



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Recife

Departamento de Cursos Superiores

Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental

ROSANE DA SILVA AVELINO DOS SANTOS

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DO  
CABO DE SANTO AGOSTINHO/ PERNAMBUCO – BRASIL**

Recife

2024

ROSANE DA SILVA AVELINO DOS SANTOS

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DO  
CABO DE SANTO AGOSTINHO/ PERNAMBUCO – BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso em Tecnologia em Gestão Ambiental apresentado ao Departamento de Cursos Superiores do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Tecnóloga em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Devson Paulo Palma Gomes

Recife

2024

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Danielle Castro da Silva CRB4/1457

S237m  
2024

Santos, Rosane da Silva Avelino dos

Mapeamento de áreas suscetíveis a inundações no Município do Cabo de Santo Agostinho/ Pernambuco – Brasil. / Rosane da Silva Avelino dos Santos. --- Recife: A autora, 2024.

78f. il. Color.

Trabalho de Conclusão (Curso Superior Tecnológico em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

Inclui Referências e Apêndice.

Orientador: Professor Dr. Devson Paulo Palma Gomes.

1.Mapeamento de inundações. 2. Geoprocessamento. 3. Método AHP. 4. Desastres hidrológicos. Título. II. Gomes, Devson Paulo Palma (orientador). III. Instituto Federal de Pernambuco.

CDD 333.7

ROSANE DA SILVA AVELINO DOS SANTOS

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DO  
CABO DE SANTO AGOSTINHO/ PERNAMBUCO – BRASIL**

Trabalho aprovado. Local, data.

---

Professor Orientador

---

Convidado 1

---

Convidado 2

Recife

2024

## **AGRADECIMENTOS**

Sou grata ao corpo docente que dentro de sua área de conhecimento, se dedica a formar de forma competente e respeitosa, Gestores Ambientais com um olhar interdisciplinar e cuidadoso. E sobretudo ao meu orientador, Devson Paulo, que me deu todo o apoio necessário durante a construção da minha monografia de forma atenciosa.

Agradeço a Levi, meu namorado, pelo companheirismo, paciência, por sempre me incentivar a realizar meus sonhos e me ajudar a enxergar além dos meus próprios pensamentos. Agradeço também aos meus pais por todo o suporte que precisei durante a graduação, sem eles teria sido impossível passar por essa etapa. Agradeço a minha mãe por todas as conversas enriquecedoras que me fazem ter o “pé no chão”, e me prepara para a vida.

Além disso, também me sinto honrada em ter aproveitado as pesquisas acadêmicas, que foram essenciais para o meu desenvolvimento profissional, e me ajudaram a me encontrar no geoprocessamento, que me levou a escrever esta monografia.

*A natureza não faz nada em vão.*

*(Aristóteles)*

## RESUMO

As mudanças no uso do solo ocasionadas pela expansão urbana, bem como o avanço das mudanças climáticas, trazem consequências como a intensificação dos episódios de inundação e o aumento da sua frequência em todo o mundo. Estima-se que 44% das ocorrências de desastres naturais no mundo entre 2000 e 2019 correspondam às inundações, afetando cerca de 1,6 milhões de pessoas. A região metropolitana do Recife (RMR), por exemplo, com o aumento de áreas impermeabilizadas associadas ao alto índice pluviométrico em terrenos próximos aos rios, vem sofrendo com a intensificação das inundações urbanas. Ainda na RMR, o município do Cabo de Santo Agostinho, registra episódios de inundações desde 1970 em decorrência da crescente urbanização com a instalação do Complexo Industrial de Suape na região, porém poucos estudos tratam da investigação desses eventos no município. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo mapear a suscetibilidade às inundações no município do Cabo de Santo Agostinho. Assim, utilizou-se o método de Processo Analítico Hierárquico (AHP), em conjunto com o *software* ArcGis Pro, para realizar a modelagem dos níveis de suscetibilidade em 5 classes (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta) do município. Para isso, no estudo foram considerados fatores condicionantes como declividade, hipsometria, precipitação, uso e ocupação do solo, grupo hidrológico de solo e ordenamento fluvial. Os resultados possibilitaram identificar que cerca de 52,82 km<sup>2</sup> do município se encontra nas regiões de muito alta suscetibilidade, apresentando riscos à população no entorno. A atribuição de maior importância para a declividade mostrou as maiores suscetibilidades à inundação nas planícies, pois são nelas que ocorrem o acúmulo da água, e é intensificada em solos impermeabilizados. Assim, este trabalho também vem com o intuito de fomentar a realização de estudos mais aprofundados no tema, que ainda é escasso no município, além de poder nortear o planejamento municipal e estadual de medidas de adaptação e mitigação em resposta aos desastres causados pelas chuvas.

Palavras-chave: Mapeamento de inundações; geoprocessamento; método AHP; desastres hidrológicos; sistema de informações geográficas.

## **ABSTRACT**

Changes in land use caused by urban expansion, as well as the advancement of climate change, bring consequences such as the intensification of flood episodes and an increase in their frequency throughout the world. It is estimated that 44% of natural disasters in the world between 2000 and 2019 corresponded to floods, affecting around 1.6 million people. The metropolitan region of Recife (RMR), for example, with the increase in impermeable areas associated with high rainfall in land close to rivers, has been suffering from the intensification of urban flooding. Still in the RMR, the municipality of Cabo de Santo Agostinho has recorded episodes of flooding since 1970 as a result of increasing urbanization with the installation of the Suape Industrial Complex in the region, but few studies deal with the investigation of these events in the municipality. In this context, the present study aims to map susceptibility to flooding in the municipality of Cabo de Santo Agostinho. Thus, the Analytical Hierarchical Process (AHP) method was used, together with the ArcGis Pro software, to model susceptibility levels in 5 classes (very low, low, medium, high and very high) in the municipality. To this end, the study considered conditioning factors such as slope, hypsometry, precipitation, land use and occupation, soil hydrological group and river planning. The results made it possible to identify that around 52.82 km<sup>2</sup> of the municipality is located in regions of very high susceptibility, presenting risks to the surrounding population. The attribution of greater importance to slope showed the greatest susceptibilities to flooding in the plains, as these are where water accumulates, and it is intensified in impermeable soils. Therefore, this work also aims to encourage more in-depth studies on the topic, which is still scarce in the municipality, in addition to being able to guide municipal and state planning of adaptation and mitigation measures in response to disasters caused by rain.

**Keywords:** Flood mapping; geoprocessing; AHP method; hydrological disasters; geographic information system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas, do nível normal até a ocorrência de uma inundação .....	17
Figura 2 - Hidrograma pré e pós-urbanização.....	26
Figura 3 – Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos 2 – GL 2 .....	28
Figura 4 - Frequência anual de desastres por inundações no Estado de Pernambuco, no período de 1991 a 2012 .....	33
Figura 5 - Fluxograma das atividades .....	36
Figura 6 - Mapa de localização do município do Cabo de Santo Agostinho/PE.....	37
Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo do município do Cabo de Santo Agostinho .....	46
Figura 8 - Mapa de intensidade pluviométrica do município do Cabo de Santo Agostinho .....	48
Figura 9 - Mapa de solos do município do Cabo de Santo Agostinho.....	50
Figura 10 - Mapa de grupo hidrológico de solos do município do Cabo de Santo Agostinho .....	51
Figura 11 - Mapa da ordem dos rios do município do Cabo de Santo Agostinho.....	52
Figura 12 - Mapa hipsométrico do município do Cabo de Santo Agostinho.....	54
Figura 13 - Mapa de declividade do município do Cabo de Santo Agostinho .....	56
Figura 14 - Mapa de Suscetibilidade a inundação do município do Cabo de Santo Agostinho .....	66

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Alguns conceitos utilizados para definir as inundações graduais.....	18
Quadro 2 - Revisão da literatura .....	29
Quadro 3 - Fontes de obtenção dos dados espaciais. ....	39
Quadro 4 - Classificação da declividade. ....	40
Quadro 5 - Classificação dos Grupos Hidrológicos de Solo (GHS).....	41
Quadro 6 - Escala de julgamento de importância do método AHP .....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculo da Intensidade Pluviométrica. ....	42
Tabela 2 - Classes de uso e ocupação do solo do município do Cabo de Santo Agostinho .....	47
Tabela 3 - Classes de intensidade pluviométrica do município do Cabo de Santo Agostinho .....	49
Tabela 4 - Classes de grupo hidrológico de solos do município do Cabo de Santo Agostinho .....	52
Tabela 5 - Classes do ordenamento fluvial do município do Cabo de Santo Agostinho .....	53
Tabela 6 - Classes de hipsometria do município do Cabo de Santo Agostinho .....	55
Tabela 7 - Classes de declividade do município do Cabo de Santo Agostinho.....	57
Tabela 8 - Pesos da reclassificação do uso e ocupação do solo .....	58
Tabela 9 - Pesos da reclassificação da intensidade pluviométrica.....	58
Tabela 10 - Pesos da reclassificação do grupo hidrológico de solo .....	59
Tabela 11 - Pesos da reclassificação do ordenamento fluvial.....	59
Tabela 12 - Pesos da reclassificação da hipsometria .....	60
Tabela 13 - Pesos da reclassificação da declividade .....	61
Tabela 14 - Matriz de Comparação Pareada.....	62
Tabela 15 - Matriz de pesos .....	63
Tabela 16 - Classes de suscetibilidade a inundação do município do Cabo de Santo Agostinho .....	67

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas  
AHP - *Analytic Hierarchy Process*  
APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas  
CAPES - Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente  
DEPLAN – Departamento de Planejamento  
DMC - Duração Mensal de Chuvas  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
FN - Razão de Frequência  
IC - Índice de Consistência  
IDW - *The Inverse Distance Weighted*  
IFPE- Instituto Federal de Pernambuco  
IP - Intensidade Pluviométrica  
IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas  
IQD - Quadrado da Distância  
IR - Índice Randômico  
LCM - *Land Change Modeler*  
MDE - Modelo Digital de Elevação  
MDT – Modelo Digital de Terreno  
PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos  
PMA - Pluviosidade Média Anual  
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos  
RC - Razão de Consistência  
RVS – Refúgio de Vida Silvestre  
SCS - Serviço de Conservação do Solo  
SIG - Sistema de Informações Geográficas  
USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>16</b>
3.1 DESASTRES HIDROLÓGICOS .....	16
3.1.1 Enchentes e Inundações .....	16
3.1.2 Alagamentos .....	19
3.2 FATORES CONDICIONANTES À SUSCETIBILIDADE DE INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS .....	20
3.2.1 Declividade .....	21
3.2.2 Hipsometria .....	21
3.2.3 Uso e ocupação do solo .....	21
3.2.4 Corpos hídricos .....	22
3.2.5 Tipos de solo .....	23
3.2.6 Precipitação.....	24
3.2.7 Drenagem Urbana.....	25
3.3 BACIA HIDROGRAFICA METROPOLITANO SUL .....	27
3.4 ESTUDOS RELATIVOS A OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES .....	29
3.5 PANORAMA DE OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES.....	31
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>35</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	36
4.2 DADOS DE ENTRADA .....	39
4.3 UTILIZAÇÃO DO MÉTODO AHP .....	43
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>46</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento das emissões de gases de efeito estufa, intensificado pelas atividades antrópicas, vêm elevando a temperatura global e ocasionando mudanças no clima. Segundo o 6º relatório do Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é previsto um aumento de 1,5 a 4°C na temperatura do planeta Terra até o final do século (Silva; Silva; Mendonça, 2022).

As mudanças climáticas estão associadas a intensificação de eventos extremos como a alteração no regime de chuvas e os desastres hidrológicos (Buchir, 2013). A exemplo disso, temos as inundações em cidades cuja ocupação desordenada leva a ineficácia dos sistemas de drenagem, ocasionando a significativa destruição de comunidades (Clementino; Santos; Gomes, 2018).

O processo de urbanização sem o devido planejamento acomete impactos no meio ambiente, e intensificam a frequência de desastres hidrológicos. Além da intensidade e concentração das chuvas, a ocupação de áreas de várzea e a impermeabilização do solo aumentam o “escoamento, encurtando o seu tempo de concentração, causando graves reflexos nos cursos de drenagem natural” (Barbosa, 2006, p. 31).

Segundo Freitas (2016), as inundações são caracterizadas pelo transbordamento da água em determinado curso d’água, superando o limite natural de drenagem do seu leito, e passam a invadir as chamadas planícies de inundação, áreas de várzea ou leito maior do rio. Já os alagamentos são caracterizados pelo acúmulo momentâneo da água em determinado local em função da deficiência do sistema de drenagem. A intensidade e a persistência das chuvas são fatores que colaboram para a ocorrência desses fenômenos citados (Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022).

Em maio de 2022, a Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) (2022) registrou no boletim pluviométrico os índices de chuva acumulada, que atingiram o estado de Pernambuco ocasionando uma grande catástrofe na Região Metropolitana do Recife (RMR), provocando deslizamentos de encostas, inundações e mais de 100 mortes em função das chuvas (Folha de Pernambuco, 2022).

As inundações acometidas em Pernambuco em 1970, trouxeram consequências desastrosas ao município do Cabo de Santo Agostinho (Batista, 2015).

Apesar da crescente urbanização e do avanço das pesquisas sobre o fenômeno hidrológico no estado, há uma grande lacuna na investigação desses eventos na cidade. Dessa forma, é imprescindível a realização de estudos na área, visto que o desenvolvimento antrópico com o surgimento do Complexo Industrial de Suape, potencializou a suscetibilidade a inundações no seu território (Silva; Silva; Silva, 2016)

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo mapear as áreas suscetíveis do município do Cabo de Santo Agostinho a sofrer com as inundações. Para isso, serão utilizadas técnicas de geoprocessamento para a análise dos fatores condicionantes às inundações. Os resultados gerados pelo estudo podem dar subsídio aos governantes para o planejamento urbano com medidas de adaptação em resposta aos desastres naturais causados pelas chuvas na cidade.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o mapeamento da suscetibilidade a inundações no município do Cabo de Santo Agostinho.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar dados geoambientais que condicionam o processo de inundação no município do Cabo de Santo Agostinho;
- Utilizar o método de processo analítico hierárquico (AHP) para obter pesos relativos à hierarquia de importância de cada critério utilizado;
- Elaborar um mapa de suscetibilidade a inundações no município do Cabo de Santo Agostinho utilizando sistema de informações geográficas utilizando o *software* ArcGis Pro.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 DESASTRES HIDROLÓGICOS

As enchentes e inundações são fenômenos hidrológicos naturais relacionados com a precipitação intensa e fazem parte da realidade da terra antes mesmo da existência do homem (Tucci; Bertoni, 2003). Nas antigas civilizações, esses eventos eram considerados benéficos pois os episódios proporcionavam para o solo o aporte de nutrientes que são fundamentais para a agricultura (Freitas, 2016).

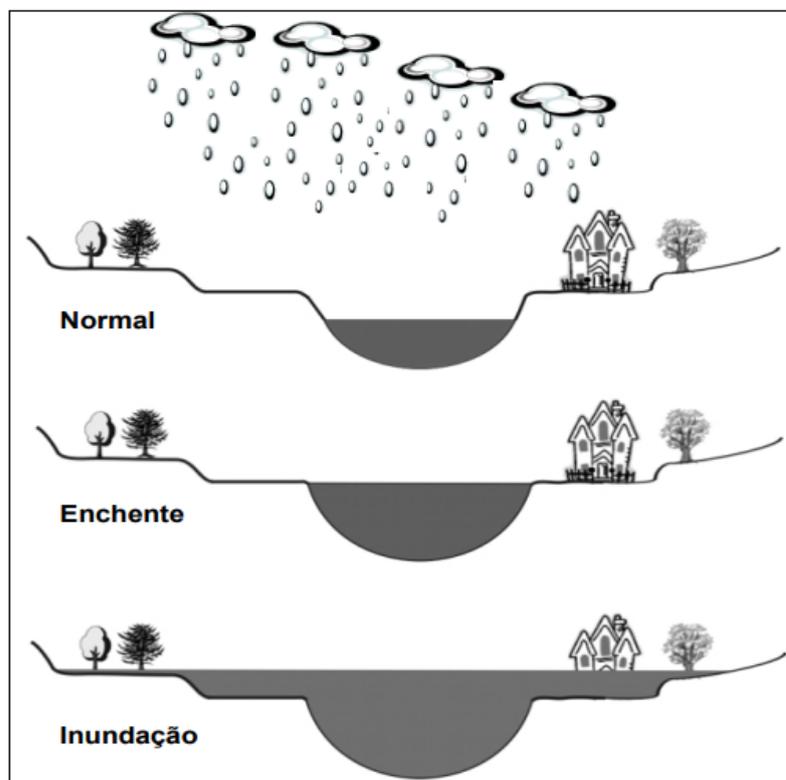
Atualmente, com o avanço da urbanização ocorre o crescimento de áreas impermeáveis que alteram o ciclo hidrológico diminuindo a infiltração e prejudicando a alimentação do lençol freático. Existe também a aceleração do tempo do escoamento da água que aumenta a vazão pelos condutos nos sistemas de drenagem e provocam inundações mais frequentes, que geram impactos negativos e desastrosos à população (Tucci, 1997).

Frequentemente as palavras “enchente”, “inundação” e “alagamento” são utilizadas como sinônimos para definir o acúmulo de água e transbordamento de um corpo hídrico consequente de um episódio de grande volume de chuvas, mas existem diferenças nos processos e nos fatores condicionantes desses fenômenos que serão aqui abordados.

##### 3.1.1 Enchentes e Inundações

De acordo com Goerl e Kobiyama (2005), as palavras “enchente” ou “cheia” “têm como origem o verbo encher, do Latim *implere*, que significa ocupar o vazio, a capacidade ou a superfície de; tornar cheio ou repleto”. Dessa forma, os autores caracterizam as enchentes como situação natural de um rio preenchido temporariamente até o limite de sua área de drenagem, contudo, sem haver o transbordamento para sua área de leito maior, também chamadas de planícies de inundação ou área de várzea (Figura 1).

Figura 1 - Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas, do nível normal até a ocorrência de uma inundação



Fonte: Goerl e Kobiyama, 2005.

