grau de suscetibilidade à inundação, variando do mais baixo grau (verde) ao mais alto grau (vermelho).....	79
Figura 13	- Mapa de curvatura das vertentes da RMM, indicando o grau de suscetibilidade à inundação, variando das áreas mais elevadas e menos suscetíveis (verde) às mais baixas e altamente suscetíveis (vermelho).....	81
Figura 14	- Representação espacial da declividade e do grau de suscetibilidade à inundação na RMM, do nível mais baixo (vermelho) ao mais alto (verde)..	83
Figura 15	- Perfil transversal da área urbana de Murici, mostrando a elevação (azul) e a declividade (magenta) ao longo da seção destacada em vermelho.....	84
Figura 16	- Mapa pedológico da RMM com indicação de suscetibilidade à inundação, onde tons de verde indicam menor suscetibilidade e tons de vermelho, maior suscetibilidade.....	85

Figura 17 – Distribuição espacial das faixas de pluviométricas da RMM conforme grau de suscetibilidade à inundação, variando do menor (verde) ao maior (vermelho).....	87
Figura 18 – Mapa de uso e ocupação do solo da Região Metropolitana de Maceió, categorizado por graus de suscetibilidade à inundação, do mais baixo (verde) ao mais alto (vermelho).....	89
Figura 19 – Distância da rede de drenagem (hidrografia) e sua suscetibilidade à inundação na RMM, evidenciando a transição de áreas menos suscetíveis (verde) para áreas mais suscetíveis (vermelho).....	91
Figura 20 – Mapa temático de acumulação e fluxo e respectiva suscetibilidade à inundação, variando do grau mais baixo (verde) ao mais alto (vermelho)....	93
Figura 21 – Mapa de Suscetibilidade a Inundações.....	98
Figura 22 – Distribuição percentual das classes de suscetibilidade a inundações em relação às classes de uso e cobertura do solo na área de estudo.....	100
Figura 23 – Sobreposição entre o modelo de suscetibilidade à inundação da RMM e Cartas de Suscetibilidade a Inundação do Serviço Geológico do Brasil.....	101
Figura 24 – Distribuição espacial da densidade de domicílios na Região Metropolitana de Maceió, partindo do menos vulnerável ao mais vulnerável	103
Figura 25 – Vulnerabilidade associada à proximidade de estrutura viária e características demográficas, partindo do menos vulnerável (verde) ao mais vulnerável (vermelho).....	104
Figura 26 – Mapa de Vulnerabilidade a Inundações.....	106
Figura 27 – Mapa de risco à inundação da Região Metropolitana de Maceió.....	108
Figura 28 – Mapeamento de risco de inundação em Maceió com destaque para bairros situados em áreas críticas.....	111
Figura 29 – Favelas, escolas estaduais e vias urbanas localizadas em áreas de muito alto risco à inundação, com zoom aplicado para melhor visualização	113
Figura 30 – Favelas e comunidades urbanas (delimitadas em preto) no bairro do Jacintinho, sob alto risco de inundação, ocupando uma região de grota	114
Figura 31 – Espacialização do risco à inundação no município de Murici, com enfoque aos setores e equipamentos públicos afetados por risco alto e muito alto	116
Figura 32 – Espacialização do risco à inundação no município de Satuba, com enfoque aos setores e infraestrutura urbana afetados por risco alto e muito alto	120

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	- Frequência de utilização dos critérios de suscetibilidade a inundações na literatura consultada.....	30
Gráfico 2	- Variação temporal da cobertura do solo na Região Metropolitana de Maceió (RMM) entre 1985 e 2024.....	44
Gráfico 3	- Chuva média mensal das estações pluviométricas.....	51
Gráfico 4	- Histograma de distribuição dos valores do mapa de suscetibilidade a inundações com curva normal teórica (sino) para análise de simetria...	62
Gráfico 5	- Distribuição dos valores do mapa de vulnerabilidade a inundações.....	74
Gráfico 6	- Distribuição dos valores do mapa de risco de inundação.....	75
Gráfico 7	- Curva ROC e valor da AUC para validação do mapa de suscetibilidade a inundações.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Critérios ambientais e físicos para o mapeamento da suscetibilidade a inundações.....	27
Tabela 2	– Estrutura de uma matriz quadrada e recíproca de critérios.....	32
Tabela 3	– Escala de referência das comparações pareadas proposta por Saaty.....	33
Tabela 4	– Critérios condicionantes utilizados na análise de suscetibilidade a inundações.....	48
Tabela 5	– Dados utilizados no mapeamento da suscetibilidade a inundações, com respectivas fontes e resoluções.....	48
Tabela 6	– Classes de uso e cobertura do solo do MapBiomas e respectivos códigos (ID), conforme legenda da Coleção 9.....	53
Tabela 7	– Reclassificação dos códigos de uso e cobertura do solo segundo os critérios adotados.....	54
Tabela 8	– Reclassificação dos critérios em níveis de suscetibilidade à inundaçã.....	54
Tabela 9	– Valores do Fator de Frequência (FR) dos critérios de suscetibilidade a inundações.....	57
Tabela 10	– Matriz de comparação pareada entre os critérios utilizados.....	57
Tabela 11	– Índice Aleatório (IR) utilizado para o cálculo da razão de consistência (RC).....	59
Tabela 12	– Matriz de normalização.....	60
Tabela 13	– Critérios e pesos do modelo de suscetibilidade.....	61
Tabela 14	– Estatísticas descritivas dos valores do mapa de suscetibilidade a inundações.....	61
Tabela 15	– Limites geométricos e intervalos das classes de suscetibilidade a inundações.....	63
Tabela 16	– Dados utilizados no mapeamento da suscetibilidade a inundações, com respectivas fontes e resoluções.....	67
Tabela 17	– Variáveis censitárias do IBGE utilizadas na composição dos indicadores de vulnerabilidade a inundações.....	67
Tabela 18	– Critérios de vulnerabilidade e regras de atribuição de notas.....	69
Tabela 19	– Reclassificação dos critérios em níveis de vulnerabilidade à inundaçã.....	70

Tabela 20 – Valores do Fator de Frequência (FR) dos critérios de vulnerabilidade a inundações.....	70
Tabela 21 – Matriz de comparação pareada entre os critérios utilizados para vulnerabilidade.....	71
Tabela 22 – Matriz de normalização para os critérios de vulnerabilidade.....	72
Tabela 23 – Critérios e pesos do modelo de vulnerabilidade.....	73
Tabela 24 – Limites geométricos e intervalos das classes de vulnerabilidade a inundações.....	76
Tabela 25 – Limites geométricos e intervalos calculados para as classes de risco à inundação.....	78
Tabela 26 – Porcentagem de área urbana inserida em cada grau de risco, em ordem decrescente de grau de risco alto, por município da RMM.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process (Processo Analítico Hierárquico)
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
AUC	Área sob a Curva (Area Under Curve)
CNM	Confederação Nacional de Municípios
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (atual SGB)
DEM	Digital Elevation Model (Modelo Digital de Elevação)
ESRI	Environmental Systems Research Institute
FABDEM	Forest and Buildings removed Copernicus DEM
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center – River Analysis System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPLAN	Instituto de Planejamento de Maceió
LiDAR	Light Detection and Ranging (Detecção e Alcance de Luz)
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
MNT	Modelo Numérico do Terreno
NDBI	Normalized Difference Built-up Index
RMM	Região Metropolitana de Maceió
RPA	Remotely Piloted Aircraft (Aeronave Remotamente Pilotada)
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SPI	Stream Power Index
STI	Sediment Transport Index
TWI	Topographic Wetness Index
WRI	Water Ratio Index

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Justificativa	21
1.2	Objetivos	21
1.2.1	Objetivos Específicos	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Inundações	23
2.1.1	Desastres naturais e inundações	23
2.1.2	Diferenças conceituais entre enchente, inundação e alagamento	23
2.1.3	Desastres hidrológicos na RMM	25
2.1.3.1	Inundações na RMM	25
2.2	Diferenças entre suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade e risco ...	25
2.3	Fatores condicionantes de inundações	27
2.4	Modelos de mapeamento de risco a inundações	31
2.4.1	Análise Multicritério.....	32
2.4.1.1	Método AHP (Analytic Hierarchy Process – Processo Analítico Hierárquico)	32
2.4.1.2	Razão de Frequência (FR)	34
2.5	SIG e geoprocessamento como ferramenta de análise de riscos ambientais	37
2.6	Mapeamento de risco a inundações como instrumento de gestão territorial	39
3	METODOLOGIA	41
3.1	Caracterização da área de estudos	41
3.2	Procedimentos metodológicos	47
3.2.1	Metodologia para o Mapeamento da Suscetibilidade	47
3.2.1.1	Seleção e Coleta dos Dados	47
3.2.1.2	Pré-processamento dos Dados	49
3.2.1.3	Extração dos critérios	51
3.2.1.4	Reclassificação dos critérios	54
3.2.1.5	Aplicação do método AHP	56
3.2.1.5.1	Cálculo dos índices	58

3.2.1.6	Normalização dos critérios e álgebra de mapas	60
3.2.1.7	Análise estatística e reclassificação do mapa final	61
3.2.1.8	Validação	63
3.2.2	Mapeamento da Vulnerabilidade	66
3.2.2.1	Processamento e obtenção dos critérios	68
3.2.2.2	Reclassificação dos critérios	68
3.2.2.3	Aplicação do método AHP para vulnerabilidade	70
3.2.2.3.1	Cálculo dos índices	72
3.2.2.4	Normalização dos critérios e álgebra de mapas de vulnerabilidade	73
3.2.2.5	Análise estatística e reclassificação do mapa de vulnerabilidade	73
3.2.3	Mapeamento do risco	75
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4.1	Suscetibilidade	77
4.1.1	Validação do mapa de suscetibilidade	77
4.1.2	Critérios de suscetibilidade reclassificados	78
4.1.2.1	Elevação	78
4.1.2.2	Curvatura	80
4.1.2.3	Declividade	82
4.1.2.4	Pedologia	84
4.1.2.5	Pluviosidade média mensal no período chuvoso	86
4.1.2.6	Uso e ocupação do solo	88
4.1.2.7	Distância da rede de drenagem	90
4.1.2.8	Acumulação de fluxo	92
4.1.3	Mapa de suscetibilidade a inundações	94
4.1.3.1	Comparação com áreas de suscetibilidade a inundações da CPRM	101
4.2	Vulnerabilidade	102
4.2.1	Critérios de vulnerabilidade reclassificados	102
4.2.1.1	Densidade de domicílios	102
4.2.1.2	Demografia e proximidade de rodovias	104
4.2.2	Mapa de vulnerabilidade a inundações	105
4.3	Risco	107
4.3.1	Análise dos municípios com maior proporção de áreas urbanas em risco elevado à Inundação	109

4.3.1.1	Maceió	110
4.3.1.2	Murici	115
4.3.1.3	Satuba	119
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	122
	REFERÊNCIAS	124

1 INTRODUÇÃO

As inundações representam um dos desastres naturais de maior recorrência e impacto em escala global, gerando anualmente perdas humanas, sociais, econômicas e ambientais de vasta magnitude (CEMADEN, s.d.). No contexto brasileiro, um país de grandes proporções e de ampla diversidade climática e geomorfológica, esses eventos tendem a assumir formas mais severas. A história recente do país é marcada por tragédias recorrentes, que expõem a crescente vulnerabilidade de seus territórios e populações. O evento catastrófico que atingiu o estado do Rio Grande do Sul em maio de 2024, submergindo cidades inteiras e afetando milhões de pessoas, serve como um alerta sobre a urgência e a escala do desafio (Rio Grande do Sul, 2024).

A magnitude dos desastres não pode ser atribuída unicamente a fatores naturais. O processo de urbanização acelerado é, em muitos casos, desordenado, que caracteriza a formação do espaço brasileiro, atuando como catalisador e potencializando os riscos (CEMADEN, s.d.). Hoymann e Goetzke (2016) ressaltam a importância de restringir a expansão das áreas urbanizadas como forma de minimizar os impactos das inundações. Pesquisas mais recentes, como a de Dotto (2023), evidenciam que as atividades antrópicas e o tipo de cobertura do solo exercem influência direta sobre as taxas de escoamento superficial.

A gestão de desastres no Brasil tem se concentrado na resposta após a ocorrência do evento: resgate, assistência humanitária e reconstrução, o que gera custos altíssimos. Dados da Confederação Nacional de Municípios (CNM) revelam que, entre 2013 e 2023, os desastres no Brasil geraram prejuízos da ordem de R\$ 639,4 bilhões (CNM, 2024). Entre 2009 e 2024, somente no setor privado, as perdas decorrentes de inundações e alagamentos ultrapassaram R\$ 234 bilhões, com mais de 7,2 milhões de pessoas forçadas a abandonar suas casas (BRASIL, 2025). Essa abordagem reativa não apenas consome recursos que poderiam ser investidos em desenvolvimento, mas também proporciona um ciclo de vulnerabilidade, especialmente para as populações mais carentes, que frequentemente ocupam as áreas de maior risco por falta de alternativas (León, 2024). Portanto, torna-se indispensável promover uma mudança fundamental de abordagem: da resposta ao desastre para a gestão do risco. Essa transição exige a adoção de ferramentas que permitam antecipar, e não apenas remediar, as ameaças.

Dentro desse contexto, destaca-se a Região Metropolitana de Maceió (RMM), localizada no estado de Alagoas. A região é caracterizada por apresentar grande importância socioeconômica e ambiental para o estado, além de abranger zonas urbanas e rurais com

histórico de eventos de inundação (Nascimento, 2018). Os municípios que compõem a RMM apresentam um histórico marcado por intensas intervenções antrópicas que modificaram significativamente a paisagem natural, ampliando os impactos das chuvas ao longo do tempo. Um exemplo desse processo é o cultivo da cana-de-açúcar, introduzido nas primeiras décadas da colonização do Brasil, que provocou profundas alterações na cobertura vegetal das bacias hidrográficas, resultando em assoreamento e aumento do escoamento (Nascimento et al., 2018). A cana-de-açúcar se destaca como a principal atividade agropecuária, exercendo papel fundamental também no setor industrial, sobretudo na produção de açúcar e álcool.

De acordo com Nascimento, Andrade e Guimarães Júnior (2021), as chuvas intensas nos municípios que compõem a RMM, associadas às precárias condições de infraestrutura básica, têm sido as principais causas de desastres hidrológicos. Embora Maceió continue sendo a cidade mais afetada, por sua maior densidade populacional e apresentar um processo de ocupação desordenado, com muitas favelas e comunidades urbanas, as demais cidades da região também vêm sendo impactadas. Segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil (Brasil, 2025), na última década, os desastres hidrológicos no estado de Alagoas já desalojaram aproximadamente 342 mil pessoas, e fizeram mais de 6 mil feridos e enfermos e 62 óbitos, sendo as inundações o quarto tipo de desastre com mais ocorrências depois de alagamentos, enxurradas e chuvas intensas. Paralelamente, as inundações já provocaram mais de R\$ 196 milhões em danos materiais em Alagoas, afetando mais de 19 mil pessoas (Brasil, 2025).

A bacia do rio Mundaú, que tem parte de sua área contida na RMM, possui solos que absorvem pouca água. A região apresenta, ainda, uma topografia íngreme, que faz com que a água precipitada ganhe mais velocidade e energia. Isso leva ao escoamento superficial rápido que, no período de intensas precipitações, como foi o caso de 2010, gera para a calha do Mundaú e seus afluentes um volume imenso de sedimentos e vegetação (Ramos 2021).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), associados com outras técnicas de geoprocessamento, são ferramentas comumente utilizadas no mapeamento e identificação de áreas com risco de acidentes hidrológicos, sendo uma importante ferramenta para prevenção e mitigação de desastres naturais (Santos, 2022; Pessoa Neto *et al.*, 2021).

Na visão de Campos, Silva e Barbosa (2023), o SIG constitui o arcabouço tecnológico que permite coletar, armazenar, processar e analisar dados georreferenciados de diversas fontes, como relevo, tipo de solo, uso da terra e rede hidrográfica. Trata-se de uma ferramenta que oferece suporte técnico fundamental ao planejamento territorial, possibilitando a adoção de políticas públicas como o zoneamento ambiental, a regulamentação do uso e

ocupação do solo e o dimensionamento adequado de obras de infraestrutura (Cury et al., 2021).

Para que essa etapa seja efetiva, é essencial a adoção de métodos, critérios e procedimentos técnicos adequados, além do desenvolvimento de modelos detalhados do comportamento dos processos adversos (IPT, 2013). Técnicas como o Processo Analítico Hierárquico (AHP), proposto por Saaty (1980), aliadas ao geoprocessamento, tornam o mapeamento mais objetivo e consistente, reduzindo a influência subjetiva presente em métodos tradicionais (Faria & Augusto Filho, 2013; Rezende *et al.*, 2018; Bispo *et al.*, 2020).

1.1 Justificativa

A seleção da Região Metropolitana de Maceió (RMM) como área de estudo baseou-se, sobretudo, na ocorrência recorrente de eventos hidrológicos extremos nas últimas décadas. Fenômenos como chuvas intensas, enxurradas e inundações já provocaram impactos significativos em Alagoas, resultando em 55 óbitos, mais de 6,5 mil pessoas feridas ou adoecidas e mais de 230 mil desalojados ou desabrigados ao longo dos anos (Brasil, 2025), evidenciando a alta vulnerabilidade socioambiental da região.

Assim, o mapeamento e a identificação das áreas de risco à inundação mostram-se como instrumentos fundamentais para o planejamento e gestão urbanos, permitindo a identificação de áreas vulneráveis e viabilizando a alocação eficiente de recursos financeiros e o planejamento de ações emergenciais e preventivas voltadas à mitigação dos impactos, reduzindo a vulnerabilidade socioambiental frente a eventos hidrológicos extremos.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo modelar e mapear o risco a inundações na Região Metropolitana de Maceió (RMM), em Alagoas, utilizando uma abordagem de análise multicritério em ambiente SIG.

1.2.1 Objetivos Específicos:

- Analisar os principais fatores condicionantes a serem aplicados na modelagem da suscetibilidade.
- Caracterizar a partir de fontes existentes os fatores fisiográficos e geoambientais da RMM, utilizando dados geoespaciais.

- Aplicar a metodologia do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para determinar qual o nível de influência de cada parâmetro na deflagração de processos de inundação.
- Classificar a RMM em diferentes níveis de risco a inundações, e analisar a distribuição espacial das áreas mais críticas em relação a zonas de ocupação urbana, principalmente de ocupações irregulares.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, apresenta-se a fundamentação teórica que sustentou o desenvolvimento deste trabalho. São abordados conceitos relacionados às inundações e seus fatores condicionantes. Também são apresentados modelos de mapeamento de inundações utilizados na literatura, e o papel do geoprocessamento na análise e apoio à gestão territorial.

2.1 Inundações

Esta subseção apresenta os principais conceitos relacionados às inundações e sua ocorrência no contexto da Região Metropolitana de Maceió (RMM).

2.1.1 Desastres naturais e inundações

Amaral e Gutjahr (2015) definem desastres como fenômenos naturais que alteram a superfície terrestre e afetam áreas habitadas, causando danos materiais e humanos, sendo caracterizados quando as perdas superam a capacidade local de resposta. Esses eventos podem ser naturais, antrópicos ou mistos. Segundo Scheuren *et al.* (2008), considera-se desastre quando há pelo menos: dez mortes, cem pessoas afetadas, declaração de emergência ou pedido de ajuda internacional; caso ocorra em área desabitada é apenas evento natural, e, se o impacto for pequeno em área ocupada, é classificado como acidente. O IPT (2013) destaca enchentes e inundações como alguns dos desastres naturais mais frequentes, geralmente associados a chuvas intensas.

2.1.2 Diferenças conceituais entre enchente, inundação e alagamento

Considerando a frequente confusão entre esses termos, presente em estudos e na linguagem cotidiana, torna-se necessário esclarecer as diferenças entre os termos enchente, inundação e alagamento.

O IPT (2013) define alagamento como o acúmulo temporário de água em uma determinada área em função da deficiência do sistema de drenagem urbana. Miguel *et al.* (2016) complementa que os alagamentos ocorrem quando a capacidade de escoamento do sistema de drenagem urbana é excedida, resultando no acúmulo de água em áreas rebaixadas e alcançando vias públicas, calçadas e demais infraestruturas urbanas. Ramos (2021) destaca

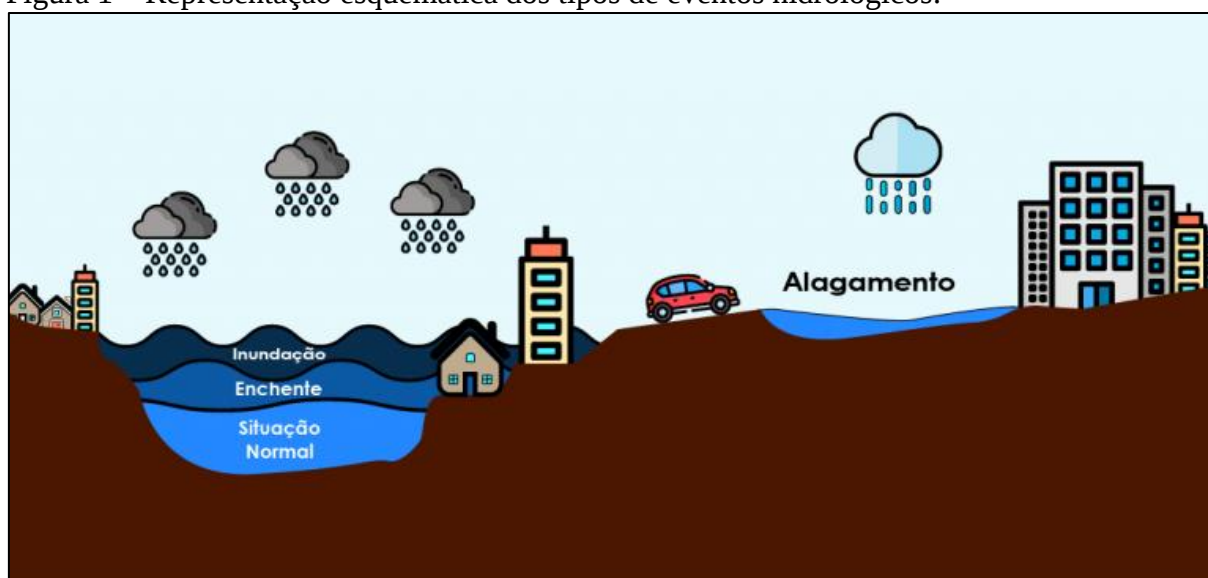
que os alagamentos decorrem de falhas no sistema de drenagem, frequentemente associadas à obstrução das galerias por resíduos sólidos e entulhos.

Conforme o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), quando as águas de chuva escoam até um curso d'água, pode ocorrer um aumento temporário da vazão. Essa elevação do nível d'água no canal de drenagem, resultante do acréscimo de descarga, caracteriza uma enchente ou cheia (IPT, 2013). Barbosa Júnior (2014) acrescenta que a enchente é caracterizada como a subida expressiva do nível d'água, porém ainda restrita ao leito regular do curso d'água natural, sem extravasamento para áreas adjacentes.

Em determinados períodos de enchente, as vazões (volume de água que passa por uma determinada seção de um canal de drenagem em um certo tempo) podem atingir magnitudes que ultrapassam a capacidade de escoamento da calha do curso d'água, fazendo com que a água extravase para áreas marginais que, em condições normais, não são ocupadas. Segundo o que estabelece Tucci (2007), a inundação ocorre quando as águas de um curso d'água ultrapassam os limites de seu leito e avançam sobre áreas adjacentes utilizadas pela população para moradia, comércio e demais atividades urbanas.

A Figura 1 ilustra esquematicamente as diferenças entre situação normal, enchente, inundação e alagamento.

Figura 1 – Representação esquemática dos tipos de eventos hidrológicos.



Fonte: Defesa Civil de Taió (2024).

2.1.3 Desastres hidrológicos na RMM

Na RMM, eventos climáticos intensos têm sido frequentes. A rápida expansão urbana sem planejamento adequado tem contribuído para recorrentes alagamentos, enchentes, deslizamentos e inundações (Nascimento, 2019). Entre os principais episódios, destaca-se o de junho de 2010, com 36 mortes e milhares de desabrigados (BBC News Brasil, 2010). Em 2017, chuvas excepcionais causaram a enchente dos rios Mundaú e Jacuípe, resultando em quatro mortes (Amorim Neto, 2017). Em 2022 e 2023, novos eventos de chuva intensa provocaram decretos de emergência e milhares de desalojados, especialmente em Murici (Rodrigues, 2022; G1 AL, 2023).

2.1.3.1 Inundações na RMM

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2014) classificou o litoral alagoano como uma área de alta vulnerabilidade a inundações, abrangendo praticamente toda a extensão do rio Mundaú, e identificou essa região como sujeita a eventos de inundação gradual com recorrência inferior a cinco anos. Os municípios da RMM atingidos por desastres do tipo inundações, conforme o Atlas Digital de Desastres, (Brasil, 2025), foram: Atalaia, Barra de São Miguel, Barra de Santo Antônio, Atalaia, Maceió, Murici e Satuba. Atalaia foi o que mais teve desabrigados e desalojados (5,3 mil), seguido por Murici com quase 3 mil. Só em Murici, o prejuízo público foi de quase R\$ 17 milhões, concentrado em gastos com distribuição de energia e esgotamento sanitário, e assistência médica. A indústria do município foi o setor mais afetado, com prejuízo de R\$ 25 milhões, e a agricultura, com prejuízo de quase R\$ 20 milhões (Brasil, 2025).

2.2 Diferenças entre suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade e risco

Segundo Schatz (2022) e Bitar (2014), suscetibilidade é a probabilidade de ocorrência de um fenômeno a partir das condições naturais do terreno, independentemente de fatores sociais ou hidrológicos. Assim, o meio físico pode tornar uma área mais propensa a inundações ou deslizamentos, e a ação humana pode intensificar ou reduzir essa predisposição. Ramos (2017) explica que a suscetibilidade considera apenas as características físicas e

ambientais, sendo útil em áreas sem dados históricos detalhados. No mapeamento de inundações, ela indica o quão favorável o ambiente é à ocorrência do processo.

O perigo diz respeito a uma condição ou fenômeno que possui potencial para causar danos dentro de um intervalo de tempo, reunindo fatores que podem desencadear eventos adversos (Brasil, 2014; CPRM, 2018). Diferente da ameaça, o perigo inclui uma estimativa de probabilidade de ocorrência (Bressani e Costa, 2013). Assim, representa uma fonte de risco com possibilidade de causar danos, embora não constitua o risco em si.

Apesar de diferentes entendimentos na literatura, vulnerabilidade pode ser entendida como o grau de exposição de indivíduos ou grupos a perigos naturais, associado à sua capacidade de enfrentar, suportar ou recuperar-se dos efeitos dessas ameaças (Ranke, 2016).

Neste trabalho, o conceito de vulnerabilidade foi adotado segundo o proposto por Martins e Ferreira (2012), os quais a define como a capacidade de resposta diante de situações de mudança, determinada pelas características socioeconômicas, culturais e históricas das populações afetadas.

Cerri e Amaral (1998) definem risco ambiental como a condição de possibilidade de ocorrência de um processo natural, induzido ou não, que possa representar perigo, perda ou dano ao ser humano e aos seus bens.

Ainda de acordo com Cerri e Amaral (1998), um mapa de risco resulta da combinação de dois componentes: suscetibilidade (probabilidade de ocorrência de um evento) e vulnerabilidade (consequências sociais e/ou econômicas potenciais). Esse modelo é aplicável à maioria dos desastres naturais e é representado pela Equação 1.

$$\text{Risco} = \text{Suscetibilidade} \times \text{Vulnerabilidade} \quad (1)$$

Amaral e Gutjahr (2015) destacam que a ocupação humana em áreas sujeitas a perigos naturais aumenta a probabilidade de desastres, especialmente quando envolve construções e infraestrutura inadequadas. Aspectos sociais, econômicos e culturais também influenciam a capacidade de resposta das comunidades, podendo reduzir ou ampliar a vulnerabilidade. Neste estudo, adotou-se o termo suscetibilidade para representar a predisposição natural do terreno à inundação, definindo o risco como o produto entre suscetibilidade e vulnerabilidade.

2.3 Fatores condicionantes de inundações

Tucci (2001) destaca que as inundações são resultado combinado de fatores naturais e de ações humanas. Características como relevo, tipo de chuva, vegetação e drenagem influenciam naturalmente a ocorrência de cheias, mas a intervenção humana, especialmente urbanização e desmatamento, agrava o problema ao aumentar o escoamento superficial e a frequência das inundações, principalmente nas cheias pequenas e médias.

As inundações resultam da interação entre fatores naturais e antrópicos. Entre os naturais, destacam-se o relevo, o tipo e a intensidade da chuva, a cobertura vegetal e a capacidade de drenagem da bacia: em áreas inclinadas o escoamento é rápido e eleva rapidamente o nível dos rios, enquanto nas planícies, geralmente mais ocupadas, o risco de inundação é maior. A vegetação reduz o escoamento e protege o solo, e sua remoção favorece erosão e assoreamento, aumentando a frequência das enchentes (Tucci, 2001).

Diversos autores têm abordado o mapeamento da suscetibilidade a inundações com base na análise de fatores físicos e ambientais. A Tabela 1 apresenta critérios utilizado pelos autores dos trabalhos consultados.

Tabela 1 – Critérios ambientais e físicos para o mapeamento da suscetibilidade a inundações.

Autor	Critérios utilizados
Abishek & Ravindran (2023)	Uso do solo, densidade de drenagem, TWI (<i>Topographic Wetness Index</i>), distância da rede de drenagem, comprimento do rio, declividade, elevação, pluviosidade
Fernandes & Palhares (2024)	Altitude, uso e ocupação do solo, declividade, classes de solo
Mantovani & Bacani (2018)	Uso da terra e cobertura vegetal, escoamento superficial, solos, declividade, hipsometria, geomorfologia
Braga <i>et al.</i> (2020)	Declividade, altitude, uso e ocupação do solo, classes de solo
Coelho (2017)	Declividade, taxa de impermeabilização, elevação

Autor	Critérios utilizados
Edamo, Bushira & Ukomo (2022)	Elevação, classes de solos, declividade, SPI (<i>Stream Power Index</i>), uso e cobertura do solo, pluviosidade, acúmulo de fluxo, direção de fluxo, curvatura das vertentes, aspecto das vertentes, STI (<i>Sediment Transport Index</i>), TWI, geologia, geomorfologia, densidade populacional, densidade de drenagem, TRI, distância de corpos d'água
Gigovic <i>et al.</i> (2017)	Elevação, declividade, distância da rede de drenagem, distância de superfícies aquosas, cobertura do solo
Vilasan & Kapse (2021)	Uso e cobertura do solo, densidade de drenagem, WRI (<i>Water Ratio Index</i>), NDBI (<i>Normalized Difference Built-up Index</i>), TWI, SPI, aspecto da vertente, STI
Caprario & Finotti (2019)	Declividade, uso e conservação de terras, geologia, altimetria
Ouma & Tateishi (2014)	Elevação, declividade, classes de solo, pluviosidade, redes de drenagem
Portela <i>et al.</i> (2023)	Altitude, declividade, tipo de solo, uso e ocupação do solo, proximidade de superfícies líquidas, geologia, densidade de drenagem, pluviosidade, cobertura e vegetação
Surwase <i>et al.</i> (2019)	Mapeamento de frequência de inundações, elevação, densidade de drenagem, declividade, classes de solo, uso e cobertura do solo
Taoukidou, Karpouzou & Georgiou (2025)	Elevação, pluviosidade, uso e cobertura do solo, geologia, dados históricos de inundações
Falcão (2013)	Ocupação do solo, tipo de solo, declividade, moradias
Ullah <i>et al.</i> (2024)	Elevação, uso e cobertura do solo, pluviosidade, classes de solo

Autor	Critérios utilizados
Vojtek e Vojteková (2019)	Densidade de drenagem, distância da rede de drenagem, elevação, declividade, acúmulo de fluxo, <i>curve number</i> , nível de permeabilidade
Adlyansah <i>et al.</i> (2019)	Acúmulo de fluxo, distância da rede de drenagem, elevação, declividade, uso do solo, pluviosidade, geologia
Ajtai <i>et al.</i> (2023)	Densidade populacional, taxa de crescimento populacional, população menor de 5 anos de idade, população com mais de 65 anos de idade, quantidade de mulheres, quantidade de empregados e desempregados, porcentagem de área construída, acesso a água potável, rede de água potável, extensão da área inundada
Abishek & Ravindran (2023)	Uso do solo, densidade de drenagem, TWI, distância da rede de drenagem, comprimento do rio, declividade, elevação, pluviosidade
Fernandes & Palhares (2024)	Altitude, uso e ocupação do solo, declividade, classes de solo
Mantovani & Bacani (2018)	Uso da terra e cobertura vegetal, escoamento superficial, solos, declividade, hipsometria, geomorfologia
Braga <i>et al.</i> (2020)	Declividade, altitude, uso e ocupação do solo, classes de solo
Coelho (2017)	Declividade, taxa de impermeabilização, elevação
Edamo, Bushira & Ukomu (2022)	Elevação, classes de solos, declividade, SPI, uso e cobertura do solo, pluviosidade, acúmulo de fluxo, direção de fluxo, curvatura das vertentes, aspecto das vertentes, STI, TWI, geologia, geomorfologia, densidade populacional, densidade de drenagem, TRI, distância de corpos d'água
Gigovic <i>et al.</i> (2017)	Elevação, declividade, distância da rede de drenagem, distância de superfícies aquosas, cobertura do solo
Vilasan & Kapse (2021)	Uso e cobertura do solo, densidade de drenagem, WRI, NDBI, TWI, SPI, aspecto da vertente, STI

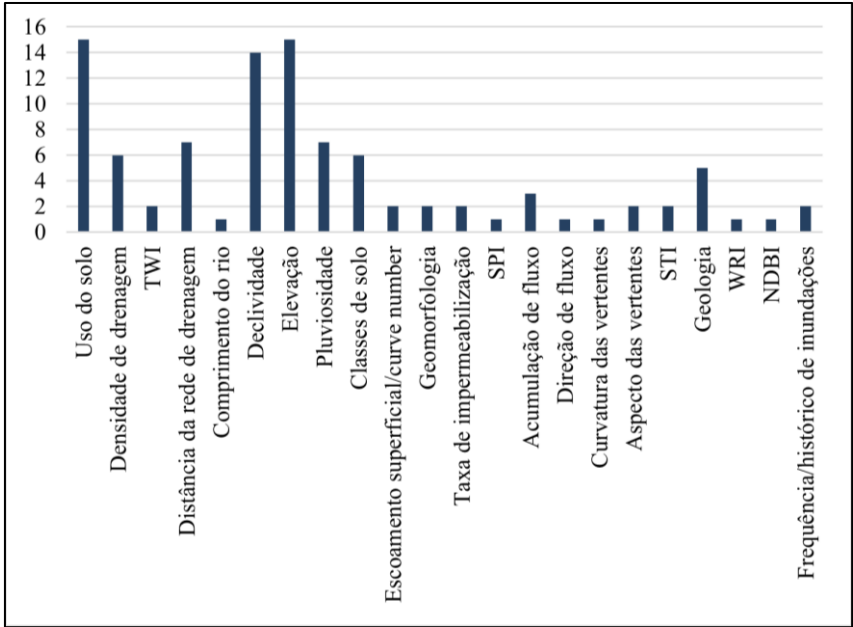
Autor	Critérios utilizados
Caprario & Finotti (2019)	Declividade, uso e conservação de terras, geologia, altimetria

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Vale ressaltar que alguns termos técnicos constantes na Tabela 1 podem ser utilizados de outra forma, tais como: altitude, elevação, hipsometria e altimetria indicam a altura do terreno em relação a um determinado nível. Já as classes de solo e pedologia referem-se ao tipo e às propriedades do solo. A distância da rede de drenagem, de corpos d’água ou de superfícies aquosas indicam a proximidade em relação a rios ou lagos. Por fim, o uso do solo, cobertura do solo e uso e cobertura do solo tratam da ocupação e da vegetação da superfície terrestre.

O Gráfico 1 identifica a contabilização de quantas vezes cada critério foi utilizado na bibliografia consultada. Partindo do que apresenta o gráfico, pode-se afirmar que os critérios mais utilizados são: uso do solo, declividade, elevação, pluviosidade, classes de solo e distância da rede de drenagem.

Gráfico 1 – Frequência de utilização dos critérios de suscetibilidade a inundações na literatura consultada.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Taoukidou, Karpouzou & Georgiou (2025) destacam a acumulação de fluxo como o fator mais importante para áreas de baixa altitude, por representar a convergência do

escoamento e seu papel direto na formação de inundações. Já a curvatura reflete a forma da superfície e sua capacidade de reter ou dispersar água (Costache, 2019; Towfiqul Islam *et al.*, 2021). Embora tanto a distância da drenagem quanto a acumulação de fluxo representem o comportamento da água na superfície, elas têm significados diferentes: a distância da drenagem mostra quão próxima uma área está dos canais de escoamento, enquanto a acumulação de fluxo indica o quanto a água tende a se concentrar em determinado ponto do terreno.

Os estudos revisados mostram que os critérios utilizados para mapear a vulnerabilidade a inundações variam conforme os autores, abrangendo fatores demográficos, estruturais e de infraestrutura. Entre eles, destacam-se o grau de urbanização e a impermeabilização do solo (Vilasan & Kapse, 2021), a densidade populacional e habitacional (Edamo, Bushira & Ukomo, 2022; Falcão, 2013), e indicadores socioeconômicos e demográficos como faixas etárias vulneráveis, taxa de crescimento populacional, acesso a saneamento, emprego e abastecimento de água (Ajtai *et al.*, 2023).

Autores como Cutter *et al.* (2023) e Ramos (2017) enfatizam que crianças e idosos são os grupos mais suscetíveis por apresentarem limitações de mobilidade e dependência, enquanto Farias e Mendonça (2022) e Diener *et al.* (2025) apontam que o adensamento urbano e a impermeabilização agravam as inundações em cidades de diferentes portes. Além disso, Cutter *et al.* (2003) e Chaudhary *et al.* (2016) relacionam a distância a vias e serviços de emergência à menor capacidade de resposta, e Das *et al.* (2023) reforçam que a ausência de saneamento e água potável intensifica os riscos sanitários e reduz a resiliência comunitária.

