

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**SARAH RUY AIOLFI**

**ANÁLISE ESPACIAL DA SUSCETIBILIDADE DA OCUPAÇÃO URBANA, NO  
MUNICÍPIO DE ICONHA NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, QUANTO A  
DESASTRES HIDROLÓGICOS**

Vitória

2024

SARAH RUY AIOLFI

**ANÁLISE ESPACIAL DA SUSCETIBILIDADE DA OCUPAÇÃO URBANA, NO  
MUNICÍPIO DE ICONHA NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, QUANTO A  
DESASTRES HIDROLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenadoria do Curso de Engenharia Sanitária e  
Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo,  
Campus Vitória, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Dejaneyne Paiva Zamprogno

Vitória

2024

(Biblioteca Nilo Peçanha do Instituto Federal do Espírito Santo)

A297a Aiolfi, Sarah Ruy.

Análise espacial da suscetibilidade da ocupação urbana, no município de Iconha no estado do Espírito Santo, quanto a desastres hidrológicos. / Sarah Ruy Aiolfi. – 2024.

70 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Dejanyne Paiva Zamprogno

Monografia (graduação) – Instituto Federal do Espírito Santo, Coordenadoria de Saneamento Ambiental, Curso Superior de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, 2024.

1. Engenharia sanitária. 2. Avaliação de riscos ambientais - Iconha. 3. Hidrografia - Iconha. 4. Inundações - Mapeamento. I. Caiado, Marco Aurélio Costa. II. Instituto Federal do Espírito Santo. III. Título.

CDD 21 – 628


**SARAH RUY AIOLFI**

**ANÁLISE ESPACIAL DA SUSCETIBILIDADE DA OCUPAÇÃO URBANA, NO  
MUNICÍPIO DE ICONHA NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, QUANTO A  
DESASTRES HIDROLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenadoria do Curso de Engenharia Sanitária  
e Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo,  
Campus Vitória, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Sanitária e Ambiental.


Aprovado em 03 de julho de 2024

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **DEJANYNE PAIVA ZAMPROGNO BIANCHI**  
Data: 08/08/2024 08:45:32-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

**Dr<sup>a</sup>. Dejanyne Paiva Zamprogno**  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Orientadora

Documento assinado digitalmente  
 **JACQUELINE ROGERIA BRINGHENTI**  
Data: 07/08/2024 16:07:17-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Dr<sup>a</sup> Jacqueline Rogéria Bringhenti**  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Membro interno

Documento assinado digitalmente  
 **FABIO LUIZ MACAO CAMPOS**  
Data: 07/08/2024 09:39:10-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Me. Fábio Luiz Mação Campos**  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Membro externo

## RESUMO

Nos últimos anos, o município de Iconha tem passado por uma crescente quantidade de desastres naturais hidrológicos. As principais causas deste cenário estão relacionadas com a ocupação das áreas ribeirinhas e nas margens dos corpos hídricos. Este estudo teve como objetivo avaliar espacialmente a influência espaço-temporal da ocupação urbana desordenada e a susceptibilidade a desastres hidrológicos no município de Iconha no estado do Espírito Santo. Foram analisadas as cartas de suscetibilidade, perigo e risco às inundações bem como os fatores que servem de alicerce para elaboração tais como: uso e ocupação do solo, tipo de solo, altimetria e declividade da área de estudo. Os resultados demonstram que a cidade de Iconha foi desenvolvida em grande parte na mesma cota, ou em cotas próximas do corpo receptor. A cidade de Iconha é dividida majoritariamente entre a classe baixa e muito alta de suscetibilidade a inundações, com percentuais de 48,81% e 38,29%, respectivamente. Em relação as classes médias e altas, as mesmas continuam representando pequenos percentuais na ordem de 12,66% para as médias e 0,25% para as altas. Esse alto percentual de áreas suscetíveis a inundações está associado as regiões planas, na qual a cidade de Iconha se desenvolveu são as mais suscetíveis a possuir inundações caso ocorra algum evento hidrológico no local. No que tange o perigo, caso ocorra uma chuva com tempo de retorno de 5 anos e superiores as regiões planas da cidade, com cotas próximas a do rio Iconha, apresentam alta probabilidade de serem inundadas. As informações técnicas deste estudo podem subsidiar as políticas públicas na adoção de medidas relacionadas ao desenvolvimento de regiões e a gestão dos recursos hídricos, com o intuito de mitigar os impactos das inundações, seja por meio da implantação de infraestrutura (medidas estruturais) ou de políticas públicas (medidas não estruturais), em trechos estratégicos do município de Iconha.