Tucci (1997) trata as enchentes e as inundações como sinônimos, em sua caracterização, elas ocorrem quando o excesso de descarga em um rio é superior à sua capacidade de drenagem, e por consequência escoam para o leito maior do rio. O autor também separa as inundações em: inundações ribeirinhas e inundações urbanas.

Para Tucci e Bertoni (2003), as inundações ribeirinhas, chamadas de inundações graduais pelo Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2013), ocorrem de forma natural condicionadas pelos fenômenos meteorológicos e hidrológicos. Isso porque quando há uma grande precipitação e o solo é incapaz de infiltrar o volume de chuva, a água é escoada de forma gradual para o rio, atingindo o limite da sua calha normal. Dessa forma, o rio transborda e alcança as áreas ribeirinhas. Esse tipo de inundação, em geral ocorre em bacias de grande e médio porte (> 500 km<sup>2</sup>). No Quadro 1, Goerl e Kobiyama (2005), apresentam outras definições para as inundações graduais.

Ainda de acordo com Tucci e Bertoni (2003), a inundação urbana é uma intensificação das inundações ribeirinhas, em virtude do processo de urbanização com a remoção da cobertura vegetal e ocupação das áreas de várzea, trazendo consequências catastróficas para a população atingida. Essas inundações ocorrem em bacias pequenas e urbanizadas (1 - 100 km<sup>2</sup>), com exceção de grandes cidades como São Paulo.

Na medida que a população impermeabiliza o solo e acelera o escoamento através de condutos e canais a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta produzindo inundações mais freqüentes do que as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava pelo ravinamento natural. Esta inundação é devido a urbanização ou drenagem urbana. (Tucci; Bertoni, 2003, p. 45).

Quadro 1 - Alguns conceitos utilizados para definir as inundações graduais.

<b>Termo</b>	<b>Autor</b>	<b>Definição</b>
Flood	NFIP (2005)	Uma condição geral ou temporária de parcial ou completa inundação de dois ou mais acres de uma terra normalmente ou duas ou mais propriedades (uma das quais é a sua propriedade), proveniente da inundação de águas continentais ou oceânicas.
Flood	NATIONAL DISASTER EDUCATION COALITION (2004)	Inundações ocorrem nas chamadas planícies de inundação, quando prolongada precipitação por vários dias, intensa chuva em um curto período de tempo ou um entulhamento de gelo ou de restos, faz com que um rio ou um córrego transbordem e inundem a área circunvizinha.
Flood	NWS/NOAA (2005)	A inundação de uma área normalmente seca causado pelo aumento do nível das águas em um curso d'água estabelecido, como um rio, um córrego, ou um canal de drenagem ou um dique, perto ou no local onde a chuvas precipitaram.
Flood	FEMA (1981)	Inundação resulta quando um fluxo de água é maior do que a capacidade normal de escoamento do canal, ou quando as águas costeiras excedem a altura normal da maré alta. Inundações de rios ocorrem devido ao excessivo escoamento superficial ou devido ao bloqueio do canal.
Inundações Graduais ou Enchentes	Castro (1996).	As águas elevam-se de forma paulatina e previsível, mantém em situação de cheia durante algum tempo e, a seguir, escoam-se gradualmente. Normalmente, as inundações graduais são cíclicas e nitidamente sazonais.
River Flood	Choudhury <i>et al.</i> (2004)	Inundações de rios ocorrem devido às pesadas chuvas das monções e ao derretimento de gelo nas áreas a montante dos maiores rios de Bangladesh. O escoamento superficial resultante causa à elevação do rio sobre as suas margens e propagando água sobre a planície de inundação.
Inundações Ribeirinhas	Tucci e Bertoni	Quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume esco para o sistema de drenagem,

	(2003)	superando sua capacidade natural de escoamento. O excesso de volume que não consegue ser drenado ocupa a várzea inundando de acordo com a topografia áreas próximas aos rios.
Flood	OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT (1980)	Uma inundação de terra normalmente não coberta pela água e que são usadas ou utilizáveis pelo homem.
River Flood	Kron (2002)	É o resultado de intensa e/ou persistente chuvas por alguns dias ou semanas sobre grandes áreas algumas vezes combinadas com neve derretida. Inundações de rios elevam-se gradualmente, ainda assim, algumas vezes dentro de um curto período.

Fonte: Goerl e Kobiyama, 2005

### 3.1.2 Alagamentos

Castro (2003) classifica os alagamentos como o acúmulo de água no leito de ruas e áreas urbanizadas em decorrência de precipitações e sistemas de drenagem deficientes, e são capazes de promover danos materiais e humanos mais fortes que as enxurradas.

Para Santos (2010), os alagamentos podem ser ou não de natureza fluvial, e são a concentração de água em um local em um período momentâneo devido ao baixo coeficiente de escoamento superficial e problemas relacionados à rede de drenagem.

A suscetibilidade a alagamentos está relacionada a vários fatores como áreas com baixa declividade, que favorecem o acúmulo de água, áreas impermeáveis com solos mal drenados, retirada de cobertura vegetal, e obras de drenagem sem o devido planejamento e estudo prévio (Mantovani, 2016).

Além disso, o saneamento das cidades é um fator condicionante para os alagamentos. O transporte de sedimentos e resíduos para os sistemas de drenagem (sarjetas, bocas de lobo e galerias) bloqueiam as entradas e as tubulações, assim como as ligações de esgoto clandestinas prejudicam a eficiência da drenagem, e aumentam a frequência de alagamentos na região mesmo com pequenos volumes pluviométricos (Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2012).

### 3.2 FATORES CONDICIONANTES À SUSCETIBILIDADE DE INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS

Para Mantovani (2016), o conceito de suscetibilidade é definido como atributos físicos que uma área possui que a condiciona a uma potencial ocorrência de desastres hidrológicos. Estes desastres acarretam maiores prejuízos e aumenta a vulnerabilidade nos países em desenvolvimento, visto que há uma grande população que ocupa áreas suscetíveis aos fenômenos hidrológicos, sem haver uma estrutura que monitore e previna possíveis episódios de inundação e alagamento (Mantovani, 2016, apud Alcantara; Ayala, 2002).

A suscetibilidade é um termo geralmente utilizado pelos autores como um indicativo para inclinação natural de uma determinada área para os incidentes relacionados a eventos hidrológicos. Contudo, as atividades antrópicas são grandes intensificadores da suscetibilidade ao modificar o ambiente e alterar a dinâmica hídrica (Lima, 2010).

Freitas (2016) divide os condicionantes à inundações e alagamentos em naturais e antrópicos. Os fatores naturais são os climáticos (ex: pluviometria) e geomorfológicos (ex: declividade e hipsometria). Os antrópicos são o desmatamento, remoção da cobertura vegetal que provoca erosão e assoreamento dos cursos de água, intervenções nos cursos de água e a ocupação das várzeas.

A declividade, a hipsometria, o uso e ocupação do solo, a pedologia, precipitação, distância entre corpos hídricos e a densidade de drenagem são alguns dos principais condicionantes considerados nas pesquisas que são responsáveis pela suscetibilidade às inundações. Conhecer cada condicionante é importante para entender o processo que resulta nos fenômenos hidrológicos, sendo imprescindível para a construção de um mapa de suscetibilidade.

### 3.2.1 Declividade

A declividade é um fator essencial para determinar a suscetibilidade de uma área à ocorrência das inundações e alagamentos. Esse condicionante é responsável pela força e direcionamento do escoamento superficial conforme a inclinação do terreno, e influencia diretamente no acúmulo de água, sendo as áreas mais planas, ou seja, com menor declividade, mais propícias a sofrer inundações (Campioli; Vieira, 2019; Lima, 2010).

No trecho a seguir, Tucci e Bertoni (2003) comentam sobre o condicionante:

Os rios normalmente drenam nas suas cabeceiras, áreas com grande declividade produzindo escoamento de alta velocidade. A variação de nível durante a enchente pode ser de vários metros em poucas horas. Quando o relevo é acidentado as áreas mais propícias à ocupação são as planas e mais baixas, justamente aquelas que apresentam alto risco de inundação. A várzea de inundação de um rio cresce significativamente nos seus cursos médio e baixo, onde a declividade se reduz e aumenta a incidência de áreas planas (Tucci; Bertoni, 2003, p. 55).

### 3.2.2 Hipsometria

O estudo das características altimétricas também é importante para identificar as áreas suscetíveis aos alagamentos e inundações. As regiões de maior altitude, em função da ação da gravidade, permitem um maior escoamento superficial para as áreas mais baixas, o que as torna menos suscetíveis a esses eventos. Dessa forma, regiões de menor altitude são mais suscetíveis a inundações e alagamentos pois são potencialmente receptoras do acúmulo de água. (Magalhães, *et al.*, 2011; Campioli; Vieira, 2019; Mantovani, 2016).

### 3.2.3 Uso e ocupação do solo

A ocupação da terra apresenta grande influência na infiltração e escoamento superficial da água. Para Magalhães *et al.* (2011), a retirada da cobertura vegetal para dar espaço ao desenvolvimento urbano com a impermeabilização, ocupação do solo

e a canalização dos rios tendem a aumentar a frequência e magnitude das inundações. Aterros, pontes e deficiência da drenagem, também podem causar obstruções ao escoamento, o que resultará no acúmulo de água nessas regiões (Tucci; Bertoni, 2003).

A urbanização produz alterações em diversos aspectos da natureza. O ciclo hidrológico é um dos mais afetados, pois a impermeabilização do solo causa a diminuição da infiltração da água que causa impactos diretos na alimentação do aquífero no lençol freático. Além disso, em função da retirada da cobertura vegetal há uma rápida saturação do solo e a diminuição da evapotranspiração através das folhagens (Tucci; Bertoni, 2003).

### **3.2.4 Corpos hídricos**

Um dos parâmetros aplicados para entender a dinâmica ambiental e hidrológica de uma bacia hidrográfica, é a análise morfométrica da bacia, que permite estudar matematicamente aspectos geométricos da bacia. Um importante parâmetro morfométrico é a hierarquização fluvial, nela, é estabelecida uma ordem e grau para os canais fluviais de uma determinada bacia hidrográfica (Laszlo; Rocha, 2014).

O método de Arthur N. Strahler considera que os canais fluviais de primeira ordem são as nascentes. Os de segunda ordem são aqueles com a confluência, ou seja, o encontro de dois canais de primeira ordem, e assim por diante até que se atinja o canal de maior ordem, que será o canal principal da bacia hidrográfica (Arruda, 2019).

No processo de inundação, os canais com maior ordem proporcionam maior risco por serem cursos d'água com maior drenagem, além disso, a distância até o canal fluvial tem impacto significativo nesse fenômeno, pois as áreas com localização mais próxima aos corpos d'água estão mais suscetíveis a sofrer com os desastres hidrológicos (Cabrera; Lee, 2019).

A lei 12.651/2012, conhecida como Novo Código Florestal, dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e considera como Área de Preservação Permanente (APP) as áreas ao redor dos cursos d'água, como rios, lagoas, ou nascentes, também

encostas, restingas, entre outras áreas. Nas zonas rurais ou urbanas, a lei determina a proteção nas faixas à margem de qualquer curso d'água natural, seja ele perene ou intermitente.

Já no caso de lagos e lagoas naturais em zonas urbanas, a distância deve respeitar a largura de 30 metros. Isso quer dizer que essas áreas devem ter uma distância de 30 metros de qualquer construção, para garantir sua preservação. Além disso, a distância estabelecida das APPs fornece também precaução à ocupação das várzeas em relação ao processo de inundação.

### **3.2.5 Tipos de solo**

O tipo de solo é um condicionante importante para determinar a capacidade de infiltração e escoamento superficial da água, que indicará a suscetibilidade a inundações na área (Campioli; Vieira, 2019). O escoamento superficial é facilitado em solos argilosos ou compactados, já nos solos arenosos existe uma maior infiltração e percolação, reduzindo o escoamento superficial (Cabrera; Lee, 2019).

Para entender melhor a influência do tipo de solo sobre a geração de escoamento superficial, o método do Serviço de Conservação do Solo (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), é o mais utilizado. Entretanto, a proposta do SCS pode não ser adequada para os solos brasileiros, pois em determinadas classes de solo argilosos e arenosos, por exemplo, se comportam de forma diferente dos solos para que o método foi originalmente criado (Sartori; Neto; Genovez, 2005).

Assim, a forma apresentada por Sartori, Neto e Genovez (2005), pode funcionar melhor para o Brasil. Os solos são separados em classes de A, B, C e D, sendo o A, solos com alta taxa de infiltração e baixo potencial de escoamento; o B, taxa moderada de infiltração; o C, compreende solos com baixa taxa de infiltração; o D, solos que apresentam taxa muito baixa de infiltração, e grande potencial de escoamento superficial.

### 3.2.6 Precipitação

O ciclo hidrológico é um processo natural onde ocorre evapotranspiração, condensação, precipitação, retenção, escoamento superficial, interceptação, infiltração, percolação no solo, escoamento de água subterrânea, escoamentos fluviais (Kobiyama, *et al.*2006).

A precipitação é o principal fenômeno gerador das enchentes e inundações, que em qualquer local, a chance de inundação aumenta à medida que a quantidade de chuva aumenta. A maior intensidade de chuva pode resultar em mais escoamento porque o solo não pode absorver rapidamente a água (Cabrera; Lee, 2019; Freitas, 2016).

As distribuições temporal e espacial da precipitação são as principais condições climatológicas que influenciam o nível e a vazão de um rio, que só podem ser previstas com alguns dias ou horas de antecedência. Essa realidade não permite que os níveis das enchentes sejam previstos de forma muito antecipada, pois essa previsão é limitada pelo tempo médio de deslocamento da água na bacia até o ponto de interesse (Tucci; Bertoni, 2003).

O IPCC em seu 6º relatório publicado em 2021, alerta para o aumento da temperatura até o final do século. O aumento previsto de 1,5 a 4 °C, implica diretamente com a frequência dos desastres hidrológicos (Silva; Silva; Mendonça, 2022).

Tucci e Bertoni (2003) explicam que nos centros urbanos, onde predomina solos impermeáveis, é proporcionado influência no efeito albedo, aumentando a absorção e a emissão da radiação de volta para o ambiente, provocando ilhas de calor. Esse processo também cria condições para o aumento da precipitação. Dessa forma, conforme há a elevação da temperatura global, maior serão os episódios de inundação causados pelo aumento da precipitação, fomentada pelas mudanças climáticas.

### 3.2.7 Drenagem Urbana

Conforme o Art. 3º da Lei Nº 14.026/2020, o saneamento básico é um conjunto de serviços públicos que engloba o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e a drenagem urbana. Esse último é descrito no trecho:

Constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (Brasil, 2020, Art.3).

A premissa da drenagem urbana é poder remover de maneira eficiente, o excesso de águas pluviais que não infiltra no solo, em função da pavimentação, para que possam ser evitados alagamentos e doenças transmitidas pela água contaminada (Silva; Araújo; Loureiro, 2022). Em função desse funcionamento, existe a microdrenagem e a macrodrenagem, que são ferramentas da drenagem urbana.

Medau (2018) identifica a microdrenagem como os condutos ou canais pluviais a nível de loteamento ou rede primária urbana, projetada para precipitações de risco moderado, dando condições à população circular em períodos chuvosos. Faz parte da microdrenagem o meio fio, boca de lobo, sarjetas, poços de visita e galerias pluviais.

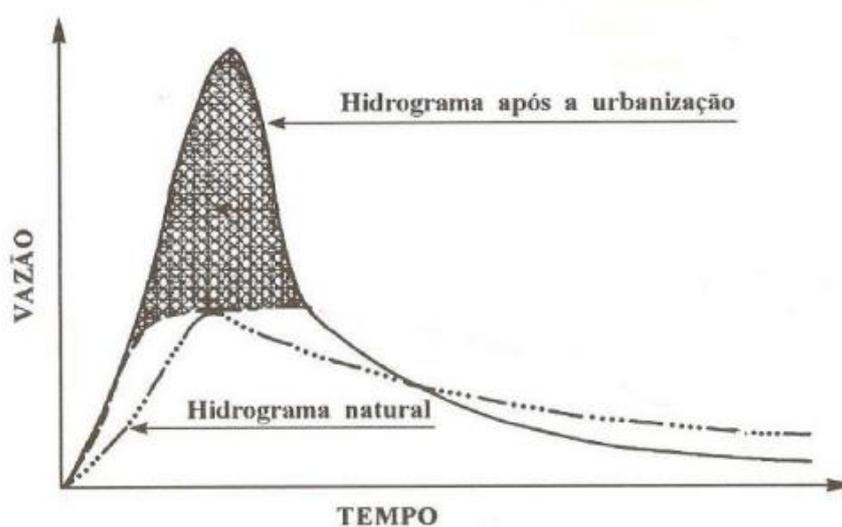
Medau (2018) ainda define que a macrodrenagem são áreas em torno de 2km<sup>2</sup> a 200 ha, e recebem as águas resultantes dos sistemas de microdrenagem. A macrodrenagem pode ser sistemas naturais ou construídos, como os canais, rios e seus afluentes (Marques, 2019). Em outras palavras, a microdrenagem faz a captação primária das águas pluviais, e leva até o sistema de macrodrenagem (Caldeira; Lima, 2020).

A Organização das Nações Unidas (2018) estima que 55% da população mundial reside na área urbana, e que até 2050 esse número chegará a 68%. A mudança no uso e ocupação do solo, ocasionado por essa expansão urbana, traz consequências para o meio, como o aumento das cheias e inundações. Isso se deve ao fato de que ao pavimentar o solo, a infiltração das águas pluviais é

consideravelmente reduzida, somado a isso também existe um sistema de drenagem ineficiente (Righetto; Gomes; Freitas, 2017).

Quando a bacia é totalmente urbanizada, existe uma grande alteração do hidrograma natural, em função do rápido escoamento superficial provocado pelos condutos pluviais, em um ambiente impermeabilizado (Lima, 2010) (Figura 2). Tucci e Bertoni (2003) afirmam que as vazões máximas médias de inundação podem aumentar até sete vezes após a urbanização, antecipando seus picos no tempo.