Trabalhos como os de Falcão (2013), Ramos (2017) e Prochmann (2014) utilizaram variáveis censitárias na elaboração de mapas de vulnerabilidade. Essas variáveis, disponibilizadas pelo IBGE, permitem representar desigualdades sociais e condições estruturais que influenciam a capacidade de resposta das populações expostas.

2.4 Modelos de mapeamento de risco a inundações

Uma variedade de métodos e técnicas tem sido aplicada para avaliar perigos de inundação. Ao longo dos anos, a modelagem hidrológica e a análise de dados espaciais têm sido amplamente utilizadas para avaliar a dinâmica e a extensão das cheias (Taoukidou, Karpouzou & Georgiou, 2025). Entre os modelos mais empregados destacam-se metodologias multicritério como o AHP; o HEC-RAS, que simula o escoamento e a propagação das vazões, e o HAND, que utiliza MDEs para estimar a probabilidade de alagamento.

2.4.1 Análise Multicritério

O IPT (2013) destaca que as inundações são fenômenos complexos, influenciados por múltiplos fatores climáticos e geomorfológicos. Segundo Ramos (2021), o planejamento territorial envolve diversas variáveis inter-relacionadas, demandando uma análise espacial multicritério. Essa abordagem tem sido amplamente empregada na avaliação de risco de inundação, utilizando métodos de tomada de decisão multicritério, entre os quais se destaca o AHP, reconhecido por sua eficiência na definição de prioridades entre fatores (Vilasan & Kapse, 2022). O principal benefício de combinar técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e análise espacial multicritério é que o produto final é um mapa de fácil leitura que fornece informações úteis para moradores e autoridades (Taoukidou, Karpouzou & Georgiou, 2025).

2.4.1.1 Método AHP (*Analytic Hierarchy Process* – Processo Analítico Hierárquico)

O AHP, proposto por Saaty (1980), é um método de apoio à decisão que compara critérios entre si para definir sua importância relativa e orientar a escolha entre alternativas. O autor combina julgamentos racionais e subjetivos, permitindo estabelecer pesos e prioridades. Segundo Taoukidou, Karpouzou e Georgiou (2025), trata-se do método mais utilizado para avaliar perigo de inundação.

O primeiro passo para aplicação do método é a construção de uma matriz quadrada ($n \times n$) e recíproca de comparação entre os critérios utilizados, mostrada na Tabela 2.

Tabela 2: Estrutura de uma matriz quadrada e recíproca de critérios.

Crítérios	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3	Parâmetro 4
Parâmetro 1	1	1/a	1/b	1/c
Parâmetro 2	a	1	1/d	1/e
Parâmetro 3	b	d	1	1/f
Parâmetro 4	c	e	f	1

Fonte: Adaptado de Falcão (2013).

O valor a_{ij} representa a importância do critério da linha i em relação ao critério da coluna j , com $a_{ii} = 1$ e $a_{ji} = 1/a_{ij}$ e (matriz recíproca). A célula correspondente ao cruzamento

de uma linha e uma coluna que contêm o mesmo critério recebe, um valor unitário, por ter sido confrontado consigo mesmo, o que acontece para toda diagonal principal.

O próximo passo é realizar o julgamento da hierarquia entre os critérios. Saaty (1980) fornece uma escala para referência das comparações pareadas (julgamentos) entre os critérios. A escala é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Escala de referência das comparações pareadas proposta por Saaty.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
2	Fraca	
3	Importância moderada	Um fator é ligeiramente mais importante que o outro
4	Moderadamente forte	
5	Importância forte	Um fator é claramente mais importante que o outro, ou tem importância muito forte em relação ao outro
6	Mais forte	
7	Importância muito forte ou demonstrada	Um fator é fortemente favorecido em relação ao outro; sua dominância é demonstrada na prática
8	Muito, muito forte	
9	Importância extrema	A evidência que favorece um fator em relação ao outro é da mais alta ordem possível

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Oliveira *et al.* (2009) dizem que após as comparações pareadas, o modelo AHP calcula a razão de consistência (RC), que indica o grau de coerência das comparações. Segundo Saaty (1980), é razoável que se aceite os valores obtidos para os pesos dos fatores sempre que se alcance uma RC inferior a 0,1. Caso ultrapasse esse valor, o processo deve ser revisto e a matriz de comparação refeita até alcançar uma consistência adequada (Falcão, 2013).

Ouma & Tateishi (2014) sugerem para que, para explorar melhor a versatilidade do AHP em pesquisas sobre enchentes urbanas, seja utilizada a combinação do AHP com outras técnicas, como a lógica fuzzy. Devido à diversidade de formatos e métodos de coleta dos dados, o primeiro passo foi padronizá-los em unidades comparáveis. Para isso, utilizou-se a teoria dos conjuntos fuzzy, proposta por Zadeh (1965), que transforma um conjunto de valores em outro, normalizado em uma escala contínua (Eastman, 2003).

Conforme Gigovic *et al.* (2017), a cada fator é empregada uma escala variando de 0 a 1 para a fuzzificação (Equação 2), em que zero representa o menor grau de perigo e um o elemento mais perigoso do conjunto, em relação à probabilidade de ocorrência de inundações. Os dados fuzzyficados são chamados de normalizados.

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (2)$$

Onde:

X_{norm} = valor normalizado;

X = valor original do dado;

X_{min} = valor mínimo do conjunto de dados;

X_{max} = valor máximo do conjunto de dados.

Por fim, os autovetores normalizados obtidos na etapa de comparação par-a-par são utilizados como pesos de cada critério na aplicação da álgebra de mapas, visando à geração do mapa final de suscetibilidade à inundação.

O cálculo consiste na multiplicação de cada critério pelo seu respectivo peso (Equação 3) e posterior somatório dos resultados para obtenção do valor de suscetibilidade por dimensão (Equação 4). Por último, cada dimensão é ponderada de acordo com o seu peso relativo, resultando na suscetibilidade final (Equação 5), conforme a definição de risco apresentada em 2.2.

$$S_i = V_i \times P_i \quad (3)$$

Onde:

S_i = suscetibilidade de um dado critério i .

V_i = valor normalizado do critério i .

P_i = peso atribuído ao critério conforme os autovetores calculados pelo método AHP.

$$SD = \sum S_i \quad (4)$$

Onde:

SD = suscetibilidade da dimensão;

S_i = suscetibilidade de um dado critério i .

$$SF = \sum (SD \times PD) \quad (5)$$

Onde:

SF = suscetibilidade final;

SD = suscetibilidade de cada dimensão;

PD = peso relativo da dimensão.

2.4.1.2 Razão de Frequência (FR)

Técnicas como o AHP baseiam-se em decisões de especialistas, o que significa que a precisão e eficácia do método dependem da experiência dos profissionais envolvidos. Métodos como a FR utilizam dados históricos de enchentes, permitindo gerar resultados valiosos. Metodologias baseadas em dados históricos, e não em opiniões pessoais, têm se mostrado mais representativas e objetivas (Taoukidou, Karpouzou & Georgiou, 2025).

Para o treinamento do modelo, os fatores condicionantes devem ser divididos em classes de propensão. O modelo então avalia a relação entre eventos históricos e fatores condicionantes, avaliando com que frequência as inundações ocorrem dentro das classes de cada critério (como declividade, uso do solo, distância de rios, etc.). A Equação 6 demonstra a obtenção do fator FR (Taoukidou, Karpouzou & Georgiou, 2025). O FR mostra quais classes dentro de um fator são mais propensas à inundação.

$$FR = \frac{\frac{\text{n}^\circ \text{ de pixels inundados por uma classe específica de um critério}}{\text{n}^\circ \text{ de pixels total da classe específica}}}{\frac{\text{n}^\circ \text{ de pixels da máscara de validação}}{\text{n}^\circ \text{ de pixels totais da área de estudo}}} \quad (6)$$

O quão maior for o resultado de FR, mais propensa a classe é à ocorrência de inundação. Em seguida, os valores de FR de todas as classes de um mesmo fator são somados e normalizados para resultarem de 0 a 1, resultando no peso relativo (PR), conforme Equação 7. O PR mostra quais critérios são mais importantes no modelo.

$$PR_i = \frac{\sum FR_i}{\sum \text{todos os } FR} \quad (7)$$

Onde:

PR_i = peso relativo do critério;

FR_i = razão de frequência do critério

Por fim, o Índice de Perigo de Inundação (FHI) é calculado combinando os PRs e os o grau de propensão de cada critério (R), conforme Equação 8.

$$FHI = \sum (PR_i \times R_i) \quad (8)$$

Onde:

PR_i = peso relativo do critério;

R_i = grau de propensão do critério.

O resultado é um mapa contínuo de suscetibilidade a inundações, dividido em classes, onde FHI representa o índice final de suscetibilidade à inundação para cada pixel.

Essencialmente, o método AHP baseia-se em comparações pareadas entre os fatores condicionantes, atribuindo pesos segundo o julgamento de especialistas, o que o torna um procedimento subjetivo, porém útil quando não há registros históricos de inundações. Já o método FR é estatístico e objetivo, pois determina a influência de cada fator a partir da frequência real de eventos de inundação observados em cada classe de variável.

A aplicação do método AHP combinada a ferramentas de geoprocessamento tem-se consolidado no Brasil como uma abordagem sólida para a análise de riscos hidrológicos e geológicos. Faria e Augusto Filho (2013), do Instituto Geológico de São Paulo, aplicaram o método AHP no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas. O estudo foi realizado em São Sebastião (SP), em setores previamente identificados como de alto risco pelo próprio Instituto, seguindo uma metodologia qualitativa do Ministério das Cidades. Essa metodologia baseava-se em observações de campo e na avaliação técnica de especialistas, levando em conta fatores como as condições físicas do terreno, sinais de instabilidade e a presença de edificações expostas, classificando os setores conforme a probabilidade e a gravidade dos eventos.

A proposta de Augusto Filho buscou incorporar o AHP para atribuir valores numéricos aos indicadores de perigo, como declividade, altura do talude, tipo de solo, nível d'água e uso do terreno, a partir de comparações diretas entre os critérios. Os resultados mostraram que o uso do AHP tornou o processo de mapeamento mais organizado e coerente, reduzindo a influência da interpretação subjetiva dos especialistas e permitindo uma visão mais clara da importância de cada fator.

Rezende *et al.* (2018) aplicaram o método AHP para avaliar a suscetibilidade a inundações em São Sebastião do Paraíso (MG). O estudo utilizou variáveis físicas e ambientais, como declividade, uso do solo, rede de drenagem e proximidade de cursos d'água, integradas em ambiente SIG. O AHP foi empregado para ponderar os critérios de forma hierárquica, reduzindo a subjetividade e permitindo a análise conjunta dos fatores que influenciam a ocorrência de inundações. A aplicação do método possibilitou identificar áreas com maior potencial de alagamento, especialmente em regiões planas próximas a rios e zonas urbanizadas com deficiência de drenagem. Os autores destacaram que o uso do AHP aliado às geotecnologias aprimorou a análise de risco de inundação, ao permitir a localização precisa das áreas críticas e a integração espacial das variáveis.

No litoral norte de Maceió (AL), Bispo *et al.* (2020) também aplicaram o método AHP para o mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos. O estudo considerou critérios geológicos, geomorfológicos, pedológicos e morfométricos, organizados em ambiente SIG para gerar um modelo multicritério de análise espacial. O AHP foi usado para atribuir pesos aos fatores condicionantes dos escorregamentos, refletindo a importância relativa de cada um. Essa estruturação permitiu identificar as áreas mais propensas a movimentos de massa, especialmente nas encostas íngremes e côncavas, onde o fluxo superficial tende a se concentrar e os materiais apresentam maior fragilidade.

2.5 SIG e geoprocessamento como ferramenta de análise de riscos ambientais

As geotecnologias correspondem a um conjunto de soluções tecnológicas voltadas à coleta, armazenamento, processamento, análise e disponibilização de dados e informações com referência geoespacial. Entre as principais ferramentas associadas às geotecnologias destacam-se o geoprocessamento, os SIG, a cartografia digital, o sensoriamento remoto, os sistemas de posicionamento global, além de áreas como geodésia, topografia e aerofotogrametria. Dentre essas ferramentas, o geoprocessamento se sobressai, especialmente por sua relevância na estruturação e operação de SIG (Conceição, 2024).

Câmara, Davis & Monteiro (2001) afirmam que a identificação de áreas suscetíveis a inundações e movimentos de massa exige a análise conjunta de fatores ambientais e antrópicos, o que pode ser feito de forma mais eficiente com o uso de SIG e técnicas de geoprocessamento. Os autores destacam que a análise espacial das características físicas da bacia, como relevo, declividade, solos, cobertura vegetal e histórico de eventos, é essencial para indicar áreas potencialmente inundáveis.

Um dos elementos fundamentais da análise espacial é o Modelo Digital de Elevação (MDE), que serve de base para diversos tipos de análise espacial. A partir dele, é possível a obtenção de variáveis derivadas da altimetria (como a declividade, o exemplo mais frequente). A obtenção destas variáveis é feita principalmente com operações de vizinhança (declividade, orientação e curvatura, por exemplo) (Valeriano, 2004).

O FABDEM é um MDE global com espaçamento de grade de 30 m. Trata-se de um produto decorrente do MDE Copernicus GLO-30 DEM, onde foram removidos elementos de florestas e edificações por meio de algoritmos de aprendizado de máquina (Hawker *et al.*, 2022). Os desenvolvedores afirmam que o FABDEM é o MDE mais adequado para diversas

aplicações que requerem uma representação do terreno sem interferência de cobertura superficial, como em estudos de hidrologia e modelagem de inundações (Hawker *et al.*, 2021).

O pré-processamento de MDEs é essencial para garantir a qualidade das análises hidrológicas. Segundo Gutiérrez (2012), com base em Silva & Barbosa (2018), deve-se aplicar o preenchimento de depressões (*sinks*) para eliminar “buracos” no relevo que impedem o fluxo superficial, elevando as células vizinhas e assegurando a continuidade da drenagem. O método de Wang & Liu (2006) trata essas depressões como erros nos dados, preenchendo-as para gerar um sistema de drenagem conectado e consistente. Outra etapa importante é a suavização com o filtro gaussiano, que reduz ruídos e irregularidades no relevo. Conforme Yoshida & Koarai (2024), esse filtro melhora a precisão de MDEs em planícies aluviais, e seu grau de suavização é controlado pelo desvio padrão (Ringeler, 2003).

Outra etapa importante no geoprocessamento é a análise da estatística descritiva dos dados trabalhados. Abrão *et al.* (2021) sugere a obtenção das principais medidas de tendência central e dispersão: mínimo, máximo, média, mediana, moda, variância, desvio-padrão e assimetria. O comportamento da distribuição pode então ser avaliado por meio de um histograma padronizado em desvios-padrão, que permite visualizar a concentração dos valores em torno da média e identificar a presença de caudas ou assimetrias.

Helsel e Hirsch (2002) informam que dados de recursos hídricos, em geral, possuem limite inferior zero, presença de outliers, assimetria positiva e distribuição não normal. Também podem incluir padrões sazonais, autocorrelação temporal e dependência de outras variáveis.

Existem alternativas aos métodos tradicionais de classificação cartográfica (quantis, intervalos iguais e quebras naturais), que tendem a produzir resultados enviesados quando aplicados a dados com distribuição assimétrica. O método de classificação por intervalo geométrico (GIC) foi desenvolvido pela ESRI e busca equilibrar o número de amostras em cada classe sob a restrição de que os intervalos de classe formem uma progressão geométrica. Assim, os intervalos são menores nas regiões com valores mais frequentes (densos) e maiores nas extremidades do histograma, o que permite representar de forma equilibrada tanto os valores médios quanto os extremos (Li & Shan, 2022).

A curva ROC permite avaliar o desempenho de um modelo ao comparar a taxa de acertos (verdadeiros positivos) com os erros (falsos positivos). A medida associada é a AUC, que varia de 0 a 1 e indica o quão bem o modelo distingue áreas suscetíveis: valores próximos de 1 representam alta precisão, enquanto valores próximos de 0,5 indicam desempenho aleatório. Assim, a AUC é amplamente utilizada para validar mapas de suscetibilidade a

enchentes por sintetizar de forma simples a capacidade preditiva do modelo (Vakhshoori & Zare, 2018; Wang *et al.*, 2019).

2.6 Mapeamento de risco a inundações como instrumento de gestão territorial

Historicamente, os rios desempenharam papel central na formação das cidades, que se desenvolveram ao longo de suas margens e do litoral. As populações tradicionalmente se fixavam em áreas elevadas, menos sujeitas a cheias, mas o crescimento urbano desordenado, sobretudo após a segunda metade do século XX, levou à ocupação de várzeas e planícies inundáveis, resultando em prejuízos humanos e materiais (Tucci, 2001). Segundo Alves (2014), o risco corresponde à possibilidade de ocorrência de um perigo, ainda que não percebido pela população. A baixa frequência de inundações gera uma falsa sensação de segurança, estimulando o adensamento de áreas vulneráveis, enquanto fatores sociais e econômicos, como o apego ao local de moradia e a desigualdade no acesso a áreas seguras, mantêm populações de baixa renda em zonas de risco.

Tucci (2001) distingue medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações. As estruturais correspondem a obras de engenharia, como diques e reservatórios, que reduzem o risco de enchentes, mas não o eliminam e podem gerar falsa sensação de segurança. As não estruturais concentram-se na prevenção e mitigação dos impactos sem grandes obras, incluindo zoneamento urbano, normas de construção, seguros, planos de contingência e sistemas de alerta, de baixo custo e com foco na resiliência comunitária.

A Lei nº 10.257/2001 (Estatuto da Cidade) estabelece que a política urbana deve evitar a exposição da população a riscos de desastres e que o plano diretor dos municípios com áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações deve conter o respectivo mapeamento, o que é o caso dos municípios da RMM, todos incluídos no cadastro nacional de áreas suscetíveis (Presidência da República, 2025). O Instituto de Planejamento de Maceió (IPLAN, 2025) prevê que o município deverá desenvolver e implantar a Política Municipal de Proteção e Prevenção a Desastres Naturais e Tecnológicos, com foco em ações de preparação, mitigação, resposta e reconstrução, em consonância com a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil.

A gestão de áreas sujeitas a inundações no Brasil ainda é incipiente. Segundo Tucci (2007), citado por Monte (2013), isso decorre da falta de conhecimento técnico dos planejadores, ausência de integração entre esferas de governo e resistência política às medidas não estruturais. Conforme Zuquette & Gandolfi (2004), o planejamento urbano tem como propósito integrar os aspectos geotécnicos e ambientais, de modo a orientar o uso e a ocupação

do solo, promovendo soluções sustentáveis e tecnicamente seguras que favoreçam o desenvolvimento equilibrado dos espaços urbanos e rurais.

Franco *et al.* (2010) declara que a cartografia geotécnica permite visualizar as características e processos do meio físico, subsidiando decisões sobre uso e ocupação do território. Zuquette & Gandolfi (2004) ressaltam que o mapeamento e as cartas geotécnicas constituem instrumentos fundamentais para o planejamento territorial e ambiental, pois permitem analisar e representar as condições e potencialidades do meio físico, orientando a ocupação racional do solo e a implantação de obras e atividades humanas de forma compatível com as características geoambientais de cada área.

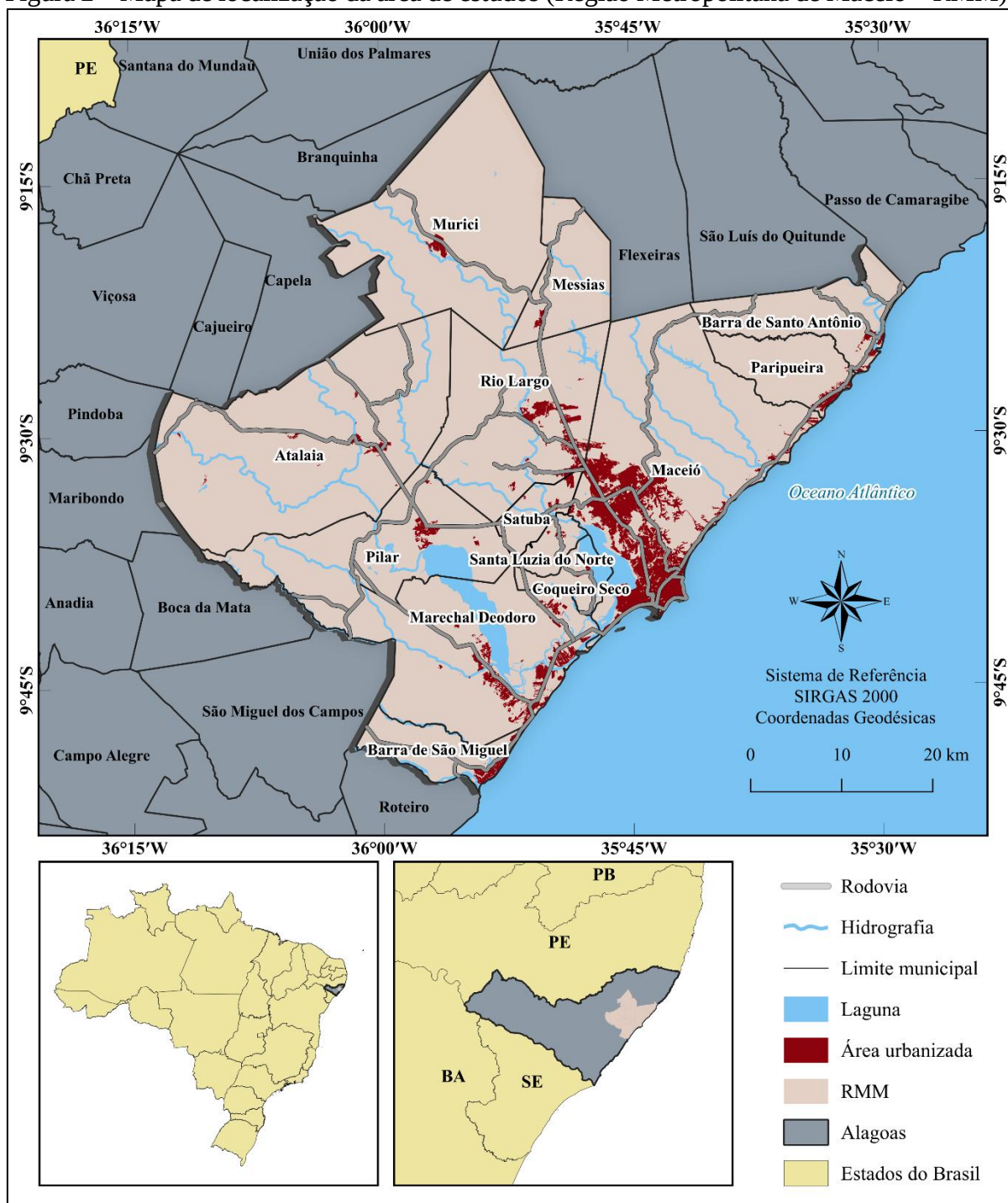
3 METODOLOGIA

Aqui será trazida uma descrição detalhada da área de trabalho, seguida dos procedimentos metodológicos adotados para o alcance dos objetivos.

3.1 Caracterização da área de estudos

A área de estudos compreende a RMM, situada na região central do litoral do estado de Alagoas, a qual envolve treze municípios, sendo eles: Atalaia, Barra de Santo Antônio, Paripueira, Barra de São Miguel, Coqueiro Seco, Maceió, Marechal Deodoro, Messias, Murici, Pilar, Rio Largo, Santa Luzia do Norte e Satuba (Figura 2).

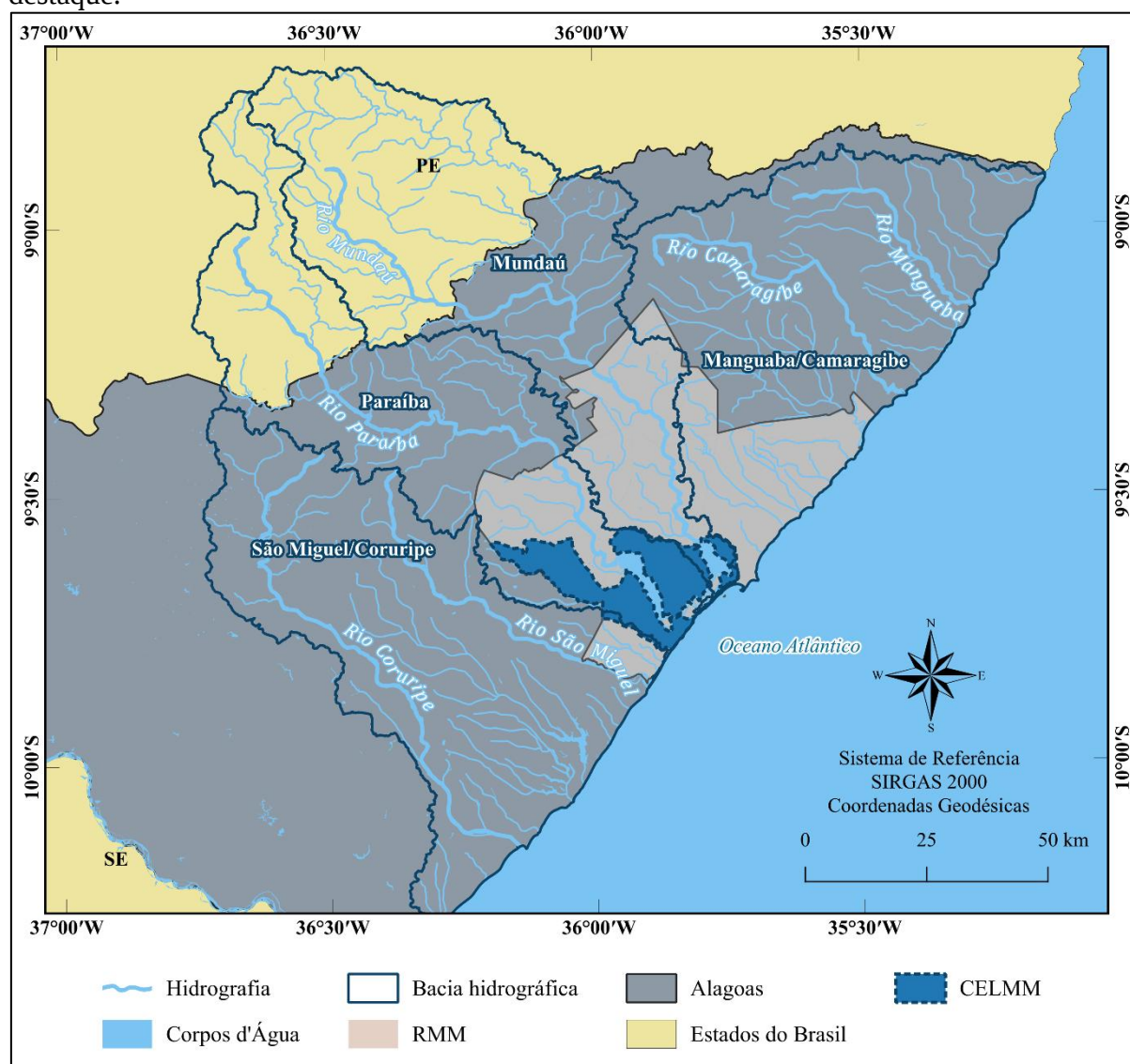
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudos (Região Metropolitana de Maceió – RMM).



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Na RMM estão presentes as bacias do Mundaú, Manguaba/Camaragibe, Paraíba e São Miguel/Coruripe (Figura 3).

Figura 3 – Bacias hidrográficas de contribuição da RMM, com os canais primários em destaque.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Os rios Mundaú e Paraíba nascem no Estado de Pernambuco, cruzam o Estado de Alagoas e desembocam no complexo estuarino-lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM) (ANA, 2005). Ambos percorrem, respectivamente, 164 e 158 quilômetros até seus exutórios. Os demais rios nascem no Estado de Alagoas e desaguam no Oceano Atlântico, percorrendo 87 km (Rio Camaragibe), 129 km (Rio Coruripe), 59 km (Rio Manguaba) e 78 km (Rio São Miguel) (ANA, 2013). Aproximadamente 65 km de extensão de rios na RMM se encontram inseridos em perímetros urbanos.

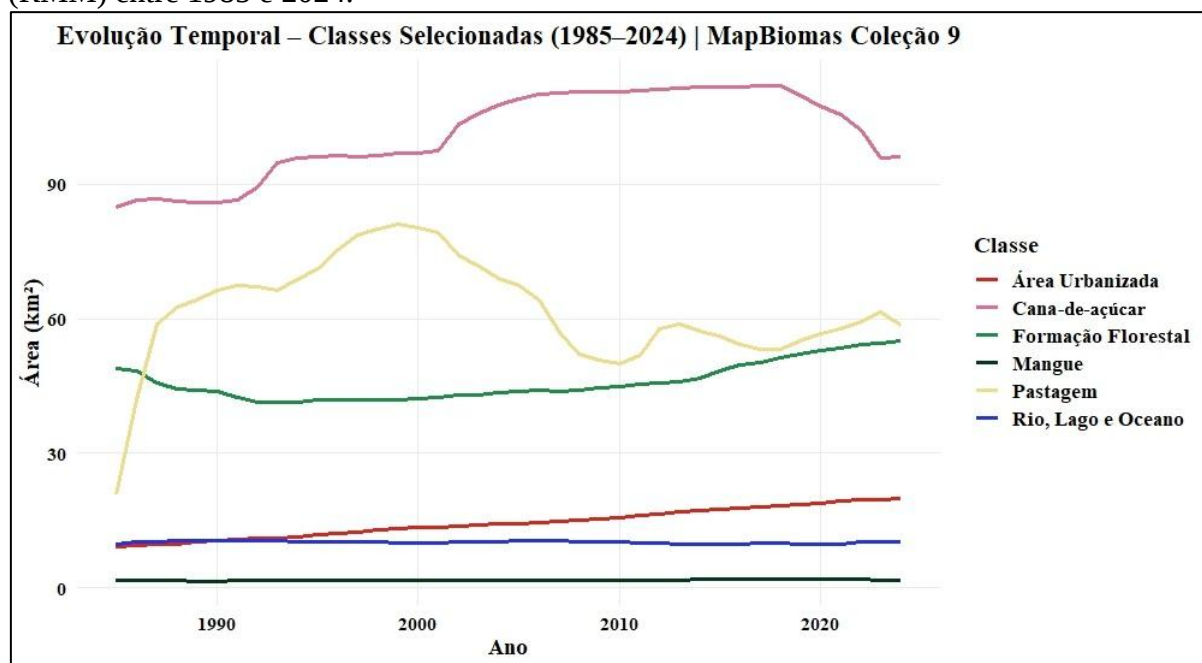
O clima da Região Metropolitana de Maceió enquadra-se entre as faixas Am e As da classificação de Köppen-Geiger, correspondendo aos tipos tropical úmido de monção e tropical de savana, respectivamente (Beck et al., 2023). O tipo Am predomina em áreas litorâneas, como Maceió e municípios vizinhos, apresentando alta umidade e pouca variação

térmica ao longo do ano, enquanto o tipo As ocorre nas porções mais interiores, caracterizando-se por uma estação seca mais definida e menor pluviosidade (McKnight & Hess, 2000).

As temperaturas médias anuais em Alagoas variam entre 21 °C e 27 °C, sendo mais elevadas no litoral (25–26 °C) e mais amenas nas áreas de planalto (21–23 °C) (Barros et al., 2012). Nos meses mais quentes (janeiro e fevereiro), as temperaturas atingem 27–32 °C, enquanto nos mais frios (junho e julho), oscilam entre 17–22 °C.

A precipitação média anual varia entre 1.000 e 2.200 mm, com os maiores valores nas áreas litorâneas e na zona da mata, e menores no interior. A intensidade pluviométrica mensal situa-se entre 200 e 350 mm, sendo maior nas proximidades das lagoas Mundaú e Manguaba (Nascimento *et al.*, 2018; Barros *et al.*, 2012). Em se tratando do uso e cobertura do solo da região, esta é composta 21% por cobertura florestal e 67,6% por atividades agropecuárias. Destas atividades, 30,1% se destinam a pastagem (onde predomina a criação de gado) e 49,5% a agricultura, sendo esta última composta praticamente em sua totalidade pela cultura de cana-de-açúcar (MapBiomias, 2025). O Gráfico 2 mostra a variação da cobertura do solo da RMM durante o período compreendido entre 1985 e 2024.

Gráfico 2 – Variação temporal da cobertura do solo na Região Metropolitana de Maceió (RMM) entre 1985 e 2024.

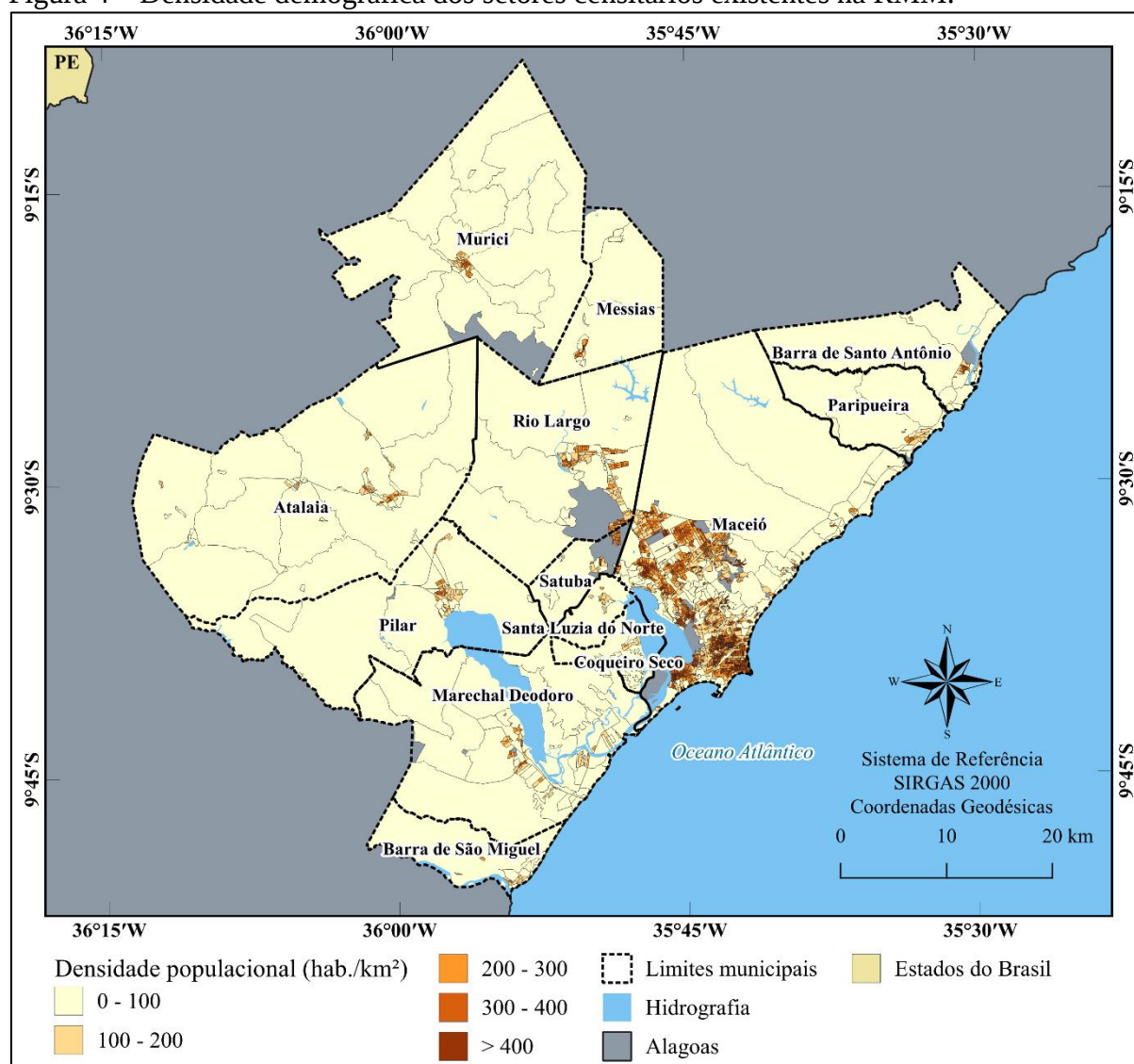


Fonte: adaptado de MapBiomias (2025).

A região de estudo abrange uma área territorial de 2.877,448 km², com aproximadamente 1.300.000 habitantes e com densidade demográfica de 452 habitantes/km² até o censo demográfico realizado em 2022 (IBGE 2023b). Apesar de área territorial extensa,

a área urbanizada representa somente 6,6% do território, com 190 km². Segundo dados do MapBiomas (s.d.), a urbanização vem crescendo a uma taxa média de 14% ao ano. Na última década, o crescimento foi de quase 21% ao ano. A RMM conta ainda com 2.235 setores censitários, que são a menor unidade territorial utilizada pelo IBGE para os estudos estatísticos do Censo Demográfico no Brasil. A Figura 4 mostra a densidade populacional por setor censitário da área de estudo.