Palavras-chave: Inundações; Mapeamento; Perigo; Risco; Suscetibilidade.

## **ABSTRACT**

In recent years, the municipality of Iconha has been experiencing an increasing number of hydrological natural disasters. The main causes of this scenario are related to the occupation of riparian areas and the banks of water bodies. This study aimed to spatially evaluate the spatiotemporal influence of disorderly urban occupation and susceptibility to hydrological disasters in the municipality of Iconha in the state of Espírito Santo. Maps of flood susceptibility, hazard, and risk were analyzed, considering factors such as land use, soil type, elevation, and slope of the study area. The results demonstrate that the city of Iconha was largely developed at the same elevation or at elevations close to the water bodies. Iconha is predominantly divided between the very low and high classes of flood susceptibility, with percentages of 48.81% and 38.29%, respectively. The middle and high classes represent small percentages, specifically 12.66% for the middle class and 0.25% for the high class. This high percentage of flood-prone areas is associated with flat regions where Iconha developed, making them more susceptible to flooding during hydrological events. Regarding hazard, areas near the Iconha River at low elevations are highly likely to flood during a rainfall event with a return period of 5 years or more. The technical information from this study can support public policies aimed at adopting measures related to regional development and water resource management to mitigate the impacts of floods. These measures could include infrastructure implementation (structural measures) or public policies (non-structural measures) in strategic areas of the municipality of Iconha.

**Keywords:** Floods; Mapping; Hazard; Risk; Susceptibility.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Definições didáticas: enchente e inundação. ....	16
Figura 2 – Hidrograma de bacia antes e depois da urbanização. ....	17
Figura 3 – Fluxograma para obtenção da carta de suscetibilidade. ....	38
Figura 4 – Fluxograma para obtenção da carta de perigo a inundações. ....	39
Figura 5 – Fluxograma para obtenção da carta de risco a inundações. ....	39
Figura 6 – Mapa do tipo de solo para a bacia e a cidade de Iconha. ....	43
Figura 7 – Mapa do uso e ocupação do solo para a bacia e a cidade de Iconha. ....	46
Figura 8 – Mapa de altimetria para a bacia de Iconha. ....	50
Figura 9 – Mapa de altimetria para a cidade de Iconha. ....	51
Figura 10 – Mapa de declividade para a bacia e a cidade de Iconha. ....	54
Figura 11 – Carta de suscetibilidade para a bacia e a cidade de Iconha. ....	56
Figura 12 – Carta de perigo a inundações para a cidade de Iconha. ....	60
Figura 13 – Carta de risco a inundações para a cidade de Iconha. ....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação e ponderação das classes do fator tipos de solo.....	24
Tabela 2 – Classificação e ponderação das classes do fator uso e ocupação do solo.....	25
Tabela 3 – Classificação e ponderação das classes do fator altimetria. ....	26
Tabela 4 – Classificação e ponderação das classes do fator declividade.....	27
Tabela 5 – Alturas atreladas ao período de retorno. ....	29
Tabela 6 – Probabilidade de perigo.....	29
Tabela 7 – Probabilidade do tempo de retorno. ....	30
Tabela 8 – Vulnerabilidade da tipologia. ....	31
Tabela 9 – Composição percentual de áreas dos tipos de solos para a bacia de Iconha. .....	41
Tabela 10 – Composição percentual de áreas dos tipos de solos para a cidade de Iconha. ....	42
Tabela 11 – Composição percentual de áreas dos usos do solo para a bacia de Iconha. .....	44
Tabela 12 – Composição percentual de áreas dos usos do solo para a cidade de Iconha. ....	45
Tabela 13 – Composição percentual de áreas das altimetrias para a bacia de Iconha. .....	47
Tabela 14 – Composição percentual das classes altimétricas para a cidade de Iconha. .....	49
Tabela 15 – Composição percentual de áreas das declividades para a bacia de Iconha. .....	52
Tabela 16 – Composição percentual de áreas das declividades para a cidade de Iconha. ....	52
Tabela 17 – Composição percentual de áreas suscetíveis às inundações para a bacia de Iconha.....	57
Tabela 18 – Composição percentual de áreas suscetíveis às inundações para a cidade de Iconha.....	57
Tabela 19 – Quantidade estimada de domicílios (D) e habitantes (H) atingidos pelas cheias na cidade de Iconha.....	62
Tabela 20 – Composição percentual de áreas de risco às inundações para a cidade de Iconha.....	62



## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS**

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

GEOBASES - Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo

IFES - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo

SIG - Sistema de Informação Geográfica

UTM - Sistema de Projeção Universal Transversa Mercator

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>15</b>
3.1	DESASTRES NATURAIS	15
3.2	INUNDAÇÕES URBANAS	16
3.3	MEDIDAS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES	18
3.4	ZONEAMENTO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÕES	19
<b>3.4.1</b>	<b>Sistema de Informação Georreferenciada (SIG) em áreas sujeitas a inundações</b>	<b>20</b>
3.5	MAPEAMENTOS DE ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES	21
<b>3.5.1</b>	<b>Carta de suscetibilidade a inundações</b>	<b>22</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Carta de perigo e risco a inundações</b>	<b>27</b>
3.6	TRABALHOS QUE RELACIONAM USO E OCUPAÇÃO DO SOLO COM AS INUNDAÇÕES URBANAS	31
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>36</b>
4.1	TIPO DE PESQUISA E LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	36
4.2	ÁREA DE ESTUDO	37
4.3	MAPEAMENTOS DE ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES	38
<b>4.3.1</b>	<b>Carta de suscetibilidade a inundações</b>	<b>38</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Carta de Perigo a inundações</b>	<b>38</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Carta de Risco a inundações</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>41</b>
5.1	CARTA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES	41
<b>5.1.1</b>	<b>Tipo de solo</b>	<b>41</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Uso do solo</b>	<b>44</b>

<b>5.1.3</b>	<b>Altimetria</b>	<b>47</b>
<b>5.1.4</b>	<b>Declividade</b>	<b>52</b>
<b>5.1.5</b>	<b>Carta de suscetibilidade a inundações</b>	<b>55</b>
<b>5.2</b>	<b>CARTA DE PERIGO A INUNDAÇÕES</b>	<b>59</b>
<b>5.3</b>	<b>CARTA DE RISCO A INUNDAÇÕES</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a relação entre o homem e a cidade sempre foi intimamente ligada à água, entretanto, a intensa urbanização sem o planejamento adequado, e principalmente a ocupação das margens de cursos d'água, propiciam consequências desastrosas na ocorrência de eventos hidrológicos extremos (PEZANTE, 2018).

Todavia, é necessário entender esses fenômenos como a consequência da invasão do território das águas, são as cidades invadindo as águas e as águas invadindo as cidades (PERON *et al.*, 2020).

Um impacto negativo desse processo é o aumento das áreas impermeáveis que podem acarretar o aumento do escoamento superficial e da velocidade de deslocamento por condutos e canais que, por conseguinte, ocasionam o aumento da frequência e magnitude das inundações (TUCCI, 2016).