Figura 2 - Hidrograma pré e pós-urbanização



Fonte: Lima, 2020. Adaptado de Tucci (1995).

Fragoso *et al.*(2016) observaram que em Belém/Pará muitos canais de macrodrenagem sofrem com a eutrofização, causada pelo lançamento irregular do esgoto, causando transbordamento do canal quando chove. Com a urbanização, a produção de resíduos sólidos e esgoto nas redes de drenagem se tornam um problema. As consequências são o assoreamento dos canais de drenagem, e a redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos, aumentando a frequência de inundações (Tucci; Bertoni, 2003).

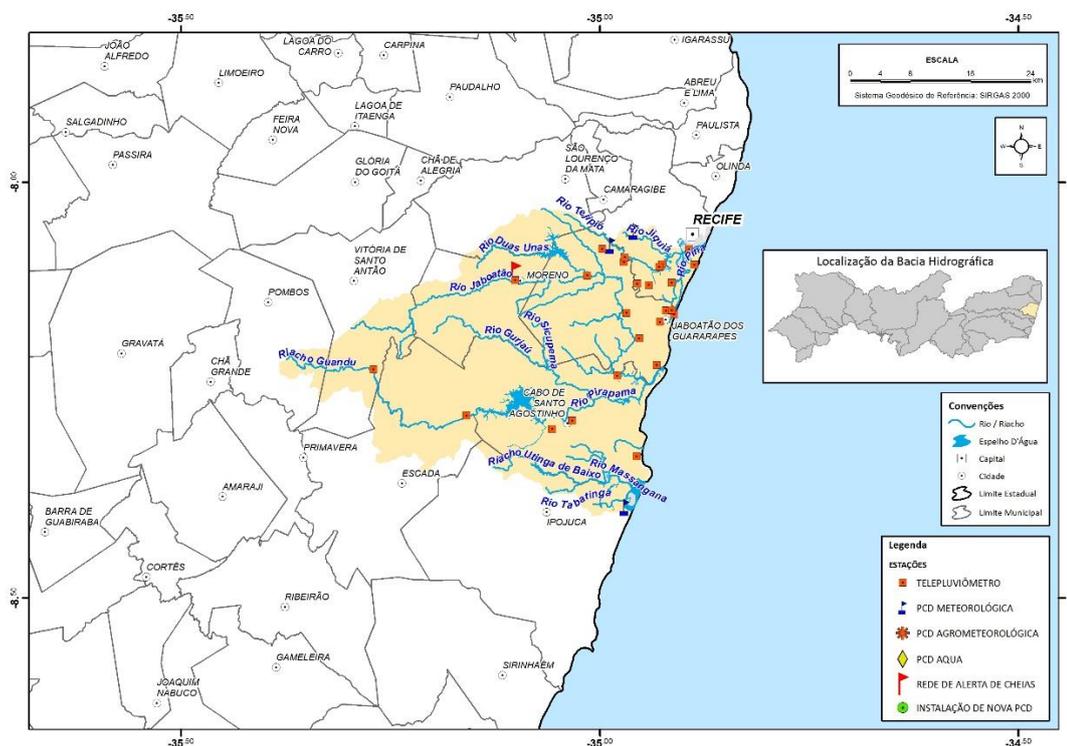
### 3.3 BACIA HIDROGRAFICA METROPOLITANO SUL

A Lei 9.433/1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, determina que a água é um importante elemento social, político e econômico, além de essencial para a vida. A PNRH estabeleceu que a gestão das bacias hidrográficas fosse feita por meio descentralização, participação e integração, através de conselhos e comitês de bacia.

Já a Lei Estadual 12.984/2005 dispõe sobre a o Plano Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos no estado de Pernambuco. Em 2022, com a atualização do Plano de Recursos Hídricos - PERH/PE, foram criadas as Unidades de Planejamento Hídrico, as “UPs”, onde cada uma possui um Plano Diretor de Recursos Hídricos, que se trata de um estudo baseado no diagnóstico dos meios físicos, bióticos e socioeconômicos da bacia. Esse documento possibilita um planejamento projetando cenários futuros para o uso da disponibilidade hídrica ao considerar as demandas atuais e iminentes, além dos impactos das variáveis analisadas.

O Cabo de Santo Agostinho fica inserido na UP 04 da Bacia Metropolitano Sul, que corresponde ao grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 2, composta basicamente pelos rios Jaboatão e Pirapama, sendo este último o responsável por drenar a área estudada. Além do Cabo de Santo Agostinho, a UP 04 também abrange totalmente o território de Jaboatão dos Guararapes, e parcialmente Moreno, Escada, Pombos, Ipojuca, Recife, São Lourenço da Mata e Vitória de Santo Antão, com uma área total de 1.264,94 km<sup>2</sup> (APAC, 2022), conforme a Figura 3.

Figura 3 – Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos 2 – GL 2



Fonte: APAC, 2022.

O Rio Pirapama, cujo Plano Hidroambiental da UP ainda está em elaboração, possui uma extensão de cerca de 71 km, onde sua foz se encontra no estuário do rio Jaboatão, e tem como principais afluentes o Rio Araribe, rio Cajabuçu, arroio Dois Rios e Rio Gurjaú, sendo este último para o abastecimento dos municípios de Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho. Além dos riachos Camuçari, Alegria, Utinga de Cima e Santa Amélia.

O Rio Pirapama enfrenta problemas de degradação ambiental associados principalmente à ocupação para habitação e atividades industriais e agricultura, e dificultado pelas condições de vulnerabilidade social da população ocupante. O aumento da cultura da cana-de-açúcar na região colabora para o desmatamento e queimada dos remanescentes florestais, que resultam no assoreamento do rio.

Além disso, a ausência de saneamento contribui para a poluição do manancial, com o despejo de efluentes domésticos e industriais do entorno (Viana, 2019). Entretanto, com todas as dificuldades que o Pirapama enfrenta, a barragem do Pirapama, ainda assim é o maior sistema de abastecimento público de Pernambuco,

e leva água aos municípios de Recife, Cabo de Santo Agostinho e Jaboatão dos Guararapes (Compesa, s.d.).

### 3.4 ESTUDOS RELATIVOS A OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES

Para o embasamento teórico do estudo, foi utilizada a busca no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), para apresentar trabalhos já feitos que auxiliam o desenvolvimento deste estudo. Foram consideradas pesquisas sobre inundações que tenham aplicado o uso de ferramentas de geoprocessamento para realizar a análise de suscetibilidade ao evento hidrológico.

Dessa forma, no Portal de Periódicos, a busca avançada por estudos feitos nos últimos 5 anos utilizando os descritores “inundação” AND “geoprocessamento” AND “suscetibilidade”, onde foram encontrados 9 resultados; “inundação” AND “mapeamento” AND “suscetibilidade”, onde foram encontrados 22 resultados; “alagamento” AND “suscetibilidade” AND “geoprocessamento”, sendo encontrado apenas 1 resultado; “alagamento” AND “suscetibilidade” AND “mapeamento” com 2 resultados.

Para fundamentar esta monografia, foram avaliadas as metodologias utilizadas nos 34 trabalhos resultantes das buscas, dos quais foram escolhidos 8, em razão de se aproximarem com o método que aqui será aplicado. No quadro 2 de Revisão da Literatura, estão listados os trabalhos selecionados.

Quadro 2 - Revisão da literatura

<b>Autor/Ano</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Fatores</b>
NEVES, L. V., <i>et al.</i> 2019.	Land Change Modeler (LCM).	Uso do solo
FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P., 2021.	Spring; Vista SAGA.	Uso do solo; declividade; hidrografia; pedologia; geologia; geomorfologia
FONSECA, V. S., <i>et al.</i> , 2022.	HAND (Height Above Nearest Drainage); Curve number (CN)	Uso do solo; hidrografia; pedologia

DIAS, M. B.; GALINA, N. R.; ALVES, C. N., 2021.	AHP (Analytic Hierarchy Process).	Hipsometria; declividade; precipitação; geologia; geomorfologia; uso do solo
CURY, M. D., <i>et al.</i> , 2021.	AHP (Analytic Hierarchy Process).	Uso do solo; hipsometria; hidrografia; declividade
NETO, A. G. P.; SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. R., 2022.	AHP (Analytic Hierarchy Process);	Declividade; hipsometria; uso do solo; pedologia; hidrografia; precipitação; densidade urbana
ARAÚJO, M. M. F., <i>et al.</i> , 2019.	AHP (Analytic Hierarchy Process).	Declividade; hipsometria; hidrografia
CHAVES, H. L. O., <i>et al.</i> 2021	Razão de frequência; Curve number (CN)	Pedologia; geologia; precipitação; curvas de nível; uso do solo

Fonte: Autora (2024).

Neves *et al.* (2019) observaram, com a ajuda do *Land Change Modeler* (LCM), que a maior mudança no uso e ocupação do solo em Duque de Caxias/RJ ocorreu em áreas de vegetação rasteira, e com maior suscetibilidade a inundação, havendo uma maior tendência de expansão urbana nessa região nos próximos anos.

Já Fonseca *et al.* (2022), para o mapeamento de áreas de risco, utilizaram dados de suscetibilidade (hidrografia, relevo, solo...) e de vulnerabilidade (população, renda, educação...) da bacia hidrográfica do Ribeirão Caladão - MG. Com o cruzamento do modelo morfométrico e do modelo de Potencial de Escoamento Superficial, vulnerabilidade social e sanitária utilizando álgebra de mapas. Os autores concluíram que as áreas de maior risco observadas, estão com ocupação urbana em planícies de inundação, e que a impermeabilização do solo afeta na aceleração do escoamento superficial, aumentando a suscetibilidade ao fenômeno.

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), criado por Saaty em (1977), e utilizado por Araujo *et al.* (2019) e grande parte dos autores selecionados no quadro 2 consiste em criar uma matriz de comparação de importância, para que ao cruzar os mapas de cada condicionante, utilizando álgebra de mapas em ambiente SIG, obtenha-se um mapa final de suscetibilidade ao evento hidrológico.

A matriz de decisão elaborada pelo método AHP no trabalho de Cury *et al.* (2021) e Neto, Silva e Barbosa (2022), atribui maior importância para o fator declividade, por exercer força no escoamento superficial. Os resultados de Dias, Galina e Alves (2021) comprovaram que as características topográficas como a

declividade e a hipsometria do terreno influenciam diretamente na suscetibilidade a inundações.

Chaves *et al.*(2021) utilizaram a análise estatística do método da Razão de Frequência (FN), que estabelece uma correlação quantitativa entre cada uma das variáveis para avaliar o impacto das inundações para cada fator de influência. Assim como Fantinel e Benedetti (2021), os autores concluíram que as áreas com maior risco de inundação possuem características de alta urbanização com impermeabilização do solo, e declividade acentuada. Em contrapartida, regiões com presença de vegetação possuem o menor risco. Dessa forma, a implementação de áreas verdes pode servir como aliado para diminuir o escoamento superficial com a maior infiltração da água no solo, e mitigar os impactos das inundações nas áreas mais planas.

Todas as constatações obtidas nas pesquisas com o uso de geotecnologias para mapear a suscetibilidade à inundações, podem ajudar no planejamento da cidade e no monitoramento dessas regiões para evitar a expansão urbana nas áreas de risco, e assim diminuir o número de tragédias provenientes dos desastres hidrológicos.

### 3.5 PANORAMA DE OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES

As inundações estão presentes a mais tempo na terra do que a existência do homem, e a sua convivência com esses episódios têm sido mostradas pela história. As antigas civilizações procuravam se instalar próximo aos rios para obter água, despejar os dejetos, e utilizar o curso d'água como principal meio de transporte na época. As áreas mais planas que estão próximas aos rios, fomentaram a ocupação da população nelas, porém a experiência dos antigos fez com que essa ocupação passasse a ser em locais mais altos, onde o rio não chegaria (Tucci; Bertoni, 2003).

A frequência das inundações é alterada quando há mudanças climatológicas, no uso e ocupação do solo ou na bacia hidrográfica. Alguns desses fatores são intensificados com o desenvolvimento urbano ao longo do tempo. Para Tucci (2004), a ocupação de áreas de risco de inundação ou deslizamento ocorre pela população de baixa renda de forma irregular ou clandestina, seja pela falta de acesso à moradia segura, ou por políticas de planejamento urbano destinadas, em sua maioria, à parte nobre das cidades.

O risco aos efeitos negativos dos desastres naturais pode ocorrer em países desenvolvidos ou em desenvolvimento. Em 2010 as inundações atingiram a França, Alemanha e Bélgica, onde morreram mais de 30 pessoas (Leskens *et al.*, 2014). Contudo, os países em desenvolvimento, pela fraca resiliência aos danos causados pelos desastres naturais, tornam-se mais vulneráveis aos impactos (Mata-Lima *et al.*, 2013).

Segundo o EM-DAT (2020), 44% das ocorrências dos desastres naturais no mundo entre 2000 a 2019 correspondem às inundações, afetando 1,6 milhões de pessoas, e caracterizando o tipo de desastre natural mais frequente. A Ásia é o continente mais afetado pelas inundações, sendo 41% dessas ocorrências no continente asiático, em sua maioria na China, com em média, 20 inundações por ano, seguido da Índia, com 17 inundações anuais, gerando grandes perdas econômicas.

Do ponto de vista de Tucci e Bertoni (2003), explicam que a ocupação das áreas de várzea pela população tem a tendência de ocorrer quando os episódios de inundação não acontecem em um período superior a 2 anos. A frequência e a intensidade das inundações também colaboram para o aumento da ocupação das áreas inundáveis, pois quando há pequenas inundações, a população tende a ignorar a sua ocorrência.

No Brasil, as regiões centro-oeste, norte e nordeste são consideradas as menos suscetíveis aos eventos de inundação, de acordo com o Atlas de Vulnerabilidade a Inundações (ANA, 2014). Em contrapartida, as regiões sudeste e sul apresentam as maiores vulnerabilidades, com cerca de 1.027 e 1.125 trechos de rio com alta vulnerabilidade, respectivamente.

Os eventos climáticos extremos estão cada vez mais frequentes em todo o país. Na região sudeste é possível destacar a ocorrência de inundações, enxurradas e deslizamentos no Rio de Janeiro em fevereiro de 2022, que levou a 233 mortes. No sul, de acordo com o estudo “Desastres Naturais no RS: estudo sobre as ocorrências no período 2003 - 2021”, foram registradas cerca de 256 ocorrências de inundações no Rio Grande do sul, com 34.294 atingidos no período entre 2003 a 2021 (DEPLAN/SPGG, 2022; Moraes, *et al.*, 2023).

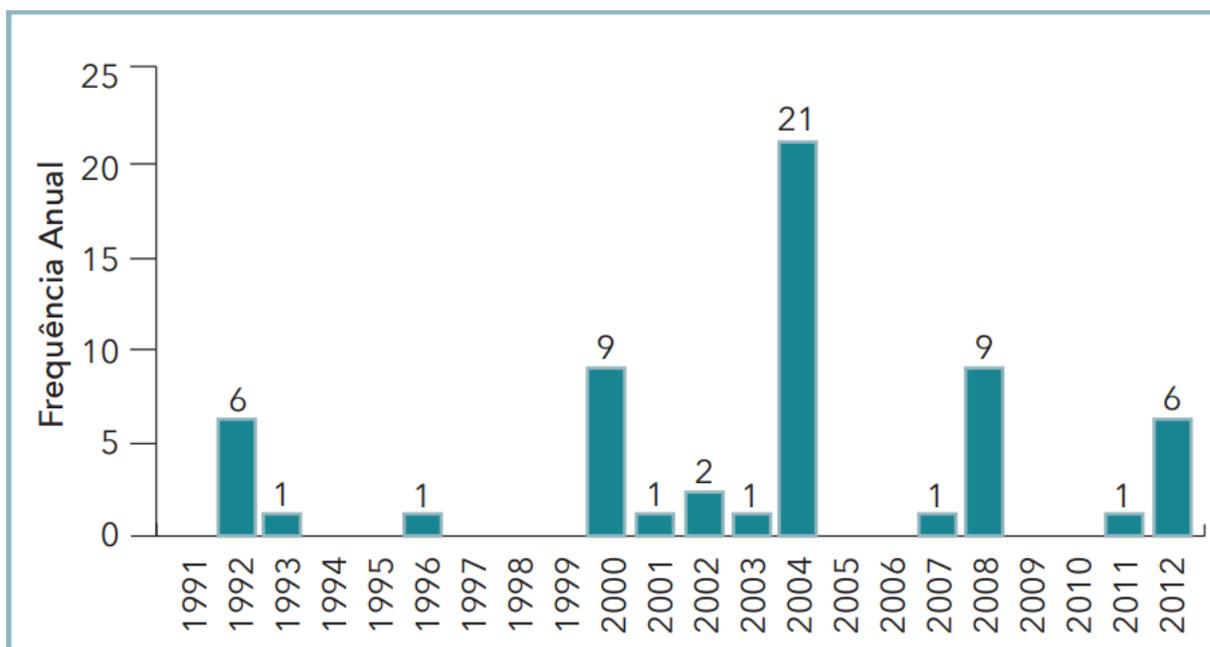
Ainda no Rio Grande do Sul, em maio de 2024 ocorreu o maior desastre hidrológico da história recente do estado, onde dos 497 dos municípios gaúchos, 476

foram afetados. A catástrofe deixou mais de 30.000 pessoas desabrigadas, 172 óbitos e 41 ainda desaparecidas (Defesa Civil/RS, 2024).

Já na região nordeste, Pernambuco também sofreu com uma grande inundação em maio de 2022, Donatti *et al.* (2024) ao analisar os pontos críticos das inundações ribeirinhas relacionadas a eventos climáticos globais, constata que Pernambuco está entre as regiões com alto impacto de pessoas em todo o planeta.

A Figura 4 exibe a frequência de desastres causados pelas inundações em Pernambuco no período entre 1991 a 2012. Mesmo com uma grande lacuna nos registros de inundações nos anos analisados, foi possível observar que em 2004 ocorreu o maior número de registros oficiais de inundações no estado, totalizando 21 (Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013).

Figura 4 - Frequência anual de desastres por inundações no Estado de Pernambuco, no período de 1991 a 2012



Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013.