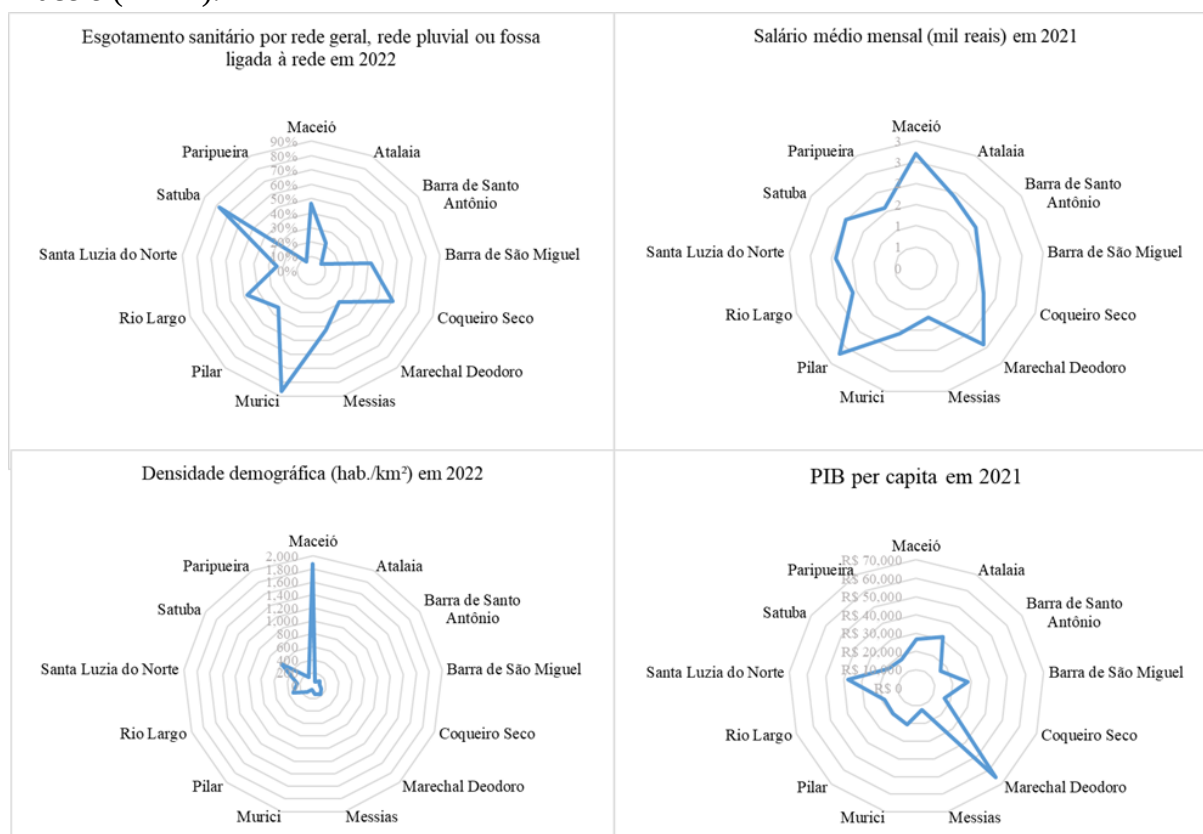
Figura 4 – Densidade demográfica dos setores censitários existentes na RMM.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

O perfil demográfico dos municípios componentes da RMM é heterogêneo. A Figura 5 exibe gráficos ilustrativos de alguns indicadores demográficos para cada município, permitindo uma visualização das características socioeconômicas e populacionais da área.

Figura 5 – Indicadores socioeconômicos dos municípios da Região Metropolitana de Maceió (RMM).



Fonte: adaptado de IBGE (2023b).

De maneira geral, pode-se verificar uma desigualdade entre os municípios, com alguns mais avançados em renda e infraestrutura do que outros. Nenhum município se mostra avançado em todos os critérios concomitantemente.

Observa-se que Maceió possui maior densidade habitacional (1.880 hab/km²), indicando uma forte urbanização, o que é esperado por ser a capital. Concentra também o maior salário médio mensal por habitante (R\$ 2,7 mil), juntamente com o município de Pilar. Entretanto, a infraestrutura sanitária possui cobertura mediana (47%), provavelmente diante da muito alta densidade urbana.

Marechal Deodoro concentra o maior PIB per capita (R\$ 65,5 mil), o que sugere uma economia forte e estável, advinda principalmente do turismo e da indústria local. Barra de São Miguel também possui PIB per capita elevado, porém o esgotamento sanitário nesses municípios ainda é muito defasado e recebe pouco investimento, o que sugere um baixo retorno social do desenvolvimento econômico.

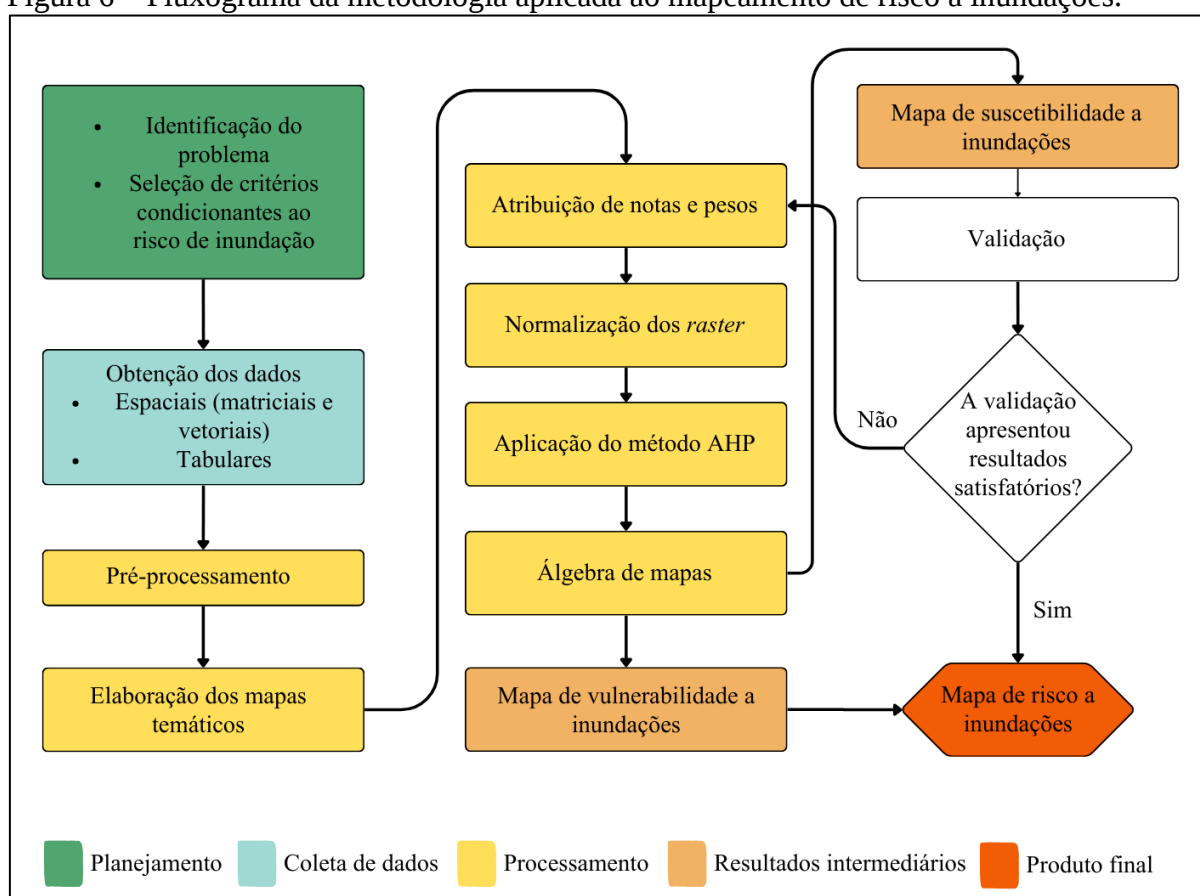
Os municípios que concentram melhor saneamento são Murici (86%), Satuba (78%) e Coqueiro Seco (61%), ainda que possuam salário médio e PIB per capita baixo, o que indica uma maior priorização de infraestrutura pública.

Municípios que combinam saneamento deficiente ou quase inexistente, alta densidade populacional e baixa renda, como é o caso da Barra de Santo Antônio, Paripueira, Rio Largo e Santa Luzia do Norte, denotam maior vulnerabilidade e consequente risco socioambiental.

3.2 Procedimentos metodológicos

A Figura 6 exibe o fluxograma com as etapas realizadas na metodologia deste trabalho.

Figura 6 – Fluxograma da metodologia aplicada ao mapeamento de risco a inundações.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

3.2.1 Metodologia para o Mapeamento da Suscetibilidade

Nesta subseção, são apresentados os procedimentos utilizados para o mapeamento da suscetibilidade a inundações.

3.2.1.1 Seleção e Coleta dos Dados

Para a definição dos critérios condicionantes de inundações, foi realizada uma pesquisa bibliográfica (ver Tabela 1). Os critérios selecionados para aplicação da metodologia de análise de suscetibilidade são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Critérios condicionantes utilizados na análise de suscetibilidade a inundações.

Uso e cobertura do solo
Declividade
Elevação
Pluviosidade
Pedologia
Distância da rede de drenagem
Acumulação de fluxo
Curvatura das vertentes

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Importante ressaltar que a pluviosidade utilizada foi do tipo “chuva média mensal do período chuvoso”, como utilizado por Conceição (2024) e outros autores.

A Tabela 5 apresenta os dados empregados para obtenção dos critérios condicionantes utilizados no mapeamento da suscetibilidade a inundações, incluindo suas respectivas fontes, resoluções espaciais e formatos.

Tabela 5 – Dados utilizados no mapeamento da suscetibilidade a inundações, com respectivas fontes e resoluções.

Dados	Referência	Provedor	Escala/ resolução	Fonte
Matriciais				
Modelo digital de elevação (MDE)	Fernandes e Palhares (2024)	FABDEM	30 m	Hawker et al. (2021)
Modelo numérico (MNT) de uso e cobertura do solo	Mantovani & Bacani (2018)	MapBiomas	30 m	MapBiomas (2023)
Vetoriais				
Malha de municípios brasileiros	-	IBGE	-	IBGE (2024)
Estações pluviométricas	Abishek & Ravindran (2023)	ANA	-	UFRGS (s.d.)
Rios do Brasil	Abishek & Ravindran (2023)	ANA	1/1.000.000	ANA (2013)
Pedologia do Brasil	Fernandes & Palhares (2024)	IBGE	1/250.000	IBGE (2023a)

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Na coluna de referência, são mostrados os autores que utilizaram o dado para mapear a suscetibilidade a inundação. Os parâmetros de declividade, curvatura das vertentes e acumulação de fluxo foram derivados do MDE FABDEM. Esses parâmetros foram usados por, respectivamente: Abishek & Ravindran (2023); Edamo, Bushira & Ukomo (2022) e Adlyansah *et al.* (2019).

As estações pluviométricas da ANA (Agência Nacional de Águas) foram utilizadas para espacializar a pluviosidade na área de estudo, e os pontos de localização foram obtidos por meio da extensão *ANA Data Acquisition*, através do QGIS. Os dados pluviométricos das estações da ANA foram obtidos na plataforma HidroWeb (ANA, 2025).

3.2.1.2 Pré-processamento dos Dados

Após a etapa de obtenção dos dados, estes foram processados e manipulados no programa QGIS versão 3.40-7. O QGIS é um *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG) de código aberto que permite visualizar, criar, editar, analisar e mapear dados espaciais. O programa trabalha com informações geográficas digitais, integrando dados, *hardware* e *software* para representar e interpretar o espaço geográfico (QGIS Project, 2025a).

Todos os dados matriciais e vetoriais tiveram seus sistemas de coordenadas padronizados. Os dados a seguir precisaram ser pré-processados antes de sua efetiva utilização:

- *Modelo Digital de Elevação*

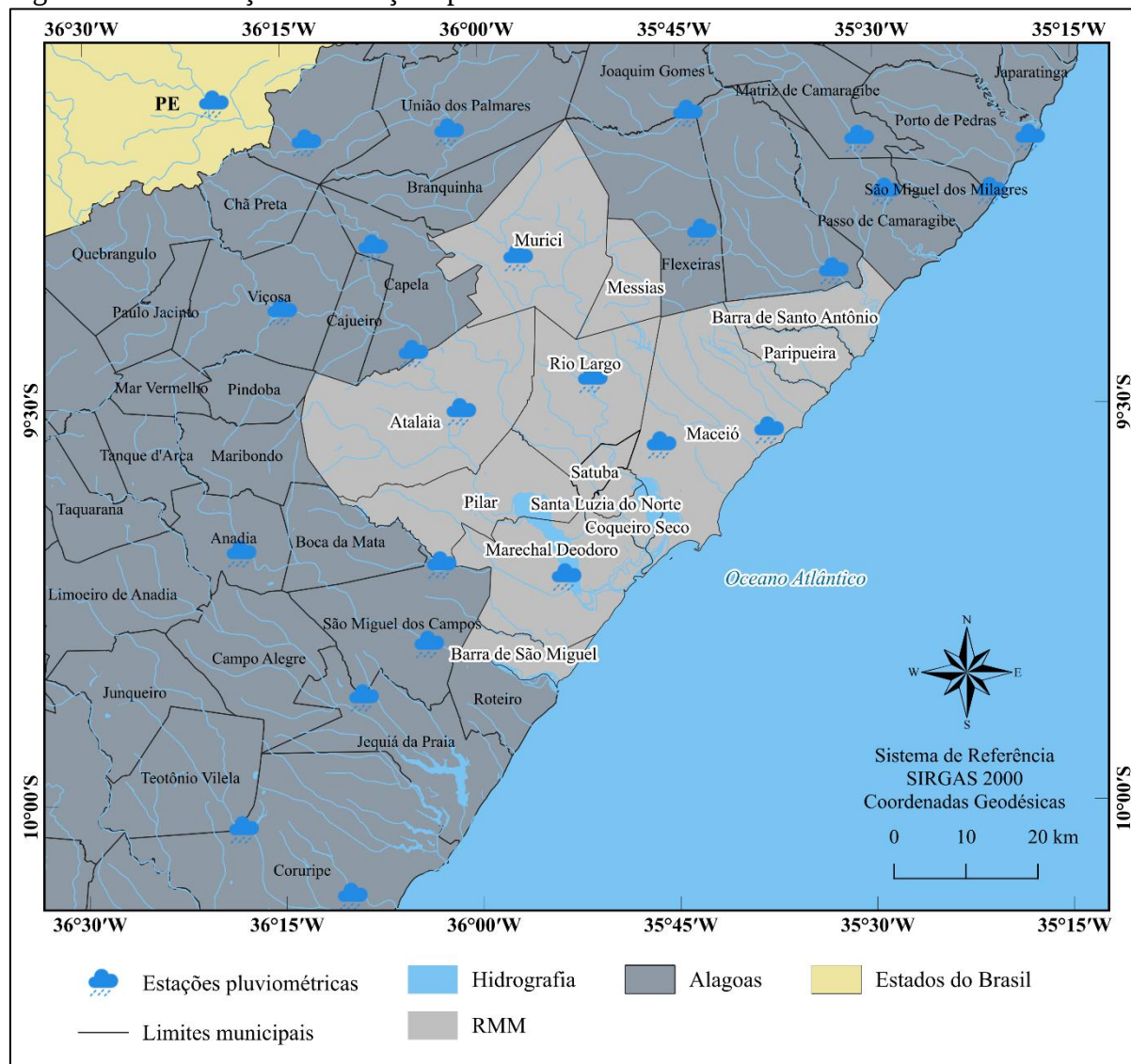
O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi pré-processado para o preenchimento de depressões artificiais (*fill sinks*, método Wang & Liu, 2006). Após o preenchimento, aplicou-se um filtro gaussiano ao MDE com o objetivo de suavizar pequenas irregularidades e reduzir o ruído topográfico, preservando as tendências gerais do relevo.

- *Dados pluviométricos*

De posse dos relatórios de disponibilidade dos dados das estações pluviométricas fornecidos pela extensão do “*Ana Data Acquisition*”, foram filtradas somente as estações que continham séries históricas com mais de 20 anos de dados registrados, para garantir representatividade e englobar padrões sazonais e recorrência de eventos extremos. Procedeu-se à eliminação das estações pluviométricas que apresentavam proximidade excessiva entre si, especialmente nos casos em que foi constatada a desativação e a consequente substituição de uma estação por outra. Das 114 estações inicialmente identificadas, 25 atenderam aos critérios

previamente estabelecidos e foram selecionadas para a análise. O período médio de dados considerados foi de 32 anos. As estações selecionadas estão apresentadas na Figura 7.

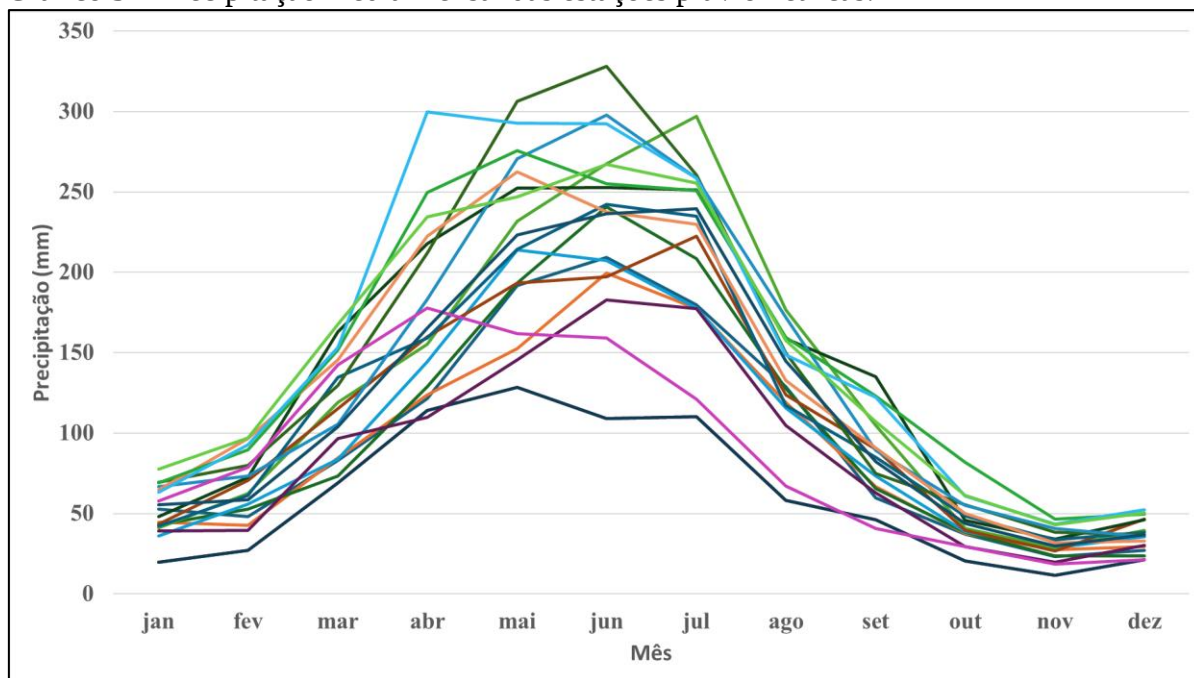
Figura 7 – Localização das estações pluviométricas da ANA utilizadas.



Fonte: elaborado pela autora (2025)

Após a seleção das estações pluviométricas, os dados de chuvas para o período de análise foram coletados no portal HidroWeb, que integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Os dados provenientes do HidroWeb foram processados no *software* Super Manejo de Dados (versão 2.1). Esta etapa permitiu determinar a precipitação média mensal por estação, como apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Precipitação média mensal das estações pluviométricas.

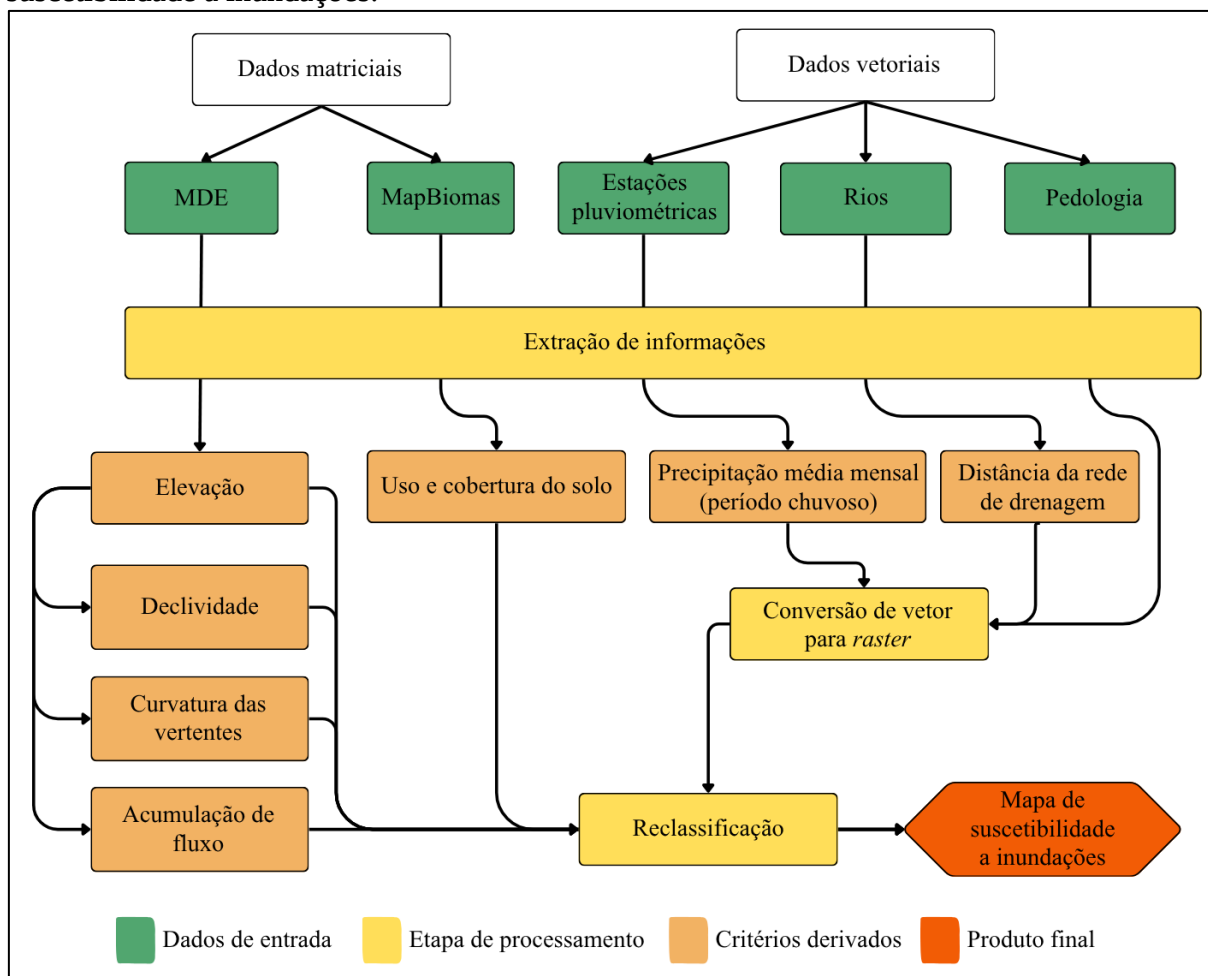


Fonte: elaborado pela autora (2025).

3.2.1.3 Extração dos critérios

Foram realizados procedimentos de extração das variáveis morfométricas e pluviométricas, que foram processadas para representar os principais fatores condicionantes à suscetibilidade a inundações. A Figura 8 apresenta o fluxograma das etapas de obtenção dos critérios condicionantes.

Figura 8 – Fluxograma das etapas de obtenção dos critérios condicionantes à suscetibilidade a inundações.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

A seguir serão detalhadas as etapas de extração e reclassificação dos critérios.

- *Declividade e curvatura das vertentes*

Foram extraídas do *raster* pré-processado de elevação, utilizando as ferramentas *Slope* e *Aspect*, respectivamente, do provedor GDAL no QGIS.

- *Acumulação de fluxo*

Foi obtida utilizando como entrada o *raster* de declividade em radianos na ferramenta *Flow accumulation – Top Down* do provedor SAGA no QGIS, utilizando o método D8. Este método detecta a direção do fluxo a partir das células mais altas para as mais baixas, formando assim a rede de drenagem (Sabino *et al.*, 2020).

- *Pluviosidade média mensal do período chuvoso*

O MNT da pluviosidade média mensal foi gerado utilizando o interpolador IDW, método que obteve melhor resultado para determinação de precipitação média segundo Rocha *et al.* (2019). Para isso, utilizou-se somente as médias mensais correspondentes ao período chuvoso (abril a agosto) das estações pluviométricas, compreendendo os anos de 1963 a 2025.

- *Proximidade da rede de drenagem*

Para determinar a proximidade da rede de drenagem, foram utilizadas as feições lineares correspondentes aos cursos d'água. Aplicou-se a ferramenta de *buffer* do QGIS para gerar faixas de distância que representam diferentes zonas de influência em torno da drenagem, conforme os intervalos de proximidade a serem apresentados na Tabela 8.

- *MNT de uso e cobertura do solo*

O Mapa de Uso e Cobertura do Solo utilizado foi obtido a partir dos dados do projeto MapBiomias. Contudo, antes da atribuição das notas de suscetibilidade associadas a cada classe de uso (Tabela 8), foi necessário realizar um processo de reclassificação dos códigos originais do MapBiomias, de modo a adequar as categorias às classes temáticas utilizadas na análise. A Tabela 6 apresenta os códigos originais do MapBiomias e suas respectivas descrições, enquanto a Tabela 7 mostra como esses códigos foram reclassificados para as categorias utilizadas no presente estudo.

Tabela 6 - Classes de uso e cobertura do solo do MapBiomias e respectivos códigos (ID), conforme legenda da Coleção 9.

1. Floresta	
1.1 Formação Florestal	3
1.2. Formação Savânica	4
1.3. Mangue	5
1.5. Restinga Arbórea	49
2. Vegetação Herbácea e Arbustiva	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	11
3. Agropecuária	
3.1. Pastagem	15
3.2.1. Lavoura Temporária	
3.2.1.2. Cana	20
3.2.1.5. Outras Lavouras Temporárias	41
3.3. Silvicultura	9
3.4. Mosaico de Usos	21

4. Área não Vegetada	
4.1. Praia, Duna e Areal	23
4.2. Área Urbanizada	24
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	25
5. Corpo D'água	
5.1 Rio, Lago e Oceano	33

Fonte: adaptado de MapBiomias (2024).

Tabela 7 – Reclassificação dos códigos de uso e cobertura do solo segundo os critérios adotados.

Classe da atribuição de notas	ID do MapBiomias considerado na classe
Floresta	3, 9
Formação natural não florestal	4, 5, 11, 49
Pastagem	15, 21
Infraestrutura urbana	24
Corpos d'água	33
Solo exposto	23, 25
Cana	20
Outras culturas	41

Fonte: elaboração da autora (2025).

3.2.1.4 Reclassificação dos critérios

Os critérios foram reclassificados em grupos representando diferentes níveis de suscetibilidade à inundação, variando de muito baixo a muito alto. As áreas de muito alta suscetibilidade receberam valor 10, enquanto as de muito baixa suscetibilidade receberam valor 1. A atribuição dos valores foi definida com base em referências da literatura especializada ou a partir de ajustes realizados conforme as características específicas da área de estudo, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Reclassificação dos critérios em níveis de suscetibilidade à inundação.

Parâmetros de suscetibilidade a processos de inundação	Nota	Referência
Uso do solo		
Corpos d'água	10	Portela <i>et al.</i> (2023)
Outras culturas	10	Conceição (2024)
Infraestrutura urbana	8	Portela <i>et al.</i> (2023)
Pastagem	6	
Cana	6	Conceição (2024)
Solo exposto	5	Fernandes e Palhares (2024)
Formação natural não florestal	4	Portela <i>et al.</i> (2023)
Floresta	2	

Parâmetros de suscetibilidade a processos de inundação	Nota	Referência
Pedologia		
Gleissolos	10	Mantovani (2024)
Corpos d’água	10	Portela <i>et al.</i> (2023)
Infraestrutura urbana	8	
Argissolos	6	Mantovani (2024)
Neossolos flúvicos	5	Portela <i>et al.</i> (2023)
Neossolos quartzarênicos	4	Mantovani (2024)
Latossolos	2	
Curvatura das vertentes		
Côncavo-convergente	9	Neto (2013)
Retilíneo-convergente	8	
Convexo-convergente	7	
Côncavo-planar	6	
Retilíneo-planar	5	
Convexo-planar	4	
Côncavo-divergente	3	
Retilíneo-divergente	2	
Convexo-divergente	1	
Declividade		
0 - 3%	9	Fernandes & Palhares (2024)
3 - 8%	8	
8 - 20%	7	
20 - 45%	5	
45 - 75%	2	
≥ 75%	1	
Pluviosidade média mensal		
≥ 240 mm/mês	10	Análise de acordo com a área de estudo
210-240 mm/mês	8	
180-210 mm/mês	6	
150-180 mm/mês	4	
≤ 150 mm/mês	2	

Parâmetros de suscetibilidade a processos de inundação	Nota	Referência
Elevação		
≤ 50 m	10	Análise de acordo com a área de estudo
50-100 m	8	
100-150 m	6	
150-200 m	4	
≥ 200 m	2	
Acumulação de fluxo (m²)		
≥ 4300000	10	Edamo, Bushira e Ukomo (2022)
2800000-4300000	8	
850000-2800000	6	
200000-850000	4	
≤ 200000	2	
Proximidade da rede de drenagem		
≤ 500 m	10	Análise de acordo com a área de estudo
500-1000 m	8	
1000-1500 m	6	
1500-2000 m	4	
≥ 2000 m	2	
Fonte: elaborado pela autora (2025).		

CrITÉRIOS contÍnuos e categÓricos foram reclassificados em intervalos definidos estatisticamente (quantis ou limites geométricos) ou pela literatura. A “análise de acordo com a área de estudo”, mencionada na Tabela 8, consistiu no cruzamento dos critérios reclassificados com os dados de validação, a fim de verificar a correspondência entre as áreas de maior suscetibilidade e os registros observados de inundação (detalhados na seção 3.2.1.8). Esse procedimento possibilitou refinar a classificação dos critérios em função das condições empíricas verificadas na área de estudo, especialmente nos casos em que não havia parâmetros consolidados na literatura.

3.2.1.5 Aplicação do método AHP

Nesta pesquisa, os pesos dos critérios na hierarquia do AHP foram determinados com base em dados históricos por meio do modelo FR, caracterizando uma abordagem de AHP baseado em evidências, em que os julgamentos subjetivos são substituídos por quantitativos

históricos. O método foi detalhado na revisão bibliográfica, no item 2.4.1.2. O mapa de amostras de treinamento (cuja obtenção é detalhada no item 3.2.1.8), variando entre 0 (ausência de inundações) e 1 (ocorrência de inundações), foi utilizado para que o modelo contabilizasse o número de ocorrências de inundação em cada classe de cada fator, assim como a área total de cada classe em toda a área de estudo.

Na Tabela 9 são mostrados os valores de FR para cada critério, ou seja, o quanto aquele critério foi determinante na ocorrência de inundações. A análise foi feita considerando classes de suscetibilidade igual ou superior a 8.

Tabela 9 – Valores da Razão de Frequência (FR) dos critérios de suscetibilidade a inundações.

Critério	Valor de FR
Altitude	0,659
Declividade	0,558
Curvatura	0,139
Distancia drenagem	0,470
Pedologia	0,299
Uso do solo	0,837
Pluviosidade	0,207
Acumulação de fluxo	1,479

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Para preencher o triângulo inferior da matriz de comparações pareadas (Tabela 10), foi realizada a multiplicação dos valores de FR entre os critérios comparados, com posterior arredondamento para o inteiro mais próximo. Já o triângulo superior da matriz foi obtido pela relação inversa desses valores, conforme apresentado na Tabela 2. O FR do par acúmulo de fluxo e curvatura, cujo valor excedeu 10, foi limitado ao valor máximo da escala de importância de Saaty (1980), que é igual a 9.

Tabela 10: Matriz de comparação pareada entre os critérios utilizados.

Critério	DEC	CURV	PREC	USO	PED	ELEV	DD	AC
DEC	1	1	1	1/2	1	1/2	1	1/3
CURV	1	1	1/2	1/7	1/3	1/5	1/4	1/9
PLUV	1	2	1	1/5	1/2	1/4	1/3	1/8
USO	2	7	5	1	1	1	1	1/2
PED	1	3	2	1	1	1/3	1/2	1/5
ELEV	2	5	4	1	3	1	1	1/3

Critério	DEC	CURV	PREC	USO	PED	ELEV	DD	AC
DD	1	4	3	1	2	1	1	1/4
AC	3	9	8	2	5	3	4	1

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Onde:

DEC: Declividade

CURV: Curvatura das vertentes

PREC: Precipitação média mensal no período chuvoso

USO: Uso e cobertura do solo

PED: Pedologia

ELEV: Elevação

DD: Distância da rede de drenagem

AC: Acumulação de fluxo

No julgamento dos fatores, o acúmulo de fluxo, a precipitação e o uso e cobertura do solo foram os que obtiveram maior grau de importância sobre as outras variáveis. Já as variáveis pedologia, distância da rede de drenagem, declividade e altitude tiveram importância moderada a forte.

3.2.1.5.1 Cálculo da matriz de comparação dos vetores de prioridade

Com base nos valores de importância relativa atribuídos aos fatores, foram determinados os pesos estatísticos de cada variável, representados pelo autovetor [W]. Segundo Saaty (1990), o cálculo do autovetor pode ser realizado elevando-se a matriz a potências sucessivas e, em seguida, normalizando os valores obtidos, isto é, dividindo a soma de cada linha pela soma total dos elementos da matriz.

A coerência e consistência dos julgamentos é verificada por meio do cálculo do autovalor, procedimento conhecido como análise de consistência ou análise de sensibilidade, que tem por objetivo avaliar se as comparações realizadas mantêm uma relação lógica e equilibrada entre os critérios. Para isso, é calculada primeiramente a razão de consistência (RC), conforme a Equação 9.

$$RC = \frac{CI}{IR} \quad (9)$$

Onde:

RC é a razão de consistência;

IC é o índice de consistência;

IR é o índice aleatório.

O valor de RC é tabelado e depende do número de critérios (n). Neste trabalho foram utilizados oito critérios ($n = 8$), portanto $IR = 1,41$, conforme Tabela 11.

Tabela 11: Índice Aleatório (IR) utilizado para o cálculo da razão de consistência (RC).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: elaborada pela autora (2025).

O IC de uma matriz de comparações pareadas indica quanto o autovalor está afastado do valor teórico esperado n . Os valores de IC são calculados através da Equação 10.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (10)$$

Onde:

λ_{max} é o autovalor máximo;

n é o número de parâmetros.

A etapa seguinte consistiu em calcular os autovetores, produtos vetoriais [D], autovalores λ e λ_{max} , índice de consistência (IC) e finalmente da razão de consistência (RC), como podem ser vistos na Tabela 12.

Tabela 12: Matriz de normalização

Critério (i)	Soma das linhas	Autovetor [W]	n	[D] = [i]*[W]	$\lambda = [D]/[W]$	λ_{max}	IC	RC
DEC	6,33	0,06	8	0,62	10,60	8,46	0,07	0,05
CURV	3,54	0,03		0,27	8,17			
PLUV	5,41	0,05		0,37	7,43			
USO	18,50	0,17		1,29	7,57			
PED	9,03	0,08		0,69	8,27			
ELEV	17,33	0,16		1,29	8,07			
DD	13,25	0,12		1,04	8,50			
AC	35,00	0,32		2,92	9,04			
Σ	108,40	1,00		-	-			

Fonte: elaborada pela autora (2025).

A matriz de comparações pareadas [i] é formada pelos valores de importância relativa entre os critérios, mostrada na Tabela 10. O valor obtido para o autovalor máximo ($\lambda_{max} = 8,46$) foi próximo ao número de critérios ($n = 8$), indicando coerência entre os julgamentos conforme o que dizem Faria & Augusto Filho (2013). A razão de consistência resultante ($RC = 0,05$) está abaixo do limite de 0,10 proposto por Saaty (1980), sendo, portanto, considerada aceitável.

3.2.1.6 Normalização dos critérios e álgebra de mapas

Os critérios em raster reclassificados foram normalizados para converter todos para uma escala de 0 a 1, utilizando a Equação 02. Os pesos normalizados (W) de cada critério (autovetores da Tabela 12) foram aplicados às camadas normalizadas, possibilitando a álgebra de mapas ponderada para gerar o mapa de suscetibilidade a inundações, conforme a Equação 11. Essas etapas foram desenvolvidas na calculadora *raster* do QGIS.

$$Suscetibilidade = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i \quad (11)$$

Onde:

W_i é o peso (autovetor) do critério i;

X_i é a camada *raster* normalizada correspondente ao critério i.

A Tabela 13 mostra os critérios e seus respectivos pesos aplicados na álgebra de mapas.

Tabela 13: Critérios e pesos do modelo de suscetibilidade.

Critério	Peso
Altitude	0,058
Declividade	0,033
Curvatura	0,050
Distancia drenagem	0,171
Pedologia	0,083
Uso do solo	0,160
Pluviosidade	0,122
Acumulação de fluxo	0,323
Soma	1,000

Fonte: elaborada pela autora (2025).

3.2.1.7 Análise estatística e reclassificação do mapa final

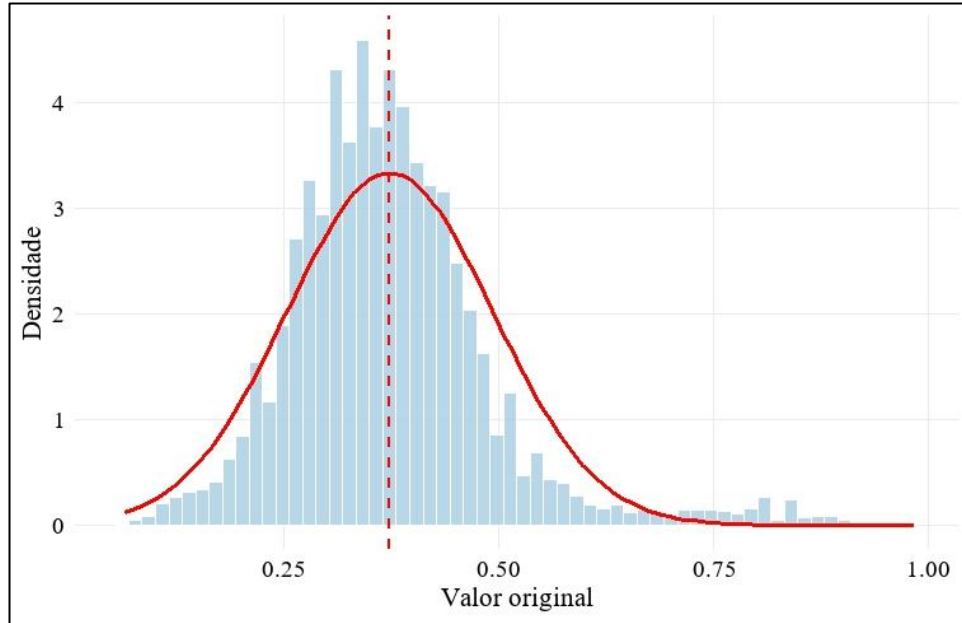
O mapa de suscetibilidade à inundação teve a distribuição dos dados analisada estatisticamente, com base em Abrão *et al.* (2021), A Tabela 14 mostra o resultado da análise estatística descritiva dos valores do mapa, enquanto o Gráfico 4 mostra o histograma de distribuição dos valores.