Esse aumento das vazões de cheia provocada pelo processo de urbanização, é na ordem de seis a sete vezes maior que em bacias hidrográficas que apresentam características rurais (TUCCI, 2016).

Cabe destacar que, o extravasamento dos corpos d'água é um processo natural que está interligado a dinâmica do local, cujos efeitos podem ser intensificados devido as atividades antrópicas. Esse extravasamento, comumente denominado de inundação em áreas urbanas ocorrem devido a ocupação de áreas nas margens dos rios, lagos e demais cursos hídricos (SILVA, 2013).

As instalações nas regiões de várzea e ribeirinhas apresentam predisposições a elevações dos níveis d'água, sendo assim, consideradas áreas de alto grau de vulnerabilidade aos fenômenos hidrológicos, todavia, quando ocorrem períodos de estiagem, a população cria a sensação de segurança, o que estimula a ocupação das áreas (SILVA, 2013).

Esses processos de inundações em áreas de ocupação nas proximidades das margens dos rios, são frequentemente no Brasil, causando severos impactos as populações residentes nessas regiões.

Segundo Paulo (2019), no Brasil entre 1995 e 2014, estima-se que foram gastos mais de R\$ 9 bilhões por ano em decorrência de desastres naturais, além disso, nesse mesmo período mais de 18 milhões de pessoas foram afetadas por algum desastre natural no território.

A autora ainda destaca que um dos estados comumente afetado por esses eventos é o Espírito Santo, na qual mais de 47 municípios tiveram situação de emergência decretada em função de um evento hidrológico no ano de 2013 (PAULO, 2019).

Diante deste cenário, Paulo (2019) desenvolveu um estudo analisando a gestão de resíduos de desastres naturais com ênfase nas chuvas ocorridas no estado do Espírito Santo, em período anterior a 2014.

Segundo o Plano Estadual de Proteção de Defesa Civil (PEPDEC, 2023) entre 2013 e 2022 ocorreram 1416 desastres naturais, sendo 17% desses, desastres hidrológicos relativos ao subgrupo inundações, sendo que, mais de 150.000 pessoas precisaram deixar suas residências, enquanto, mais de 30 pessoas perderam suas vidas em função desses eventos.

Assim, um dos pilares para o planejamento urbano deve ser a realização de estudos que delimitem e apresentem as áreas suscetíveis a inundações, com base no cruzamento dos diferentes usos do solo e as zonas de maior risco (SILVA, 2013).

Esse estudo apresenta uma análise espacial da suscetibilidade da ocupação urbana, no município de Iconha no estado do Espírito Santo, quanto a desastres hidrológicos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar espacialmente a suscetibilidade da ocupação urbana, no município de Iconha no estado do Espírito Santo, quanto a desastres hidrológicos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar informações sobre as características físicas de áreas suscetíveis a efeitos provocados por eventos hidrológicos extremos;
- Levantar as informações espaciais para o município de Iconha afetado por evento de desastre hidrológico no ano de 2020.
- Elaborar as cartas de suscetibilidade, de perigo e de risco a inundações do município.
- Correlacionar e analisar as informações obtidas com os efeitos do desastre hidrológico ocorrido em 2020.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 DESASTRES NATURAIS

Os desastres ditos naturais são causados por fenômenos naturais sobre um ecossistema vulnerável, provocando danos materiais e/ou ambientais, vítimas e conseqüentemente, prejuízos econômicos e sociais a um nível tal que excedam a capacidade de auto recuperação da comunidade local, exigindo recursos de assistência externa ao município (MATA-LIMA *et al.*, 2013).

Em função da origem do agente natural causador, os desastres naturais podem ser comumente classificados como: geofísicos (terremoto, erosão), hidrológicos (inundação, enxurrada), biológicos (doenças infecciosas, infestação de insetos), meteorológicos (ciclone, tempestades tropicais) e climatológicos (secas e incêndios florestais). Podem, ainda, ser desastres intensivos (terremoto) ou extensivos (seca) (GUHA-SAPIR *et al.*, 2012).