No mesmo estudo, também foi observado a ocorrência de 2 episódios de inundação no município do Cabo de Santo Agostinho, uma em 2000 e a outra em 2012. A análise de Silva *et al.* (2023) sobre o sistema de drenagem urbana e o manejo de águas pluviais na cidade, conclui que há a deterioração e assoreamento das

estruturas de drenagem, que prejudicam sua funcionalidade e aumentam os índices de alagamentos e inundações nas regiões.

Além disso, em 1970 o município sofreu com inundações ocorridas no mês de julho, com os transbordamentos dos rios Gurjaú e Pirapama. O evento impactou diretamente na acessibilidade a hospitais e ao funcionamento de indústrias, por exemplo. O Cabo de Santo Agostinho também sofreu com fortes chuvas nos anos 2000, 2004, 2005 e 2010 (Batista, 2015).

## 4 METODOLOGIA

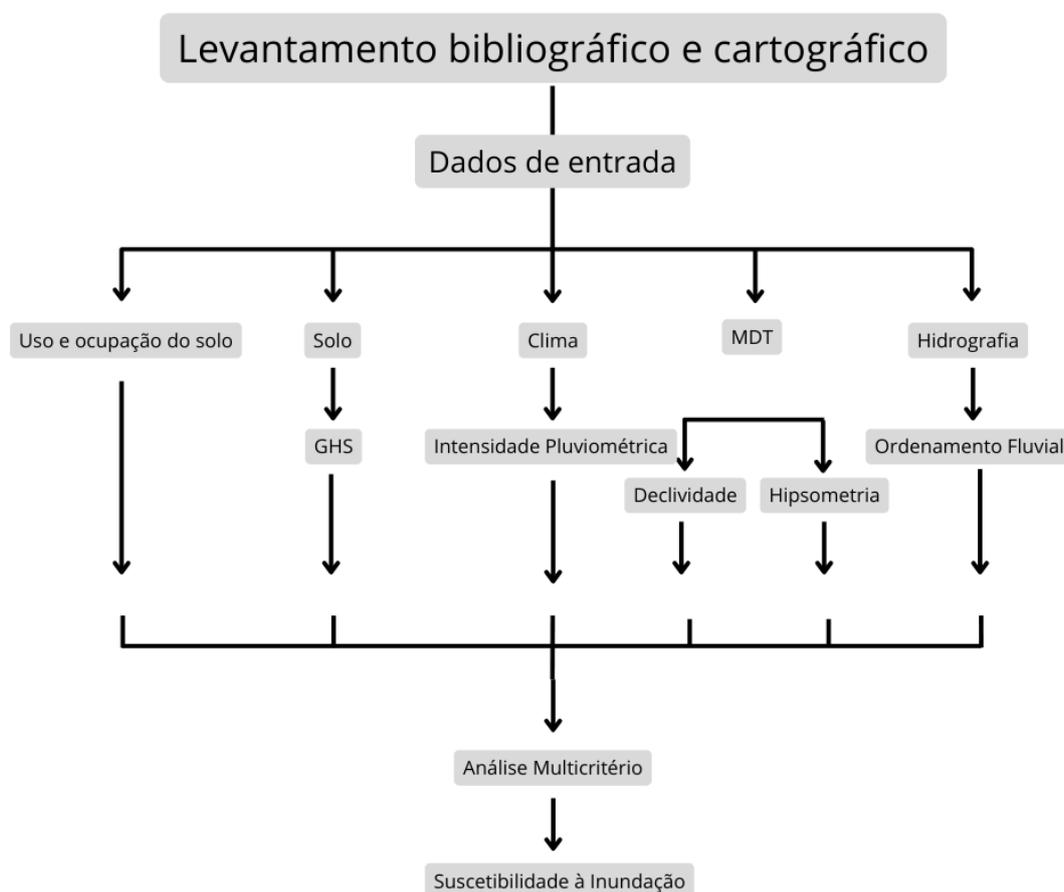
A presente pesquisa desenvolvida tem caráter exploratório a partir do levantamento de informações que contribuem para a ocorrência das inundações, analisando a influência dessas características na promoção da suscetibilidade ao evento em uma região. Gil (2002) classifica esse tipo de pesquisa como "bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato". Para isso, será utilizada a abordagem do método quali-quantitativo com pesquisa bibliográfica na literatura científica para levantamento dos dados necessários para a execução do trabalho, produção de matrizes, mapas temáticos e o mapa final de suscetibilidade.

A elaboração do mapa de suscetibilidade à inundação do município do Cabo de Santo Agostinho foi desenvolvida em quatro etapas, baseados na metodologia de Mantovani (2016) e Fernandes (2016). A primeira etapa, foi a coleta dos dados de entrada coletados de fontes oficiais, descrito no fluxograma presente na Figura 5, compostos pelos dados dos condicionantes considerados no estudo: dados de solo com o grupo hidrológico de solo (GHS), de clima com a intensidade pluviométrica, o MDT com declividade e hipsometria, hidrografia com ordenamento fluvial, e por fim, dados de uso e ocupação do solo.

A segunda etapa, é baseada na reclassificação desses 6 condicionantes utilizados no estudo: a hipsometria, declividade, uso e ocupação do solo, intensidade pluviométrica, ordenamento fluvial e o GHS. A reclassificação utilizou valores de 0 (menos suscetível) a 10 (mais suscetível), considerando os aspectos físicos que integralmente influenciam na suscetibilidade à inundação.

A terceira, por sua vez, consiste na aplicação do método AHP, tendo como base a escala de Saaty (1977), para obter uma matriz de comparação pareada e gerar a hierarquia de importância entre os condicionantes no contexto analisado. Por fim, na quarta etapa os valores dos pesos adquiridos a partir do método AHP foram inseridos no *software* ArcGis PRO 3.1.0 para realizar o cruzamento dos dados e produzir o mapa final de suscetibilidade.

Figura 5 - Fluxograma das atividades

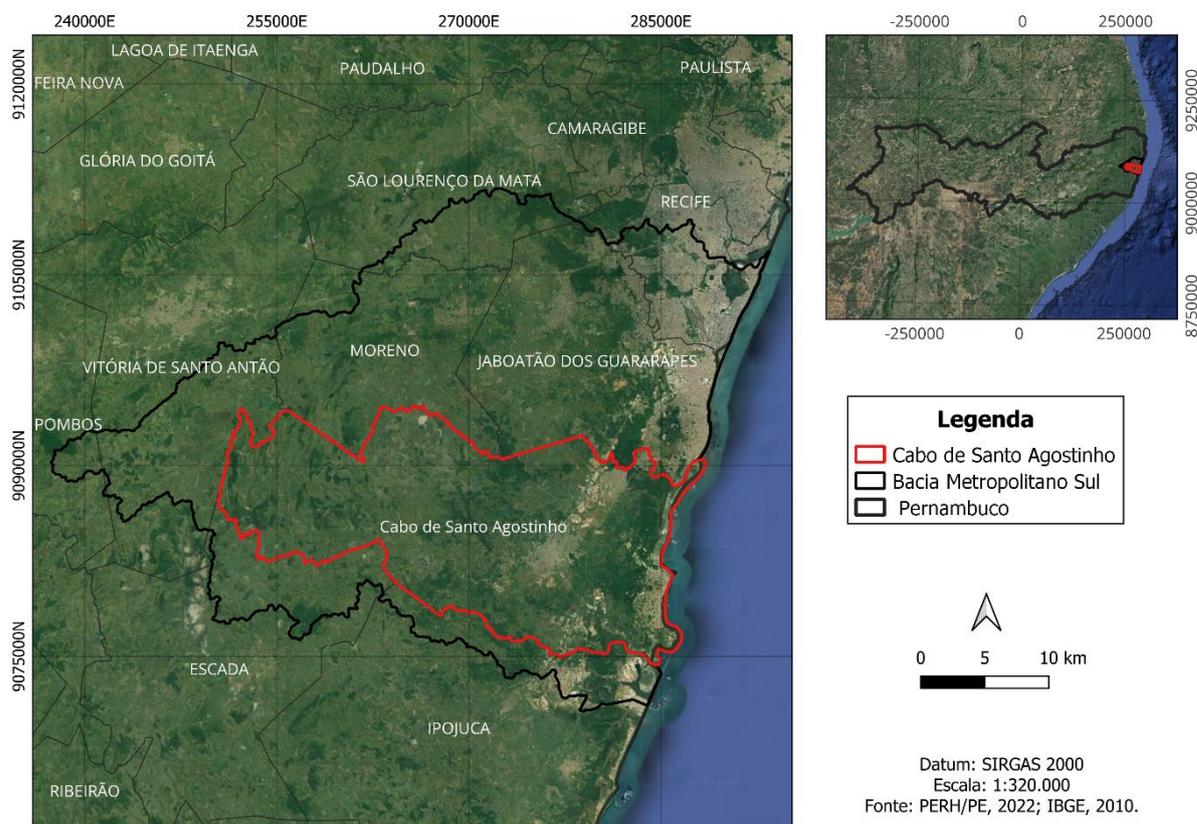


Fonte: Autora, 2024.

#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, o município do Cabo de Santo Agostinho (Figura 6), localizado sob as coordenadas de latitude 8°17'15" sul, e longitude 35°02'00" oeste, a uma altura de 29 metros em relação ao nível do mar. O município fica a cerca de 33 km de Recife, e possui área territorial de 445,386 km<sup>2</sup>, compondo a Mesorregião Metropolitana do Recife, com uma população de 203.216 habitantes (IBGE, 2022).

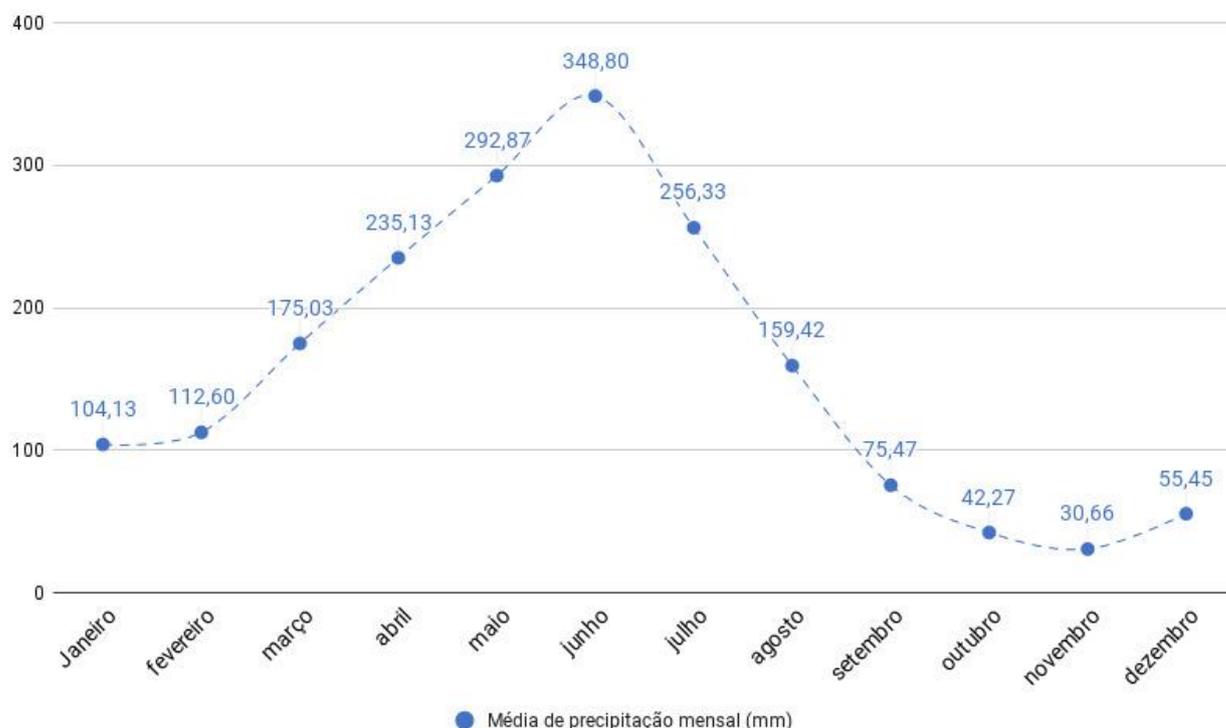
Figura 6 - Mapa de localização do município do Cabo de Santo Agostinho/PE



Fonte: Autora (2024).

O clima do município é predominantemente tropical úmido com chuvas de outono-inverno, e temperatura média anual de 28°C, sendo a máxima de 30°C e a mínima em torno de 26°C, com umidade relativa do ar entre 72,9% e 90,7% (Lafayette, 2006). A precipitação é bastante elevada, principalmente durante os meses de março a julho, com média máxima mensal de 348,80 mm referente ao mês de junho, apresentado no gráfico 1, podendo ser superada em contexto de eventos extremos, sendo o mês de junho o mais frio e chuvoso, enquanto os meses de setembro a dezembro os mais secos, e janeiro e fevereiro os mais quentes.

Gráfico 1 - Média mensal de precipitação (mm).



Fonte: Autora (2024).

A cidade está inserida dentro do bioma Mata Atlântica, com predominância na formação florestal do tipo perenifólia, caracterizadas por vegetação densa, mas que pela presença dos engenhos, vem dando lugar à cultura de cana de açúcar, e as formações litorâneas, que incluem a restinga e o manguezal (Lafayette, 2006).

Além disso, o Cabo de Santo Agostinho possui também a presença de 9 unidades de conservação em seu território: Estação Ecológica Bita e Utinga, Parque Estadual Mata do Zumbi, Parque Estadual Mata de Duas Lagoas, Refúgio de vida silvestre (RVS) do Sistema Gurjaú, RVS Mata do Contra-Açude, RVS Mata do Bom Jardim, RVS Mata do Cumaru, RVS Serra do Cotovelo e RVS Mata do Urucu (CPRH, 2024).

Em relação à geologia, a área está inserida nas seguintes unidades geotécnicas: embasamento cristalino, constituído por granitos, gnaisses e migmatitos; e a Bacia Pernambuco, que tem como principal unidade, a Formação Cabo de Santo Agostinho, que é dividida em fácies distal, mediana e proximal (Souza, 2018). A unidade geomorfológica é constituída por níveis cristalinos que antecedem a Província

Borborema, que é caracterizado por uma topografia dominada por vales. A presença de granitos félsicos faz com que o processo de formação de ravinas ou ravinamento seja intenso na área (Lafayette, 2006).

#### 4.2 DADOS DE ENTRADA

Os dados espaciais dos fatores condicionantes de entrada considerados no presente estudo foram coletados de fontes oficiais através da plataforma online de cada órgão. As fontes dos dados utilizados para a confecção dos mapas estão listadas no quadro 3.

Quadro 3 - Fontes de obtenção dos dados espaciais.

<b>Fator</b>	<b>Fonte dos dados</b>	<b>Ano</b>
Declividade	PE3D	2013
Hipsometria	PE3D	2013
Uso e ocupação do solo	MapBiomas	2022
Pedologia	EMBRAPA	2011
Ordenamento fluvial	PE3D	2013
Precipitação	APAC	2003-2023

Fonte: Autora (2024)

O Modelo Digital de Terreno (MDT) adquirido pelo programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) foi utilizado como dado essencial para a análise do terreno, em formato matricial com resolução espacial de 30 m e manipulado por meio de ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) através do *software* ArcGIS Pro.

Como o MDT possui dados altimétricos, foi possível extrair informações acerca da hipsometria, no qual foi dividida igualmente em 10 classes altimétricas mediante o método estatístico de quantil. Dessa forma, tornou-se viável analisar de forma

detalhada todas as cotas hipsométricas, sobretudo as mais baixas, que influenciam em maior grau o processo de inundação.

Por meio do MDT também foi extraída a declividade com a classificação de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979) (Quadro 4). O fator declividade afeta diretamente nas inundações por meio da influência na velocidade do escoamento da água ao longo do terreno.

Quadro 4 - Classificação da declividade.

Declividade (%)	Forma de relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave-ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte-ondulado
45 -75	Montanhoso
>75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA (1979)

Os dados de uso e ocupação do solo foram obtidos através da plataforma do *Google Earth Engine* por meio do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil do MapBiomas. O arquivo foi oriundo da Coleção 8 do ano de 2022, no formato matricial e com resolução espacial de 30 metros. Os dados foram processados no *software* QGis versão 3.28.1, no qual foram observadas regiões com diversos tipos de ocupação do solo, como de formação florestal, mangue, agricultura, área urbana e cursos d'água.

Através da EMBRAPA foram obtidos os dados acerca da pedologia em formato *shapefile*, com as cores classificadas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). Mediante os dados pedológicos realizou-se a classificação dos Grupos Hidrológicos de Solo (GHS), com base no método de Sartori, Neto e Genovez (2005) (Quadro 5). Após a classificação hidrológica, o arquivo foi transformado em formato matricial.

Quadro 5 - Classificação dos Grupos Hidrológicos de Solo (GHS)

<b>Tipo de solo</b>	<b>GHS</b>
Neossolo quartzarênico	B
Gleissolo háplico	D
Argissolo amarelo	C
Argissolo vermelho amarelo	C
Latossolo amarelo	A
Espodossolo ferrihumilúvico	C
Solos de mangue	D
Nitossolo vermelho	B

Fonte: Sartori; Neto; Genovez (2005)

As informações a respeito das precipitações foram adquiridas através da APAC em série histórica de dados mensais de 20 anos, no período de 2003 a 2023, em 8 pluviômetros localizados nos municípios do Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes, Ipojuca, Moreno e São Lourenço da Mata, que fazem parte da bacia Metropolitana Sul. As falhas dos dados foram preenchidas com a utilização do método de ponderação regional.

Para obter o valor da Intensidade Pluviométrica (IP) da bacia, utilizou-se o método de Crepani *et al.*(2001), onde a duração do período chuvoso, medido em meses (DMC) é dividido pelo valor da pluviosidade média anual (PMA) desse mesmo período, representada na equação 1. Os meses mais chuvosos da bacia são março, abril, maio, junho e julho. O resultado do cálculo da intensidade pluviométrica é apresentado na tabela 1.