Tabela 14: Estatísticas descritivas dos valores do mapa de suscetibilidade a inundações.

Variável	Valor
Número total de dados	3080608
Mínimo	0,066
Máximo	0,984
Amplitude	0,918
Média	0,374
Mediana	0,362
Moda	0,366
Variância	0,016
Desvio padrão	0,120
Assimetria	1,233

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Gráfico 04: Histograma de distribuição dos valores do mapa de suscetibilidade a inundações com curva normal teórica (sino) para análise de simetria.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

A interpretação dos resultados mostra que o mapa de suscetibilidade à inundação apresenta uma forma gaussiana, distribuição levemente assimétrica à direita (assimetria = 1,33), com a maior concentração de valores próximos à média ($\mu = 0,41$) e uma cauda longa em direção aos valores mais altos (até 0,98). Isso indica que a maioria das áreas apresenta suscetibilidade baixa a moderada, enquanto poucas áreas possuem valores extremos mais elevados.

Devido à assimetria verificada, adotou-se um procedimento estatístico para reclassificação do mapa em quatro classes de suscetibilidade, baseado no trabalho de Li & Shan (2022) e demonstrado na Equação 12.

$$\min \sum_{c=0}^{K-1} [\text{count}(b_c \leq S_i < b_{c+1})]^2$$

$$\text{Sujeito a } b_0 + mq^0 + mq^{-1} + \dots + mq^{-I} + \dots = b_K \quad (12)$$

Onde:

b_c = limites por índice (c) de cada classe, onde c varia de 0 a K ;

S = conjunto ordenado ascendente de n amostras de dados;

K = número de classes;

q = coeficiente geométrico (razão entre intervalos sucessivos);

m = comprimento do primeiro intervalo de classes;

I = posição em que o coeficiente é invertido (para lidar com distribuições assimétricas).

O algoritmo ajusta iterativamente q e os limites b_c até que o número de amostras em cada classe seja aproximadamente equilibrado. Como resultado, foram calculados os limites b_c , adotados para reclassificação do mapa de suscetibilidade a inundações. As classes e limites podem ser vistos na Tabela 15. Toda a análise foi realizada por meio do software RStudio, versão 2025.05.0, utilizando linguagem R versão 4.5.

Tabela 15: Limites geométricos e intervalos das classes de suscetibilidade a inundações.

Classe de suscetibilidade	Intervalo (b_c)
Baixa	0 - 0,1746929
Média	0,1746929 - 0,3921754
Alta	0,3921754 - 0,6629284
Muito alta	0,6629284 - 1

Fonte: elaborado pela autora (2025).

3.2.1.8 Validação

Não foram obtidas imagens de satélite Sentinel-1 e Sentinel-2 correspondentes às datas das maiores enchentes no estado. Dessa forma, utilizou-se dados de campo e altimetria, e levantamentos do SGB – Serviço Geológico Brasileiro, antiga CPRM. As amostras foram divididas em conjuntos de treinamento e validação.

- *Amostras de treinamento*

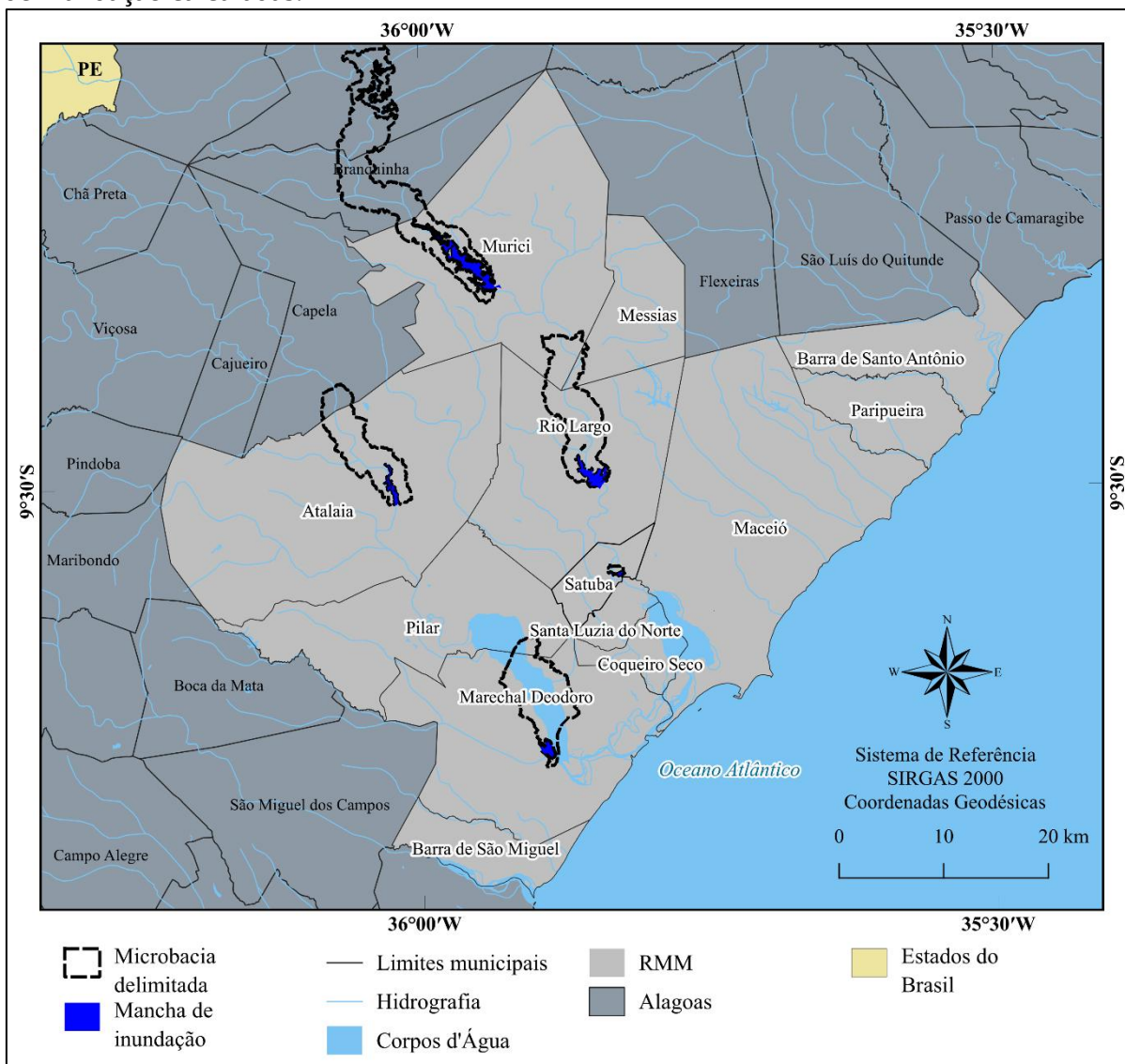
Relatórios de marcas de cheia fornecidos pela SEMARH (2025), bem como um MDT com resolução de 50 cm oriundo de levantamento com LiDAR (SEMARH, 2025) foram utilizados para inserir os pontos correspondentes às cotas de cheia, permitindo a obtenção das altitudes correspondentes no MDT. As amostras de treinamento foram utilizadas para alimentar o modelo FR e construir a matriz de comparação pareada no método AHP.

Foram delimitadas microbacias considerando exutórios coincidentes com os pontos de cheia, sendo escolhidos os pontos mais a jusante para cada conjunto. O MDT foi processado no QGIS com o preenchimento de depressões e suavizado utilizando filtro gaussiano com *kernel* 2 e desvio padrão 0,5. A extração vetorial das bacias foi obtida utilizando os exutórios

definidos pelos pontos de cota mais a jusante de cada município, resultando na delimitação das bacias de contribuição para cada município.

Por fim, a mancha de inundação para treinamento foi calculada dentro dessas bacias, considerando as áreas em que o MDT apresentava altitude inferior ou igual à cota de inundação (Figura 9).

Figura 9 – Microbacias de contribuição para cada ponto de cota de cheia e respectivas manchas de inundação calculadas.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

- *Amostras de validação*

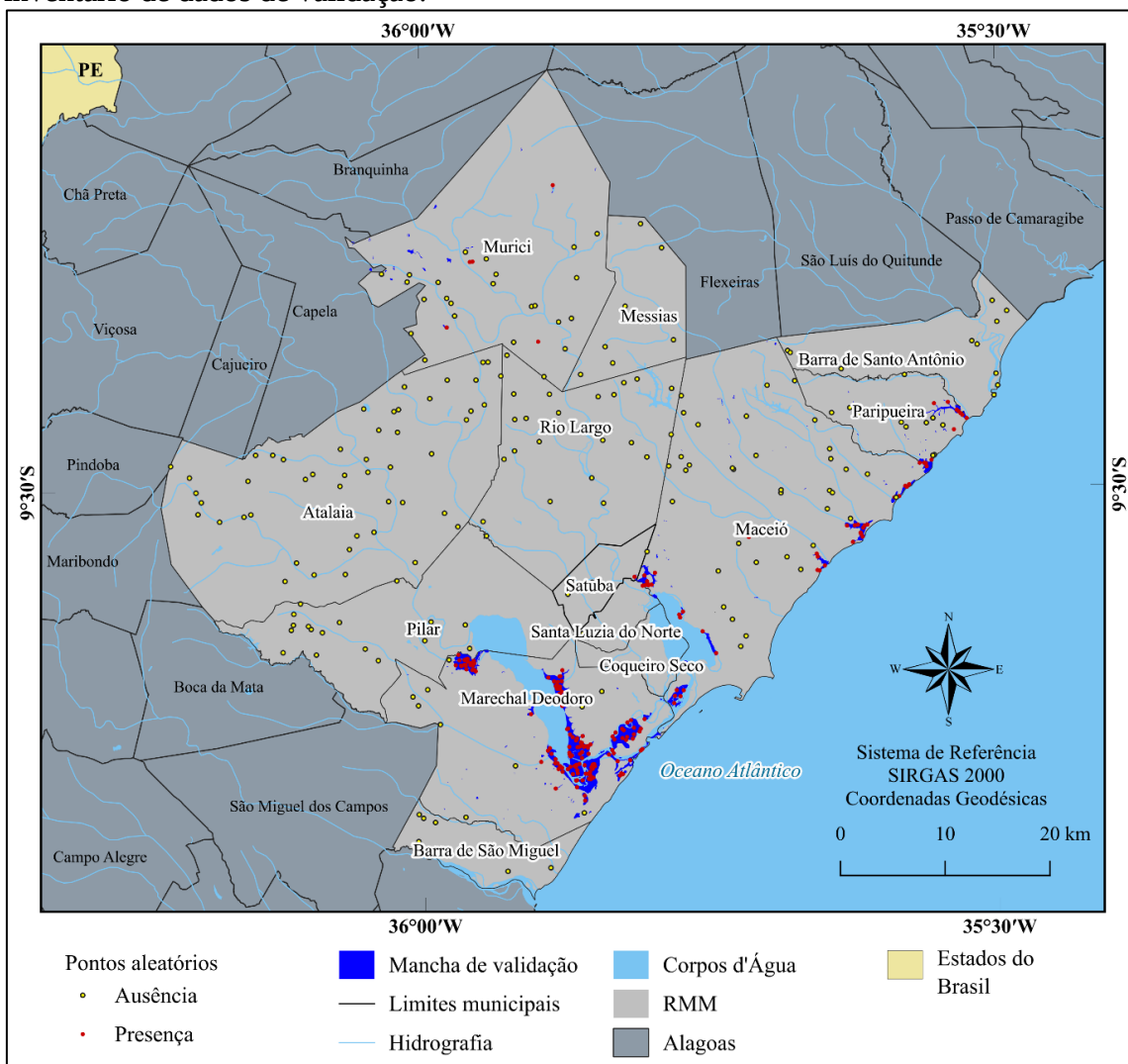
As amostras de validação foram utilizadas para verificar a confiabilidade dos resultados obtidos no mapa de suscetibilidade a inundações. O conjunto de validação foi composto por informações de histórico de alagamentos obtidas nos relatórios da CPRM

(2014a, 2014b, 2014c, 2014d), referentes aos municípios de Paripueira, Maceió, Marechal Deodoro e Murici.

De acordo com a metodologia proposta por Wang *et al.* (2019), a validação do modelo de suscetibilidade foi realizada por meio da taxa de predição, a qual mede a capacidade do modelo em reproduzir as ocorrências observadas. Para tanto, foram comparadas as células do mapa de suscetibilidade com os pontos do conjunto de validação.

O conjunto de presença foi composto por 200 pontos aleatórios gerados no QGIS dentro do polígono de validação, correspondentes às áreas inundadas (valor 1). O conjunto de ausência foi formado por 200 pontos aleatórios localizados fora desse polígono, atribuídos com valor 0. Para garantir a representatividade, os pontos de ausência foram restritos a áreas planas e próximas à rede de drenagem, onde a ocorrência de inundação seria possível, mas não foi registrado (Figura 10).

Figura 10 – Áreas com histórico de alagamento levantadas pela CPRM e que fizeram parte do inventário de dados de validação.



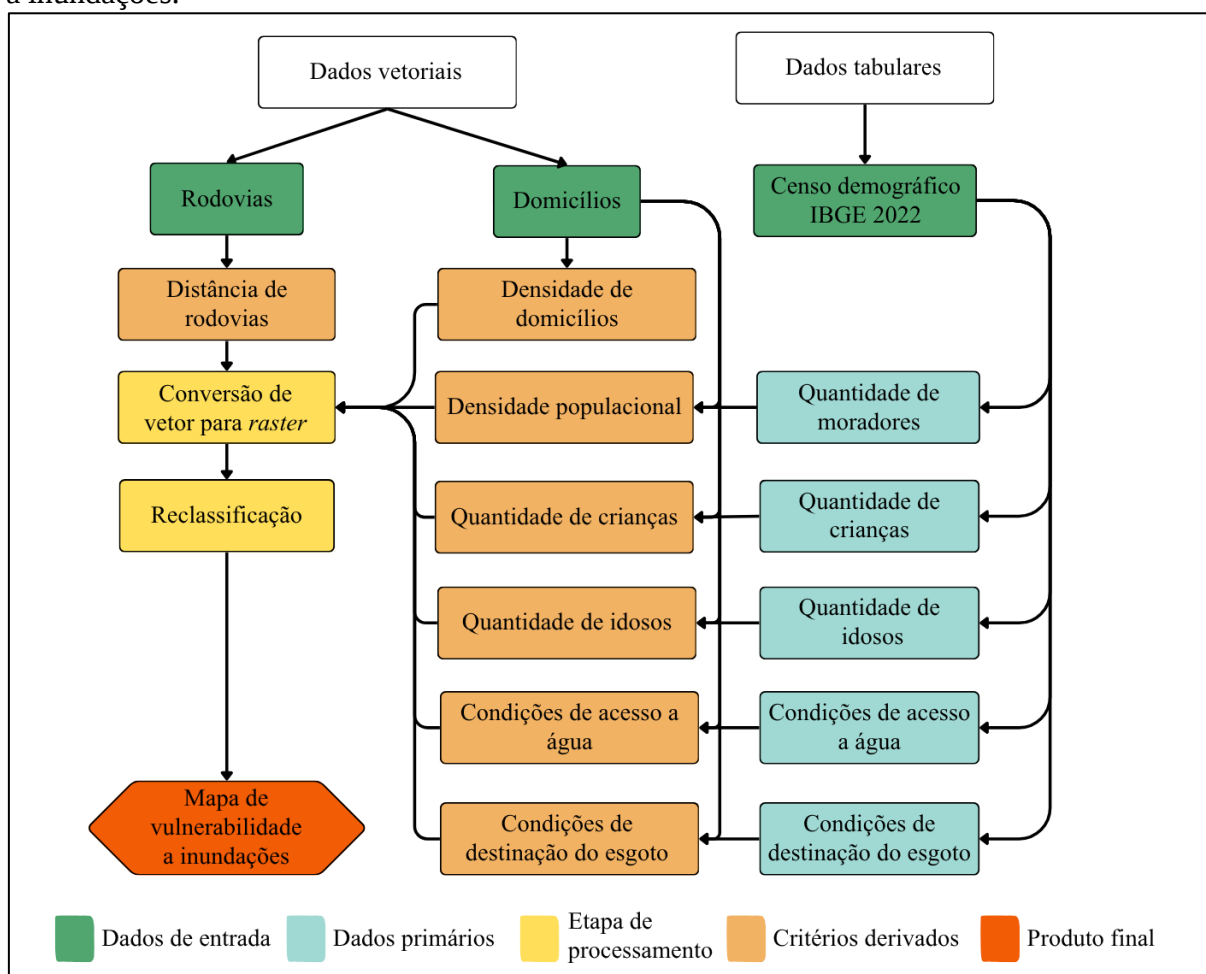
Fonte: elaborado pela autora (2025); CPRM (2014).

Os valores do mapa de suscetibilidade foram extraídos conforme a localização de cada ponto. Em seguida, foi calculada a Área sob a Curva ROC (AUC), que expressa o desempenho preditivo do modelo. A análise estatística foi conduzida no software R (versão 4.4), com o uso do pacote pROC.

3.2.2 Mapeamento da Vulnerabilidade

Para este trabalho, utilizou-se os critérios: densidade de domicílios, densidade populacional, distância de rodovias, quantidade de crianças menores que 5 anos, quantidade de idosos acima de 60 anos de idade, condições de acesso a água e esgoto. A Figura 11 apresenta o fluxograma das etapas de obtenção do mapa de vulnerabilidade a inundações.

Figura 11: Fluxograma das etapas de obtenção dos critérios condicionantes à suscetibilidade a inundações.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

A Tabela 16 sintetiza as informações referentes aos dados empregados no mapeamento da vulnerabilidade a inundações, incluindo a origem, resolução e formato de cada camada temática.

Tabela 16 – Dados utilizados no mapeamento da suscetibilidade a inundações, com respectivas fontes e resoluções.

Dados	Referência	Provedor	Escala/ resolução	Fonte
Vetoriais				
Malha de municípios brasileiros	-	IBGE	-	IBGE (2024)
Domicílios	Falcão (2013)	IBGE	-	IBGE [s.d.]
Tabulares				
Dados censitários nacionais de 2022	Vilasan & Kapse (2021); Cutter <i>et al.</i> (2003); Diener <i>et al.</i> (2025); Das <i>et al.</i> (2023)	IBGE	-	IBGE (2025)

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Dos dados censitários do IBGE, foram obtidas as variáveis relativas aos critérios analisados, conforme Tabela 17.

Tabela 17 – Variáveis censitárias do IBGE utilizadas na composição dos indicadores de vulnerabilidade a inundações.

Código da tabela no IBGE	Variável
V00111	Utiliza rede geral de distribuição
V00112	Utiliza poço profundo ou artesiano
V00113	Utiliza poço raso, freático ou cacimba
V00114	Utiliza fonte, nascente ou mina
V00115	Utiliza carro-pipa
V00116	Utiliza água da chuva armazenada
V00117	Utiliza rios, açudes, córregos, lagos e igarapés
V00118	Utiliza outra forma de abastecimento de água
V00309	Destinação do esgoto é rede geral ou pluvial
V00310	Destinação do esgoto é fossa séptica ou fossa filtro ligada à rede
V00311	Destinação do esgoto é fossa séptica ou fossa filtro não ligada à rede
V00312	Destinação do esgoto é fossa rudimentar ou buraco
V00313	Destinação do esgoto é vala
V00314	Destinação do esgoto é rio, lago, córrego ou mar

V00315	Destinação do esgoto é outra forma
V00316	Destinação do esgoto é inexistente, pois não tinham sanitário
V01006	Quantidade de moradores
V01040	Idade: 60 a 69 anos
V01041	Idade: 70 anos ou mais
V01031	Idade: 0 a 4 anos

Fonte: elaborado pela autora (2025).

3.2.2.1 Processamento e obtenção dos critérios

A densidade de domicílios foi obtida a partir dos pontos com as coordenadas das residências, posteriormente densificados em *raster* pela ferramenta “*Heatmap – Kernel Density Estimation*”, que cria um *raster* de densidade com base na concentração de pontos (QGIS Project, 2025b). O raio de busca adotado foi de 30 metros, compatível com a resolução espacial dos dados matriciais.

A distância em relação às rodovias foi calculada a partir da malha rodoviária de Alagoas, aplicando-se buffers correspondentes às faixas de proximidade previamente definidas.

Para estimar a quantidade de crianças e idosos por domicílio, utilizou-se o total desses grupos por setor censitário e a contagem de domicílios dentro de cada setor, distribuindo os valores de forma proporcional. Para representar a variabilidade entre domicílios, aplicou-se um fator aleatório, posteriormente normalizado para que a soma final por setor permanecesse igual aos totais originais. O resultado final foi obtido multiplicando o total do setor pelo peso normalizado e aplicando arredondamento estocástico, assegurando valores inteiros sem alterar o total por setor.

Para distribuir os domicílios segundo as condições de esgoto e água, utilizou-se o total de domicílios por setor censitário que atendiam a cada condição, garantindo que o número atribuído aos pontos correspondesse exatamente ao registrado. A camada de domicílios foi associada aos setores censitários e, em seguida, aplicou-se um processo em três etapas no QGIS: geração de um peso aleatório por domicílio; normalização desses pesos dentro de cada setor para manter o total correto, e atribuição final de condição de água e esgoto a cada ponto.

3.2.2.2 Reclassificação dos critérios

Como não foram identificadas referências bibliográficas que estabelecessem critérios quantitativos ou valores numéricos específicos para a definição das notas atribuídas às variáveis, a classificação adotada foi estruturada a partir da interpretação sistemática da literatura. Dessa forma, quando os estudos indicavam que determinadas condições intensificam a vulnerabilidade, as categorias correspondentes foram associadas a maiores níveis de suscetibilidade. Em contrapartida, condições consideradas favoráveis ou menos propensas à ocorrência de inundação receberam menores pontuações. A Tabela 18 apresenta os critérios de vulnerabilidade utilizados no modelo, bem como as regras de atribuição de notas aplicadas a cada variável.

Tabela 18 – Critérios de vulnerabilidade e regras de atribuição de notas.

Critério	Direcionamento da nota
Crianças menores que 5 anos e idosos acima de 60 anos	Atribuiu-se uma nota maior a domicílios com mais crianças e/ou idosos, da mesma maneira que menores notas foram atribuídas a domicílios com menos crianças e/ou idosos.
Densidade populacional	Foram atribuídas notas mais altas aos domicílios com maior número de moradores. De forma inversa, domicílios com menos ocupantes receberam notas menores.
Densidade de domicílios	A pontuação aumentou proporcionalmente ao crescimento da densidade de domicílios por pixel (900 m ²) e diminuiu à medida que essa densidade se reduziu.
Distância de rodovias	Foram atribuídas notas mais elevadas às áreas mais distantes das rodovias. a relação inversa também foi aplicada.
Esgoto e abastecimento de água	Domicílios com melhores condições de abastecimento de água e esgotamento sanitário receberam notas mais altas, enquanto aqueles com infraestrutura deficiente obtiveram notas inferiores.

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Os dados vetoriais foram convertidos para raster com resolução de 30 metros e reclassificados conforme as notas da Tabela 19. Por fim, todos os raster foram recortados à área de estudo, correspondente à união dos limites municipais da RMM. A coluna “referência” identifica os autores que embasaram os critérios adotados na atribuição das notas.

Tabela 19 – Reclassificação dos critérios em níveis de vulnerabilidade à inundação.

Parâmetros de vulnerabilidade a processos de inundação	Nota	Referência
Densidade de domicílios (moradias/900m²)		
0 - 2	2	Baseado em Diener <i>et al.</i> (2025)
2 - 4	4	
4 - 6	6	
6 - 8	8	
≥ 8	10	
Proximidade de rodovias		
0 – 50 m	1	Baseado em Chaudhary <i>et al.</i> (2015)
50 – 100 m	3	
100 – 200 m	5	
≥ 200 m	7	
Quantidade de crianças menores que 5 anos por domicílio		
0	0	Baseado em Cutter <i>et al.</i> (2003)
≥ 1	6	
Quantidade de idosos maior que 60 anos por domicílio		
≤ 1	6	Baseado em Cutter <i>et al.</i> (2003)
> 2	8	
Quantidade de moradores		
0 a 3	1	Baseado em Ajtai <i>et al.</i> (2023)
≥ 3	4	
Acesso a coleta de esgoto		
Esgoto despejado em rede geral	1	Baseado em Das <i>et al.</i> (2023)
Esgoto despejado em fossa ligada à rede geral	4	
Esgoto despejado em fossa não ligada à rede geral	6	
Esgoto despejado em buracos ou valas	8	
Esgoto despejado em rios, lagos, outros	9	
Sem esgoto pois não tem banheiro nem sanitário	10	
Acesso à rede de água		
Utiliza rede geral	1	Baseado em Das <i>et al.</i> (2023)
Poço profundo	2	
Poço raso ou cacimba	3	
Fonte, nascente ou mina	5	
Carro pipa	6	
Chuva armazenada	9	
Rios, acudes, lagos, outras	10	

Fonte: elaborado pela autora (2025).

3.2.2.3 Aplicação do método AHP para vulnerabilidade

Os pesos referentes aos critérios de vulnerabilidade foram definidos conforme o mesmo procedimento descrito para os critérios de suscetibilidade (ver item 3.2.1.5), utilizando o modelo FR a partir de dados históricos. Assim, empregou-se um AHP baseado em evidências, no qual a matriz de comparação é construída a partir de valores empíricos, e não de avaliações subjetivas. A Tabela 20 reúne os valores de FR correspondentes a cada critério, refletindo o quanto cada variável contribuiu para a presença de inundações. Para essa avaliação, foram incluídas apenas as áreas com suscetibilidade igual ou superior a 8.

Tabela 20: Valores do Fator de Frequência (FR) dos critérios de vulnerabilidade a inundações.

Critério	Valor de FR
Acesso a água	1,379
Acesso ao esgoto	0,478
Densidade populacional	0,937
Densidade de domicílios	0,948
Distância de rodovias	0,332
Quantidade de crianças	0
Quantidade de idosos	0

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Para preencher a matriz de comparações pareadas (Tabela 1), foi realizada a multiplicação dos valores de FR entre os critérios comparados: o triângulo inferior foi obtido pela multiplicação entre os critérios e o superior pelo valor inverso. Os critérios de quantidade de crianças e idosos demonstraram $FR = 0$, então adotou-se o valor mínimo da escala de Saaty (1980), que é igual a 1.

Tabela 21: Matriz de comparação pareada entre os critérios utilizados para vulnerabilidade.

Critério	AGUA	QTI	DPOP	QTC	ESGT	DR	DDOM
AGUA	1	1	1/2	1	1	1	1/2
QTI	1	1	1/2	1	1	1	1
DPOP	2	2	1	1	1	1	1/2
QTC	1	1	1	1	1	1	1
ESGT	1	1	1	1	1	1/2	1/3
DR	1	1	1	1	2	1	1/4
DDOM	2	2	2	1	3	4	1

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Onde:

AGUA:	Acesso a água
ESGT:	Acesso ao esgoto
DPOP:	Densidade populacional
DDOM:	Densidade de domicílios
DR:	Distância de rodovias
QTC:	Quantidade de crianças
QTI:	Quantidade de idosos

No julgamento dos fatores, densidade de domicílios e distância de rodovias foram os que obtiveram maior grau de importância sobre as outras variáveis. Os fatores restantes demonstraram pouca ou nenhuma hierarquia sobre os demais.

3.2.2.3.1 Cálculo dos índices

Os pesos dos critérios foram obtidos a partir da matriz de comparações pareadas, normalizada linha a linha, resultando no vetor de pesos (autovetor $[W]$). Em seguida, avaliou-se a consistência da matriz por meio da Razão de Consistência (RC), calculada a partir do autovalor máximo ($\lambda_{\max}$) do Índice de Consistência (IC). Como $n = 7$, utilizou-se $IR = 1,32$. A Tabela 22 exibe os resultados dos cálculos. O procedimento adotado aqui para os critérios de vulnerabilidade seguiu exatamente o mesmo método aplicado aos critérios de suscetibilidade.

Tabela 22: Matriz de normalização para os critérios de vulnerabilidade

Critério (i)	Soma das linhas	Autovetor [W]	n	[D] = [i]*[W]	$\lambda = [D]/[W]$	$\lambda_{\max}$	IC	RC
AGUA	6,00	0,11	7	0,79	7,39	7,46	0,08	0,06
QTI	6,50	0,12		0,92	7,97			
DPOP	8,50	0,15		1,09	7,19			
QTC	7,00	0,12		1,00	8,01			
ESGT	5,83	0,10		0,76	7,28			
DR	7,25	0,13		0,90	6,99			
DDOM	15,00	0,27		1,97	7,37			

Σ	56,08	1,00	-	-		
----------	-------	------	---	---	--	--

Fonte: elaborada pela autora (2025).

O valor da Razão de Consistência encontrado foi $RC = 0,06$, inferior ao limite recomendado por Saaty (1980) de 0,1, indicando que os julgamentos são consistentes e, portanto, validando estatisticamente o método.

3.2.2.4 Normalização dos critérios e álgebra de mapas de vulnerabilidade

Da mesma forma aplicada à suscetibilidade, as camadas de vulnerabilidade foram normalizadas para a escala 0 a 1 e ponderadas pelos respectivos pesos obtidos no AHP. Em seguida, realizou-se a álgebra de mapas para integrar os critérios, conforme Equação 13.

$$Vulnerabilidade = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

W_i é o peso (autovetor) do critério i ;

X_i é a camada *raster* normalizada correspondente ao critério i .

A Tabela 23 mostra os critérios e seus respectivos pesos aplicados na álgebra de mapas.

Tabela 23: Critérios e pesos do modelo de vulnerabilidade.

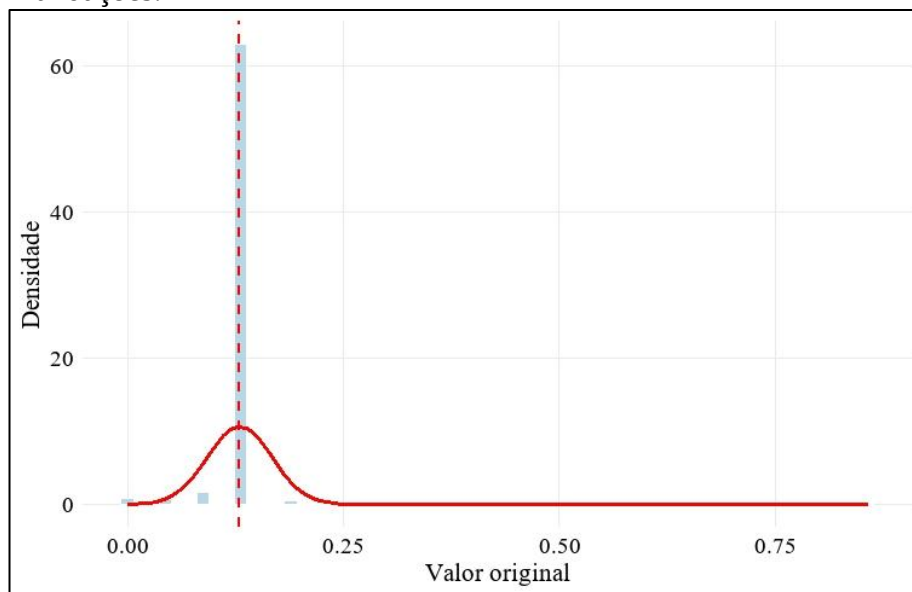
Critério	Peso
Acesso a água	0,107
Quantidade de idosos	0,116
Densidade populacional	0,152
Quantidade de crianças	0,125
Acesso ao esgoto	0,104
Distância de rodovias	0,129
Densidade de domicílios	0,267
Soma	1,000

Fonte: elaborada pela autora (2025).

3.2.2.5 Análise estatística e reclassificação do mapa de vulnerabilidade

O mapa de vulnerabilidade à inundação teve a distribuição dos dados analisada estatisticamente, com base em Abr  o *et al.* (2021). Assim como o mapa de suscetibilidade, o mapa de vulnerabilidade demonstrou assimetria à direita, porém de maior intensidade (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Distribuição dos valores do mapa de vulnerabilidade a inundações.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

A distribuição dos valores apresenta concentração acentuada próximo de zero, refletindo a predominância de áreas classificadas com baixa vulnerabilidade. Esse padrão ocorre porque a análise da vulnerabilidade se concentrou em áreas urbanizadas, enquanto grande parte da área de estudo permanece pouco ou não ocupada. Assim, valores médios e elevados de vulnerabilidade aparecem apenas em setores específicos, resultando em uma distribuição assimétrica com cauda longa   direita. O valor máximo foi de 0,74.

Em razão da assimetria, o mapa foi reclassificado seguindo os preceitos do trabalho de Li & Shan (2022). A Tabela 23 mostra os limites das classes de vulnerabilidade obtidos.

Tabela 23: Limites geométricos e intervalos das classes de vulnerabilidade a inundações.

Classe de vulnerabilidade	Intervalo (b_c)
Baixa	0 – 0,1731758
Média	0,1455403 – 0,3898326

Alta	0,3206795 – 0,4608879
Muito alta	0,4290599 – 0,736173

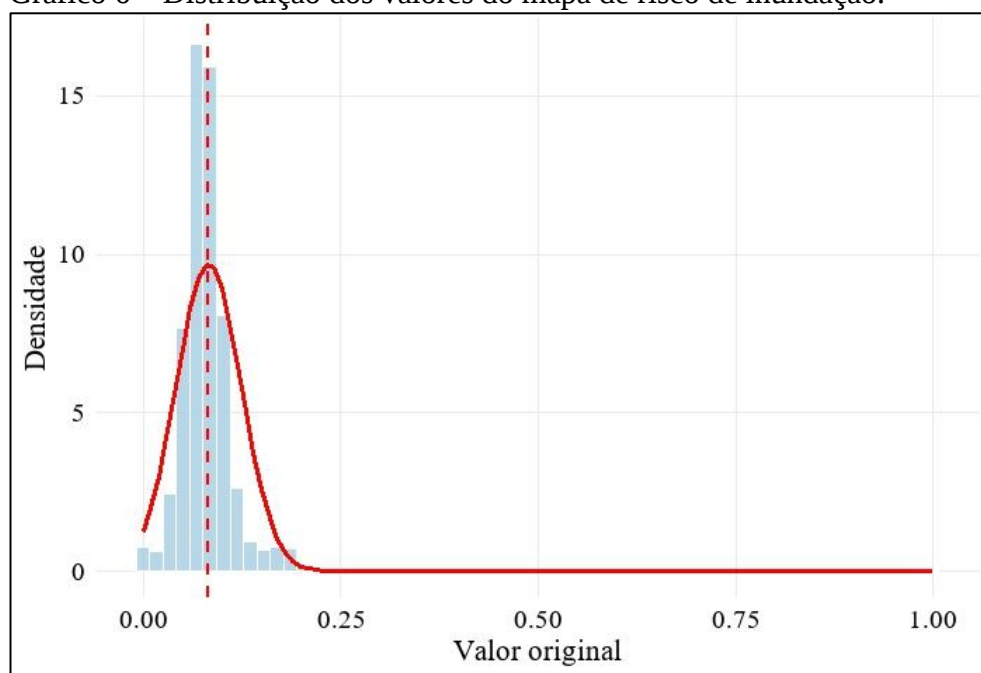
Fonte: elaborado pela autora (2025).

3.2.3 Mapeamento do risco

A Equação 1 foi executada na calculadora *raster* do QGIS, onde o Índice de Perigo correspondeu ao mapa de suscetibilidade e o Índice de Vulnerabilidade ao mapa de vulnerabilidade, gerando como produto o mapa final de risco à inundação.

O mapa de risco de inundação teve sua distribuição de valores analisada estatisticamente, seguindo o mesmo procedimento adotado para a vulnerabilidade. A análise evidenciou forte assimetria à direita, indicando predominância de valores baixos e ocorrência restrita de valores elevados (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Distribuição dos valores do mapa de risco de inundação.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

A concentração de valores próximos de zero reflete que grande parte da área de estudo apresenta risco reduzido, o que está associado à predominância de regiões com baixa densidade de ocupação. Por outro lado, os valores intermediários e elevados de risco concentram-se apenas em setores urbanos onde coexistem suscetibilidade física e presença de domicílios, resultando em uma distribuição com cauda longa à direita. O valor máximo foi de 0,41.

Diante dessa assimetria, procedeu-se à reclassificação do mapa (Tabela 24) utilizando o método GIC, conforme Li & Shan (2022), permitindo melhor diferenciação entre áreas de risco.

Tabela 24: Limites geométricos e intervalos calculados para as classes de risco à inundação.

Classe de vulnerabilidade	Intervalo (b_c)
Baixa	0 – 0,1407789
Média	0,1746929 – 0,2137593
Alta	0,3921754 – 0,3378597
Muito alta	0,6629284 – 0,4129695

Fonte: elaborado pela autora (2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, apresentam-se os resultados da validação do modelo de suscetibilidade à inundação. Em seguida, são mostradas as espacializações dos critérios que compõem o modelo, acompanhadas das respectivas análises e discussões. Posteriormente, é apresentado o mapa final de suscetibilidade à inundação da área de estudo, acompanhado e da discussão das relações entre as áreas de maior propensão e seus fatores desencadeadores. Procedimento análogo é aplicado à avaliação da vulnerabilidade, contemplando a espacialização, reclassificação e integração dos respectivos indicadores com o mapa final de vulnerabilidade.

Por fim, é apresentado o mapa final de risco à inundação, acompanhado das estatísticas gerais e por município, da identificação dos principais setores e áreas em situação de risco e suas vulnerabilidades específicas, e da discussão das medidas mitigadoras recomendadas.