Segundo o relatório *The human cost of weather related disasters* publicado em 2020, aponta que no período de dez anos, entre 2000 a 2019, noventa por cento dos desastres relatados no mundo foram decorrentes de eventos relacionados ao clima, tais como inundações, tempestades, ondas de calor e outros. Cabe destacar que as inundações representaram 47% de todos os desastres desse período (UNISDR, 2020).

Dentre os fatores que podem contribuir com os desastres naturais, Mata-Lima *et al.* (2013) destacam o crescimento demográfico, que engloba os efeitos do aumento populacional e de estruturas (ambientes construídos) que contribuem tanto para o aumento da magnitude dos desastres naturais como para o agravamento das vulnerabilidades das comunidades afetadas.

A vulnerabilidade social das comunidades atingidas por esses eventos, podem proporcionar uma predisposição ocasionando efeitos mais graves e intensos como nas limitações das capacidades de redução de risco e de resiliência ante esses eventos (UNIFESP, 2021).

A resiliência a desastres é a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposta a ameaças físicas (chuvas, terremotos, inundações) de se recuperar, retornando a um nível estrutural aceitável após o desastre (FREITAS; ROCHA, 2014).

Nesse sentido, com a finalidade de buscar o entendimento das inundações urbanas, vale ressaltar os principais fatores que influenciam em sua vulnerabilidade e as principais consequências desse processo.

### 3.2 INUNDAÇÕES URBANAS

As inundações urbanas ocorrem quando o sistema de drenagem, evidenciado por uma galeria de drenagem, um rio, canal ou outros, atinge a capacidade máxima de carreamento das águas e por conseguinte, o mesmo extravasa ocupando locais que são utilizados pelas populações (BARRA; TEIXEIRA, 2015).

Segundo Silva (2013), frequentemente as inundações são confundidas com as enchentes, assim, as enchentes são caracterizadas por ser uma elevação temporária do nível d'água normal da drenagem devido a um acréscimo de descarga, entretanto, na inundação o volume de água não se limita a calha principal do rio e extravasa para as margens do rio, usualmente não ocupada pelas águas.

A fim, de auxiliar na compreensão das definições apresentadas anteriormente, a distinção entre os dois termos é representada na Figura 1.

Figura 1 - Definições didáticas: enchente e inundação.



Fonte: Cemaden, 2016.

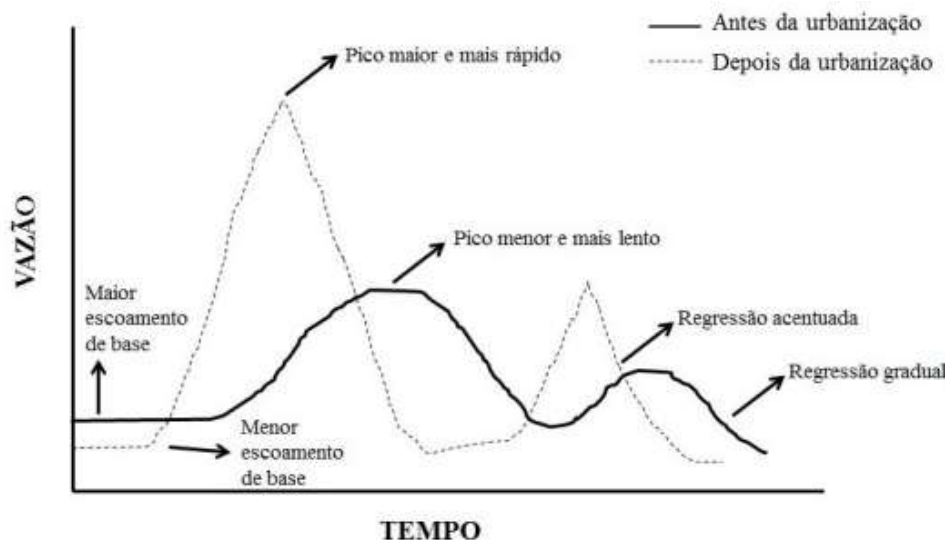


Em posse dessa consideração, as inundações podem ser classificadas de duas formas distintas: inundações de áreas ribeirinhas e inundações devido a urbanização, ambas podendo ocorrer de forma isolada ou combinada. (TUCCI, 2016).