Equação 1 - Intensidade pluviométrica

$$IP = \frac{PMA}{DMC}$$

Tabela 1 - Cálculo da Intensidade Pluviométrica.

<b>Código</b>	<b>Posto</b>	<b>PMA</b>	<b>DPC</b>	<b>IP</b>
301	Cabo	1.412	5	282,4
490	Cabo (Barragem de Gurjaú)	1.475,3	5	295
491	Cabo (Barragem de Suape - Utinga)	1.430,3	5	286
603	Cabo (Pirapama)	1.412,4	5	282,4
602	Ipojuca (Suape) - PCD	1.354,4	5	270,8
268	Jaboatão dos Guararapes (Bar.Duas Unas)	1.256,3	5	251,2
205	Moreno	1.213,8	5	242,7
267	São Lourenço da Mata (Tapacurá)	910,3	5	182

Fonte: Autora (2024).

Segundo Crepani *et al.*(2001), a informação acerca da intensidade pluviométrica permite quantificar o grau de risco que uma área se encontra. Valores de IP elevados representam uma grande precipitação em um curto período de tempo, isso significa um maior risco de cheias, erosões e deslizamentos para a região atingida, situação inversa ao que se refere a IP reduzida.

A espacialização dos dados da intensidade pluviométrica foi feita para toda a bacia Metropolitana Sul, com o auxílio do *software* ArcGis Pro, com o método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IQD), ou *The Inverse Distance Weighted* (IDW). O método de Interpolação IDW atribui maior semelhança às feições que estão mais próximas umas das outras, do que as que estão mais distantes. Após realizar a interpolação, foi feito o recorte para o município do Cabo de Santo Agostinho.

O MDE (Modelo Digital de Elevação), utilizado para a caracterização do ordenamento fluvial, foi obtido pela plataforma PE3D em formato matricial com resolução espacial de 30 m. No *software* ArcGis Pro, utilizando o método de Strahler, foram encontrados rios de 1º até 5º ordem, sendo os de maior ordem aqueles que apresentam risco mais elevado de inundação.

### 4.3 UTILIZAÇÃO DO MÉTODO AHP

O AHP (*Analytic Hierarchy Process*) ou Processo Analítico Hierárquico, desenvolvido por Thomas L. Saaty, consiste em hierarquizar os critérios qualitativos e quantitativos conforme sua importância no contexto a que ele é aplicado. O método AHP, aliado ao geoprocessamento, é relevante no estudo de problemas complexos. Assim, são hierarquizados e comparados entre si em uma matriz de comparação por pares, atribuindo-se um valor de importância relativa (peso) ao inter-relacionamento às multivariáveis. Os valores dos pesos são aplicados com base na escala de Saaty (1997) (Quadro 6) (Fernandes, 2016; Mantovani, 2016).

Quadro 6 - Escala de julgamento de importância do método AHP

<b>Pesos</b>	<b>Descrição da importância</b>	<b>Justificativa</b>
1	Igual	Os dois parâmetros contribuem equitativamente
3	Moderada	O parâmetro comparado é um pouco mais importante que o outro.
5	Essencial ou forte	Julgamento favorecendo fortemente um parâmetro sobre o outro.
7	Muito forte	Um parâmetro é fortemente favorecido, com demonstração na prática
9	Extrema	O parâmetro comparado apresenta uma importância maior do que o outro em maior nível possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando há uma condição intermediária entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

O método AHP é amplamente utilizado no estudo de riscos ambientais, como no mapeamento de áreas de risco a inundação na bacia hidrográfica do Rio Jabotão (Pessoa Neto; Barbosa; Silva, 2021) e em Santa Maria - RS (Fernandes, 2016), e na criação de um modelo de risco a inundação na bacia do rio Jacuípe (AL/PE) (Lima; Faccioli; Medeiros, 2024), entre outros estudos.

Para a confecção da matriz de decisão, foi utilizada a plataforma BPMSG AHP. A plataforma BPMSG AHP elaborou de forma automática uma matriz com base nos

pesos de cada condicionante, que foram determinados através do prévio levantamento bibliográfico. Os fatores considerados na análise da suscetibilidade a inundações foram declividade, hipsometria, ordenamento fluvial, uso e ocupação do solo, intensidade pluviométrica e grupo hidrológico de solo. Após a atribuição dos pesos aos critérios e comparação com os demais, o resultado foi normalizado.

Em seguida, conforme o método de Saaty, é necessário conferir a razão de consistência (RC) que deve ser inferior a 0,1 para ser aceitável. O cálculo é feito através das equações 2, 3 e 4.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{[A_w]_i}{w_i} \quad (2)$$

Primeiramente é encontrado o autovalor máximo da matriz. Onde:  $\lambda_{max}$ : Autovalor máximo da matriz;  $A_w$ : produto resultante da multiplicação da matriz de comparação;  $w_i$ : coeficiente de ponderação (pesos); n: número de variáveis.

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

Após encontrar o autovalor máximo, é calculado o IC. Onde: IC: Índice de Consistência; n: número de variáveis presentes na matriz de comparação;  $\lambda_{max}$ : maior autovalor da matriz, que é calculado a partir da equação:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (4)$$

Por fim, é calculado o RC. Onde: RC: Razão de Consistência; IR: Índice Randômico; IC: Índice de Consistência. Os valores de IR se encontram no quadro 7, e são referentes ao número de critérios empregados no estudo, sendo neste caso, 6 critérios, e IR no valor de 1,24.

Quadro 7 - Valores de IR

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

Fonte: Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2023.

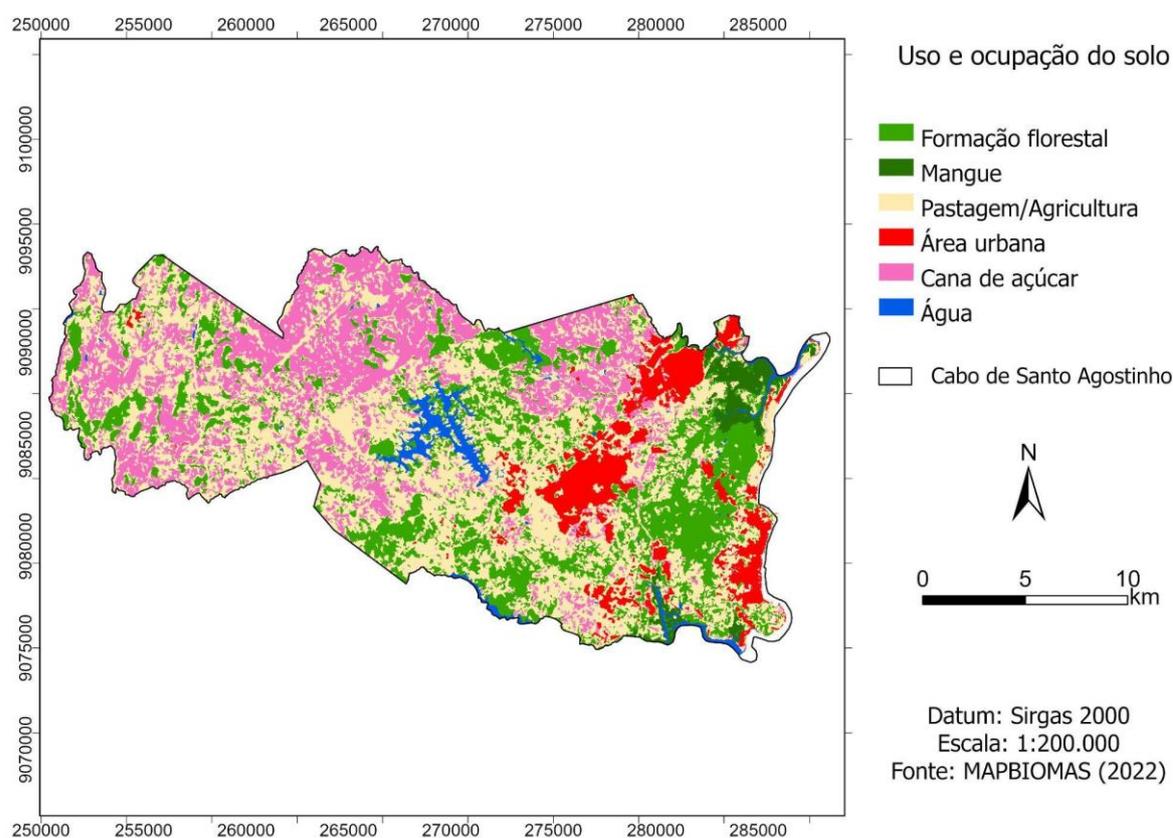
Em seguida, no *software* ArcGis Pro, para que houvesse a combinação dos fatores através da álgebra de mapas, foi utilizada a ferramenta *raster calculator*, onde todos os arquivos devem estar em formato matricial, pois a probabilidade é calculada a partir dos valores dos pixels. Dessa forma, apenas o grupo hidrológico, que estava em formato vetorial, precisou ser convertido, já que os demais critérios já estavam no formato adequado.

Além disso, todos os dados foram reclassificados com pesos de 1 a 10, sendo 1 o peso dado para a classe que apresenta menos suscetibilidade a inundação, e 10 para a que apresenta maior suscetibilidade. Assim, ao realizar a álgebra de mapas, as informações sobre o peso de cada classe que foi reclassificada no ArcGis Pro, ao ser multiplicada pelo valor do peso de cada fator, oriundo do método multicritério, o resultado final da álgebra de mapas fica mais consistente. Nessa etapa, foi utilizada a ferramenta da *Spatial Analyst tools - Reclassify*, do *software* ArcGis Pro 3.1.0. O mapa final de suscetibilidade foi classificado no método quebras naturais em 5 classes.

## 5 RESULTADOS

Através do ambiente SIG, por meio da utilização do *software* ArcGis PRO, foi possível construir os mapas dos fatores de suscetibilidade a inundações, que constam a declividade, hipsometria, intensidade pluviométrica, ordem dos rios, uso e ocupação do solo, e os tipos de solo que deram base para o mapa de grupo hidrológico de solos.

Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo do município do Cabo de Santo Agostinho



Fonte: Autora, 2024.

O mapa de uso e ocupação do solo foi separado em 6 classes de uso, representado na Figura 7. A tabela 2 detalha o percentual e a área em km<sup>2</sup> ocupada por cada classe no município, onde uma parte expressiva é preenchida pela pastagem e agricultura, com 43% da área e 191,342 km<sup>2</sup>. Em seguida, domina a região a cultura de cana de açúcar e áreas com mosaicos florestais com 23% e 21%, respectivamente.

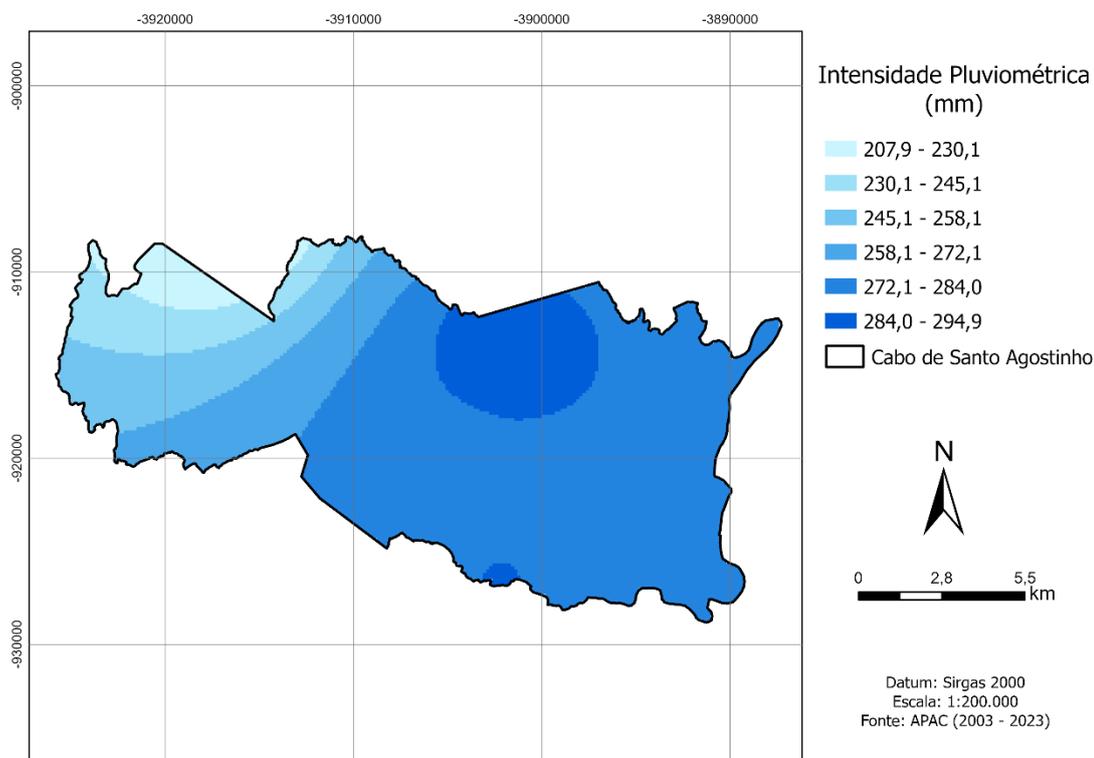
A concentração urbana representa 8%, corpos d'água 3% e o manguezal com cerca de 2%.

Tabela 2 - Classes de uso e ocupação do solo do município do Cabo de Santo Agostinho

Classes	Área ocupada	
	km <sup>2</sup>	%
Cana de açúcar	101,25	23%
Pastagem/Agricultura	191,34	43%
Formação Florestal	95,07	21%
Água	11,18	3%
Área urbana	36,33	8%
Mangue	10,19	2%
<b>Total</b>	<b>445</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autora, 2024.

Figura 8 - Mapa de intensidade pluviométrica do município do Cabo de Santo Agostinho



Fonte: Autora, 2024.

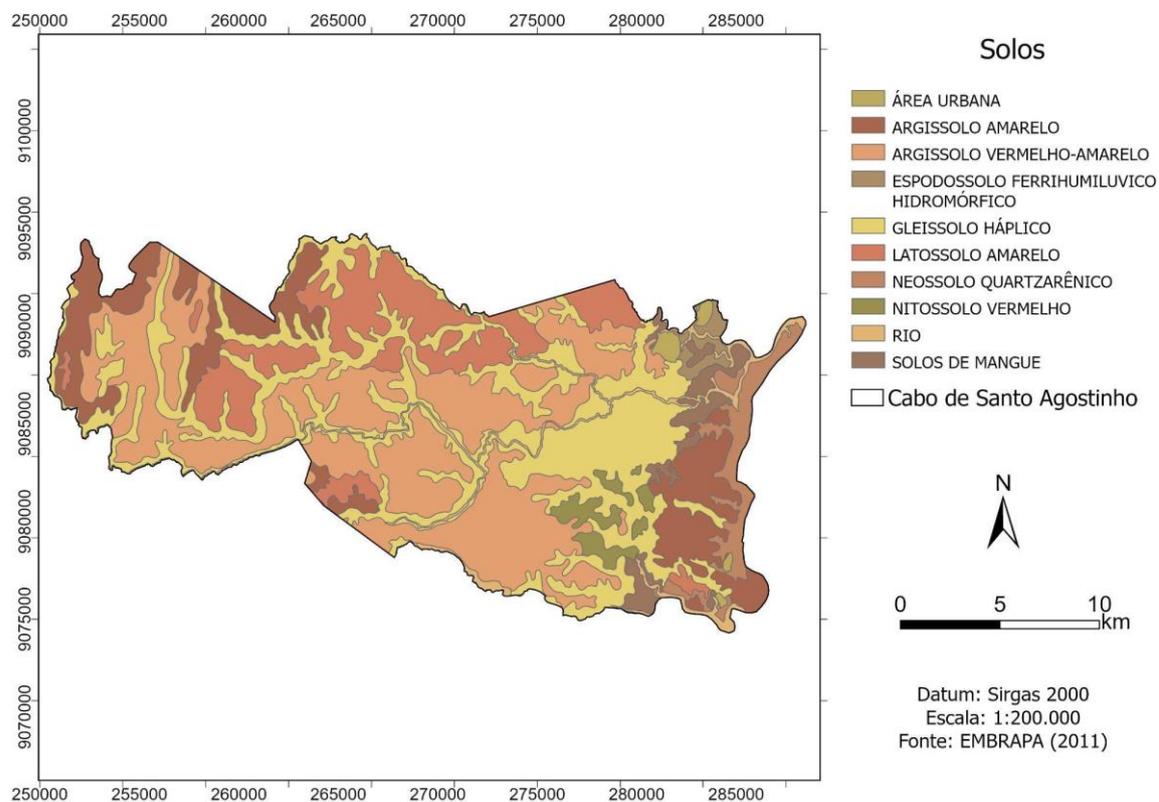
A Figura 8 mostra a espacialização da intensidade pluviométrica e a distribuição das chuvas ao longo do município, separadas em 6 classes, detalhadas pela tabela 3. Há uma maior concentração da precipitação na região central e mais próxima ao litoral com cerca de 57% dessa com intensidade pluviométrica em torno de 272,1 – 284,0 mm. As demais áreas se encontram com o valor de IP equilibrado, sendo o menor valor em 3% da região, com o valor de IP entre 207,9 – 230,1 mm.

Tabela 3 - Classes de intensidade pluviométrica do município do Cabo de Santo Agostinho

Classes	Área ocupada	
	km <sup>2</sup>	%
207,9 – 230,1 mm	13.787	3%
230,1 – 245,1 mm	32.107	7%
245,1 – 258,1 mm	47.237	11%
258,1 – 272,1mm	52.581	12%
272,1 – 284,0 mm	254.011	57%
284,0 – 294,9 mm	45.397	10%
<b>Total</b>	<b>445</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autora, 2024.