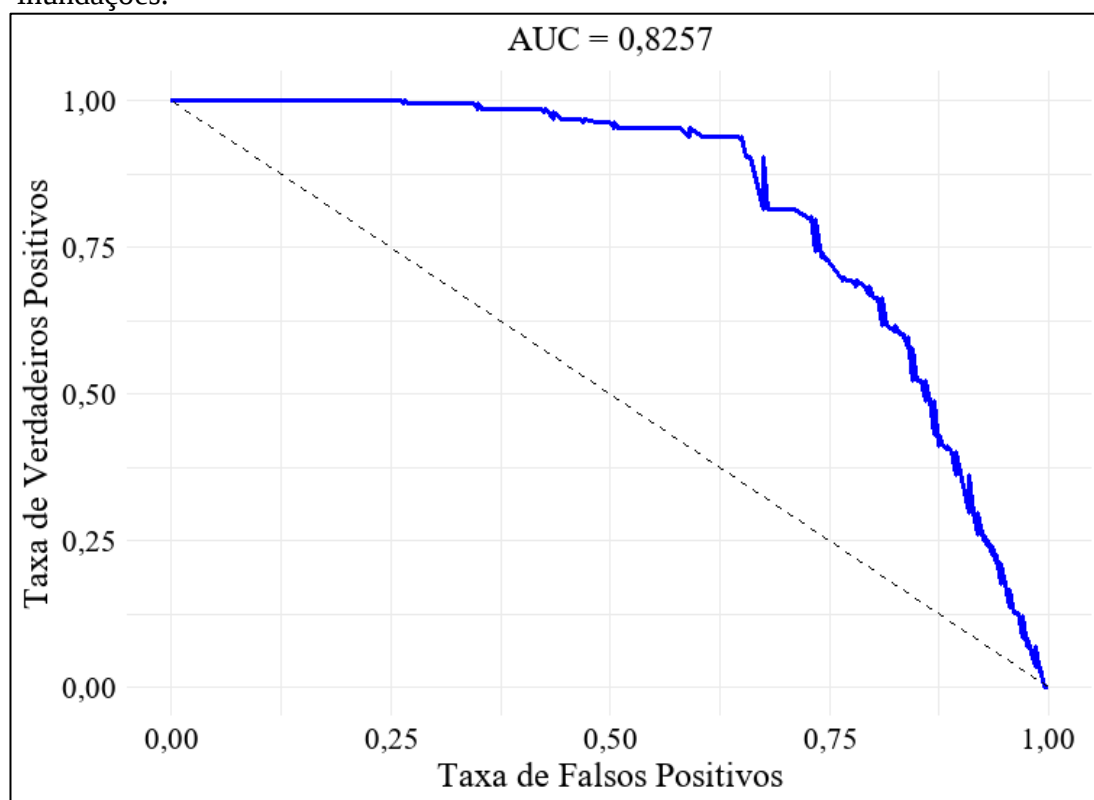
4.1 Suscetibilidade

Esta seção apresenta o resultado da validação do mapa de suscetibilidade, a análise individual dos critérios utilizados após reclassificação e o mapa final de suscetibilidade.

4.1.1 Validação do mapa de suscetibilidade

O Gráfico 7 apresenta a curva ROC gerada para a validação do mapa de suscetibilidade a inundações, bem como o valor da AUC (área sob a curva).

Gráfico 7 – Curva ROC e valor da AUC para validação do mapa de suscetibilidade a inundações.



Fonte: elaboração da autora (2025).

O modelo apresentou $AUC = 0,8257$ (83%). Segundo os padrões de Mohebzadeh *et al.* (2022), o resultado é considerado muito bom, demonstrando ótima eficácia na modelagem das condições que favorecem a ocorrência de inundações na região.

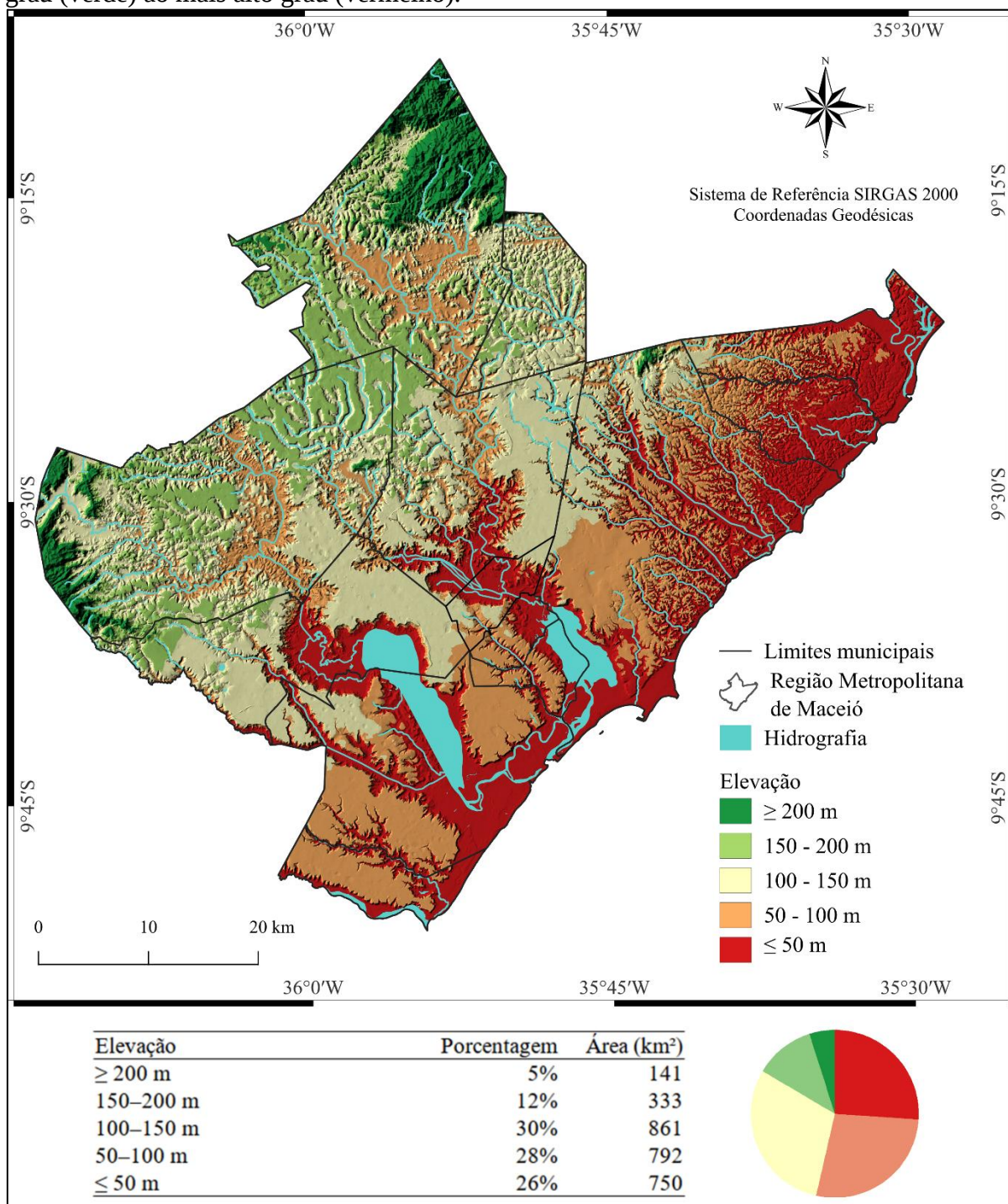
4.1.2 Critérios de suscetibilidade reclassificados

Aqui são analisados individualmente os critérios de suscetibilidade reclassificados.

4.1.2.1 Elevação

A Figura 12 apresenta o mapa de faixas de elevação da RMM conforme grau de suscetibilidade à inundação, bem como gráfico de distribuição das faixas e tabela com quantitativos de porcentagem e área.

Figura 12 – Mapa de elevação e grau de suscetibilidade à inundação, variando do mais baixo grau (verde) ao mais alto grau (vermelho).



Fonte: elaboração da autora (2025).

É possível observar que a maior parte do território da RMM, correspondendo cerca de 54%, se encontra em altitudes inferiores a 100 metros. As áreas mais baixas são marcadas por uma transição notável do relevo entre a mudança de tons de cores no mapa, que indica a passagem entre as planícies e os tabuleiros costeiros. As planícies ocorrem predominantemente em regiões planas próximas às jusantes dos cursos d'água, enquanto os tabuleiros dissecados

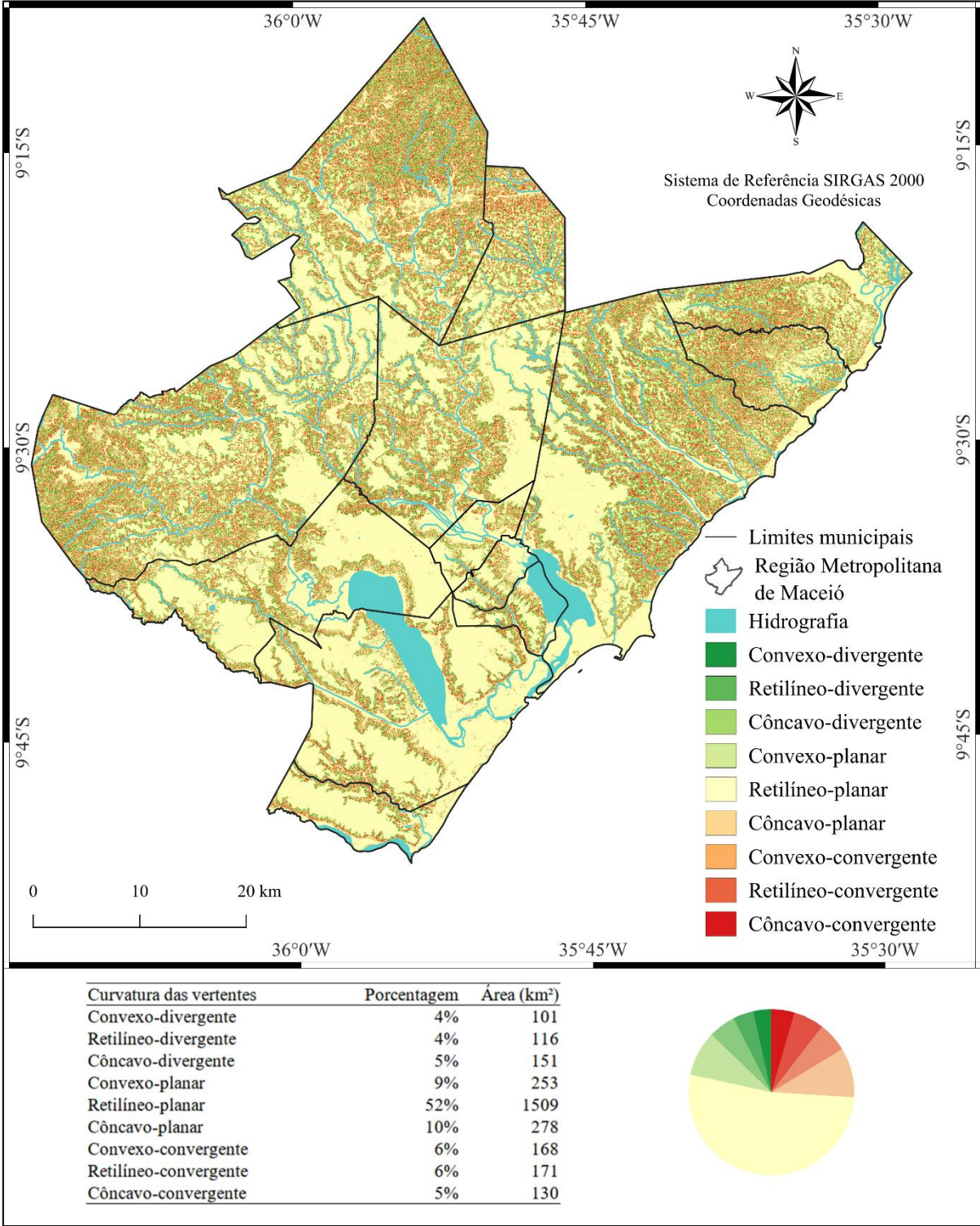
se destacam pelo alto grau de entalhamento e pela elevada densidade de drenagem (Santos, 2022). As cotas mais elevadas concentram-se nas porções norte e oeste da área de estudo, onde o relevo se eleva gradualmente em direção ao Planalto da Borborema.

Os níveis mais altos de suscetibilidade se concentram nas porções mais baixas da região. Isso ocorre porque a água proveniente das áreas elevadas tende a se acumular nas zonas mais deprimidas da bacia, aumentando a vulnerabilidade das regiões próximas aos rios a inundações periódicas e cheias rápidas (Abishek & Ravindran, 2023). Nessas áreas, o nível freático elevado e o escoamento superficial reduzido tornam as planícies fluviais naturalmente propensas a inundações periódicas.

4.1.2.2 Curvatura

A Figura 13 exibe o mapa dos tipos de curvatura das vertentes da Região Metropolitana de Maceió (RMM), classificadas conforme o grau de suscetibilidade à inundações, acompanhado do gráfico de distribuição e da tabela com os respectivos percentuais e áreas.

Figura 13 – Mapa de curvatura das vertentes da RMM, indicando o grau de suscetibilidade à inundação, variando das áreas mais elevadas e menos suscetíveis (verde) às mais baixas e altamente suscetíveis (vermelho).



Fonte: elaboração da autora (2025).

A distribuição das classes de curvatura evidencia o predomínio de superfícies retilíneas-planares totalizando cerca de 53%, indicando que mais da metade da área apresenta

vertentes com baixa variação de curvatura, caracterizando superfícies de baixa complexidade topográfica.

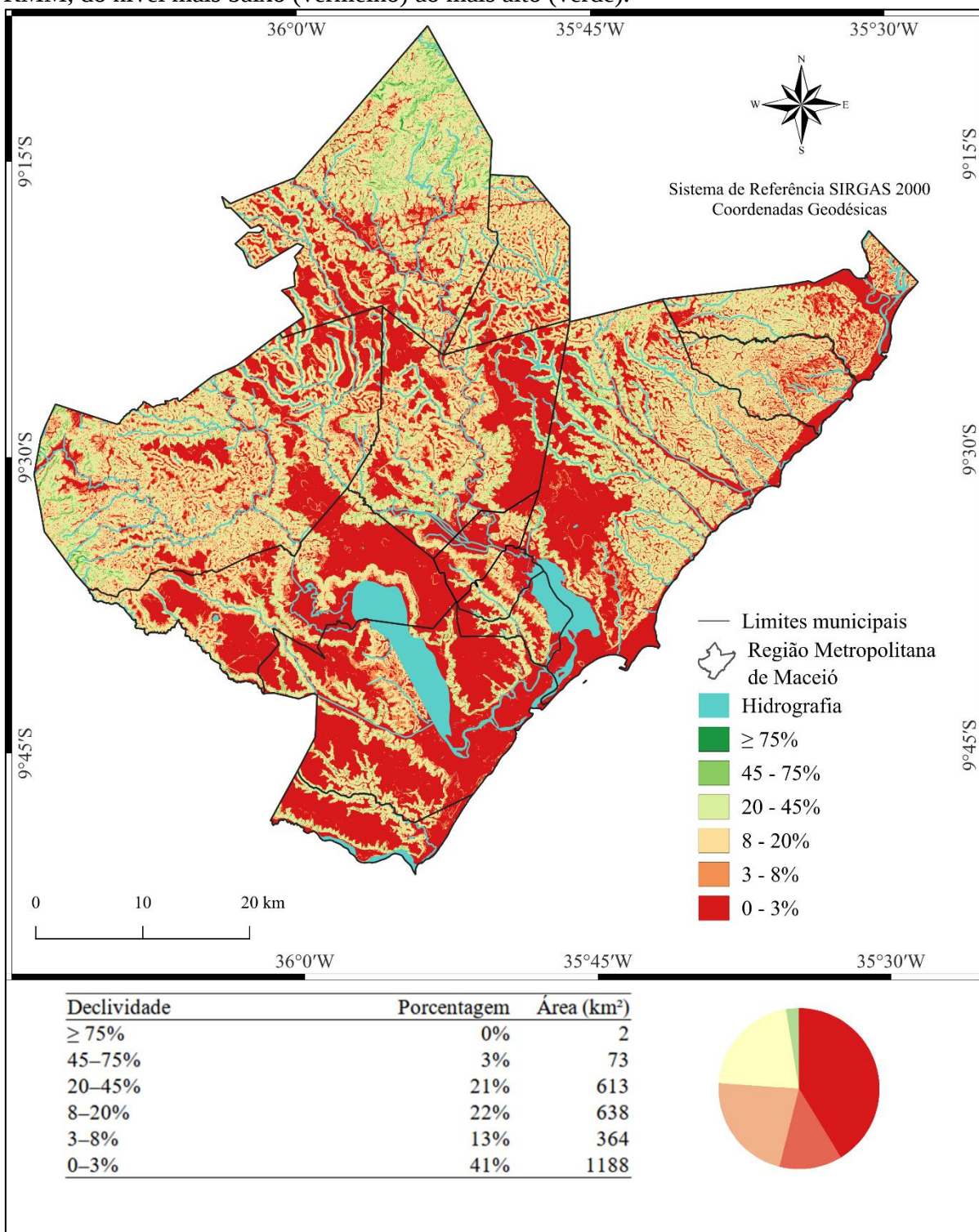
O predomínio desse tipo de vertente, quando associado às áreas mais elevadas, reflete as características morfológicas típicas do relevo da faixa leste-litorânea de Alagoas, formada principalmente pelos tabuleiros costeiros e pela planície litorânea. Segundo Santos (2022), os tabuleiros compõem um extenso corpo alongado que acompanha o litoral, com relevo de formas suaves e declividades reduzidas. Já a planície lagunar apresenta relevo essencialmente plano, distribuído em uma faixa estreita e com altitudes inferiores a 10 metros.

Observa-se a predominância de vertentes retilíneo-planares, classificadas como de suscetibilidade moderada. Na análise da curvatura na suscetibilidade a inundações, é importante ir além do valor numérico e considerar o comportamento morfométrico da área ao redor. Superfícies retilíneo-planares localizadas em altitudes mais baixas e cercadas por zonas com microrrelevos côncavo-convergentes tendem a concentrar o escoamento da bacia e favorecer o acúmulo de água nas partes mais planas e rebaixadas do terreno.

4.1.2.3 Declividade

Na Figura 14 é apresentado o mapa das faixas de declividade da RMM, de acordo com o nível de suscetibilidade à inundação, além do gráfico de distribuição e da tabela com os valores percentuais e áreas correspondentes.

Figura 14 – Representação espacial da declividade e do grau de suscetibilidade à inundação na RMM, do nível mais baixo (vermelho) ao mais alto (verde).



Fonte: elaboração da autora (2025).

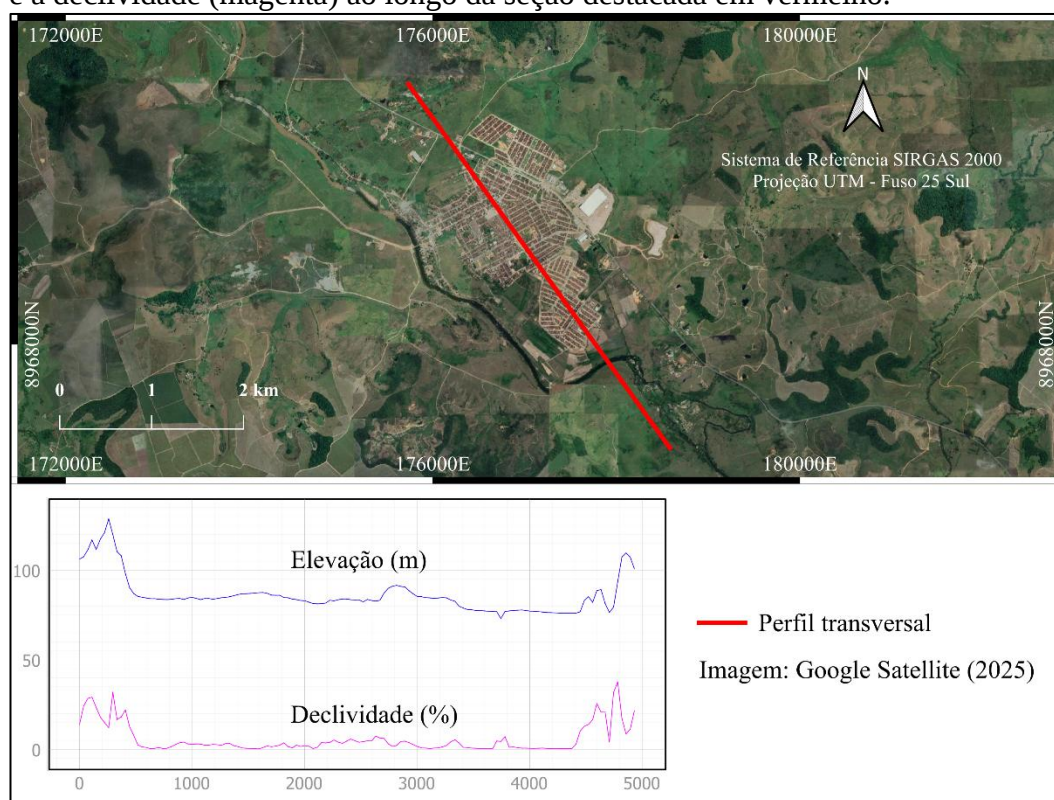
Pode-se constatar que os terrenos planos constituem a maior fração da área, totalizando 42%. As classes de relevo ondulado e fortemente ondulado têm a segunda maior representatividade com 43%. As classes montanhoso e escarpado, que possuem declividade

mais acentuada, têm baixa representatividade na área com menos de 1%. A declividade média da região é de 12% caracterizada por relevo suave-ondulado.

As classes com menor declividade favorecem um escoamento mais lento da água. Em contrapartida, as áreas mais íngremes, localizadas ao norte e a oeste, apresentam menor suscetibilidade a inundações e atuam como zonas de contribuição hídrica, pois são responsáveis por gerar maior volume de fluxo superficial. Essas áreas ajudam a alimentar os canais principais, principalmente nas transições entre as cotas mais altas e as regiões mais baixas, onde se concentram as zonas de maior suscetibilidade.

Na figura 15, é ilustrado o perfil transversal da elevação na cor azul, e da declividade, em magenta, de uma seção transversal marcada em vermelho da área urbana do município de Murici, na RMM. É possível notar baixas declividades combinadas às baixas elevações, e com formato côncavo-convergente nas bordas. Essa configuração morfológica é a mais propensa à ocorrência de inundações, pois representa planícies de baixa altitude com corredores de convergência ao longo de talwegues em relevo ondulado.

Figura 15 – Perfil transversal da área urbana de Murici, mostrando a elevação (azul) e a declividade (magenta) ao longo da seção destacada em vermelho.

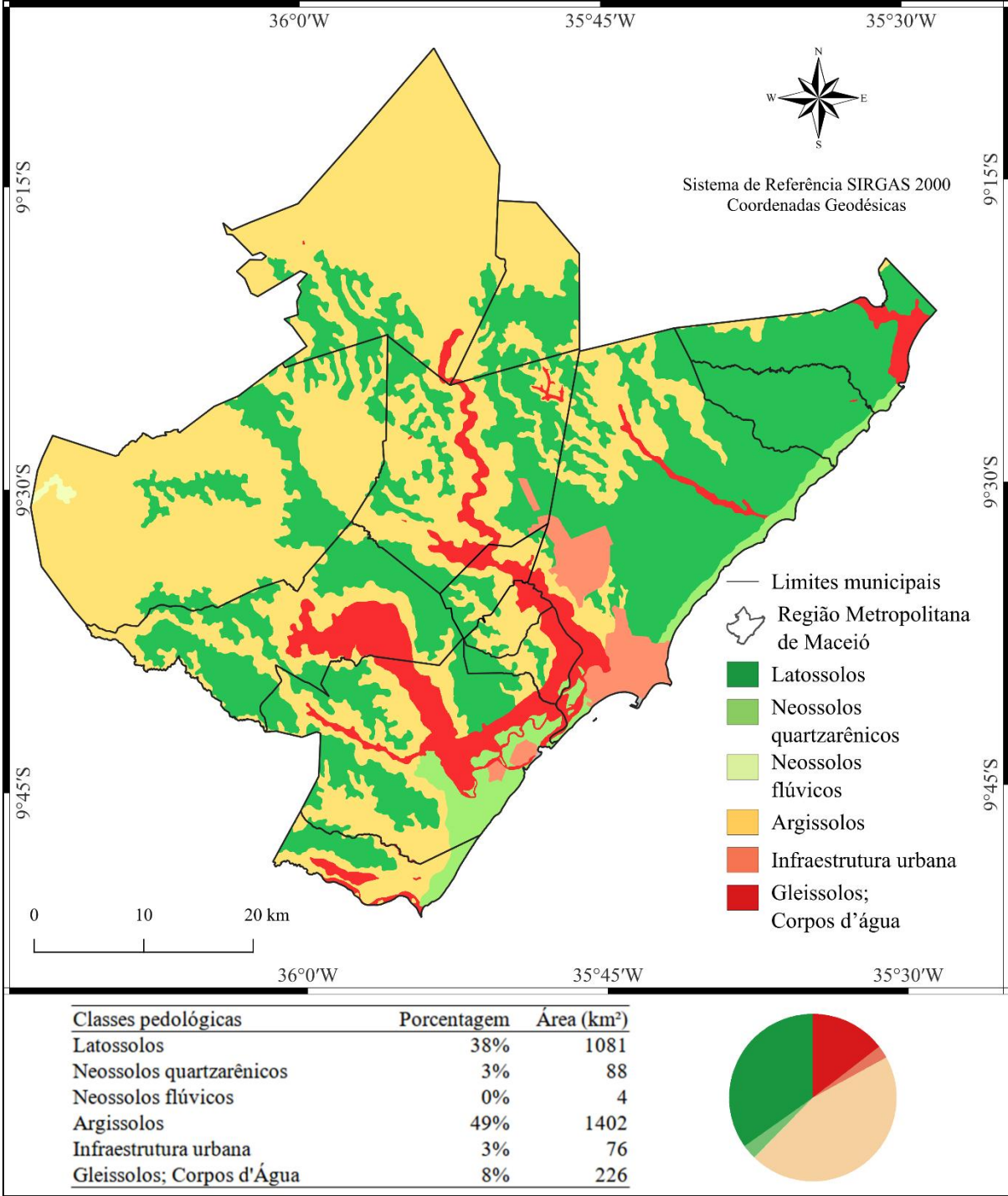


Fonte: elaboração da autora (2025).

4.1.2.4 Pedologia

A Figura 16 mostra a distribuição espacial da pedologia da RMM segundo o grau de suscetibilidade a inundações, juntamente com o gráfico e a tabela que sintetizam as proporções e áreas de cada classe.

Figura 16 – Mapa pedológico da RMM com indicação de suscetibilidade à inundação, onde tons de verde indicam menor suscetibilidade e tons de vermelho, maior suscetibilidade.



Fonte: elaboração da autora (2025).

A distribuição pedológica da área de estudo mostra que os latossolos amarelos e os argissolos vermelho-amarelos compõem a maior parcela das tipologias pedológicas existentes,

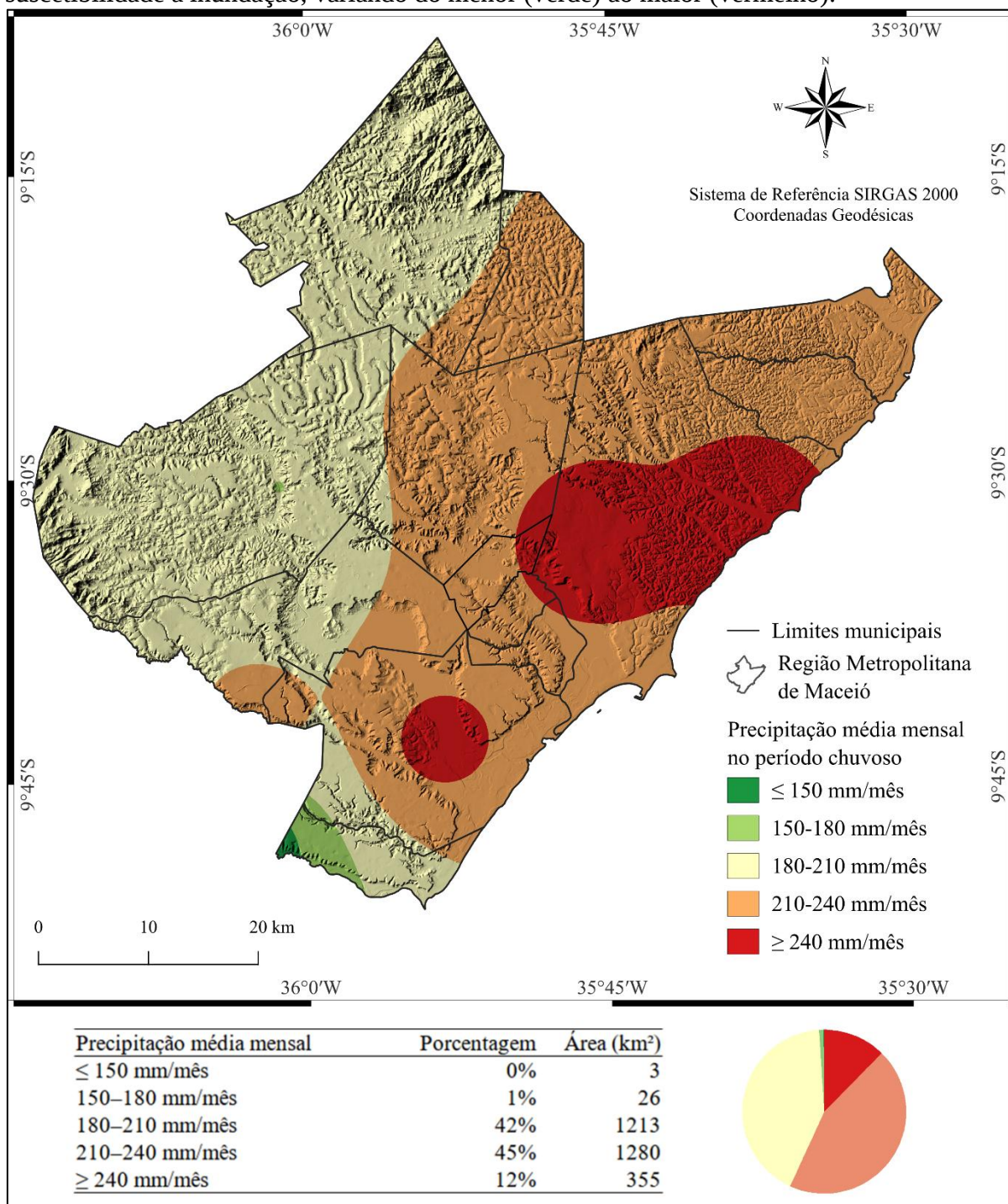
totalizando 49%. As parcelas restantes ocupam proporções mais reduzidas do território. A pedologia da região mostra predominância dos tipos latossolos amarelos e argissolos vermelho-amarelos.

A atenção recai sobre as classes pedológicas menos representativas em área, especialmente os Gleissolos e Neossolos Flúvicos, cujas ocorrências coincidem com os cursos de drenagem. Esses solos correspondem a áreas naturalmente molhadas pela presença de corpos d'água. Estes solos são considerados por Sartori, Lombardi Neto & Genovez (2005) como solos argilosos e orgânicos, rasos e de taxa de infiltração muito baixa. Segundo Abrão *et al.* (2021), são solos que geram fluxos de escoamento superficial devido à alta umidade do terreno que provoca supersaturação que é caracterizada pelo momento em que o nível freático chega à superfície. Os autores ressaltam ainda a importância desse fator de análise por representar a lâmina de água que circula sobre a superfície.

4.1.2.5 Pluviosidade média mensal no período chuvoso

Na Figura 17 observa-se o mapa das faixas pluviométricas médias mensais no período chuvoso da RMM, elaboradas conforme o grau de suscetibilidade à inundação, além do gráfico de frequência e da tabela com os quantitativos percentuais e em área.

Figura 17 – Distribuição espacial das faixas de pluviométricas da RMM conforme grau de suscetibilidade à inundação, variando do menor (verde) ao maior (vermelho).



Fonte: elaboração da autora (2025).

A distribuição das classes de pluviosidade mensal no período chuvoso mostra concentração predominante entre 180 e 240 mm, abrangendo a maior parte da área de estudo em 87%. É notável a diminuição da precipitação conforme se distancia do oceano. Apenas 12% da região apresenta chuva mensal média acima de 240 mm no período chuvoso. As faixas

inferiores a 180 mm apresentam ocorrência menos representativa, com pouco mais de 1%. Essa configuração reforça o padrão homogêneo de sazonalidade mostrado no Gráfico 3.

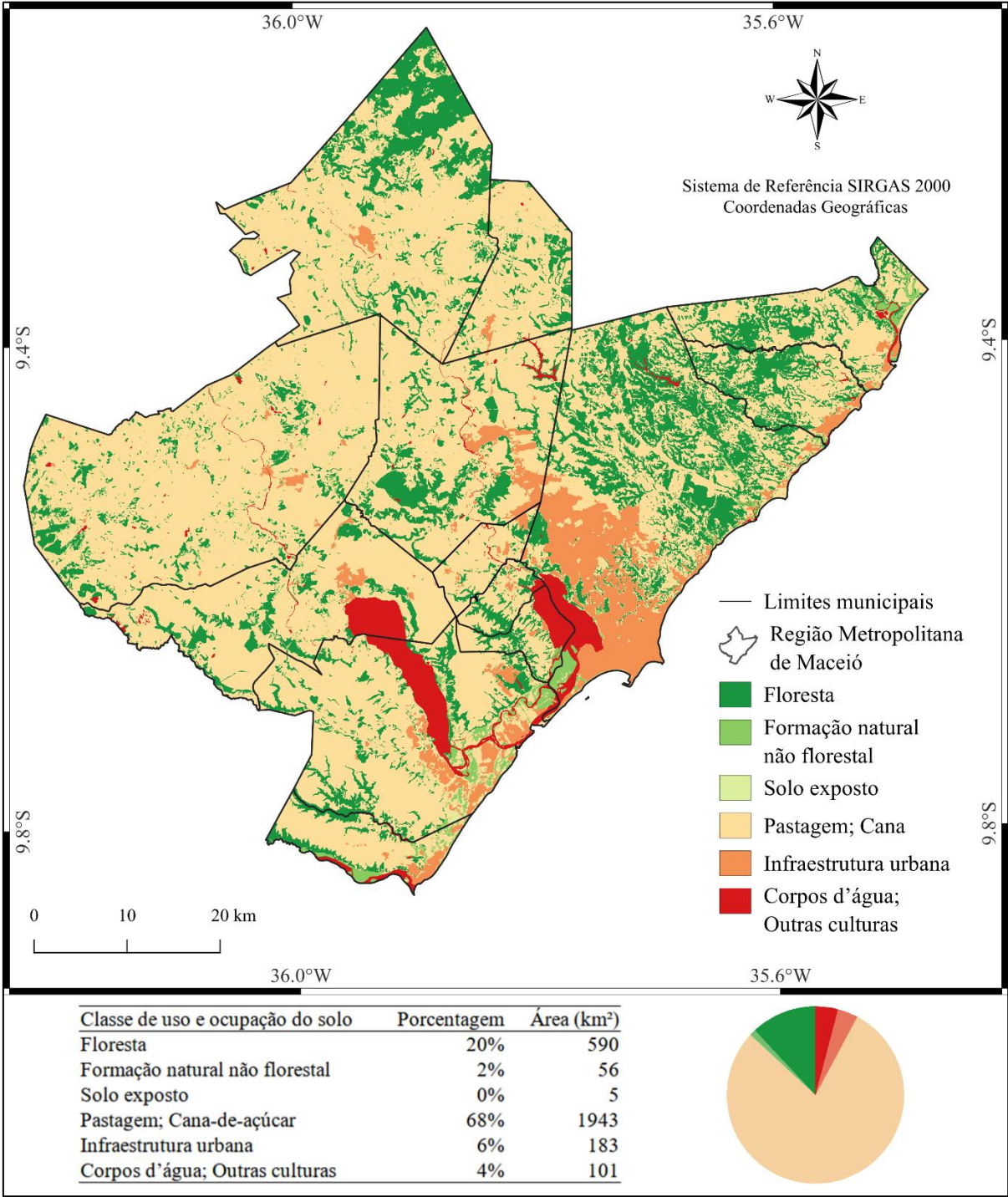
A redução da precipitação conforme se afasta do oceano é uma característica comum das regiões costeiras, onde a umidade marítima exerce forte influência. Dessa forma, as áreas mais próximas ao litoral, correspondentes às planícies lagunares e fluviais de baixa altitude, tornam-se mais vulneráveis à combinação entre chuvas intensas e baixa capacidade de drenagem, o que aumenta significativamente o risco de alagamentos e inundações. De acordo com Abishek & Ravindran (2023), as inundações em áreas de baixa altitude são principalmente causadas pelo escoamento superficial decorrente do excesso de precipitação, uma vez que o volume de chuva ultrapassa a capacidade de infiltração dos solos.

Pereira (2013) identificou uma relação clara entre precipitação, altitude e distância do litoral. No período seco, o relevo exerce maior influência, concentrando chuvas nas zonas mais elevadas por efeito da convecção orográfica. Essa configuração favorece a ocorrência de cheias, pois o aumento das chuvas nas cabeceiras eleva o volume de escoamento para áreas a jusante, enquanto as altas precipitações litorâneas ampliam os impactos devido à maior concentração populacional, segundo o mesmo autor.

4.1.2.6 Uso e ocupação do solo

A Figura 18 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo da RMM categorizado por classes de suscetibilidade à inundação, acompanhado da representação gráfica da distribuição das faixas e da tabela com as respectivas porcentagens e áreas.

Figura 18 – Mapa de uso e ocupação do solo da Região Metropolitana de Maceió, categorizado por graus de suscetibilidade à inundação, do mais baixo (verde) ao mais alto (vermelho).



Fonte: elaboração da autora (2025).

A análise do uso e cobertura da terra mostra o predomínio de áreas agrícolas, principalmente destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar e pastagens, que juntas ocupam cerca de 68% do território. As florestas aparecem de forma fragmentada, representando aproximadamente 20% da área, enquanto as zonas urbanizadas correspondem a cerca de 6%. Essa distribuição evidencia um forte uso antrópico do solo, com a vegetação natural e os corpos

hídricos restritos a pequenas porções do território. Segundo Nascimento *et al.* (2018), a redução da cobertura vegetal favorece o assoreamento dos cursos d'água e o aumento do escoamento superficial, fatores que intensificam a ocorrência e a gravidade das enchentes.