As inundações em áreas ribeirinhas nas áreas de várzeas dos rios e beira-mar ocorreram principalmente em função das características físicas do ambiente, visto que essas regiões são comumente mais planas e, em muitos casos, no mesmo nível do curso hídrico, favorecendo assim o processo de enchente natural (CANHOLI, 2014).

As mudanças físicas ocorridas em função desse processo, impactaram diretamente no hidrograma de escoamento superficial de uma bacia hidrográfica. Em bacias hidrográficas predominantemente rurais, o hidrograma apresenta-se com uma variação gradativa da vazão e picos moderados, pois uma parte do fluxo d'água que pode se tornar escoamento superficial é retido pela vegetação ou pela infiltração no solo. Todavia, após a impermeabilização do solo, que caracteriza as áreas urbanas, quando ocorre precipitações a maior parte da água se tornará escoamento superficial, o que ocasiona na aceleração do escoamento e aumento dos picos de vazão nessas áreas, conforme observado na Figura 2 (SILVA, COELHO, 2022).

Figura 2 – Hidrograma de bacia antes e depois da urbanização.



Fonte: SILVA; COELHO, 2022.

Nesse contexto, a redução dos impasses gerados pelas inundações depende tão quanto da consciência da população bem como da sociedade que habita o entrono. Logo, o controle das enchentes é um processo permanente, não satisfazendo apenas o estabelecimento de regulamentos e a construção de obras de proteção, é necessário estar ciente da expansão da ocupação do solo das áreas de risco (OLIVEIRA, 2019).

### 3.3 MEDIDAS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES

As medidas de controle de inundações, são ações de cunho social, econômico e administrativo, que visam o desenvolvimento urbano sustentável, minimizando riscos e reduzindo os prejuízos associados as inundações (COSTA, 2013).

Essas medidas de controle, tem como princípio de execução a transferência rápida das águas para jusante, alterando as características do ambiente natural dos rios e córregos que podem acarretar no aumento da frequência das inundações numa dada região (TOMINAGA, 2013).

Nesse sentido, atualmente, tem sido desenvolvida técnicas de controle na fonte, que se baseiam na retenção e na infiltração das águas oriundas dos processos hidrológicos e colaboram para a sustentabilidade dos sistemas (TOMINAGA, 2013).

Essas medidas se dividem em não estruturais e estruturais. As medidas não estruturais apresentam baixos custos de implementação, além de longos prazos de operação, o que torna essas medidas mais eficientes que as medidas estruturais (COSTA, 2013). As medidas não estruturais estão relacionadas as medidas preventivas pelas normativas, legislações e programas que visam reduzir danos ou consequências por meio do zoneamento de áreas de inundação, manutenção dos dispositivos de drenagem, implementação de um sistema de alerta ligada a Defesa Civil por meio de um sistema de previsão e alerta, necessitando de um sistema de obtenção e processamento de dados e modelos matemáticos (CAPRARIO, 2017).

Segundo Rego (2018) as medidas estruturais são intervenções de pequeno e médio porte, que visam controlar o escoamento em grandes áreas, por meio da detenção, retenção e infiltração. Dentre as diversas intervenções podemos citar: as trincheiras de infiltração e detenção, os poços de infiltração, as valas vegetadas, pavimentos porosos ou permeáveis, telhados armazenadores, jardins de chuva e microrreservatórios como possíveis medidas sustentáveis que podem ser aplicadas nas cidades que comumente sofrem com esses desastres (TOMINAGA, 2013).