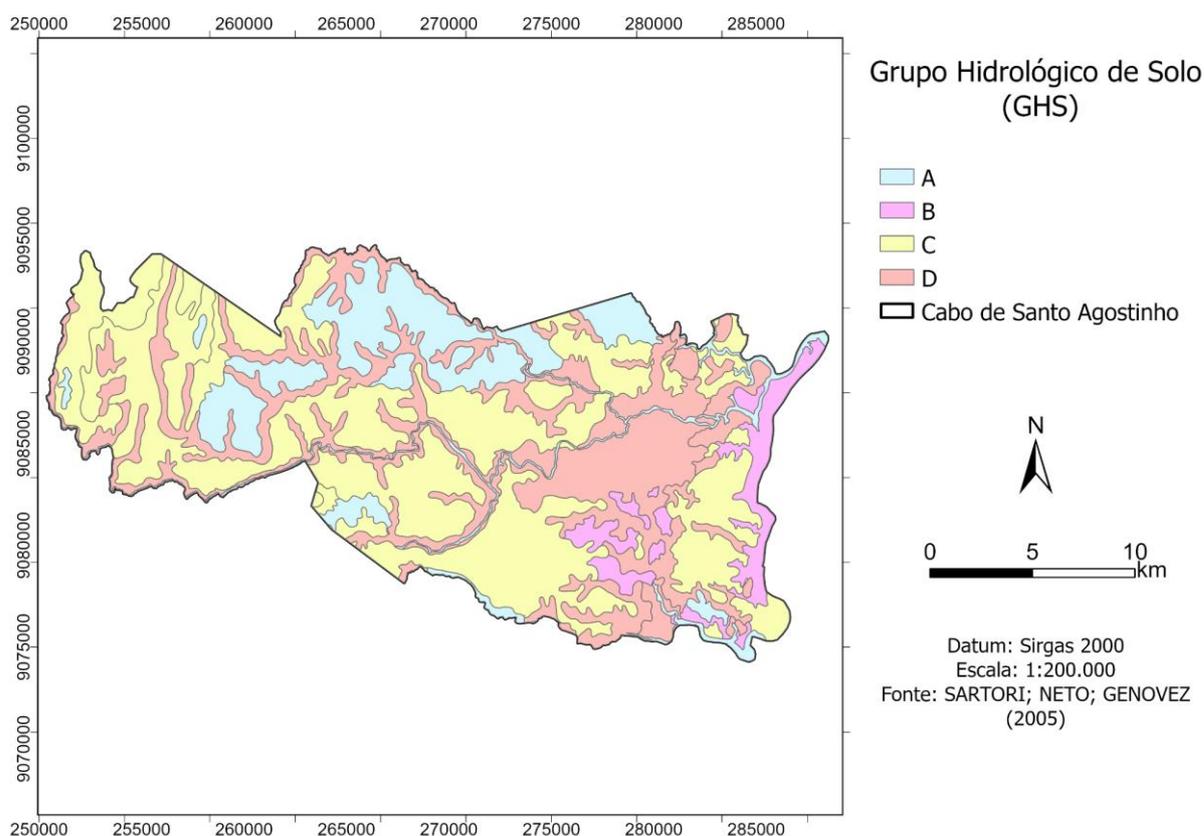
Figura 9 - Mapa de solos do município do Cabo de Santo Agostinho



Fonte: Autora, 2024.

O mapa de solos (Figura 9), foi utilizado para classificar o grupo hidrológico de solo (Figura 10), sendo importante na identificação da pedologia presente na região do município do Cabo de Santo Agostinho. Nele, foram indicados 8 tipos de solos, corpos d'água, representado pela classe rio, e a área urbana. Entre eles estão: Argissolo amarelo; argissolo vermelho-amarelo; espodossolo ferrihumilúvico hidromórfico; gleissolo háplico; latossolo amarelo; neossolo quartzarênico; nitossolo vermelho, e solos de mangue.

Figura 10 - Mapa de grupo hidrológico de solos do município do Cabo de Santo Agostinho



Fonte: Autora, 2024.

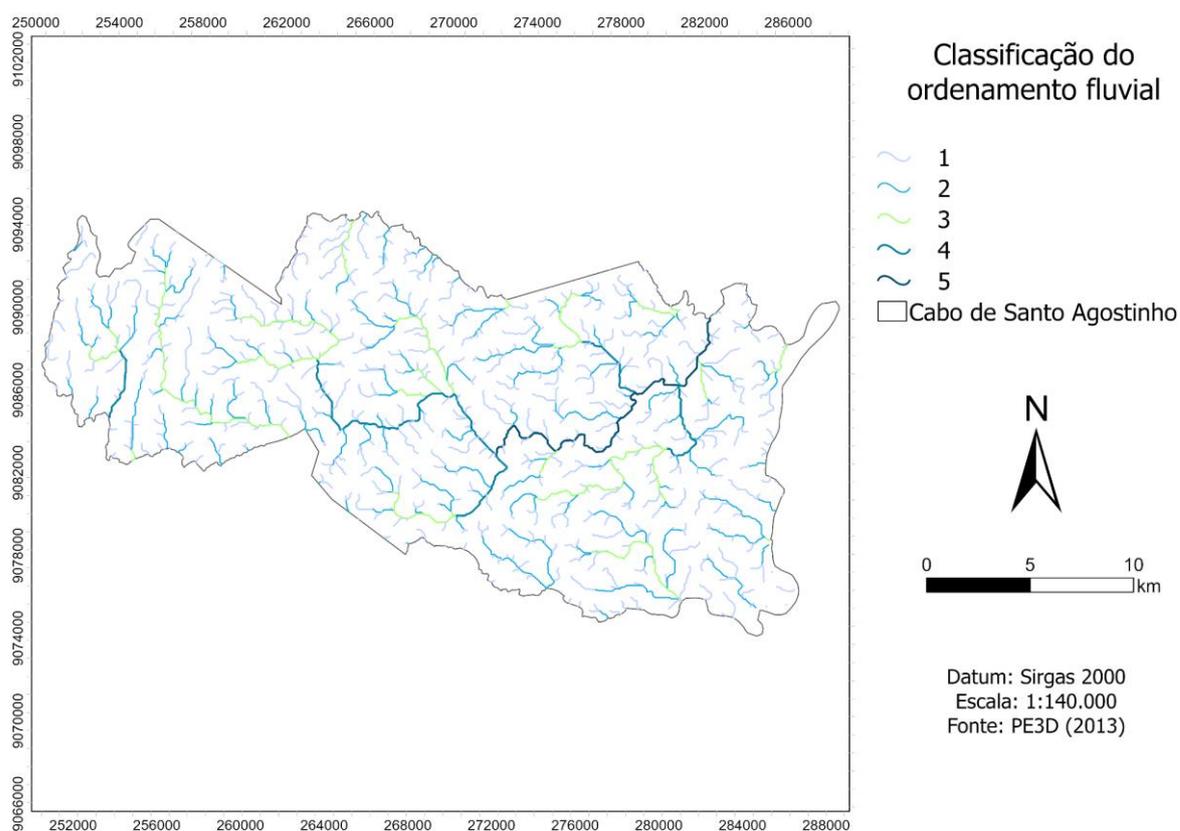
A construção do mapa de GHS (Figura 10) como comentado anteriormente, foi feito a partir do mapa dos tipos de solo (Figura 9), onde a partir dele, os solos foram classificados em 4 grupos, A, B, C e D, representado por classes no mapa. Cerca de 46% do Cabo de Santo Agostinho é composto por solos do grupo C, com 203,165 km<sup>2</sup>, seguido do grupo D com 32% e 144,196 km<sup>2</sup>. O grupo A representa 17% e 73,764 km<sup>2</sup>, e por último o B com 5% e 24,261 km<sup>2</sup>. A maior presença de solos mal drenados representa uma região com maior escoamento superficial e possibilita uma maior suscetibilidade a inundações.

Tabela 4 - Classes de grupo hidrológico de solos do município do Cabo de Santo Agostinho

Classes	Área ocupada	
	km <sup>2</sup>	%
A	73,76	17%
B	24,26	5%
C	203,16	46%
D	144,19	32%
<b>Total</b>	<b>445</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autora, 2024.

Figura 11 - Mapa da ordem dos rios do município do Cabo de Santo Agostinho



Fonte: Autora, 2024.

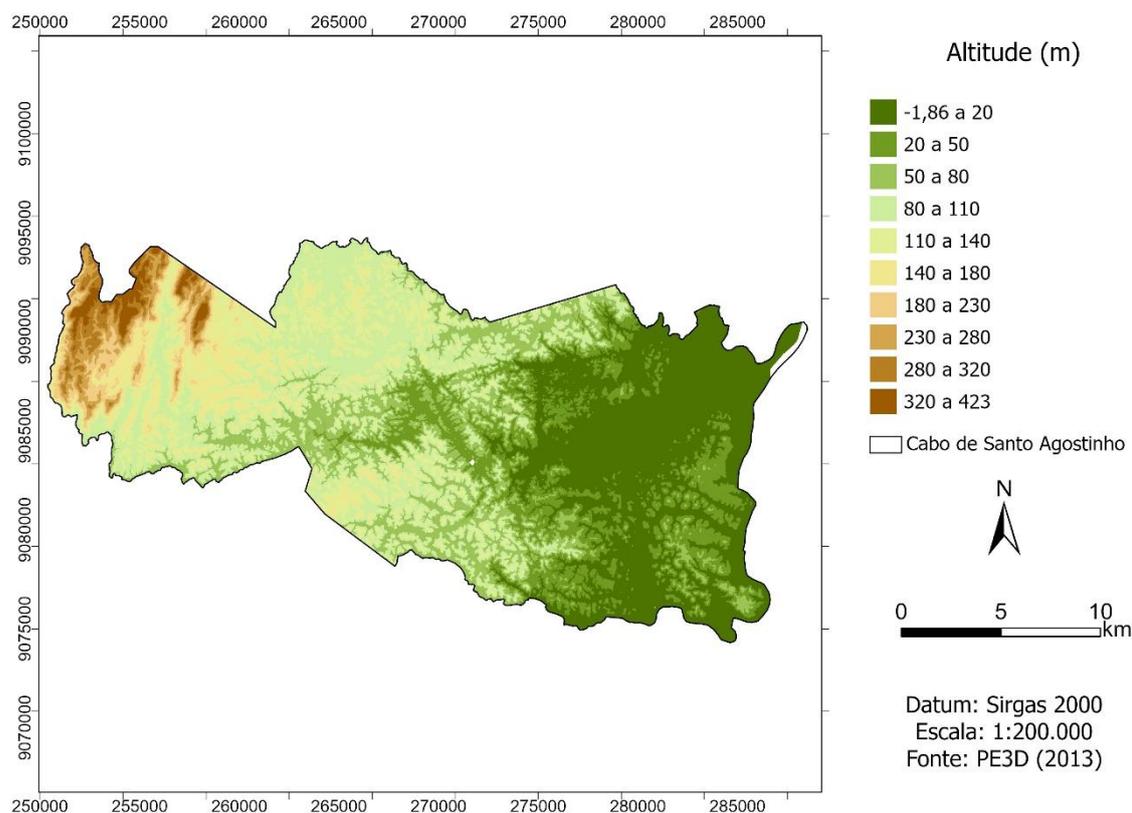
O ordenamento fluvial (Figura 11) hierarquiza os rios de menor a maior magnitude, sendo os de maior ordem aqueles que possuem maior potencial de inundação. Na tabela 5, é possível analisar que a maior ordem da bacia presente no Cabo de Santo Agostinho é 5, com 19,01 km de comprimento e ocupando 3% da área. Em contrapartida, o de menor ordem, ocupa a maior parte da cidade, com 53% da área, e possui no total cerca de 350,89 km de comprimento.

Tabela 5 - Classes do ordenamento fluvial do município do Cabo de Santo Agostinho

Classes	Comprimento	
	km	%
1ª Ordem	350,89	53%
2ª Ordem	181,69	27%
3ª Ordem	82,76	12%
4ª Ordem	32,48	5%
5ª Ordem	19,01	3%
<b>Total</b>	<b>667</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autora, 2024.

Figura 12 - Mapa hipsométrico do município do Cabo de Santo Agostinho



Fonte: Autora, 2024.

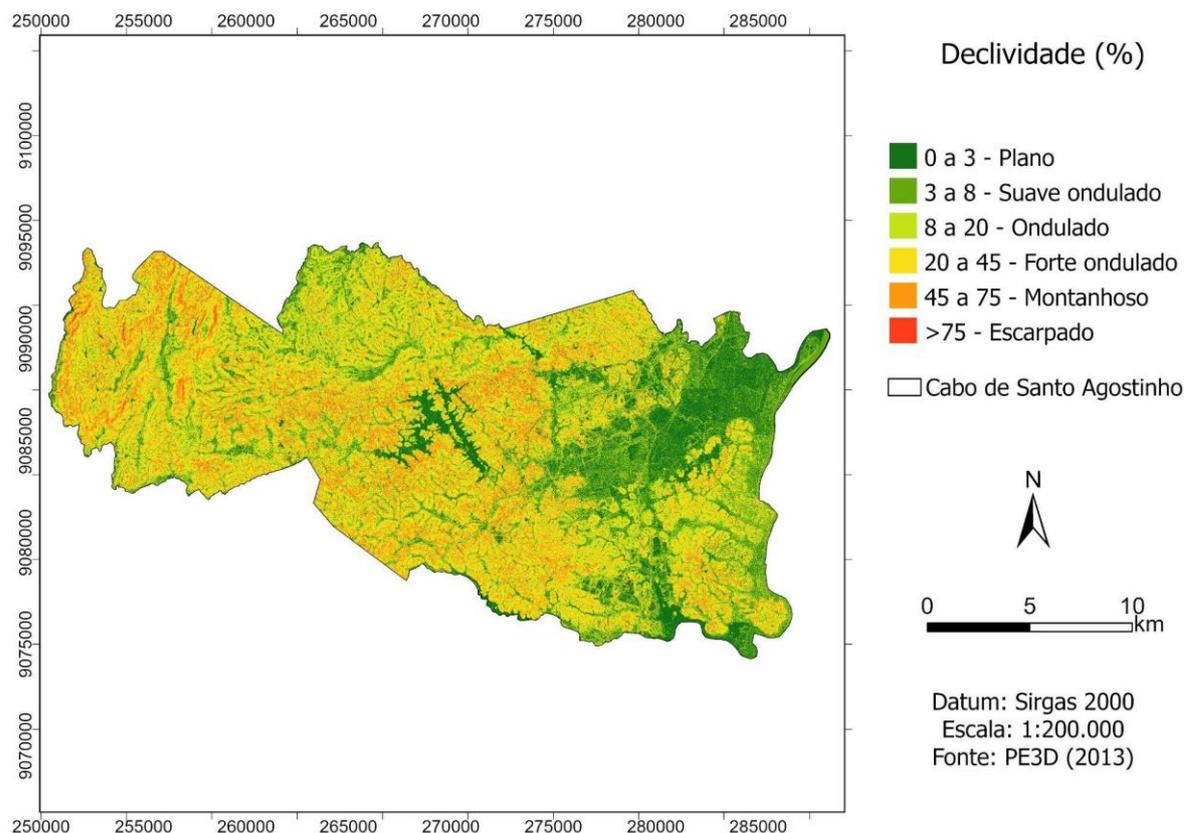
O mapa hipsométrico (Figura 12) foi classificado em 10 altitudes, onde na tabela 6 é representado que a maior parte da área com 25% e 112,27 km<sup>2</sup> está localizada na região mais plana do município, com altitudes de -1,86 a 20 metros, sendo justamente as áreas mais planas aquelas com maior suscetibilidade a inundação. Porém, a área mais alta do município com altitudes de 320 a 423 metros, ocupa apenas 1% do território, que, em contrapartida, são as áreas que apresentam menor potencial de inundação, em consequência da altitude.

Tabela 6 - Classes de hipsometria do município do Cabo de Santo Agostinho

Classes	Área ocupada	
	km <sup>2</sup>	%
-1,86 a 20 m	112,27	25%
20 a 50 m	63,71	14%
50 a 80 m	66,06	15%
80 a 110 m	91,53	21%
110 a 140 m	55,38	12%
140 a 180 m	23,53	5%
180 a 230 m	9,90	2%
230 a 280 m	9,87	2%
280 a 320 m	8,03	2%
320 a 423 m	5,07	1%
<b>Total</b>	<b>445</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autora, 2024.

Figura 13 - Mapa de declividade do município do Cabo de Santo Agostinho



Fonte: Autora, 2024.

A declividade (Figura 13) foi dividida em 6 classes, conforme a classificação da EMBRAPA. Na tabela 7, 40% da região do Cabo de Santo Agostinho está sobre declividade de 8 a 20%. Já nas áreas mais suscetíveis a inundações, que são as áreas com menor declividade, de 0 a 3%, está inserido 21% do município. Em contrapartida, as regiões com a declividade mais acentuada, de 45 a mais de 75%, estão no total, apenas 2% do município.

Tabela 7 - Classes de declividade do município do Cabo de Santo Agostinho

Classes	Área ocupada	
	km <sup>2</sup>	%
0 a 3%	92	21%
3 a 8%	126,04	28%
8 a 20%	178,79	40%
20 a 45%	42,47	10%
45 a 75%	3,09	1%
>75%	2,95	1%
<b>Total</b>	<b>445</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autora, 2024.

Com os mapas de uso e ocupação do solo, intensidade pluviométrica, grupo hidrológico de solo, ordenamento fluvial, hipsometria e declividade gerados, foi possível realizar a álgebra de mapas.

Na tabela 8, é apresentado os valores dos pesos atribuídos no processo de reclassificação do uso e ocupação do solo, sendo a água e a área urbana as classes com maior peso, por indicarem características que favorecem a inundação.

Tabela 8 - Pesos da reclassificação do uso e ocupação do solo

<b>Classes de uso e ocupação do solo</b>	<b>Pesos</b>
Cana de açúcar	8
Pastagem/Agricultura	8
Formação Florestal	1
Água	10
Área urbana	9
Mangue	8

Fonte: Autora, 2024.

Os pesos da intensidade pluviométrica (Tabela 9), foram distribuídos com os valores próximos em razão do equilíbrio na distribuição da precipitação na cidade, sendo atribuído o valor máximo 10, à maior precipitação em mm, 425,217 a 451,229.