As atividades agropecuárias, por alterarem a estrutura natural do solo, reduzem sua capacidade de infiltração (Barbosa, 2015). Nascimento *et al.* (2018) destacam que essas modificações na paisagem contribuem para o aumento da vulnerabilidade ambiental, especialmente em situações de enchentes ou deslizamentos, evidenciando o impacto direto do uso do solo sobre a estabilidade do ambiente.

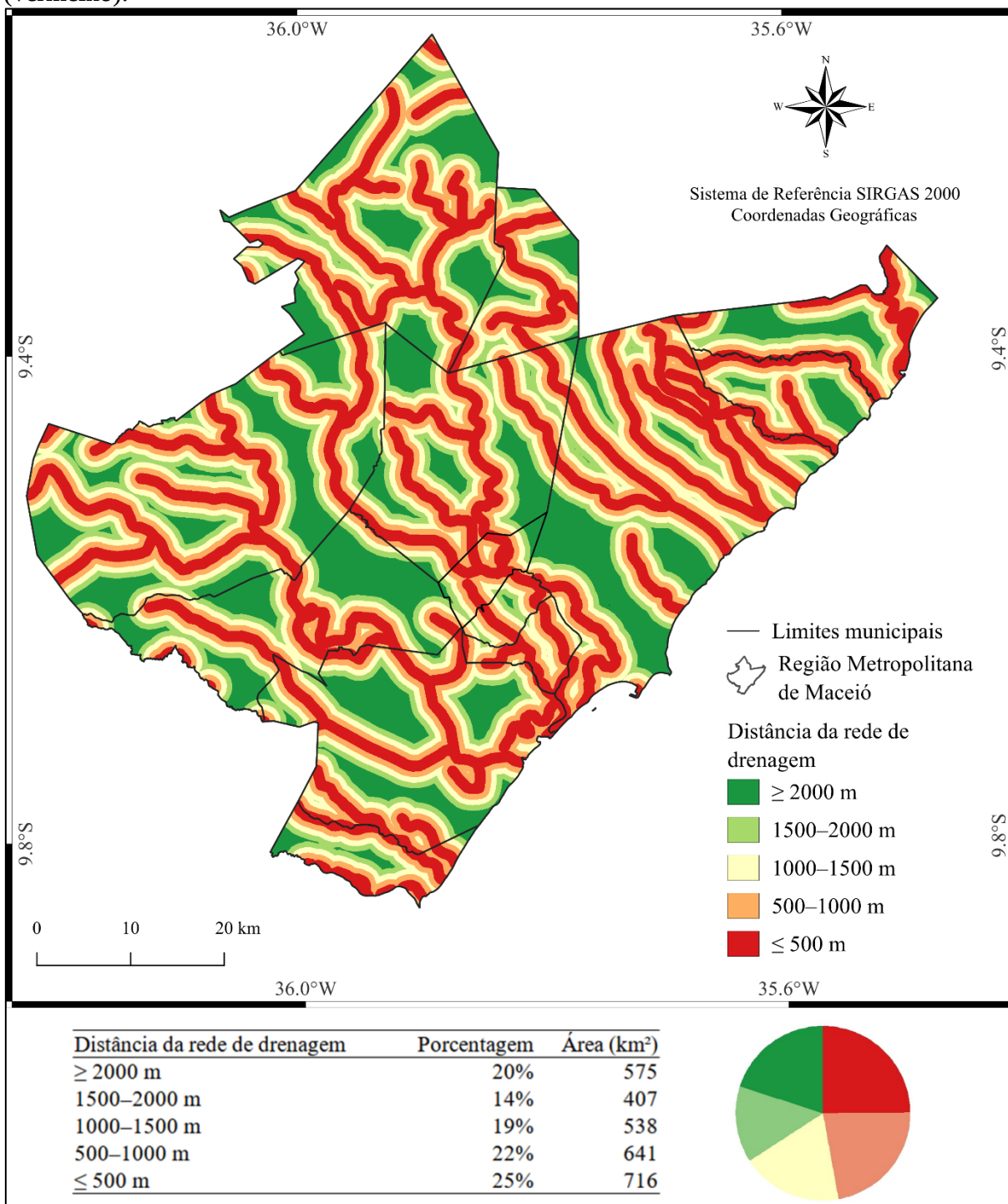
As áreas de maior suscetibilidade estão associadas à presença de corpos d'água e de cultivos diversificados, além da cana-de-açúcar, refletindo a influência da proximidade dos rios e zonas de várzea no aumento do risco de inundação. Já as áreas urbanizadas encontram-se, em grande parte, sobre zonas de alta suscetibilidade, o que demonstra o elevado grau de exposição das ocupações humanas aos eventos de inundação.

De acordo com Barbosa (2015), o principal problema ambiental decorrente da urbanização é a impermeabilização do solo, que altera os padrões naturais de infiltração e escoamento da água. Essa mudança favorece a formação de enxurradas e alagamentos, agravando o risco de enchentes em áreas densamente ocupadas.

4.1.2.7 Distância da rede de drenagem

O mapa da rede de drenagem (Figura 19) retrata o sistema hidrográfico da região, destacando os principais cursos de água e suas sub-bacias de contribuição.

Figura 19 – Distância da rede de drenagem (hidrografia) e sua suscetibilidade à inundação na RMM, evidenciando a transição de áreas menos suscetíveis (verde) para áreas mais suscetíveis (vermelho).



Fonte: elaboração da autora (2025).

A distância de rios influencia diretamente a identificação de áreas mais vulneráveis a inundações. À medida que a distância em relação ao rio aumenta, a probabilidade de inundação diminui (Edamo, Bushira & Ukomo, 2022). As zonas com menor distância da

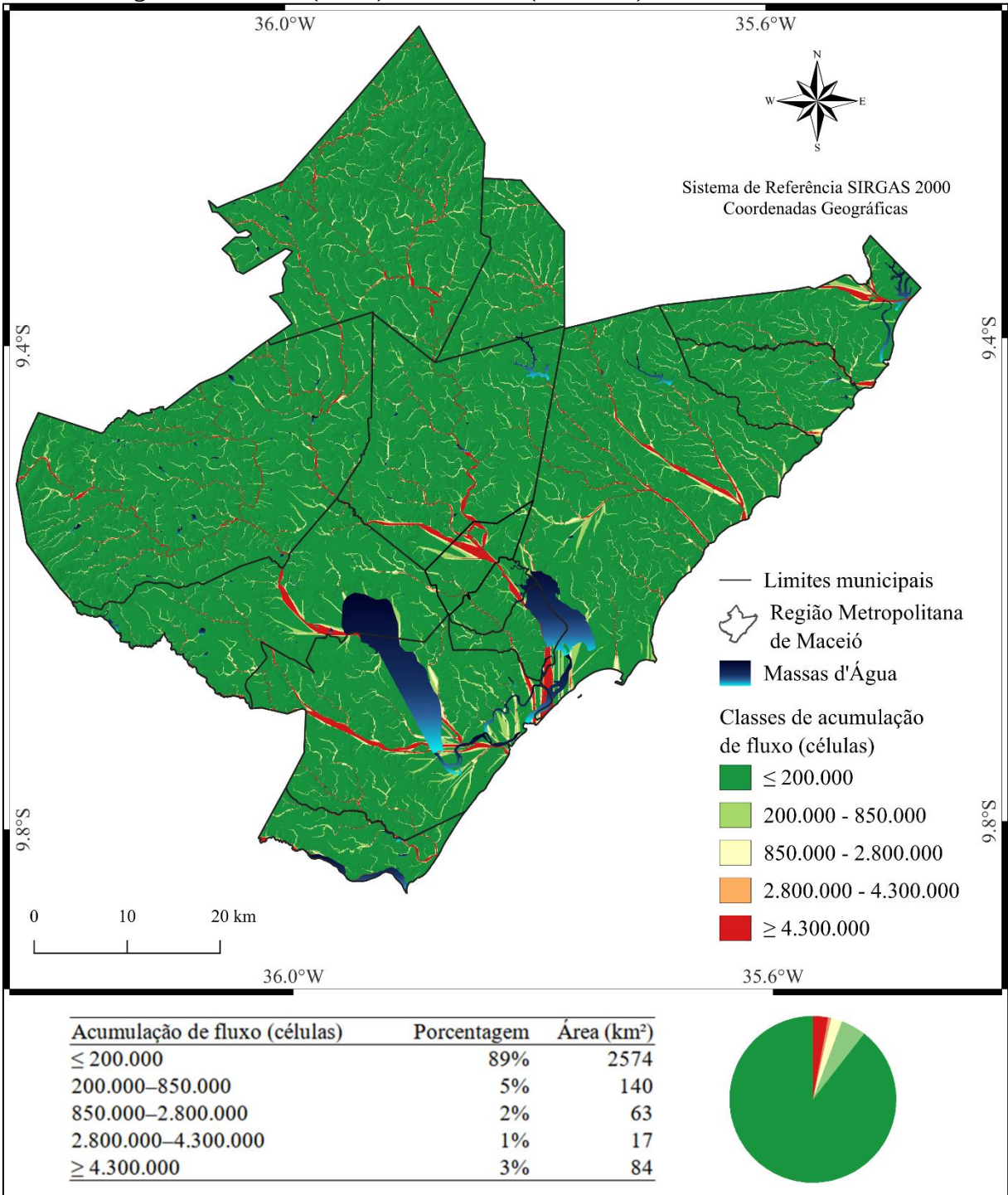
drenagem abrangem as planícies fluviais e margens dos canais, que apresentam baixa capacidade de infiltração e acúmulo de umidade devido à proximidade do lençol freático.

A distribuição entre as classes é uniforme pela RMM, mantendo uma média de 20% por classe. As classes intermediárias (500 – 1500 m), que abrangem cerca de 41% da área, representam zonas de transição, nas quais a influência direta dos cursos d'água diminui, mas ainda pode haver propensão em função da convergência de fluxos d'água e do regime de chuvas local. Por sua vez, as regiões localizadas a mais de 1500 m da rede de drenagem (34% do total) correspondem a setores menos suscetíveis, geralmente localizados em áreas de topo.

4.1.2.8 Acumulação de fluxo

A Figura 20 apresenta o mapa de acumulação de fluxo para a área de estudo, derivado do modelo digital de elevação. Os valores mais elevados de acumulação indicam trechos onde o escoamento superficial se apresenta mais acentuado, funcionando como uma via preferencial de drenagem.

Figura 20 – Mapa temático de acumulação e fluxo e respectiva suscetibilidade à inundação, variando do grau mais baixo (verde) ao mais alto (vermelho), na RMM.



Fonte: elaboração da autora (2025).

As áreas de maior acumulação de fluxo, caracterizadas consequente com maior suscetibilidade, correspondem às linhas de drenagem existentes, onde há convergência de águas, resultando em maior volume de escoamento. Esses setores atuam como corredores preferenciais de transporte hídrico, concentrando a descarga superficial. Para Edamo, Bushira & Ukomo (2022), o acúmulo de fluxo é, de modo geral, menor nas porções a montante, onde

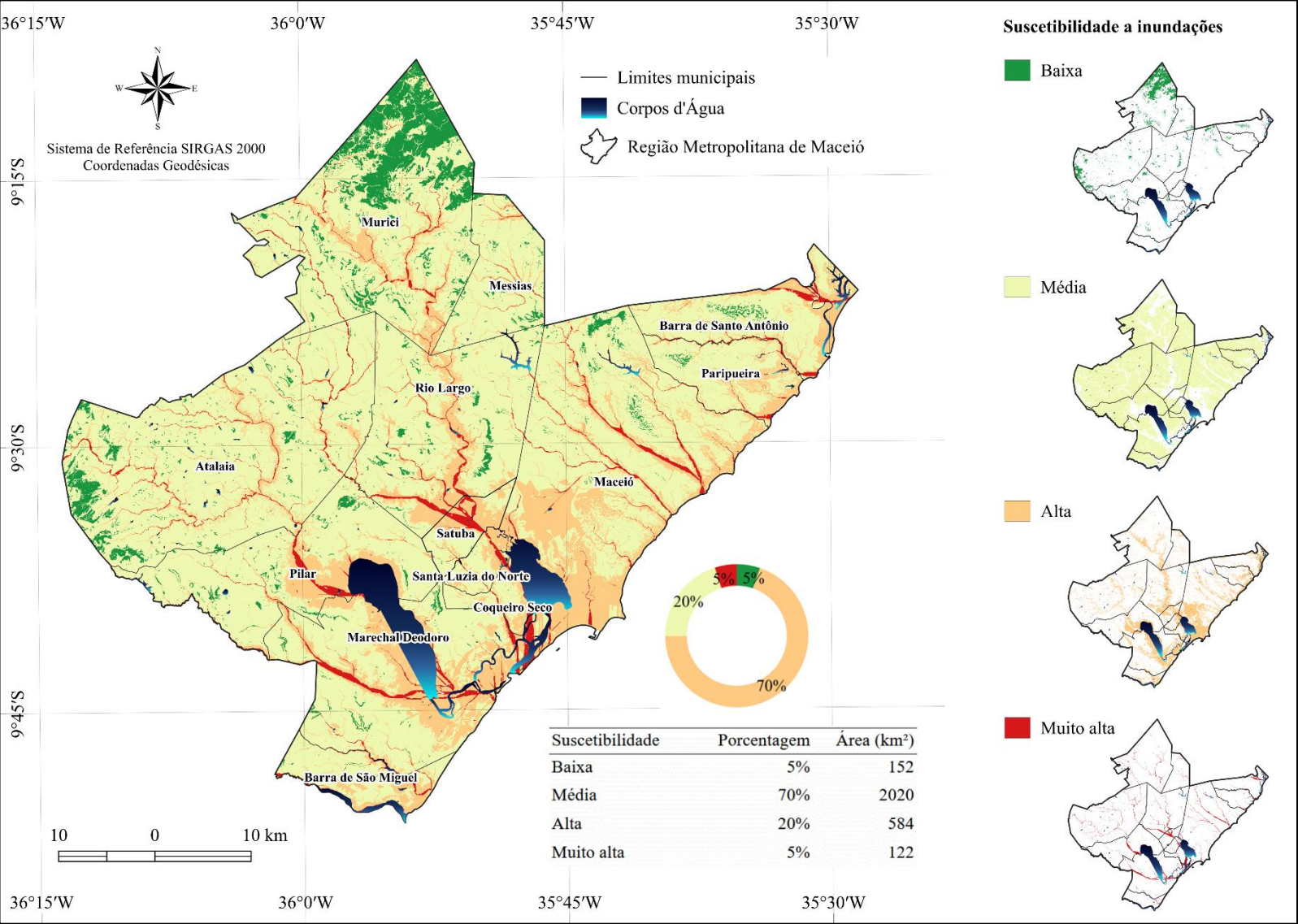
predominam cursos d'água de menor ordem, e aumenta nas áreas a jusante, à medida que diversos afluentes se unem ao canal principal, ampliando o volume de escoamento e o risco de inundação.

A distribuição espacial mostra uma predominância marcante de áreas com baixa suscetibilidade, que correspondem a cerca de 89% do território. Em contraste, apenas 3% da área total foi classificada como de alta suscetibilidade, concentrando-se principalmente ao longo dos principais cursos d'água e nas planícies de inundação. As classes intermediárias, que abrangem aproximadamente 8% da região, representam zonas de transição, onde a influência dos processos de relevo e de acúmulo de fluxo é moderada, mas pode aumentar em situações de chuvas intensas ou de saturação do solo.

4.1.3 Mapa de suscetibilidade a inundações

A Figura 21 apresenta o mapa de suscetibilidade a inundações representado por faixas de suscetibilidade físico-ambiental, que variam entre as classes baixa, média, alta e muito alta.

Figura 21 – Mapa de Suscetibilidade a Inundações.



Fonte: elaboração da autora (2025).

Nota-se a predominância das áreas de média suscetibilidade à inundação, que abrangem aproximadamente 2.020 km², correspondendo a 70% da área total. A classe de baixa suscetibilidade ocupa 152 km² (5%), seguidas pelas áreas de alta (583 km²; 20%) e muito alta suscetibilidade (122 km²; 4%).

A sobreposição dos critérios de acúmulo de fluxo e proximidade da rede de drenagem resulta em maiores índices de suscetibilidade nas faixas marginais à rede hidrográfica. Esse fato confirma a coerência física do mapa de suscetibilidade, mostrando sentido em termos do comportamento natural da água e evidenciando que as classes de maior risco se concentram nos canais e áreas adjacentes.

As áreas de menor suscetibilidade se localizam predominantemente nas porções norte e oeste da área de estudo, caracterizadas por formas geomorfológicas convexas e maiores declividades. Essas regiões são situadas em altitudes mais elevadas, apresentando alta cobertura florestal, baixa pluviosidade e solos com elevada capacidade de infiltração e permeabilidade. Tais características explicam o baixo índice de suscetibilidade observado nessas áreas.

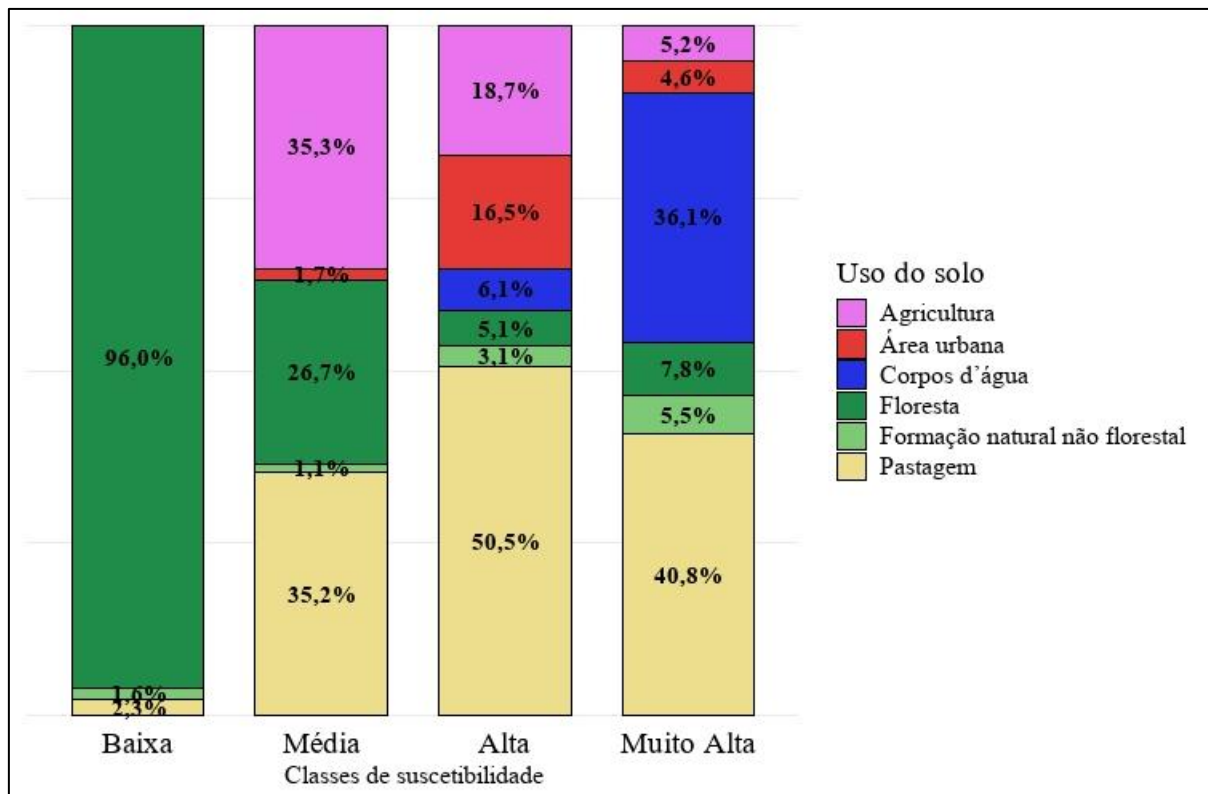
Observa-se a maior proporção de áreas nas classes alta e muito alta suscetibilidade em Coqueiro Seco, Santa Luzia do Norte e Satuba. Esses municípios estão às margens das lagunas e contidos no CELMM, e concentram histórico de desastres hidrológicos segundo os dados do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (2023).

Os municípios de Murici e Atalaia, apesar do histórico recorrente de inundações registrado no Atlas Digital de Desastres (Brasil, 2025), apresentaram uma proporção relativamente baixa de áreas classificadas como de alta e muito alta suscetibilidade. Ainda assim, observa-se no mapa que essas áreas, embora representem apenas cerca de 7% em Atalaia e 4% em Murici, quanto à área total do município, estão concentradas principalmente nas zonas urbanas, onde o adensamento das construções e a impermeabilização do solo aumentam a vulnerabilidade a inundações.

Nascimento *et al.* (2018) identificaram o mesmo padrão e observaram que a ausência de áreas classificadas como de muito alta vulnerabilidade não significa ausência de risco, dado o histórico de inundações registradas em Murici. Os autores ainda atribuem o resultado a possíveis limitações da base cartográfica utilizada, especialmente no que se refere à escala de mapeamento, que afeta a representação detalhada de feições locais.

A Figura 22 mostra a distribuição percentual das classes de suscetibilidade a inundação dentro de cada classe de uso do solo. A classe de solo exposto não foi mostrada por ocupar menos de 1% da área de estudo.

Figura 22 – Distribuição percentual das classes de suscetibilidade a inundações em relação às classes de uso e cobertura do solo.



Fonte: elaboração da autora (2025).

A maior concentração de cobertura florestal (96%) ocorre nas áreas de baixa suscetibilidade. A presença de florestas, embora menor que a de usos antrópicos, mostra que parte dessas zonas ainda mantém vegetação nativa ou secundária, o que contribui para a estabilidade do solo, infiltração da água e recarga hídrica local.

A zona de média suscetibilidade é composta em sua maior parte por agropecuária (70,5%), e apresenta diminuição de áreas florestais para 26,7%. As áreas urbanas começam a aparecer na contabilização, com 1,7%. Essa transição sugere que a faixa de suscetibilidade média tende a coincidir com áreas de várzeas alagáveis, próximas a cursos d'água e ocupadas por uso antrópico.

A maior parte de área urbana da RMM se concentra em suscetibilidade alta. Nessa classe, observa-se o surgimento da presença de corpos d'água (6,1%) e aumento das áreas urbanas (16,5%), com redução de cobertura florestal (5,1%) e aumento expressivo de áreas de pastagem (50,5%). Isso indica que essa faixa abrange não apenas os leitos principais e marginais dos rios, mas também planícies de inundação ocupadas por atividades pecuárias.

As áreas classificadas como de muito alta suscetibilidade apresentam 36,1% de corpos d'água e 40,8% de pastagem, ambas predominantes na área, seguidas por 7,8% de

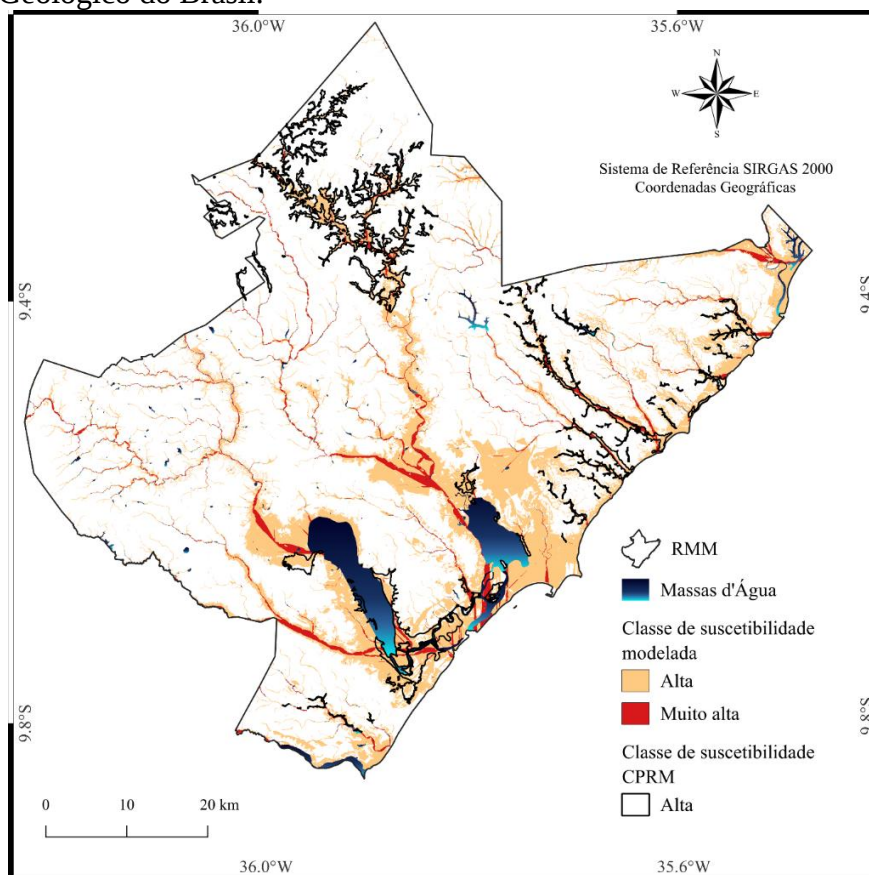
floresta. Esse padrão sugere que as áreas mais críticas para inundação coincidem com as várzeas e planícies fluviais ativas, frequentemente associadas a usos agropecuários e marginais aos rios.

O percentual de área urbana (4,6%) em zonas de alta e muito alta suscetibilidade é preocupante, pois indica ocupação direta de áreas suscetíveis, com potencial para perdas materiais e sociais durante eventos de cheia. A presença expressiva de pastagem nessas zonas, associadas à urbanização, é indicativo uso indevido de áreas de preservação permanente (APPs), onde a vegetação ciliar deveria funcionar como barreira natural à inundação e à erosão.

4.1.3.1 Comparação com áreas de suscetibilidade a inundações da CPRM

A CPRM publicou em cartas de suscetibilidade a inundação para os municípios de Murici, Paripueira, Marechal Deodoro e Maceió (CPRM, 2014a; 2014b; 2014c; 2014d). Para validação do mapa de suscetibilidade foi realizada uma comparação entre as áreas consideradas pela CPRM como sendo de Alta Suscetibilidade, e as áreas modeladas por este trabalho como de Alta e Muito Alta suscetibilidade a inundações, como mostra a Figura 23.

Figura 23 – Sobreposição entre o modelo de suscetibilidade à inundação da RMM e Cartas de Suscetibilidade a Inundação do Serviço Geológico do Brasil.



Fonte: elaboração da autora (2025); CPRM (2014).

Os resultados obtidos neste trabalho apresentam boa convergência com as cartas de suscetibilidade da CPRM, com recobrimento de 86%. O mapa oficial, produzido na escala 1:70.000, corrobora os padrões identificados no modelo de suscetibilidade aplicado aos municípios analisados e demonstra que os resultados representam de forma coerente a dinâmica real do fenômeno na RMM.

4.2 Vulnerabilidade

Esta subseção aborda a discussão acerca da vulnerabilidade populacional frente às inundações na RMM.

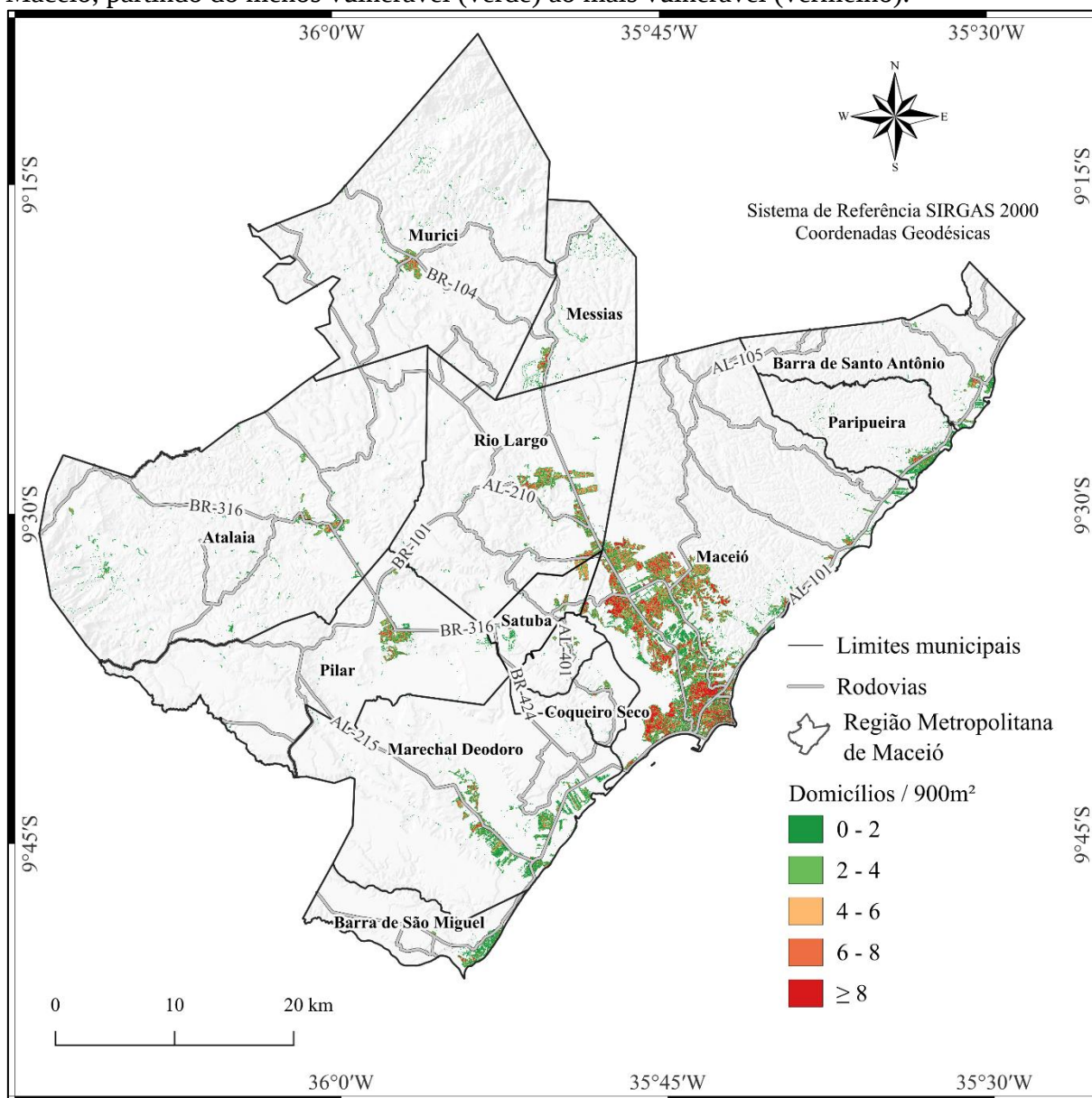
4.2.1 Critérios de vulnerabilidade reclassificados

Aqui são detalhados e reclassificados os critérios utilizados para a análise de vulnerabilidade.

4.2.1.1 Densidade de domicílios

A Figura 24 ilustra a distribuição espacial da densidade de domicílios na Região Metropolitana de Maceió, evidenciando as áreas de maior concentração de residências e consequente maior índice de vulnerabilidade.

Figura 24 – Distribuição espacial da densidade de domicílios na Região Metropolitana de Maceió, partindo do menos vulnerável (verde) ao mais vulnerável (vermelho).



Fonte: elaboração da autora (2025).

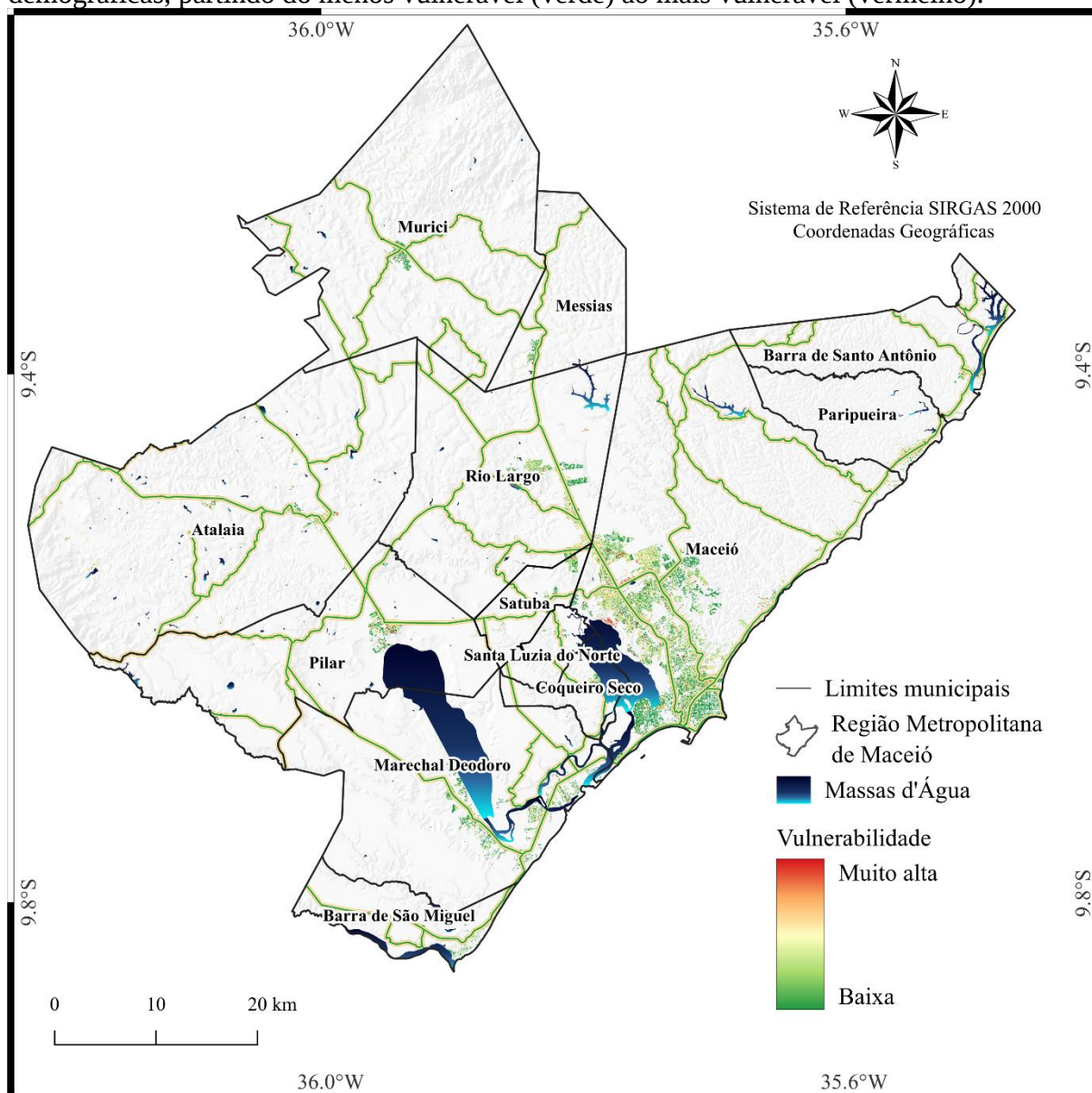
O mapa de densidade de domicílios mostra que a população se concentra nas áreas urbanizadas da RMM, especialmente na capital e nos municípios vizinhos mais próximos. As maiores densidades acompanham as principais vias e áreas consolidadas, enquanto as regiões mais afastadas apresentam ocupação mais dispersa. Esse fato reflete o padrão de crescimento urbano que parte dos centros e se expande gradualmente para as periferias.

Observa-se um elevado grau de urbanização nas zonas litorâneas e no entorno da Laguna Mundaú, o que evidencia o avanço da ocupação sobre áreas ambientalmente frágeis, como margens de rios e planícies de inundação. Os níveis de densidade diminuem em direção ao interior, acompanhando a redução da acessibilidade a serviços urbanos centrais.

4.2.1.2 Demografia e proximidade de rodovias

A Figura 25 representa a vulnerabilidade espacial resultante da interação entre a proximidade às rodovias e as características demográficas da área de estudo (quantidade de crianças e idosos; acesso à água e esgoto; densidade populacional). A classe de vulnerabilidade muito alta associada à proximidade das rodovias foi retirada do mapa para facilitar a visualização das outras variáveis. As áreas situadas a mais de 200 metros das vias, que correspondem à maior parte da RMM, ficaram marcadas em vermelho, o que poderia gerar uma impressão equivocada de vulnerabilidade generalizada.

Figura 25 – Vulnerabilidade associada à proximidade de estrutura viária e características demográficas, partindo do menos vulnerável (verde) ao mais vulnerável (vermelho).



Fonte: elaboração da autora (2025).

Do ponto de vista da vulnerabilidade à inundação, as rodovias desempenham papel duplo: em situações de cheia, podem funcionar como rotas de evacuação e acesso para assistência, mas também podem atuar como barreiras físicas ao escoamento natural da água, favorecendo retenção e alagamento em suas margens ou áreas próximas. Dessa forma, a proximidade à estrutura viária pode tanto reduzir quanto intensificar o risco, dependendo da configuração do relevo e da ocupação urbana adjacente.

Observam-se concentrações de vulnerabilidade muito alta ao longo das margens da Lagoa Mundaú. Essas áreas apresentam maior densidade populacional, presença de assentamentos precários e menor disponibilidade de infraestrutura sanitária, além de estarem situados em áreas topograficamente baixas. A distância a vias estruturais também reduz a eficiência de rotas de evacuação e resposta em situações de inundação, ampliando a vulnerabilidade.

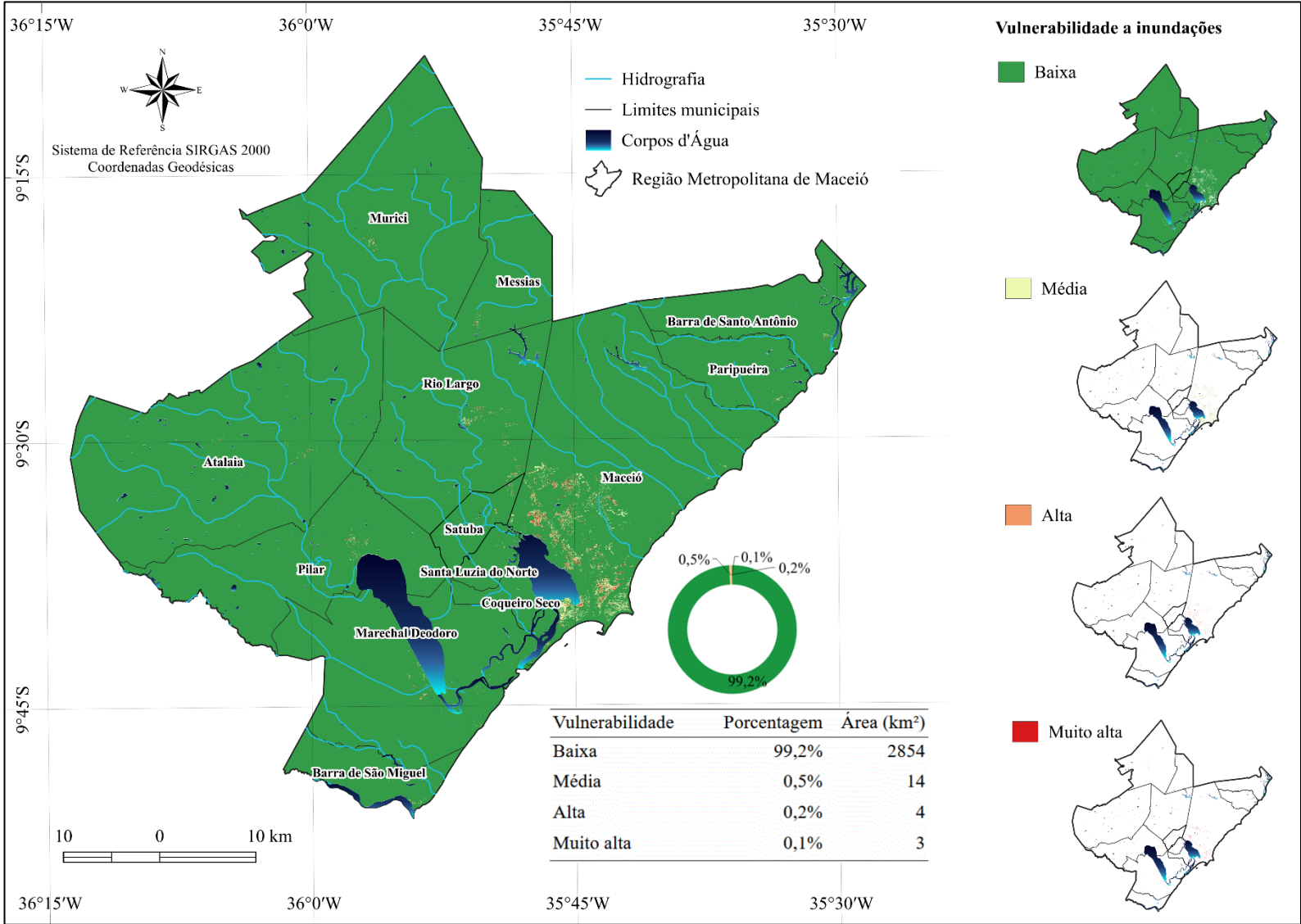
Nascimento *et al.* (2018) notaram esse padrão de vulnerabilidade observado ao longo da Laguna Mundaú e nas margens dos canais drenantes da capital, relacionando à combinação entre alta densidade populacional, baixa cobertura de saneamento e ocupação de áreas naturalmente suscetíveis ao acúmulo de água. Esses setores apresentam moradias frequentemente inseridas em planícies de inundação, onde o lençol freático é raso e o relevo pouco favorece o escoamento.

Outra área de destaque é a porção leste da área urbana de Pilar, onde o modelo indicou vulnerabilidade alta a muito alta. De acordo com o IBGE (2023b), apenas cerca de 34% dos domicílios do município possuem esgotamento sanitário adequado, indicando fragilidade na infraestrutura urbana básica. Embora a proximidade com o entroncamento das rodovias federais BR-316 e BR-104 favoreça o acesso e a mobilidade, a baixa cobertura de saneamento, associada à ocupação de áreas planas próximas a corpos hídricos, contribui para a elevação do grau de risco à inundação.

4.2.2 Mapa de vulnerabilidade a inundações

A Figura 26 apresenta o mapa de vulnerabilidade à inundação, classificado em quatro níveis: baixa, média, alta e muito alta, bem como gráfico de frequência e tabela com porcentagens e áreas.

Figura 26 – Mapa de Vulnerabilidade a Inundações.



Fonte: elaboração da autora (2025).

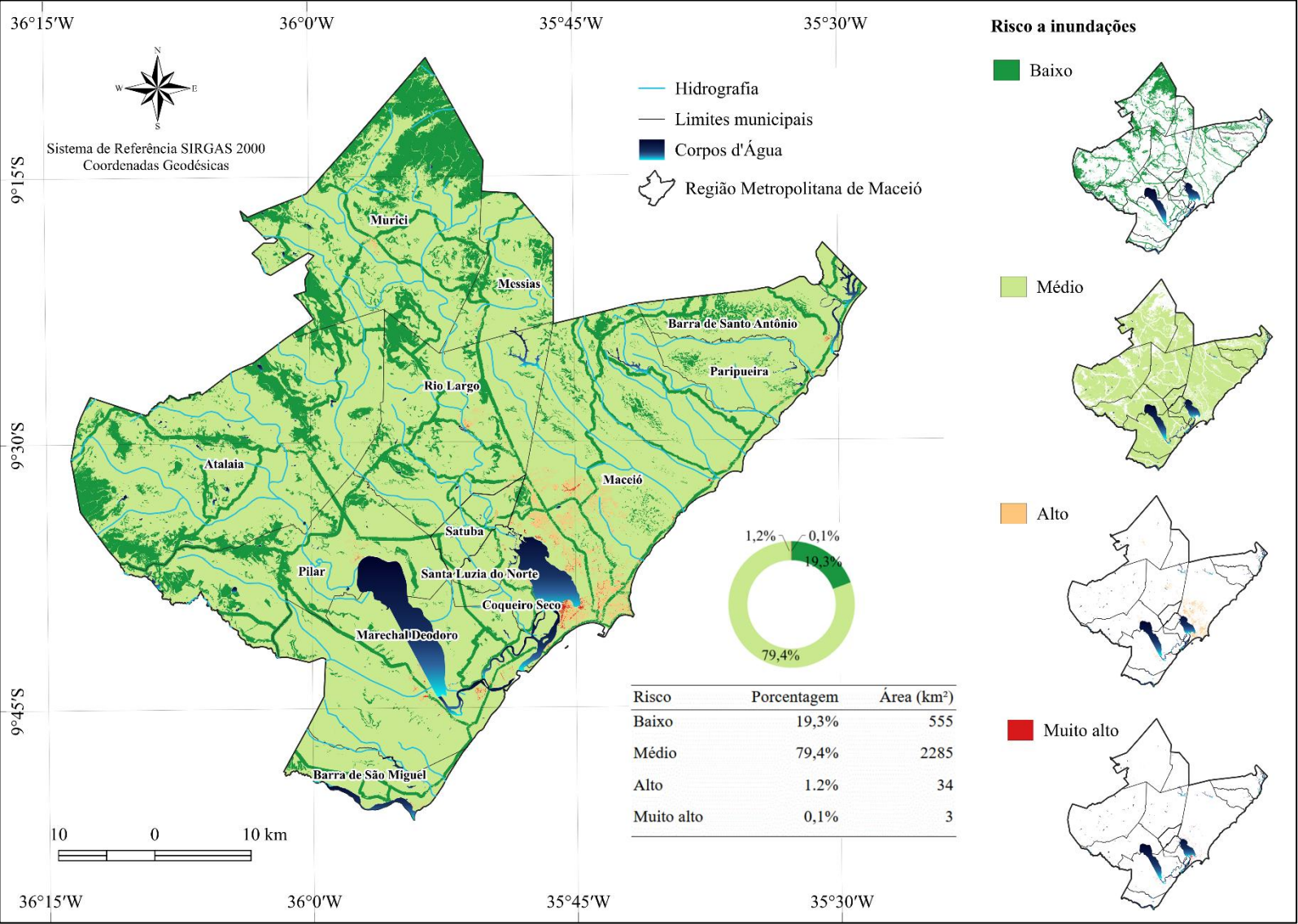
Os resultados mostram que a maior parte da RMM (99,2%) apresenta baixa vulnerabilidade à inundação, enquanto apenas 0,8% (21 km²) do território aparece nas classes média, alta ou muito alta. Isso acontece porque a vulnerabilidade foi analisada principalmente onde há ocupação urbana, que corresponde a apenas uma pequena parcela da área total da região. Nas áreas rurais ou pouco povoadas, onde há poucas casas e infraestrutura, o risco de prejuízos humanos e materiais é naturalmente menor, por esse motivo elas aparecem como baixa vulnerabilidade.

Por outro lado, as áreas classificadas como mais vulneráveis se concentram onde existe maior densidade de domicílios e proximidade com corpos d'água, especialmente no entorno da Laguna Mundaú. Nessas regiões, a combinação de muitas moradias, pouca infraestrutura urbana e localização em áreas baixas aumenta o impacto potencial das inundações. Além disso, essas áreas geralmente concentram populações com menor renda e menor acesso a serviços básicos, o que significa que, quando ocorrem enchentes, os danos tendem a ser maiores e a recuperação, mais lenta (Nascimento, 2019).

4.3 Risco

A Figura 27 apresenta o mapa de risco à inundação da Região Metropolitana de Maceió (RMM).

Figura 27 – Mapa de risco à inundação da Região Metropolitana de Maceió.



Fonte: elaboração da autora (2025).

As áreas de alto e muito alto risco totalizaram menos de 1,5% da RMM, abrangendo 37 km². As áreas classificadas como baixo risco concentram-se principalmente em regiões com cobertura florestal ou com baixa densidade de ocupação urbana.

Ao sobrepor a mancha urbana da RMM ao mapa de risco, identificou-se que aproximadamente 34 km² da área urbanizada encontram-se classificadas como alto ou muito alto risco de inundação. Em seguida, calculou-se a proporção da área urbana de cada município que se insere em cada classe de risco, permitindo comparar o grau de exposição relativa entre eles. Os resultados dessa avaliação estão apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 – Porcentagem de área urbana inserida em cada grau de risco, em ordem decrescente de grau de risco alto, por município da RMM.

Município	Grau de risco			
	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
Maceió	12%	62%	25%	2%
Satuba	15%	59%	24%	2%
Murici	21%	61%	17%	1%
Coqueiro Seco	26%	58%	15%	1%
Barra de Santo Antônio	13%	70%	14%	3%
Santa Luzia do Norte	24%	59%	14%	4%
Pilar	20%	69%	10%	1%
Rio Largo	16%	74%	10%	0%
Messias	27%	64%	9%	0%
Marechal Deodoro	14%	76%	8%	1%
Atalaia	26%	67%	7%	0%
Paripueira	20%	75%	6%	0%
Barra de São Miguel	17%	77%	5%	0%

Fonte: elaboração da autora (2025).

Verificou-se que os municípios com maiores proporções de área urbana classificadas como de alto e muito alto risco à inundação foram, respectivamente: Maceió (28 km²) Satuba (0,9 km²) e Murici (0,62 km²). Diante desse resultado, foi realizada uma análise mais detalhada dos três municípios mais afetados, a fim de compreender a dinâmica do risco nesses locais.

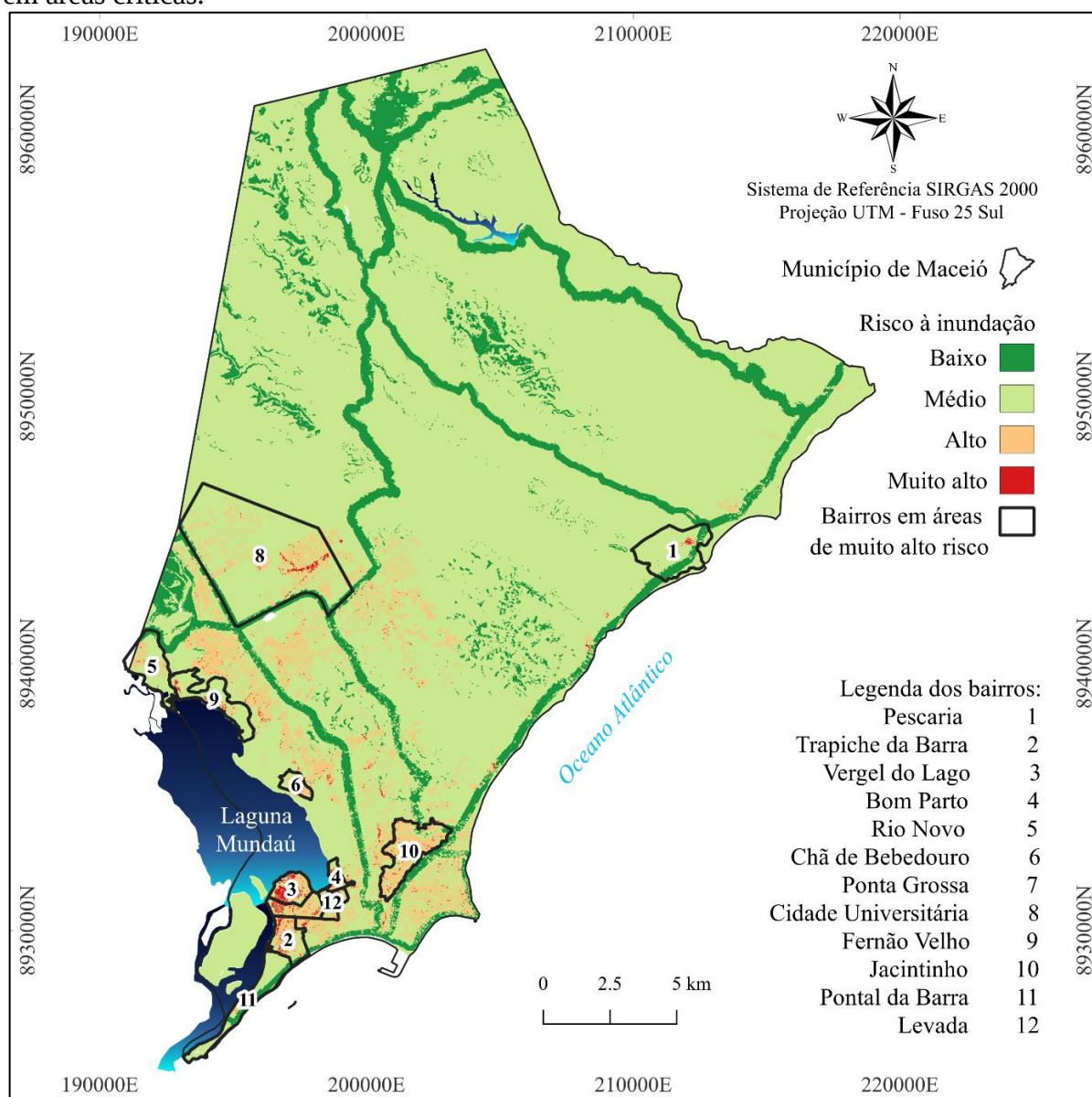
4.3.1 Análise dos municípios com maior proporção de áreas urbanas em risco elevado à Inundação

Esta subseção discute os municípios identificados com maior proporção de áreas urbanas em risco elevado de inundação.

4.3.1.1 Maceió

A Figura 28 mostra a situação do município de Maceió em relação ao risco de inundação, destacando os bairros que possuem áreas de muito alto risco de inundação. No total, 12 bairros de Maceió possuem áreas com muito alto risco consolidado à inundação, conforme apresentados no mapa da Figura 35. Os resultados obtidos neste estudo se mostram correspondentes com os padrões descritos por Conceição (2024), em que os bairros identificados como de muito alto risco à inundação, como Vergel do Lago, Bom Parto, Levada, Trapiche da Barra, Pontal da Barra, Fernão Velho, Jacintinho e partes de Chã de Bebedouro e Cidade Universitária, situam-se predominantemente em planícies de inundação e margens da Laguna Mundaú, onde o nível freático é raso e a drenagem natural é limitada. Nessas áreas, a expansão urbana ocorreu sobre terrenos originalmente alagadiços, reproduzindo as condições apontadas por Conceição (2024) como determinantes para a muito alta suscetibilidade, caracterizada por forte ocupação edificada em zonas estruturalmente vulneráveis.

Figura 28 – Mapeamento de risco de inundação em Maceió com destaque para bairros situados em áreas críticas.



Fonte: elaboração da autora (2025).

O trabalho de Conceição (2024) também mapeou áreas suscetíveis a alagamentos e destacou bairros como Benedito Bentes e Guaxuma como zonas críticas. Neste estudo, esses mesmos bairros também apresentaram alto risco de inundação, indicando que ambos os resultados apontam para as mesmas áreas vulneráveis. Embora inundação e alagamento tenham origens distintas, o efeito final é semelhante: o acúmulo de água em áreas ocupadas, provocando dificuldades de circulação, danos materiais e interrupção de serviços essenciais.

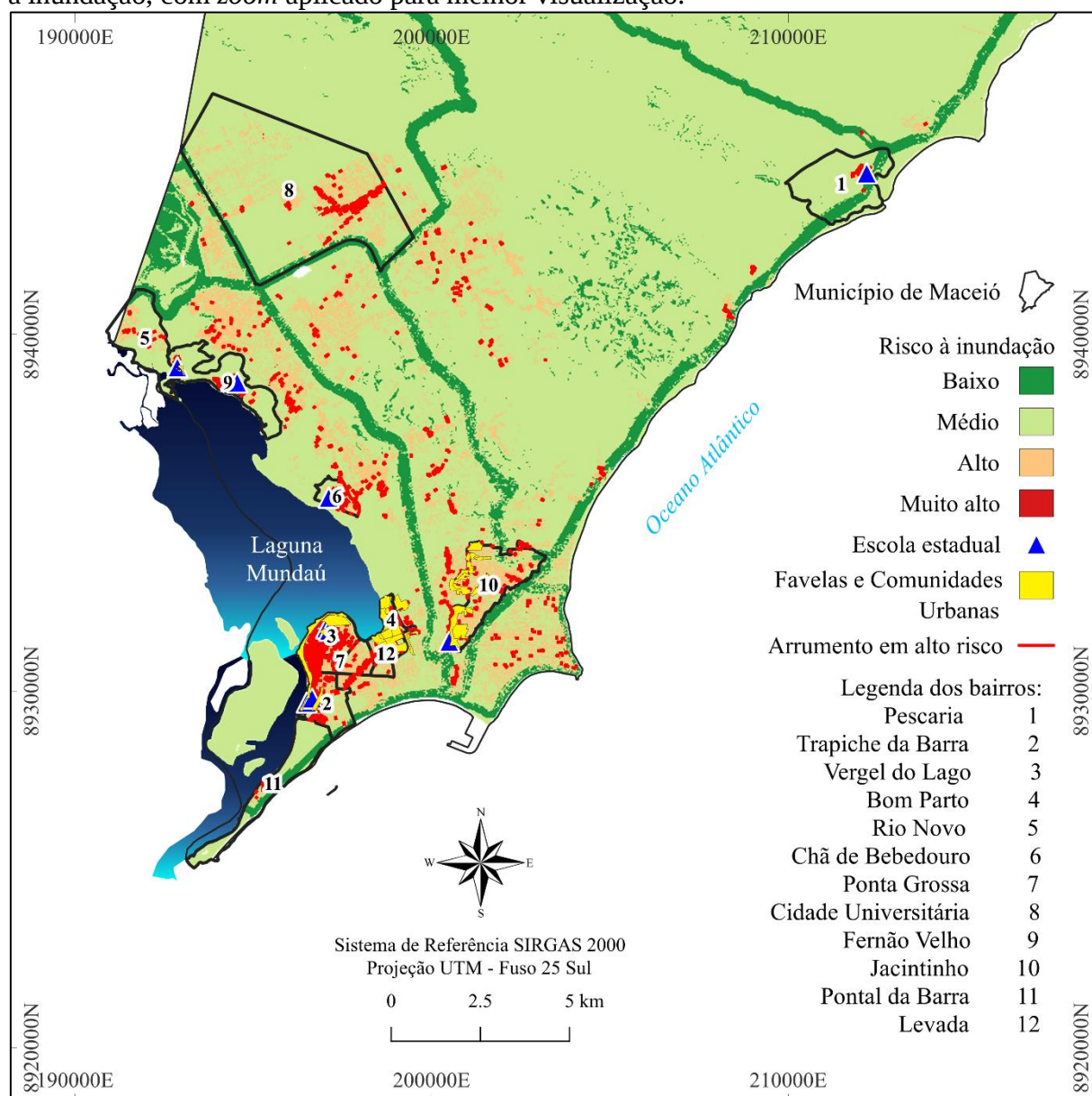
Áreas de alto risco à inundação também foram identificadas nos bairros Benedito Bentes e Cidade Universitária. Embora nesses locais não haja rios expressivos, a alta concentração populacional, a ocupação de áreas rebaixadas e a presença de infraestrutura de

drenagem limitada contribuem para elevar a vulnerabilidade humana. Nesses bairros existem bacias de retenção urbana, projetadas para armazenar temporariamente o escoamento superficial durante eventos de chuva, e reservatórios industriais. Entretanto, caso a capacidade dessas bacias seja excedida ou seu funcionamento seja comprometido, pode ocorrer transbordamento, elevando significativamente o perigo de alagamento, justificando o alto risco encontrado nestes bairros.

Estimou-se que aproximadamente 26 mil domicílios de Maceió estão localizados em áreas de muito alto risco à inundação, o que corresponde a cerca de 8% de todas as unidades habitacionais do município (IBGE, s.d.). Segundo o Atlas Digital de Desastres (2025), na última década houve quase 14 mil diretamente afetados por alagamentos na cidade de Maceió, com danos materiais que superaram os R\$ 120 milhões.

Além disso, foram identificados cerca de 65 km de vias urbanas localizadas em áreas de muito alto risco, o que indica a possibilidade de interrupção da mobilidade e de serviços essenciais durante eventos extremos. Nessas mesmas áreas, observou-se também a presença de 32 favelas e comunidades urbanas (IBGE, 2024b) e nove escolas estaduais (SEPLAG, 2023). Essas informações são exibidas na Figura 29.

Figura 29 – Favelas, escolas estaduais e vias urbanas localizadas em áreas de muito alto risco à inundação, com zoom aplicado para melhor visualização.



Fonte: elaboração da autora (2025).

A presença de escolas nas áreas analisadas merece atenção especial, uma vez que essas instituições costumam ser utilizadas como abrigos e pontos de apoio emergencial em situações de crise. O fato de vias principais, áreas densamente povoadas e equipamentos públicos estarem localizados em zonas de muito alto risco reforça a necessidade de planejamento prévio e de ações rápidas de resposta.

A maioria das favelas e aglomerados em alto risco se encontram nos bairros do Jacintinho, Levada e Vergel do Lago. O estudo de Nascimento (2019) destaca que grande parte das favelas e comunidades urbanas da RMM se encontra justamente em áreas suscetíveis a enchentes, inundações e deslizamentos, como encostas e várzeas, onde há habitações precárias

e infraestrutura insuficiente. Nessas áreas, a população se encontra socialmente fragilizada, o que aumenta o impacto e reduz a capacidade de resposta diante de desastres.

O bairro do Jacintinho concentra diversas favelas e comunidades, a maioria sob alto risco de inundação. O bairro é limitado do lado oeste pelo Riacho do Reginaldo, onde as favelas se dispõem em grotas, como mostrado na Figura 30. Santos (2023) conceitua as grotas como depressão natural em forma de ferradura, com paredes inclinadas e presença de nascente, de onde geralmente surge um curso d'água permanente ou temporário. Por isso, são áreas naturalmente úmidas, onde o solo tende a estar saturado, concentrando o fluxo das águas pluviais e aumentando o risco de alagamentos e enxurradas.

Figura 30 – Favelas e comunidades urbanas (delimitadas em preto) no bairro do Jacintinho, sob alto risco de inundação, em perspectiva, ocupando uma região de grotas.



Fonte: adaptado de Google Earth, 2025.

A grotas funciona como uma microbacia natural de drenagem, e sua ocupação causa o bloqueio do escoamento, resultando em alagamentos frequentes nas áreas mais baixas. Santos (2023) acrescenta ainda que a relação entre grotas e riscos geológicos é amplamente reconhecida por profissionais da área, sobretudo em contextos urbanos, e que por este motivo a persistência da ocupação dessas áreas exige uma postura mais firme do setor técnico, defendendo a proibição de construções nessas zonas de alta suscetibilidade.

O Vergel do Lago também se destaca pela alta densidade de vias urbanas em alto risco de inundação. A presença de vias urbanas em áreas de alto e muito alto risco intensifica

os impactos das inundações. Conforme apontam a CPRM (2014) e Ramos (2021), estradas próximas a corpos d'água podem funcionar como barreiras ao escoamento, favorecendo o acúmulo de água e prolongando alagamentos. Além disso, muitas dessas vias são rotas essenciais para serviços públicos e circulação cotidiana; quando interrompidas, dificultam evacuação, resgate e acesso a equipamentos como escolas e unidades de saúde (Conceição, 2024).

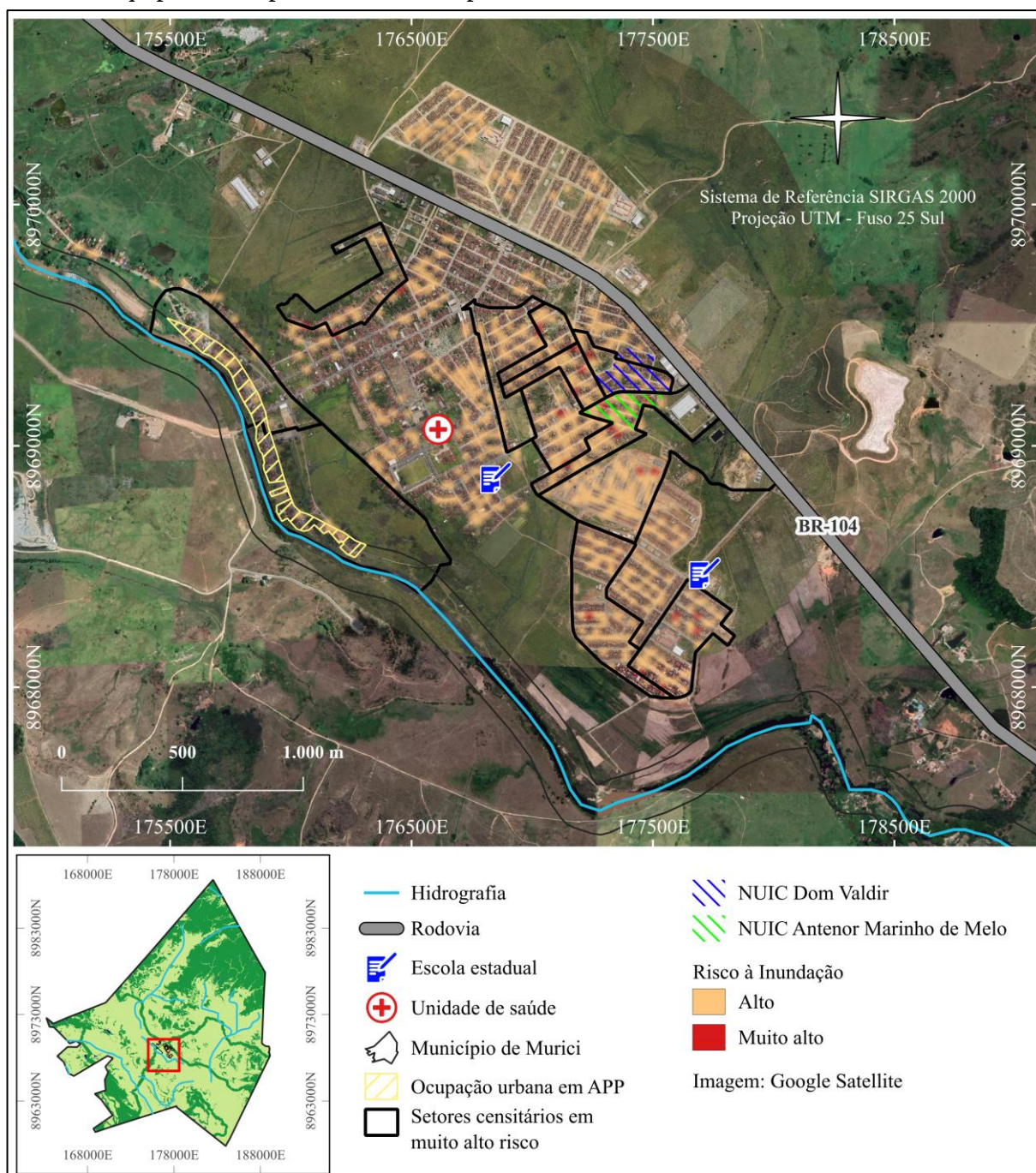
Apesar do alto risco apontado, é sabida a existência de um dique às margens da Laguna Mundaú que protege os bairros do Vergel do Lago e Trapiche da Barra, reduzindo significativamente a probabilidade de inundações. Entretanto, tal estrutura não foi considerada no modelo. Isso demonstra que o AHP, baseado apenas em fatores condicionantes, pode não refletir plenamente a realidade quando medidas de proteção alteram o comportamento natural do escoamento.

No mais, os resultados são corroborados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2017), que já haviam identificado 26 setores por eles definidos como sendo de risco alto e muito alto em Maceió, relacionados à expansão urbana desordenada sobre os tabuleiros e planícies de inundação. Assim como observado no presente estudo, as ocupações precárias situadas nas grotas e margens de drenagens concentram a maior parte da vulnerabilidade, indicativo de ausência de infraestrutura de drenagem e do avanço urbano sem controle técnico. A CPRM recomendou diversas medidas de intervenção, como a remoção temporária ou definitiva de moradores em áreas de risco, a adequação e manutenção dos sistemas de drenagem e esgoto e a intensificação da fiscalização para coibir novas ocupações irregulares. Também foi sugerida a realização de estudos geotécnicos e hidrológicos para embasar obras preventivas, a implantação de sistemas de alerta e a promoção de programas de educação ambiental e conscientização comunitária.

4.3.1.2 Murici

A Figura 31 apresenta a configuração do risco de inundação no município de Murici, destacando a área urbanizada e assentamentos precários (NUIC) localizados em áreas classificadas como de muito alto risco. Também foram espacializadas escolas estaduais e unidades de saúde presentes no município, a hidrografia e estrutura rodoviária.

Figura 31 – Espacialização do risco à inundação no município de Murici, com enfoque aos setores e equipamentos públicos afetados por risco alto e muito alto.



Fonte: elaboração da autora (2025).

Verifica-se uma extensa área de alto a muito alto risco a inundações na área urbana do município de Murici, concentrada na porção centro sudeste. Ramos (2021) atestou esse fato em seu trabalho e destacou o fato da porção leste, que foi destinada para a construção de novas casas após a cheia de 2010, ser a mais atingida pela vulnerabilidade e possui maior densidade de ocupação urbana.

No total, 12 setores censitários de Murici possuem áreas com muito alto risco consolidado à inundação. Conforme dados do Censo 2022 (IBGE, 2025), os setores somam mais de 10 mil habitantes. O município já registrou mais de 3 mil pessoas diretamente afetadas pelas inundações na última década, somando mais de R\$ 37 milhões em danos materiais e causando quase R\$ 17 milhões em prejuízo público (Brasil, 2025).

O Serviço Geológico do Brasil – SGB (CPRM, 2012) já havia identificado o alto risco no município. O relatório técnico evidenciou que a ocupação desordenada e irregular da planície aluvionar do Rio Mundaú e seus afluentes tem sido um dos principais fatores responsáveis pelos altos níveis de risco de inundação. As visitas técnicas constataram que as moradias situadas próximas ao leito do rio e em áreas de planície sofrem recorrentes prejuízos devido à falta de controle e planejamento urbano, configurando um processo histórico de expansão sem critérios ambientais ou de segurança.

O SGB recomendou a criação de um reservatório a montante do Rio Mundaú para atenuar a força das cheias e reduzir os impactos sobre a população local, além da remoção de famílias em situação de emergência e da proibição de novas ocupações na planície de inundação. Também são sugeridas obras e estudos hidrológicos detalhados, conduzidos por profissionais capacitados, para o correto dimensionamento das intervenções.

Em Murici, observa-se que as duas escolas estaduais do município estão localizadas em áreas classificadas como de alto risco à inundação. Além disso, diversas ruas e vias urbanas também se inserem nessa mesma faixa de risco, onde episódios anteriores de inundação interromperam o tráfego e reduziram significativamente as rotas de fuga e o acesso a serviços essenciais.

Outro ponto crítico é a localização da unidade de atendimento do SAMU, mapeada como unidade de saúde, situada diretamente na planície de inundação. Essa condição compromete o tempo de resposta em situações de emergência, uma vez que a própria infraestrutura pode tornar-se inacessível ou danificada durante o desastre, justamente quando a demanda por atendimento é mais elevada. Como enfatiza a Defesa Civil Nacional (BRASIL, 2017), a presença de serviços essenciais dentro de áreas suscetíveis amplia o grau de vulnerabilidade, pois compromete a capacidade institucional de resposta e resgate.

A gravidade desse cenário fica evidente quando se observam os impactos recentes: nos últimos dez anos, as inundações em Murici deixaram mais de 320 pessoas feridas (Brasil, 2025). Esses números evidenciam a gravidade do cenário e reforçam a necessidade de reconhecer a vulnerabilidade dessas estruturas e de planejar e fortalecer rotas de fuga e estratégias de evacuação mais eficientes.

Também foi identificada a presença de ocupação urbana dentro de Áreas de Preservação Permanente (APPs) em Murici, com aproximadamente 450 imóveis, o que confirma as evidências observadas na análise cruzada entre as classes de uso e cobertura do solo e as classes de suscetibilidade ambiental. Conforme estabelece o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), as APPs são “áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (Brasil, 2012). Ramos (2021) também verificou esta situação em Murici, apontando que a expansão urbana desordenada e o uso agropecuário avançaram sobre essas áreas legalmente protegidas, resultando na supressão da vegetação ciliar e aumentando a vulnerabilidade dos mananciais à erosão e ao assoreamento.

Paes (2022) reforça que a ocupação nessas áreas cresceu de forma rápida e sem planejamento, gerando danos significativos e possivelmente irreversíveis aos recursos hídricos e ambientais. Entre as consequências observadas estão a degradação da qualidade da água utilizada no abastecimento, o aumento do assoreamento dos cursos d’água e a intensificação da ocorrência de eventos hidrológicos extremos, como inundações e enxurradas. A ocorrência de chuvas intensas em um intervalo de tempo reduzido pode elevar rapidamente a vazão dos cursos d’água, levando ao transbordamento e à inundação das áreas de planície, onde reside parte da população (Ramos, 2021).

Não existindo delimitação de favelas e comunidades urbanas pelo IBGE em Murici, verificou-se que dois dos setores censitários sob alto risco de inundação se configuram como assentamento precário. Tratam-se dos Núcleos Urbanos Informais Consolidados (NUIC) Dom Valdir e Antenor Marinho (Figura 37), assim definidos por Ciríaco *et al.* (2025).

A Lei Federal nº 13.465/2017 define os NUIC como “núcleo clandestino, irregular ou no qual não foi possível realizar, por qualquer modo, a titulação de seus ocupantes” (Brasil, 2017). Ciríaco *et al.* (2025) visitaram essas áreas e as identificou como regiões com alta concentração de moradias informais e vulnerabilidade social, situadas em região periférica e com acesso limitado a infraestrutura urbana.

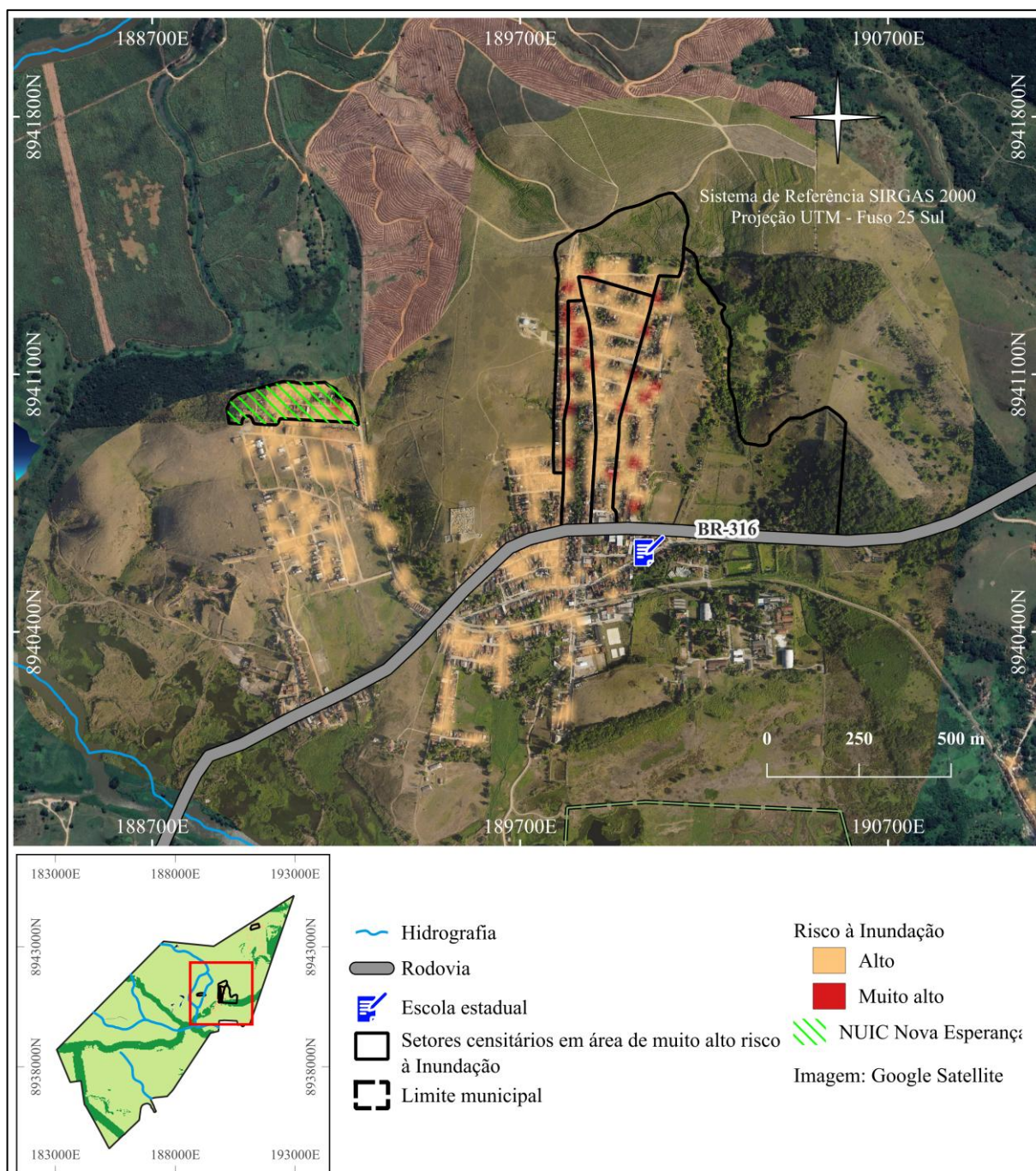
É importante a identificação de áreas irregulares sob risco, uma vez que a Lei nº 13.465/2017 impede a regularização fundiária de imóveis localizados em zonas de risco de inundação (Brasil, 2017). Conforme Ferreira Filho & Sousa Filho (2022), embora existam restrições legais à ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis, a legislação não torna essa ocupação impossível, permitindo exceções mediante justificativas técnicas e medidas

mitigatórias. Essas justificativas reforçam a importância de modelos de risco como o proposto neste estudo, que possibilitam a identificação e a quantificação das áreas suscetíveis

4.3.1.3 Satuba

A Figura 32 apresenta a configuração do risco de inundação no município de Satuba, evidenciando a área urbanizada, os setores censitários e os assentamentos precários (NUIC) inseridos em zonas classificadas como de muito alto risco. Estão também representadas as escolas estaduais e unidades de saúde existentes no município, além da rede hidrográfica e das principais vias urbanas.