Tabela 9 - Pesos da reclassificação da intensidade pluviométrica

<b>Classes de intensidade pluviométrica</b>	<b>Pesos</b>
207,9 – 230,1 mm	5
230,1 – 245,1 mm	6
245,1 – 258,1 mm	7
258,1 – 272,1mm	8
272,1 – 284,0 mm	9
284,0 – 294,9 mm	10

Fonte: Autora, 2024.

No mapa do Grupo hidrológico de solo, onde os pesos foram atribuídos de acordo com o potencial de drenagem de cada solo, mostra que o grupo hidrológico A, que possui maior capacidade de drenagem, foi dado o menor peso 1, e o grupo D, que possui maior potencial de escoamento superficial, foi atribuído o peso 10 (Tabela 10).

Tabela 10 - Pesos da reclassificação do grupo hidrológico de solo

<b>Classes de grupo hidrológico de solo</b>	<b>Pesos</b>
A	1
B	4
C	7
D	10

Fonte: Autora, 2024.

Na reclassificação do ordenamento fluvial (Tabela 11), foi considerada a magnitude do rio, sendo o rio de 1ª ordem com peso 2, e o de 5ª ordem, ou seja, de maior magnitude, peso 10.

Tabela 11 - Pesos da reclassificação do ordenamento fluvial

<b>Classes do ordenamento fluvial</b>	<b>Pesos</b>
1ª Ordem	2
2ª Ordem	4
3ª Ordem	6
4ª Ordem	8
5ª Ordem	10

Fonte: Autora, 2024.

As áreas com menor altitude possuem maior suscetibilidade às inundações, pois a água tende a acumular em planícies. Nessa lógica, para as regiões mais baixas foram atribuídos o maior peso, e para as regiões de maior altitude, foi dado os menores pesos, assim como apresenta a tabela 12.

Tabela 12 - Pesos da reclassificação da hipsometria

<b>Classes hipsométricas</b>	<b>Pesos</b>
-1,86 a 20 m	10
20 a 50 m	9
50 a 80 m	8
80 a 110 m	7
110 a 140 m	6
140 a 180 m	5
180 a 230 m	4
230 a 280 m	3
280 a 320 m	2
320 a 423 m	1

Fonte: Autora, 2024.

A tabela 13 apresenta os pesos para as classes de declividade, que para as áreas com menor declividade, de 0 a 3%, foi dado peso 10, e para as regiões com maior declividade, de 45 a 75% ou superior a 75%, o peso foi 1, pois apresentam menor suscetibilidade a inundação.

Tabela 13 - Pesos da reclassificação da declividade

<b>Classes de declividade</b>	<b>Pesos</b>
0 a 3%	10
3 a 8%	5
8 a 20%	4
20 a 45%	2
45 a 75%	1
>75%	1

Fonte: Autora, 2024.

Após a reclassificação dos dados de entrada, iniciou-se a etapa da análise multicritério com o AHP. Conforme a tabela 14, que foi baseada na matriz de comparação de Saaty, as variáveis foram comparadas entre si, apontando o quanto as variáveis da coluna esquerda são mais importantes que as variáveis da coluna direita. Assim, quando uma variável for comparada com ela mesma, o resultado será 1, pois o grau de importância é igual.

Tabela 14 - Matriz de Comparação Pareada

Variáveis	Decliv.	Hipsom.	Uso e ocupação	Intensidade pluv.	Ordem fluvial	Grupo Hidro.
<b>Decliv.</b>	1	1	8	5	2	9
<b>Hipsom.</b>	1	1	8	4	1	9
<b>Uso e ocupação</b>	1/8	1/8	1	1/2	1/5	1
<b>Intensidade pluv.</b>	1/5	1/4	2	1	1/3	3
<b>Ordem fluvial</b>	1/2	1	5	3	1	7
<b>Grupo Hidro.</b>	1/9	1/9	1	1/3	1/7	1
<b>Soma</b>	2,93	3,48	25	13,83	4,67	30

Fonte: Autora, 2024.

Para definir os pesos das variáveis, na tabela 15 foi feita a divisão de cada variável pela soma de todos os valores da coluna a que ela pertence. Após isso, é feita a média dos valores, onde foram somados todos os resultados da linha e dividido pelo total de variáveis, resultando no valor do peso, que será utilizado para realizar a álgebra de mapas.

Tabela 15 - Matriz de pesos

Variáveis	Decliv.	Hipsom.	Uso e ocupação	Intensidade pluv.	Ordem fluvial	Grupo Hidro.	Média/Pesos
<b>Decliv.</b>	1/2.93 = <b>0.3412</b>	1/3.48 = <b>0.2873</b>	8/25.00 = <b>0.32</b>	5/13.83 = <b>0.3615</b>	2/4.67 = <b>0.4282</b>	9/30.00 = <b>0.3</b>	<b>0.3348</b>
<b>Hipsom.</b>	1/2.93 = <b>0.3412</b>	1/3.48 = <b>0.2873</b>	8/25.00 = <b>0.32</b>	4/13.83 = <b>0.2892</b>	1/4.67 = <b>0.2141</b>	930.00 = <b>0.3</b>	<b>0.2919</b>
<b>Uso e ocupação</b>	0.12/2.93 = <b>0.0682</b>	0.12/3.48 = <b>0.0344</b>	1/25.00 = <b>0.04</b>	0.5/13.83 = <b>0.0361</b>	0.2/4.67 = <b>0.0428</b>	1/30.00 = <b>0.0333</b>	<b>0.0424</b>
<b>Intensidade pluv.</b>	0.2/2.93 = <b>0.1628</b>	0.25/3.48 = <b>0.0718</b>	2/25.00 = <b>0.08</b>	1/13.83 = <b>0.0723</b>	0.33/4.67 = <b>0.0706</b>	3/30.00 = <b>0.1</b>	<b>0.0929</b>
<b>Ordem fluvial</b>	0.5/2.93 = <b>0.1706</b>	1/3.48 = <b>0.2873</b>	5/25.00 = <b>0.2</b>	3/13.83 = <b>0.2169</b>	1/4.67 = <b>0.2141</b>	7/30.00 = <b>0.2333</b>	<b>0.2203</b>
<b>Grupo Hidro.</b>	0.11/2.93 = <b>0.0375</b>	0.11/3.48 = <b>0.0316</b>	1/25.00 = <b>0.04</b>	0.33/13.83 = <b>0.0238</b>	0.14/4.67 = <b>0.0299</b>	1/30.00 = <b>0.0333</b>	<b>0.0326</b>

Fonte: Autora, 2024.

Pode ser observado nas tabelas 14 e 15, que o fator declividade representa importância moderada em relação ao fator hipsometria, e maior importância em relação a todos os outros fatores analisados. Isso se dá ao fato da declividade exercer força ao escoamento, que no caso de locais com baixa declividade ocorre o acúmulo de água, sendo um fator essencial para a inundação.

O fator hipsometria, vem em seguida da declividade no grau de importância, e é moderadamente mais significativa que o fator do ordenamento fluvial, pois as baixas altitudes associadas a baixas declividades, exercem forte influência no fenômeno inundação, pelo acúmulo favorável da água.

O ordenamento fluvial, critério também apresentado por Fernandes (2016), é um fator que indica a magnitude do rio, sendo a região que possui o rio de maior magnitude, o acúmulo de água também é maior. Dessa forma, o ordenamento fluvial possui maior importância que o uso e ocupação do solo, pois esse condicionante interfere diretamente no processo de inundação, onde rios de maior ordem favorecem a ocorrência do fenômeno. No trabalho de Pessoa Neto, Barbosa e Silva (2021) o fator relacionado aos rios se apresenta como distância entre corpos hídricos e demonstra a importância desse critério na composição da suscetibilidade à inundação.

Já a intensidade pluviométrica é um fator determinante para a ocorrência das inundações, já que a chuva é a principal ferramenta para o aumento da vazão e transbordamento do canal. Mantovani (2016) utilizou a intensidade pluviométrica para analisar o padrão climático da distribuição das chuvas da Bacia do Córrego Indaiá, e assim simular o escoamento superficial. Assim, essa variável exerce maior grau de importância em relação ao uso e ocupação do solo, pois a alta intensidade de chuvas é um ponto chave para as inundações.

Em relação ao uso e ocupação do solo, é através desse fator que podemos identificar quais os usos presentes, sendo essencial para a análise de possível impermeabilização do solo e escoamento superficial da água. Essa variável, juntamente com o fator de grupo hidrológico de solo, possui uma maior relevância, pois permite uma análise mais completa do comportamento da água diante dos diferentes usos e tipos de solo.

Após a determinação dos pesos para cada critério, foi avaliado a razão de consistência, que deve ser inferior a 0,1. Para isso, as equações 2, 3 e 4 foram aplicadas, onde a princípio é calculado o valor do autovalor máximo da matriz ( $\lambda_{max}$ ):

$$\lambda_{max} = \frac{1}{6} = \left( \frac{2,1644}{0,3348} + \frac{1,8512}{0,2919} + \frac{0,2407}{0,0424} + \frac{0,4881}{0,0929} + \frac{1,3985}{0,2203} + \frac{0,2054}{0,0326} \right) = 6,0642 \quad (5)$$

Em seguida, é calculado o valor do índice de consistência (IC):

$$IC = \frac{6,0642 - 6}{6 - 1} = 0,0128 \quad (6)$$

Por fim, ao ser encontrado os valores anteriores, juntamente com o valor do índice randômico (Quadro 7), foi possível calcular a razão de consistência (RC):

$$RC = \frac{0,0128}{1,24} = 0,0103$$

(7)

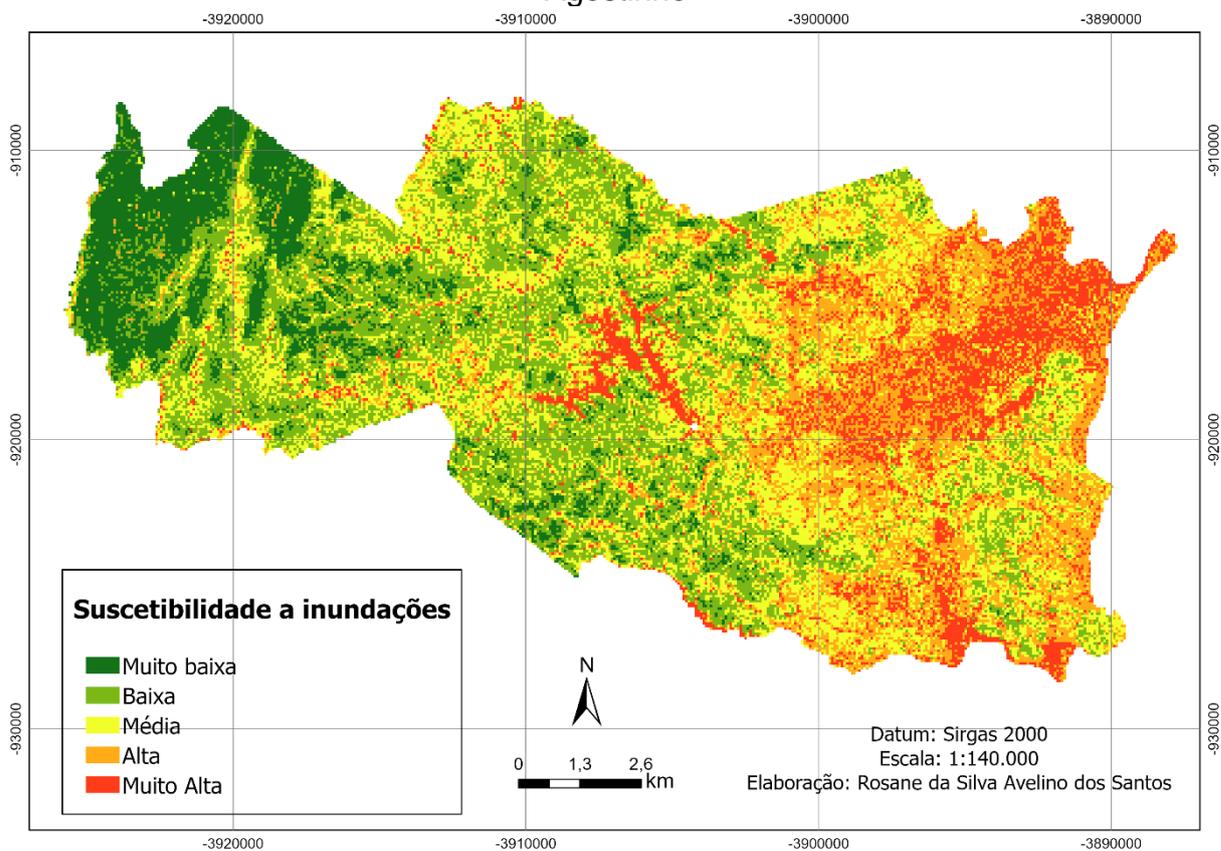
O valor de RC deve ser inferior a 0,1 para que os pesos sejam considerados admissíveis para a metodologia. O resultado do cálculo do RC foi de 0,0103, estando, portanto, dentro do aceitável. Assim, prosseguiu-se para a realização da álgebra de mapas através do ArcGis Pro com a ferramenta *raster calculator* do *spacial analyst tools*, para a geração do mapa de suscetibilidade à inundação do município do Cabo de Santo Agostinho. Para isso, foi aplicada a equação 8:

$$S = ( \text{"declividade"} * 0.3348 ) + ( \text{"hipsometria"} * 0.2919 ) + ( \text{"usoocupacao"} * 0.0424 ) + ( \text{"pluviometria"} * 0.0929 ) + ( \text{"ordenamento"} * 0.2203 ) + ( \text{"grupohidrologico"} * 0.0326 )$$

(8)

Ao gerar o mapa, a escala de valores foi classificada no método quebras naturais e em 5 classes, diferenciadas pelo nível de suscetibilidade a inundação, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, que permitem uma melhor análise do mapa (Figura 14).

Figura 14 - Mapa de Suscetibilidade a inundações do município do Cabo de Santo Agostinho



Fonte: Autora, 2024.

Após a espacialização do nível de suscetibilidade das áreas também foi possível quantificar em km<sup>2</sup> e em porcentagem cada classe apresentada, auxiliando a análise do estudo (Tabela 16).

Tabela 16 - Classes de suscetibilidade a inundação do município do Cabo de Santo Agostinho

Classes	�rea ocupada	
	km <sup>2</sup>	%
Muito Baixa	48,38	11%
Baixa	124,6	28%
Média	137,9	31%
Alta	81,36	18%
Muito Alta	52,82	12%
<b>Total</b>	<b>445</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autora, 2024.

O mapa final de suscetibilidade a inundação apresenta, na maior parte do Cabo de Agostinho, em 31%, a classe média, e está relacionada com as altitudes de até 180 metros e declividade de até 45%. Já a classe baixa suscetibilidade, que representa 28% do município, e muito baixa 11%, em contrapartida, se encontram em regiões com declividade superior a 20%, e altas altitudes.

Essas características se expressam principalmente nas áreas de muito baixa suscetibilidade, pois terrenos mais altos, ondulados e escarpados, possuem grande estímulo ao escoamento da  gua. Além disso, a baixa intensidade pluviométrica e rios de menor ordem se apresentaram claramente nessa classe, confirmando a escolha dos critérios.

As classes média, baixa e muito baixa também apresentam a presença da vegeta o, e solos com maior potencial de drenagem do grupo A, como o latossolo amarelo, auxiliando na infiltra o da água, e reduzindo a suscetibilidade   inunda o nas regiões com essas características.

A suscetibilidade alta está presente em 18% do município, que corresponde a 81,36 km<sup>2</sup> do Cabo de Santo Agostinho, e indica áreas que possuem baixas altitudes

e declividade de até 8%, o que interfere diretamente no acúmulo de água. Já em relação a classe muito alta suscetibilidade, cerca de 18% do município se encontra nela. Assim como a alta suscetibilidade, essa classe também se apresenta em regiões planas, que somada à alta intensidade pluviométrica com a proximidade de rios de maior ordem, torna essas regiões muito suscetíveis ao fenômeno.

Aproximadamente 52,82 km<sup>2</sup> do município se encontram nas regiões de maior suscetibilidade à inundação. A presença de solo com menor potencial de drenagem, como é o caso do grupo hidrológico de solo D composto pelo gleissolo háplico e solos de mangue, somado à áreas impermeabilizadas com um sistema de drenagem deficiente, aumenta a suscetibilidade ao fenômeno, pois dificulta a infiltração da água, e intensifica o processo, sobretudo nas áreas urbanizadas.

Por fim, foi observado que a atribuição do peso mais alto para o fator declividade, indicou as áreas de alta e muito alta suscetibilidade sendo as com o terreno menos declive. Em seguida, o fator hipsometria confere o segundo maior peso do estudo, atribuindo suscetibilidade alta e muito alta nas planícies. Então é sob esses aspectos que torna o terreno mais suscetível a ocorrência de uma inundação, pois esses atributos favorecem o acúmulo de água, sobretudo no solo impermeabilizado.

Assim, com base nos resultados obtidos no presente estudo, foi possível identificar as áreas com maior potencial de inundação, que em um contexto de vulnerabilidade social, pode trazer severas consequências. Dessa forma, a elaboração desse mapeamento colabora para o planejamento da gestão municipal e estadual, pois auxilia em planos de adaptação para o enfrentamento dos desastres ambientais. Enfim, esse estudo também tem como objetivo incentivar a realização de estudos mais aprofundados sobre o assunto, que no município do Cabo de Santo Agostinho ainda é escasso.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise de variáveis geoambientais como declividade, altitude, uso e capacidade de drenagem do solo, intensidade de chuvas, e a magnitude do rio do município do Cabo de Santo Agostinho observou-se que a alta e muito alta suscetibilidade a inundações, representa aproximadamente 30% do município. Essas áreas abrangem fatores como: baixa declividade e altitude, condicionando o acúmulo de água no relevo plano, além da baixa capacidade de drenagem do solo e áreas urbanizadas com solos impermeabilizados, que facilita o escoamento superficial.

Todavia, a maior parte do município está em áreas de média e baixa suscetibilidade à inundações, com 31% e 28% respectivamente, do seu território. Já a área de muito baixa suscetibilidade está em apenas 11% do Cabo de Santo Agostinho. As características em comum das variáveis nessas regiões são: terrenos ondulados a escarpados e altas altitudes, que dificultam o acúmulo de água, além da proximidade com rios de baixa magnitude e a presença da vegetação, que auxilia na infiltração da água.

Ao utilizar o método AHP aliado ao SIG, foi observado ser uma alternativa viável e eficaz, pois a matriz de decisão combinada à reclassificação das variáveis, possibilitou uma aproximação com os parâmetros ambientais analisados, e manifestou um resultado consistente. Além disso, o AHP também se destacou pela facilidade da manipulação dos dados, e pela diversa aplicabilidade do método, especialmente em pesquisas que por algum motivo não podem ser feitas in loco.

Os resultados apontados neste trabalho são ferramentas importantes para a gestão de risco nos municípios, sobretudo no município do Cabo de Santo Agostinho, objeto do presente estudo, mas também pode ser aprofundado. Ao buscar interligar, além de características geoambientais, informações socioeconômicas como o índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é permitido analisar questões como o risco e a vulnerabilidade das áreas mapeadas, trazendo resultados mais robustos e decisivos.

Atualmente, com o avanço das mudanças climáticas, o planejamento de estratégias de adaptação em resposta a desastres naturais torna-se emergente para minimizar os danos causados pelas chuvas. Dessa forma, o conhecimento das características dos locais com suscetibilidade à inundações auxilia no planejamento de

planos de ação da defesa civil, por exemplo, ao priorizar áreas mais baixas e menos declivosas. Esse entendimento ajuda a poupar vidas e perdas socioeconômicas.

Além disso, medidas não-estruturais como a promoção da educação ambiental nas também é importante para levar informação sobre adaptação e mitigação dos impactos causados pelo fenômeno, para as comunidades em áreas de suscetibilidade.

## REFERÊNCIAS

ANA. **Superintendência de Usos Múltiplos e Eventos Críticos**. Atlas de Vulnerabilidade a Inundações. Brasília, DF, 2014. Disponível em: [https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7acf9c/attachments/Atlas\\_de\\_Vulnerabilidade\\_a\\_Inundaes.pdf](https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7acf9c/attachments/Atlas_de_Vulnerabilidade_a_Inundaes.pdf).

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Monitoramento Pluviométrico**. 2023. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php> Acesso em: 20 nov. 2023.

ARAÚJO, M. M. F. *et al.* **Caracterização hidrológica e suscetibilidade de risco à inundação nas bacias do município de Arroio do Padre/RS**. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.10, n.1, p.283-296, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0024>

ARRUDA, Karenn Karoline de Souza. **HIERARQUIA FLUVIAL DOS CANAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTENGI-RN**. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

BARBOSA, Francisco de Assis dos Reis. **MEDIDAS DE PROTEÇÃO E CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS NA BACIA DO RIO MAMANGUAPE/PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

BATISTA, L. F. D. R.; **Estudos de indicadores de risco de inundação no município do Cabo de Santos Agostinho**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Área de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

BRASIL. **LEI Nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2020. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art7](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art7)

BRASIL. **LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2012. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)

BRASIL. **LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm)

BRASIL. **ONU-Habitat: população mundial será 68% urbana até 2050**. Nações Unidas Brasil. 01 de jul., 2022. Disponível em <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050#:~:text=As%20C3%A1reas%20urbanas%20j%C3%A1%20abrigam,das%20Na%C3%A7%C3%B5es%20Unidas%2C%20Ant%C3%B3nio%20Guterres>. Acesso em: 14 de mai., 2024.

BUCHIR, L. M. S. T. **Análise da influência das mudanças climáticas nas precipitações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

CABO DE SANTO AGOSTINHO, Prefeitura Municipal de. **Cabo de Santo Agostinho**, 2023. Disponível em: <https://www.cabo.pe.gov.br/pagina/cidade/>

CABRERA, J. S.; LEE, H. S. **Flood-Prone Area Assessment Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis: A Case Study in Davao Oriental, Philippines**. *Water*, v. 11, n. 11, p. 2203, 2019.

CALDANA, N. F. S., *et al.* **OCORRÊNCIAS DE ALAGAMENTOS, ENXURRADAS E INUNDAÇÕES E A VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IGUAÇU**. *Revista Brasileira de Climatologia*, Ano 14 – Vol. 23 – JUL/DEZ 2018.

CALDEIRA, L. A. C.; LIMA, D. P. **Drenagem urbana: uma revisão de literatura**. *Engineering Sciences*, v.8, n.2, p.1-9, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.002.0001>

CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. **Avaliação do risco a inundação na Bacia Hidrográfica do rio Cubatão do Norte, Joinville/SC**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 1, p. 124-138, 2019.

CARVALHO, A. T. F.; SILVA, O. G.; CABRAL, J. J. S. P. **EFEITOS DO REVESTIMENTO DE CANAL E IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO À DINÂMICA DE INUNDAÇÃO DO RIO ARROMBADOS – PE**. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 36, n. 1, p. 76-88, 2017.

CASTRO, Antônio L. C. de. **Manual de desastres**. VOL. 1. Brasília: 2003.

CEPED UFSC. 2013. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991–2012**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

CHAVES, H. L. O. *et al.* **MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO DA RAZÃO DE FREQUÊNCIA APLICADO À BACIA DO RIACHO FUNDO - DISTRITO FEDERAL**. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 148–166, 2021. DOI: 10.9771/gesta.v9i1.42739. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/42739>. Acesso em: 14 maio. 2024.

CLEMENTINO, E. L.; SANTOS, R. E. C. dos; GOMES, D. P. P. **Diagnóstico de áreas vulneráveis a alagamentos no município do Cabo de Santo Agostinho**. *Revista Caravana - Diálogos entre Extensão e Sociedade* | V.3 N.2, ano 2018, p.25-26.

COMPESA. **Abastecimento de água**. S.d. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/abastecimento-de-agua/>. Acesso em 05 de ago. 2024.

CPRH – AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. 2024 Disponível em: <https://www2.cprh.pe.gov.br/>. Acesso em: 14 de mai. de 2024.

CREPANI, Edson., *Et al.* **SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO APLICADOS AO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO E AO ORDENAMENTO TERRITORIAL.** INPE-INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, São José dos Campos, 2001.

CURY, M. D. *et al.* **Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação como informação para o planejamento e a gestão territorial em bacia hidrográfica.** Caminhos de Geografia Uberlândia-MG v. 22, n. 83 out./2021 p. 160–175. ISSN 1678-6343 DOI: <http://doi.org/10.14393/RCG228356231>

Desastres naturais no Rio Grande do Sul: estudo sobre as ocorrências no período 2003-2021 / Rio Grande do Sul. **Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão.** Departamento de Planejamento Governamental. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2022. Disponível em: <https://planejamento.rs.gov.br/upload/arquivos/202211/22111507-desastres-naturais-2003-2021.pdf>

DIAS, M. B.; GALINA, N. R.; ALVES, C. N. **Mapeamento da suscetibilidade a inundações em áreas urbanas: estudo de caso no município de Marabá, Sudeste do estado do Pará, Região Norte do Brasil.** Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais v.12 - n.6 Jun 2021. ISSN: 2179-6858. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0029.

DONATTI, C. I., *et al.* **Global hotspots of climate-related disasters.** International Journal of Disaster Risk Reduction. Volume 108, 14 de Jun. 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104488>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de Solos do Brasil.** 2018. Disponível em: [http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil\\_solos\\_5m\\_20201104](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104). Acesso em: 17 fev. 2024.

FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. **ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES POR MEIO DO USO DE MÉDIA PONDERADA E GEOPROCESSAMENTO EM DONA FRANCISCA – RS.** TECNO-LÓGICA, Santa Cruz do Sul, v. 25, n. 1, p. 47-58, jul./dez. 2021. ISSN 1982-6753. DOI: 10.17058/tecnolog.v25i1.15432.

FERNANDES, Nadinne da Silva. **Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação em Santa Maria, RS.** Dissertação (Mestrado em Geografia) Área de Análise Ambiental e Dinâmica Espacial - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

FILHO, José Diniz Madruga. **Aspectos geoambientais entre as praias do Paiva e Gaibu, município do Cabo de Santo Agostinho (Litoral sul de Pernambuco).** Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2004. Disponível em:

[https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6529/1/arquivo6870\\_1.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6529/1/arquivo6870_1.pdf). Acesso em: 16 mai. 2024.

FONSECA, V. S., *et al.* **MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CALADÃO – CORONEL FABRICIANO/MG**. Caminhos de Geografia Uberlândia-MG v. 23, n. 86 abr./2022 p. 205–224. DOI: <http://doi.org/10.14393/RCG238658450>.

FRAGOSO, G. A.; SILVA, F. P.; SILVA, J. C. C.; ALVES, A. F.; CARVALHO, B. G. P.. **Planejamento, ordenamento e gestão integrada. Diagnóstico do sistema de drenagem urbana da cidade de Belém, Pará: uma análise dos principais bairros da cidade**. In: ENEEAMB, 4; FÓRUM LATINO, 2; SBEA – CENTRO- OESTE, 1. Anais. Brasília, 2016. DOI: <http://doi.org/10.5151/engpro-eneeamb2016-pogi-003-5067>

FREITAS, R. R. L. **Mapeamento de riscos a movimentos de massa e inundação em áreas urbanas no município de Moreno – PE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. SÃO PAULO, EDITORA ATLAS S.A., 2002.

GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M. **Considerações sobre as Inundações no Brasil**. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. Anais. Porto Alegre, ABRH, 2005.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cabo de Santo Agostinho**. 2022.

IPCC. **“Mudanças Climáticas 2022: Contribuição do Grupo de Trabalho II sobre Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.”** IPCC, vol. 1, 2022.

JUNIOR, Admir José Giacon. **MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA E MÉDIO TIETÊ (SP)**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental). Área de Geotecnia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2022.

KOBAYAMA, Masato, *et al.* **Prevenção de Desastres Naturais**. 1ª Edição, Curitiba, Paraná. 2006.

LAFAYETTE, Kalinny Patrícia Vaz. **Estudo Geológico-Geotécnico do processo erosivo em encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti - Cabo de Santo Agostinho/PE**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2006.

LASZLO, M. J.; ROCHA, P. C. **COMPOSIÇÃO HIERARQUICA DOS CANAIS FLUVIAIS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE**. REVISTA GEONORTE, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.228-232, 2014. (ISSN 2237-1419).

LESKENS, J. G., *et al.* **Why are decisions in flood disaster management so poorly supported by information from flood models?**. *Environmental Modelling & Software*. Volume 53, Março 2014, Pag. 53-61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.11.003>.

LIMA, A. C. C.; FACCIOLI, G. G.; MEDEIROS, F. C. **CRIAÇÃO DE MODELO DE RISCO A INUNDAÇÃO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUÍPE (AL/PE) A PARTIR DO MÉTODO DE PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO – AHP**. *Rev. Gest. Soc. Ambient.*, Miami, v.18.n.4, p.1-18, e04601, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-054>

LIMA, Luís Marcelo Martins de. **Mapeamento da suscetibilidade à inundação da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre - RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LUIZ, G. C.; ROMÃO, P. A. **Interação Solo-Atmosfera e Processos de Inundação e Alagamento na Cidade de Goiânia-GO**. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.12, n.05 (2019) 1891-1903.

MACIEL, Suely Jucá. **EXPANSÃO URBANA EM ESPAÇOS METROPOLITANOS: Uma proposta interpretativa do nível de integração territorial da Metrôpole do Recife (Brasil)**. Tese (Doutorado em Urbanismo). Universidade Federal de Pernambuco, 2022.

MAGALHÃES, I. A. L., *et al.* **USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO EM GUAÇUÍ, ES: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS MÉTODOS**. *Cadernos de Geociências*, v. 8, n. 2, novembro 2011.

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. ISSN 2179-0892. Disponível em: [https://www.revistas.usp.br/geosp/arti\[1\]cle/view/146752](https://www.revistas.usp.br/geosp/arti[1]cle/view/146752). doi: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2018.146752>.

MANTOVANI, José Roberto Amaro. **Uso de geotecnologias para elaboração de um modelo de mapeamento de áreas suscetíveis à inundação e/ou alagamento, na bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Área de Análise Geoambiental, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/2782>. Acesso em: 14 de mai. de 2024.

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. **Coleções MapBiomias**. 2022. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/> Acesso em: 17 fev. 2024

MARQUES, V. P.. **Estudo de medidas estruturais em planos diretores de drenagem urbana**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

MEDAU, I.. **Análise dos dispositivos de drenagem urbana na Avenida São Francisco, Anápolis/GO** . Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Anápolis, Anápolis, 2018.

MORAES, S. R., *et al.* **Retromodelagem do evento extremo de inundação do rio Taquari no HEC-RAS, ocorrido em 09 de julho de 2020, no município de Lajeado / RS**. Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, n. 42, p. 104-132, 2023.

NEVES, L. V. *et al.* **Mudanças de Uso e Cobertura da Terra e Áreas Suscetíveis à Inundação – Estudo de Caso do Município de Duque de Caxias/RJ**. Revista do Departamento de Geografia – Volume 37 (2019). ISSN 2236-2878. DOI: 10.11606/rdg.v37i0.149051.

NETO, A. G. P.; BARBORA, I. M. B. R.; SILVA, S. R. **Mapeamento das áreas de risco de inundação da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, utilizando o método AHP (Analytic Hierarchy Process)**. IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFSC – Florianópolis – mai., 2021.

PESSOA NETO, A. G. P.; SILVA, S. R.; BARBORA, I. M. B. R. **Mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejipió, em Pernambuco, Brasil**. Entorno Geográfico, N° 26, jul. – dez. 2023, pag. 1-27, ISSN: 2382-3518, e22413055. Universidad del Valle. DOI: 10.25100/eg.v0i26.13055

NETO, A. G. P.; SILVA, S. R.; BARBORA, I. M. B. R. **Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco**. Boletim de Geografia, Maringá, v40, a2022, e63948, p277-296, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v40.a2022.e63948>

NÓBREGA, Fábio. **Maior tragédia do século em Pernambuco, mortes pelas chuvas de 2022 superam total da cheia de 1975**. Folha de Pernambuco. 10 de fev., 2022. Disponível em: <https://www.folhape.com.br/noticias/maior-tragedia-do-seculo-em-pernambuco-mortes-pelas-chuvas-de-2022/228963/>

O custo humano dos desastres: uma visão geral dos últimos 20 anos (2000-2019). **UNDRR**, Genebra, Suíça, 2020.

OLIVEIRA, Kaíque de. **MAPEAMENTO DAS ARÉAS DE RISCO À INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE RIO GRANDE DA SERRA – SP**. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2017.

PE3D - Projeto Pernambuco Tridimensional. **Mapeamento do Território Pernambucano**. 2013. Disponível em: <http://www.pe3d.pe.gov.br/mapa.php> Acesso em: 17 fev. 2024.

RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S.. **Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana**. Eng. Sanit. Ambient., v.22, n.6, p.1109-1120, 2017. DOI: <http://10.1590/S1413-41522017162357>

Rio Grande do Sul. **Defesa Civil atualiza balanço das enchentes no RS – 5/6, 9h.** 05 de jun, 2024. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/defesa-civil-atualiza-balanco-das-enchentes-no-rs-5-6-9h>

SAATY, T. H. A **Scaling method from priorities in hierarchical structures.** Journal of Mathematical Psychology, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SANTOS, Flávio Augusto Autieri dos. **Alagamento e inundação urbana: Modelo experimental de avaliação de risco.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Área de Física do Clima, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

SANTOS, Kesia Rodrigues dos. **Inundações urbanas: um passeio pela literatura.** Élisée, Rev. Geo. UEG - Goiânia, v.1, n.1, p.177-190, jan./jun. 2012.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. **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 Volume 10 n.4 Out/Dez 2005, pag. 05-18.

SILVA, E. L. P.; SILVA, M. H. C. R.; MENDONÇA, F. A. **Histórico e projeção de inundações repentinas em Morretes-Paraná-Brasil.** Revista Brasileira de Climatologia, Dourados, MS, v. 31, Jul. / Dez. 2022, ISSN 2237-8642.

SILVA, F. N.; ARAÚJO, P. V.; LOUREIRO, G. E. **Impactos ambientais em obras de macrodrenagem.** XIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Teresina/PI, nov. de 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.13.22.V-012>

SILVA, J. C.; SILVA, I. A. S.; SILVA, H. P. B. **Suscetibilidade às inundações do Complexo Industrial Portuário de Suape – PE.** Revista de Geociências do Nordeste, [S. l.], v. 2, p. 452–461, 2016. DOI: 10.21680/24473359.2016v2n0ID10487. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10487>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SILVA, P. V., *et al.* **DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS DO MUNICÍPIO DO CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE.** XIV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Natal/RN – 07 a 10/11/2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.IX-014>.

SOUZA, Isabela Cristina Ribeiro. **IMPACTO DA INUNDAÇÃO DO DIA 18 DE OUTUBRO DE 2021, DECORRENTE DE EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA: ESTUDO DE CASO PARA CACHOEIRA DO CAMPO, OURO PRETO – MG.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

SOUZA, Jênyce Moura de. **CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DA FORMAÇÃO CABO NO MUNICÍPIO DO CABO DE SANTO AGOSTINHO.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

TAVARES, C. M. G.; FERREIRA, C. C. M. **A RELAÇÃO ENTRE A OROGRAFIA E OS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE**

**PETRÓPOLIS- RJ.** Revista Brasileira de Climatologia, Ano 16 – Vol. 26 – JAN/JUN 2020.

TUCCI, Carlos E. M. **Água no Meio Urbano.** Capítulo 14 do Livro Água Doce. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos.** Porto Alegre, 2003. ISBN: 85-88686-07-4

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil.** REGA – Vol. 1, no. 1, p. 59-73, jan./jun. 2004.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana.** Distrito Federal: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012.

VIANA, Jussara Freire de Souza. **IMPACTOS DAS MUDANÇAS DO USO DA TERRA SOBRE O BALANÇO HIDROSEDIMENTOLÓGICO: bases para o gerenciamento dos recursos hídricos na Bacia do Rio Pirapama.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/35117>. Acesso em: 05 de ago. de 2024.