Figura 32 – Espacialização do risco à inundação no município de Satuba, com enfoque aos setores e infraestrutura urbana afetados por risco alto e muito alto.



Fonte: elaboração da autora (2025).

Observa-se uma ampla faixa de alto a muito alto risco de inundação na área urbanizada de Satuba, especialmente concentrada na porção centro-norte do município. Esse padrão é coerente com Lima (2017), que identificou a presença de risco natural e social associado às margens do território municipal. A escola estadual do município, embora situada em área potencialmente vulnerável, não se encontra inserida diretamente nas zonas de maior risco.

Ao todo, cinco setores censitários de Satuba apresentam trechos classificados como de muito alto risco à inundação, os quais abrigam mais de 1.300 moradores, conforme dados do Censo 2022 (IBGE, 2025). O Serviço Geológico do Brasil (Melo & Souza, 2013) classificou as áreas que margeiam o rio como de alto risco de inundação, estimando que, à época, cerca de 400 imóveis estivessem expostos a essa condição. Entretanto, o modelo apontou maior risco às áreas mais distantes do rio, o que pode ser associado à baixa altitude das áreas e à alta vulnerabilidade devida ao alto adensamento urbano na região, fator este que recebeu o maior peso na metodologia AHP. A pluviosidade média mensal no período chuvoso da área recebeu nota máxima de suscetibilidade, porém, devido à baixa frequência de inundações no município, esse critério pode ter extrapolado a suscetibilidade e, conseqüentemente, o risco.

Como visto no item 3.1, Satuba possui 78% de cobertura de esgotamento. O bom atendimento por rede de esgoto pode contribuir para que essas áreas inundem com menor frequência, atenuando os efeitos das chuvas e explicando a discrepância entre o risco modelado e a ocorrência real de eventos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou um modelo para identificar áreas e populações vulneráveis a inundações na Região Metropolitana de Maceió (RMM). A aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP), incorporando variáveis amplamente consolidadas na literatura, apresentou excelente desempenho ($AUC = 0,8257$), comprovando a eficácia do método. A comparação com estudos e relatórios anteriores evidenciou a coerência e consistência dos resultados.

Mesmo utilizando dados gratuitos e de resolução moderada, a metodologia mostrou-se eficiente para identificar áreas de risco em diferentes contextos regionais. As zonas mais propensas às inundações concentram-se nas planícies próximas aos rios e lagoas do sistema Mundaú–Manguaba, onde o relevo plano, os solos pouco permeáveis e as chuvas intensas favorecem o acúmulo de água. O uso inadequado do solo, com impermeabilização e supressão da vegetação, agrava ainda mais essa suscetibilidade. Considerou-se alcançados então os objetivos propostos no início desse trabalho.

O mapa final indicou que cerca de 1,3% da RMM (37 km²) apresenta risco alto ou muito alto, sobretudo em áreas urbanas densamente ocupadas. Maceió, Satuba e Murici concentram as maiores proporções de áreas críticas. Nessas zonas, a vulnerabilidade é intensificada pela presença de assentamentos informais e infraestrutura precária. Bairros como Vergel do Lago, Levada e Bom Parto (Maceió), a planície do Rio Mundaú (Murici) e a região centro-norte (Satuba) estão entre os mais afetados.

A sobreposição entre moradias, vias urbanas e equipamentos públicos em áreas de risco agrava o cenário. Em Maceió, 32 comunidades, 9 escolas estaduais e 65 km de ruas estão inseridos em zonas de muito alto risco; em Murici, escolas e uma base do SAMU também se encontram em áreas suscetíveis. Estima-se que mais de 60 mil pessoas possam ser impactadas por desastres na RMM.

Os resultados reforçam que o risco de inundação está diretamente relacionado à desigualdade socioespacial. Assim como apontam Nascimento (2019) e Silva & Barbosa (2018), as áreas de maior risco correspondem a territórios com ocupações precárias e carência de saneamento, demonstrando que o perigo natural se torna desastre quando associado à vulnerabilidade social. A persistência das mesmas áreas críticas já mapeadas pela CPRM (2014) evidencia a falta de políticas efetivas de drenagem, saneamento e reassentamento.

Percebe-se ainda um movimento de legalização de ocupações em áreas vulneráveis, acompanhado por limitada compreensão dos riscos e dificuldade de mensuração de seus impactos. Esse quadro reforça a urgência de políticas públicas que combinem planejamento

territorial, reassentamento planejado e fortalecimento da capacidade de resposta das comunidades e do poder público.

O método AHP demonstrou a importância dos estudos multicritério na análise de risco, ao possibilitar a integração de variáveis morfométricas, hidrológicas e de uso do solo em uma abordagem conjunta e mais fiel à realidade. Os resultados evidenciaram que a análise isolada de uma única variável não é capaz de representar plenamente o fenômeno, uma vez que essas variáveis se inter-relacionam e se complementam na definição das áreas mais suscetíveis às inundações.

No entanto, embora o método AHP tenha se mostrado eficaz na integração de variáveis físicas e antrópicas, algumas limitações influenciaram a representação do risco no município de Satuba e em alguns bairros do município de Maceió. O modelo classificou como de alto risco áreas com baixa ocorrência histórica de inundações, bem como áreas dotadas de estruturas de contenção contra a inundação, em grande parte devido ao peso atribuído ao adensamento urbano e possivelmente à pluviosidade média mensal, que podem ter superestimado a suscetibilidade local. Esse fato indica a necessidade de incorporar elementos de proteção e histórico de eventos em modelos futuros para aprimorar sua representatividade. Sugere-se em trabalhos futuros considerar pluviosidade média mensal do mês que registrou mais chuva em cada ano, para conferir melhor representatividade espacial. É também sugerida uma revisão do peso conferido à vulnerabilidade na equação do risco.

Para aprimorar os resultados de validação, recomenda-se que estudos futuros incorporem dados de melhor resolução espacial, como Modelos Digitais de Terreno (MDTs) obtidos por RPA, de modo a reduzir as incertezas topográficas e aprimorar a representação do relevo. Sugere-se também visitas de campo para confirmar os resultados.

É fundamental que os municípios invistam na geração de produtos cartográficos de alta precisão e análises de solo, para subsidiar a elaboração de cartas de risco mais representativas e detalhadas das áreas urbanas, assegurando a conformidade com as diretrizes da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, conforme estabelecido em lei.

Por fim, para trabalhos futuros, propõe-se comparar o método AHP com outras abordagens consolidadas, como o HEC-RAS e o HAND, utilizando dados de campo, a fim de avaliar suas potencialidades e aprimorar o mapeamento de risco de inundação na RMM e em outras regiões.

REFERÊNCIAS

- ABISHEK, Richard S.; RAVINDRAN, Antony. **Application of the analytical hierarchy process (AHP) for flood susceptibility mapping using GIS techniques in Thamirabarani river basin, Srivaikundam region, Southern India.** *Natural Hazards*, [S.l.], maio 2023. DOI: 10.1007/s11069-023-06037-3.
- ABRÃO, Cleiton M. Rodrigues; GARCÍA-RIVERO, Alberto E.; ACOSTA, Jorge Olivera; CHÁVEZ, Eduardo Salinas; BEREZUK, André. **Suscetibilidade de inundação / Susceptibility of flooding at the Iguatemi River Planning and Management Unit, Mato Grosso do Sul, Brazil.** *Revista Geográfica Venezolana*, M rida, v. 62, n. 1, p. 60–75, jan./jun. 2021.
- ADLYANSAH, A. L. et al. **Analysis of flood hazard zones using overlay method with Figured-based scoring based on Geographic Information Systems: case study in Parepare City, South Sulawesi Province.** *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Bristol, v. 280, p. 012003, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/280/1/012003>.
- AJTAI, Iulia;  TEFANIE, Hora iu; MALO , Cristian; BOTEZAN, Camelia; RADOVICI, Andrei; BIZAU-C R TEA, Maria; BACIU, Calin. **Mapping social vulnerability to floods: a comprehensive framework using a vulnerability index approach and PCA analysis.** *Ecological Indicators*, [S.l.], v. 154, p. 110838, out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110838>.
- AMARAL, Rosangela do; GUTJAHR, Mirian Ramos. **Desastres naturais**. 3. ed. rev. São Paulo: Instituto Geológico/Secretaria do Meio Ambiente (IG/SMA), 2015. 100 p. (Série Cadernos de Educação Ambiental, n. 8).
- AMORIM NETO. **Chuva provoca prejuízos em AL e deixa 27 cidades em emergência: cinco pessoas morreram e os bombeiros procuram por três desaparecidos, entre elas um beb  de sete meses.** *G1 – Jornal Hoje*, 30 maio 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2017/05/chuva-provoca-prejuizos-em-al-e-deixa-27-cidades-em-estado-de-emergencia.html>. Acesso em: 27 out. 2025.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas de Vulnerabilidade a Inundações**. Brasília: ANA, 2014.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Base Hidrográfica Ortocodificada – Rios**. Brasília: ANA, 2012. Escala 1:1.000.000. Dados vetoriais (formato shapefile). Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork>. Acesso em: 31 out. 2025.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Hidroweb: séries históricas**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília: ANA, 2005. (Cadernos de Recursos Hídricos, 1).

BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de hidrologia aplicada**. Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia Civil. Ouro Preto, 2014. 241 p.

BARBOSA, Tamires Silva. **Geomorfologia urbana e mapeamento geomorfológico do município de João Pessoa – PB, Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

BARROS, Alexandre Hugo Cezar et al. **Climatologia do Estado de Alagoas**. Recife: Embrapa Solos, 2012. 32 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2011).

BARROS, Alexandre Hugo Cezar; ARAÚJO FILHO, José Coelho de; SILVA, Ademar Barros da; SANTIAGO, Gabriela Ayane C. F. **Climatologia do Estado de Alagoas**. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, dez. 2012.

BBC NEWS BRASIL. **Enchentes em Alagoas e Pernambuco matam mais de 40**. *BBC News Brasil*, 22 jun. 2010. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2010/06/100622_chuvasnordesteebc. Acesso em: 27 out. 2025.

BECK, H. E. et al. **Mapas Köppen-Geiger de alta resolução (1 km) para 1901–2099 com base em projeções CMIP6 restritas**. *Dados Científicos*, v. 10, n. 724, 2023. DOI: 10.1038/s41597-023-02549-6.

BISPO, Carlos de Oliveira; LISTO, Fabrizio de Luiz Rosito; FALCÃO, Nivaneide Alves de Melo; LISTO, Danielle Gomes da Silva. **Previsão de escorregamentos no município de Maceió (AL) a partir do modelo AHP**. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, São Paulo, v. 39, p. 88-100, 2020. DOI: 10.11606/rdg.v39i0.161388.

BRAGA, Salatiel Ewen; WANDERLEY, Ricardo Andrade; HOLANDA, Tiago Fernando de; CALDAS, Anildo Monteiro. **Aplicação da Análise Hierárquica para mapeamento de risco de inundação: o caso no município de Limoeiro (Pernambuco - Brasil)**. *Meio Ambiente (Brasil)*, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 57–66, 2020.

BRASIL. **Lei nº 13.465, de 11 de julho de 2017**. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 8 set. 2017.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**. Brasília: MIDR, 2025.

BRASIL. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Maceió – Alagoas**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2017. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18403>. Acesso em: 7 nov. 2025.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (orgs.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CAMPOS, Ana Flávia Silva. **Simulação no software HEC-RAS da mancha de inundação do rio Itabirito na cidade de Itabirito – MG para diferentes períodos de retorno.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

CAMPOS, Sofia Julia Alves Macedo; STEFANI, Fausto Luis; PAULON, Nivaldo; FACCINI, Luiz Gustavo; BITAR, Omar Yazbek. **Mapeamento de áreas sujeitas à inundação para planejamento e gestão territorial: cartas de suscetibilidade, perigo e risco.** *Revista do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT*, São Paulo, 2020.

CAPRARIO, Jakcemara; FINOTTI, Alexandra et al. **Hierarchical Analytical Process (AHP) in spatial modeling of flood vulnerability in mixed environments.** *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, Rio de Janeiro, v. 42, n. 4, p. 172–181, dez. 2019. DOI: https://doi.org/10.11137/2019_4_172_181.

CERRI, Leandro Eugênio da Silva; AMARAL, Cláudio Palmeiro do. **Riscos geológicos.** In: OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Nertan Alves de (orgs.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. cap. 18.

CHAUDHARY, Pandav; CHHETRI, Sachin Kumar; JOSHI, Kiran Man; SHRESTHA, Basanta Man; KAYASTHA, Prabin. **Application of an Analytic Hierarchy Process (AHP) in the GIS interface for suitable fire site selection: A case study from Kathmandu Metropolitan City, Nepal.** *Socio-Economic Planning Sciences*, Kathmandu, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.seps.2015.10.001>.

CIRÍACO, V. D. S. L. et al. **ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DOS MORADORES DE NÚCLEOS URBANOS INFORMAIS QUANTO À REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA: O PERFIL DE ACEITAÇÃO AO TÍTULO DE PROPRIEDADE GRATUITO.** In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA & VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO (I CIRF & VIII SIMGEO), 2025, Recife. *Anais [...]*. Recife, PE, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17162347>.

COELHO, André Luiz Nascentes. **Método de análise hierárquica (AHP) aplicado a inundação urbana após evento de chuva concentrado.** *GeoFocus (Artículos)*, [S.l.], n. 20, p. 183–199, 2017. DOI: 10.21138/GF.565.

CONCEIÇÃO, Daniel Nivaldo da. **Identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações/alagamentos na área urbana de Maceió, Alagoas.** Maceió, 2024.

CONRAD, O.; GRABS, T. **Flow Accumulation (Top-Down).** Terrain Analysis | Hydrology | Flow Accumulation. 2016. Disponível em: https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/2.3.0/ta_hydrology_0.html. Acesso em: 15 out. 2025.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Murici, Alagoas.** Brasília: CPRM, 2012. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18409>. Acesso em: 7 out. 2025.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Paripueira - AL.** Brasília: CPRM, 2014a. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14867>. Acesso em: 06 jun. 2025.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Maceió - AL.** Brasília: CPRM, 2014b. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14864>. Acesso em: 06 jun. 2025.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Marechal Deodoro - AL.** Brasília: CPRM, 2014c. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14866>. Acesso em: 06 jun. 2025.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Murici - AL.** Brasília: CPRM, 2014d. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14865>. Acesso em: 06 jun. 2025.

CUTTER, Susan L.; BORUFF, Bryan J.; SHIRLEY, W. Lynn. **Social vulnerability to environmental hazards.** *Social Science Quarterly*, [S.l.], v. 84, n. 2, p. 242–261, jun. 2003.

DANUMAH, J. H. et al. **Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques, (cote d’ivoire).** *Geoenviron Disasters*, v. 3, n. 10, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40677-016-0044-y>.

DAS, Shouvik; HAZRA, Sugata; HAQUE, Anisul; RAHMAN, Munsur; NICHOLLS, Robert J.; GHOSH, Amit; GHOSH, Tuhin; SALEHIN, Mashfiqu; SAFRA DE CAMPOS, Ricardo. **Social vulnerability to environmental hazards in the Ganges-Brahmaputra-Meghna delta, India and Bangladesh.** *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 50, p. 101983, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101983>.

DEFESA CIVIL DE TAIÓ. **Enchentes: diferenças entre enchentes, inundação, alagamentos e enxurrada.** Taió-SC, 2024. Disponível em: <https://defesacivil.taio.sc.gov.br/cuidados-com-as-chuvas/>. Acesso em: 19 out. 2025.

DIAS, Jonas da Silva. **Vulnerabilidade socioambiental e mapeamento de áreas de risco à inundação: uma análise dos possíveis impactos em um período de chuvas no município de Pombal-PB.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB, 2017.

DIENER, Kareenn Cristina Zanela; AGOSTINETTO, Lenita; SIEGLOCK, Ana Emília. **Interação entre densificação urbana, impermeabilização, mudança de solo e risco de inundações.** *Revista de Gestão e Secretariado*, [S.l.], v. 16, n. 6, p. 1–25, 2025. DOI: <https://doi.org/10.7769/ge.sec.v16i6.4953>.

EASTMAN, J. R. Idrisi Kilimanjaro: **Guide to GIS and Image Processing.** Worcester: Clark University, 2003. 328p. Manual.

EDAMO, Muluneh Legesse; BUSHIRA, Kedir; UKUMO, Tigistu Yisihak. **Flood susceptibility mapping in the Bilate catchment, Ethiopia.** *H2Open Journal*, v. 5, n. 4, p. 691, 2022. DOI: 10.2166/h2oj.2022.128.

FALCÃO, Ermano Cavalcante. **Análise de riscos à degradação ambiental utilizando avaliação multicritério espacial, no município de Boa Vista-PB**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2013.

FARIA, Daniela Gírio Marchiori; AUGUSTO FILHO, Oswaldo. **Aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas**. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 23-44, 2013. DOI: 10.5935/0100-929X.20130002.

FARIAS, Ariadne; MENDONÇA, Francisco. **Riscos socioambientais de inundação urbana sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano**. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 34, e63717, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-63717>.

FERNANDES, João Vitor Ferreira; PALHARES, Ricardo Henrique. **Análise multicritério aplicado ao mapeamento de inundações em Montes Claros-Minas Gerais – Brasil / Multicriteria analysis applied to flood mapping in Montes Claros-Minas Gerais – Brazil**. *Revista Tocantinense de Geografia*, Araguaína, v. 13, n. 29, dez. 2024.

FRANCO, Gustavo Barreto; MARQUES, Eduardo Antonio Gomes; CALIJURI, Maria Lucia; GOMES, Ronaldo Lima. **Cartografia geotécnica: estágio atual do conhecimento**. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 11, n. 35, p. 158–172, set. 2010.

G1 AL. **Alagoas registra novos desalojados e desabrigados após fortes chuvas neste domingo**. *G1 AL*, 9 jul. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/al/alagoas/arquivo/noticia/2023/07/09/alagoas-chuvas-desalojados-desabrigados-domingo.ghtml>. Acesso em: 27 out. 2025.

GIGOVIĆ, Ljubomir; PAMUČAR, Dragan; BAIJIĆ, Zoran; DROBNJAK, Siniša. **Application of GIS-Interval Rough AHP Methodology for Flood Hazard Mapping in Urban Areas**. *Water*, Basel, v. 9, n. 6, p. 360, jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9060360>.

GOOGLE EARTH. **Imagem de satélite do bairro Jacintinho, Maceió – AL**. Imagem de satélite Capturada em 2025. Coordenadas: 25 L 200543.34 m E; 8931886.95 m S; elevação: 6 m; altitude do olhar: 519 m. Disponível em: https://www.google.com/maps/@-9.6509,-35.72804,1102m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MTEwNC4xIKXMDSoASAFQAw%3D%3D. Acesso em: 8 nov. 2025.

HAWKER, Laurence et al. **FABDEM (Forest and Buildings removed Copernicus DEM), v. 1-0**. Bristol: University of Bristol, 2021. Disponível em: <https://data.bris.ac.uk/data/dataset/25wfy0f9ukoge2gs7a5mqpq2j7>. Acesso em: 14 jul. 2025.

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. **Statistical methods**. In: *Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey: Book 4 – Hydrologic Analysis and Interpretation*, Chapter A3. Washington, D.C.: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2002. Disponível em: <http://water.usgs.gov/pubs/twri/twri4a3/>. Acesso em: 19 out. 2025.

HOYMAN, J.; GOETZKE, R. **Simulation and evaluation of urban growth for Germany including climate change mitigation and adaptation measures**. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 5, n. 7, art. 7, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi5070101>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **CNEFE - Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/habitacao/38734-cadastro-nacional-de-enderecospara-fins-estatisticos.html?=&t=downloads>. Acesso em: 10 jun. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Downloads | Estatísticas**. 2025. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2022/. Acesso em: 10 jun. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha de Setores Censitários**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html>. Acesso em: 16 set. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas territoriais: malha municipal**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 16 jun. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Favelas e Comunidades Urbanas (Censo 2022)**. Maceió: Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio – SEPLAG/AL (organização), 2024b. (Dados Abertos Alagoas). Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/es/dataset/favelas-e-comunidades-urbanas>. Acesso em: 19 out. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama do Censo 2022**. 2023b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 15 out. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pedologia: levantamento pedológico: vetores: escala 250 mil**. Brasília, 2023a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html>. Acesso em: 16 jun. 2025.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapeamento de áreas de alto e muito alto risco a deslizamentos e inundações do município de Americana, SP**. São Paulo: CETAE/LARA, 2013. (Relatório Técnico n.º 131.412-205).

LICCO, Eduardo Antonio; MAC DOWELL, Silvia Ferreira. **Alagamentos, enchentes, enxurradas e inundações: digressões sobre seus impactos socioeconômicos e governança**. *Iniciação: Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística*, São Paulo, v. 5, n. 3, dez. 2015. Disponível em: https://www1.sp.senac.br/hotsites/blogs/revistainiciacao/wp-content/uploads/2015/12/110_IC_artigo-.pdf. Acesso em: 27 out. 2025.

LIU, Holiday; WANG, Lei. **An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling**.

International Journal of Geographical Information Science, [S.l.], v. 20, n. 2, p. 193–213, fev. 2006. DOI: 10.1080/13658810500433453.

MADEIRO, Carlos. **Chuvas alagam cidade histórica de Marechal Deodoro (AL) e deixam 300 famílias desabrigadas**. *UOL Notícias*, Maceió, 28 maio 2017a. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2017/05/28/chuvas-alagam-cidade-historica-de-marechal-deodoro-al-e-deixam-300-familias-desabrigadas.htm>. Acesso em: 27 out. 2025.

MADEIRO, Carlos. **Maceió decreta calamidade pública após chuvas deixarem 4 mortos**. *UOL Notícias*, Maceió, 27 maio 2017b. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2017/05/27/maceio-decreta-calamidade-publica-apos-chuvas-deixarem-4-mortos.htm>. Acesso em: 27 out. 2025.

MAIA, Erik; BATISTA, Roberta. **Chuvas provocam alagamentos e deslizamento em Maceió**. *G1 AL*, Alagoas, 10 jul. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/al/alagoas/arquivo/noticia/2022/07/10/alagoas-tem-maior-enchente-da-historia-recente-do-estado-pior-que-a-de-2010.ghtml>. Acesso em: 27 out. 2025.

MANTOVANI, J. R.; BACANI, V. M. **Uma proposta metodológica de mapeamento de áreas suscetíveis a inundação e/ ou alagamento na bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS**. *Geosp – Espaço e Tempo (Online)*, v. 22, n. 3, p. 687-706, dez. 2018.

MAPBIOMAS. **Legenda Coleção 9 – Classes / Legend Code**. Plataforma MapBiomias, 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/08/Legenda-Colecao-9-LEGEND-CODE.pdf>. Acesso em: 15 out. 2025.

MAPBIOMAS. **MapBiomias Cobertura e Uso do Solo 30m**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/mapbiomas-cobertura-30m/>. Acesso em: 16 jun. 2025.

MAPBIOMAS. **Método Cobertura e Uso**. 2025b. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/metodo_cobertura_e_uso/. Acesso em: 15 out. 2025.

MAPBIOMAS. **O Projeto**. 2025a. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/>. Acesso em: 15 out. 2025.

MAPBIOMAS. **Plataforma MapBiomias — cobertura e uso da terra**. [s.d.]. Disponível em: https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/coverage/coverage_lclu. Acesso em: 16 out. 2025.

MARTINS, R. D.; FERREIRA, L. C. **Vulnerabilidade, adaptação e risco no contexto das mudanças climáticas**. Mercator - Revista de Geografia da UFC, vol. 11, n. 26, set/dez, 2012, pp. 237-251. OLIVEIRA, P. T. S. de; RODRIGUES, D. B. B.; ALVES SOBRINHO, T.; PANACHUKI, E. “Processo Analítico Hierárquico Aplicado a Vulnerabilidade Natural a Erosão.” *Geociências*, v. 28, n. 4, p. 417-424, São Paulo, UNESP, 2009.

MCKNIGHT, Tom L; HESS, Darrel. **Climate Zones and Types**. In: MCKNIGHT, Tom L; HESS, Darrel. *Physical Geography: A Landscape Appreciation*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.

MELO, Jefferson; SOUZA, Adriana Gomes de. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Satuba, Alagoas.** Brasília: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2013. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18417>. Acesso em: 7 out. 2025.

MIGUEL, Gustavo Dias; BARUFFI, Aline; FERREIRA, Matheus; FLOSS, Marcio. **Identificação e análise de risco de inundações e alagamentos do município de Passo Fundo.** In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO COMUNITÁRIA, 10.; MOSTRA DE PESQUISA DE PÓS-GRADUAÇÃO, 9., 2016, Passo Fundo. *Anais [...]*. Passo Fundo, jul. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311992836_IDENTIFICACAO_E_ANALISE_DE_RISCO_DE_INUNDACOES_E_ALAGAMENTOS_DO_MUNICIPIO_DE_PASSO_FUNDO_-_IDENTIFICATION_AND_ANALYSIS_OF_FLOOD_RISKS_AND_WATERLOGGING_AT_CITY_OF_PASSO_FUNDO. Acesso em: 27 out. 2025.

MOHEBZADEH, H. et al. **Machine Learning Techniques for Gully Erosion Susceptibility Mapping: A Review.** *Geosciences*, v. 12, n. 12, p. 429, 2022.

MONTE, Benício Emanuel Omena. **Mapeamento de inundações no município de Rio Largo (AL).** 2013. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.

NASCIMENTO, Melchior Carlos do. **Problemas socioambientais causados pelas chuvas em cidades da Região Metropolitana de Maceió, Brasil.** *Biblio3W – Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, Barcelona, v. XXIV, n. 1.276, 20 ago. 2019.

NASCIMENTO, Melchior Carlos do; LOMBARDO, Magda Adelaide; GUIMARÃES JÚNIOR, Sinval Autran Mendes; ANDRADE, Esdras de Lima. **Análise da vulnerabilidade físico-ambiental causada pelas chuvas intensas na Região Metropolitana de Maceió.** *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 19, n. 67, p. 268–288, set. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/RCG196718>.

NASCIMENTO, Melchior Carlos; ANDRADE, Esdras de Lima; GUIMARÃES JÚNIOR, Sinval Autran Mendes. **Considerações socioambientais sobre as chuvas intensas nas principais cidades da Região Metropolitana de Maceió: um olhar da população.** *Geografia em Questão*, v. 14, n. 1, p. 180–208, 2021. DOI: 10.48075/geoq.v14i1.24496.

NOBRE, A. D. et al. **HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent.** *Hydrological Processes*, 2015. DOI: 10.1002/hyp.10581.

OUMA, Yashon O.; TATEISHI, Ryutaro. **Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment.** *Water*, [S.l.], v. 6, p. 1515–1545, 2014. DOI: 10.3390/w6061515.

PAES, Caio Ximenes. **Mapeamento de áreas de preservação permanente dos mananciais com fins de abastecimento público de Alagoas.** 2022. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Maceió, 2022.

PEREIRA, Thiago. **Influência do relevo na precipitação das regiões hidrográficas do Litoral Norte de Alagoas**. *GEOUSP – Espaço e Tempo*, São Paulo, n. 33, p. 239–253, 2013.

Pessoa Neto, A. G., Barbosa, I. M. B. R., Silva, S. R., 2021. **Mapeamento das áreas de risco de inundação da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, utilizando o método AHP (Analytic Hierarchy Process)**. In: IX Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 83-94, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

PIROLI, E. L. **Bacias hidrográficas: definições e representação**. In: Água e bacias hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas [online]. São Paulo: Editora UNESP, 2022. p. 43-62. DOI: <https://doi.org/10.7476/9786557142981.0004>.

PORTELA, Bárbara de Melo; ALVES, Giovana Bueno; SILVA, Simone Rosa da; LAFAYETTE, Kalinny Patrícia Vaz. **Análise da vulnerabilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do rio Sirinhaém, utilizando o Método de Análise Hierárquica**. *Revista Tocantinense de Geografia*, Araguaína, v. 13, n. 29, p. 387, dez. 2023.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Casa Civil. Secretaria Especial do Programa de Aceleração do Crescimento; MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Nota Técnica nº 2/2025/SADJ-VI/SEPAC/CC/PR: Assunto: Cadastro dos municípios suscetíveis a eventos de enxurradas e inundações [...]**. Brasília: Casa Civil/SEPAC/CC/PR, 2025.

PROCHMANN, J. R. **Análise Espacial da Susceptibilidade à Inundações na Bacia Hidrográfica do Córrego Grande, Florianópolis - SC**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

QGIS PROJECT. **A Gentle Introduction to GIS — 2. Introducing GIS: Overview**. In: QGIS Documentation 3.40. 2025a. Disponível em: https://docs.qgis.org/3.40/en/docs/gentle_gis_introduction/introducing_gis.html#overview. Acesso em: 15 out. 2025.

QGIS PROJECT. **User guide: Interpolation – Heatmap (kernel density estimation)**. In: QGIS Documentation 3.40. 2025b. Disponível em: https://docs.qgis.org/3.40/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/interpolation.html#heatmap-kernel-density-estimation. Acesso em: 15 out. 2025.

RAMOS, Anderson dos Santos. **Análise da aplicabilidade do método AHP, para mapeamento de vulnerabilidade a inundações, na bacia do rio Mundaú, em Alagoas**. 2021. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

RAMOS, Paola de Assis de Souza. **Proposta metodológica para mapeamento de vulnerabilidade à inundação**. 2017. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

RANKE, U. **Natural Disaster Risk Management – Geosciences and Social Responsibility**. Springer, 2016.

REZENDE, Paulo Sérgio et al. **Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) para a análise de suscetibilidade a inundações no município de São Sebastião do Paraíso (MG).** *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 11, n. 6, p. 2094-2108, 2018. DOI: 10.26848/rbgf.v11.6.p2094-2108.

RINGELER, Andre. **SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.3.0) – Gaussian Filter.** Grid | Filter. 2003. Disponível em: http://sourceforge.net/apps/trac/saga-gis/wiki/grid_filter_1. Acesso em: 15 out. 2025.

ROCHA, J. S.; LUNA, R. M.; TEIXEIRA, L. F. C.; OLIVEIRA, U. C.; ALBUQUERQUE, L. F. **Análise comparativa dos métodos de interpolação para o cálculo de precipitações médias na bacia hidrográfica do açude Patu/CE.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 10., 2019. *Anais [...]*. IBEAS, 2019.

RODRIGUES, Cau. **Sobe o número de cidades de Alagoas em emergência por causa das chuvas.** *G1 AL*, 3 jul. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/al/alagoas/arquivo/noticia/2022/07/03/sobe-o-numero-de-cidades-de-alagoas-em-emergencia-por-causa-das-chuvas.ghtml>. Acesso em: 27 out. 2025.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. **Grotas – feições de relevo vedadas à urbanização.** *EcoDebate: Plataforma de informação, artigos e notícias sobre temas socioambientais*, 22 fev. 2023. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2023/02/22/grotas-feicoes-de-relevo-vedadas-a-urbanizacao/>. Acesso em: 7 nov. 2025.

SANTOS, André Luiz; PEREIRA, Eugênia Cristina; DE HOLANDA ANDRADE, Laise. **A expansão da cana-de-açúcar no espaço alagoano e suas conseqüências sobre o meio ambiente e a identidade cultural.** *Revista Campo-Território*, Uberlândia, v. 2, n. 4, p. 19–37, ago. 2008. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/view/11824>. Acesso em: 16 ago. 2023.

SANTOS, Juciela Cristina dos. **Mapeamento e caracterização geotécnica da Formação Barreiras no município de Maceió, Alagoas.** 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

SARTORI, Aderson; LOMBARDI NETO, Francisco; GENOVEZ, Abel Maia. **Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação.** *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 5–18, out./dez. 2005.

SCHATZ, Bruna Cassiano. **Análise da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do Ribeirão do Enxofre por meio de ferramentas de geoprocessamento.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2022.

SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Dados de relatórios de cheia, batimetria, modelo digital do terreno e ortofotos da bacia do Mundaú e Manguaba.** 2025. Comunicação pessoal.

SEPLAG – Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio de Alagoas. **Cartilha Técnica para Publicação de Dados Abertos do Estado de Alagoas.** Dados Alagoas, 2025.

Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/cartilha-tecnica-para-publicacao-de-dados-abertos-do-estado-de-alagoas>. Acesso em: 17 mai. 2025.

SEPLAG – Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio de Alagoas. **Recursos Hídricos de Alagoas – Malha Rodoviária de Alagoas**. Alagoas em Dados e Informações, 2013. Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/it/dataset/malha-rodoviaria-de-alagoas>. Acesso em: 15 out. 2025.

SEPLAG – Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio de Alagoas. **Escolas Estaduais – Censo Escolar 2022**. Maceió: Dados Abertos Alagoas, 2023. Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/12eb1541-9f4a-4e54-9e7f-c63a37870fa3/resource/d943c907-a89f-42f9-af70-f18a13cbe0f8/download/shp-escolas-estaduais.zip>. Acesso em: 19 out. 2025.

SILVA, L. O.; BARBOSA, K. V. **Análise espacial da suscetibilidade à inundação na Sub Bacia Muriaé 2, Campos dos Goytacazes (RJ)**. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 9, n. 8, p. 127-138, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.008.0011>.

SILVA, Luiz Felipe da. **Aplicação de Algoritmos de Aprendizado de Máquina para o Mapeamento de Suscetibilidade a Inundações da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2025.

SILVA NETO, João Cândido André da. **Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno**. *Geografia (Londrina)*, v. 22, n. 1, p. 5–25, jan./abr. 2013.

SURWASE, Tushar; MANJUSREE, P.; NAGAMANI, P. V.; JAISANKAR, G. **Novel technique for developing flood hazard map by using AHP: a study on part of Mahanadi River in Odisha**. *SN Applied Sciences*, Cham, v. 1, n. 1196, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1233-6>.

TAOUKIDOU, Nikoleta; KARPOUZOS, Dimitrios; GEORGIOU, Pantazis. **Flood hazard assessment through AHP, Fuzzy AHP, and Frequency Ratio methods: a comparative analysis**. *Water*, Basel, v. 17, n. 2155, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/w17142155>.

TNH1. **Chuva deixa ao menos 80 famílias desalojadas e desabrigadas em Satuba**. TNH1, 03 jul. 2022. Disponível em: https://www.tnh1.com.br/noticia/nid/chuva-deixa-ao-menos-80-familias-desalojadas-e-desabrigadas-em-satuba/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 23 nov. 2025.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed., 2. reimpr. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS; ABRH, 2001. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4).

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Inundações urbanas**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2007. (Coleção ABRH, v. 11).

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Ana Data Acquisition**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/hge/ana-data-acquisition/>. Acesso em: 15 out. 2025.

ULLAH, Niamat et al. **Geospatial analysis and AHP for flood risk mapping in Quetta, Pakistan: a tool for disaster management and mitigation.** *Applied Water Science*, [S.l.], v. 14, n. 236, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02293-1>.

VALERIANO, Márcio de Morisson. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2004.

VILASAN, Reshma T.; KAPSE, Vijay S. **Evaluation of the prediction capability of AHP and F AHP methods in flood susceptibility mapping of Ernakulam district (India).** *Natural Hazards*, [S.l.], v. 112, p. 1767–1793, 2022. DOI: [10.1007/s11069-022-05248-4](https://doi.org/10.1007/s11069-022-05248-4).

VOJTEK, Matej; VOJTEKOVÁ, Jana. **Flood susceptibility mapping on a national scale in Slovakia using the Analytical Hierarchy Process.** *Water*, Basel, v. 11, n. 364, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11020364>.

WANG, Yi et al. **A hybrid GIS multi-criteria decision-making method for flood susceptibility mapping at Shangyou, China.** *Remote Sensing*, Basel, v. 11, n. 62, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11010062>.

YOSHIDA, Kazuki; KOARAI, Mamoru. **A simple method to automatically remove artificial terrain from airborne LiDAR DTMs in plain areas.** *Geomorphology*, [S.l.], v. 465, p. 109388, 2024. DOI: [10.1016/j.geomorph.2024.109388](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109388).

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras.** 1987. 219p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras.** 1987. 219p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, Lázaro Valentin; GANDOLFI, Nilson. **Cartografia geotécnica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.