Assim, para que o controle da inundação seja efetiva, é necessário um agrupamento de medidas de controle, garantindo dessa forma que a população obtenha a menor quantidade possível de prejuízo, gerando também uma relação harmoniosa com o rio (TOMINAGA, 2013).

### 3.4 ZONEAMENTO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÕES

O zoneamento urbano, pode apresentar em sua elaboração as áreas propensas a inundações, o que é muito importante para o uso, planejamento e ocupação do solo em uma determinada área, pois pode ser identificado o direcionamento do uso do solo em decorrência de áreas críticas (BITAR *et al.*, 2021).

Cabe destacar que o ordenamento do solo não pode ser considerado como única medida de proteção contra os eventos hidrológicos extremos, visto que, a mesma deve estar alinhada com outras medidas estruturais e não estruturais que visam a manutenção das condições de escoamento dos cursos d'água.

Dessa forma, conforme já mencionado na introdução, o zoneamento alinhado à um Sistema de Informação Georreferenciada (SIG) possibilita a identificação de locais viáveis a aplicação de medidas não-estruturais que permitem reduzir os impactos das cheias fluviais por meio do uso adequado do solo.

### **3.4.1 Sistema de Informação Georreferenciada (SIG) em áreas sujeitas a inundações**

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) tem por objetivo principal o armazenamento, processamento e rápida recuperação e precisão de grandes volumes de informações georreferenciadas, em outras palavras, informações possíveis de serem localizadas ao longo da superfície terrestre a partir de coordenadas geográficas (GALVÃO, 2014).

Segundo Matsuoka e Fernandes (2018), os SIG's são sistema complexo capaz de armazenar, manipular, e analisar as informações obtendo rápidas soluções dos sistemas analisados.

Para Galvão (2014), tal instrumento começou a ser empregado na sociedade a partir da segunda metade do século XX a partir do desenvolvimento tecnológico, porém só foi consolidado a partir da década de 80 na qual o geoprocessamento teve âmbito no cenário mundial, estendendo-se até os dias atuais.

Nesse contexto, é em um banco de dados onde a manipulação das informações ocorre, sendo capaz de receber dados de fontes distintas e correlaciona-los e fazer a manipulação em diferentes formatos e formas. Assim, destaca-se que essa ferramenta abrange não só o mapeamento, mas também pode ser utilizado para analisar espacialmente fenômenos distintos, através da sobreposição e cruzamento das informações contempladas no bando de dados.

Assim, com os avanços tecnológicos e com o passar do tempo, a ferramenta passou a ser utilizada também para a compreensão dos processos hidrológicos extremos, como as inundações. Portanto, o geoprocessamento e os SIG's são de grande importância para a elaboração do mapeamento e análise de áreas com risco à inundação.

### 3.5 MAPEAMENTOS DE ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES

O mapeamento de áreas sujeitas a inundações traz consigo extrema importância no planejamento territorial, principalmente sob a perspectiva de subsidiar a prevenção de desastres naturais frente o crescimento populacional (CAMPOS *et al.*, 2014).

Segundo Jantsch *et al.* (2017), existem dois tipos de mapas de inundações urbanas: mapas de planejamento e mapas de alerta. Os mapas de planejamento mostram as áreas que provavelmente serão afetadas pelas inundações durante o período de retorno selecionado. Enquanto que, os mapas de alerta são preparados com valores de cotas em cada esquina da área de risco permitindo o acompanhamento da enchente por parte dos moradores, com base nas observações do nível de água em relação às réguas pré-instaladas. Uniformizando os conceitos discutidos, os mapas de suscetibilidade e perigo seriam os de planejamento e os mapas de risco e os de alerta, seriam os de gestão.

O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos, apresenta a propensão ao desenvolvimento do sinistro na localidade analisada, sendo uma ferramenta poderosa no controle e prevenção de inundações, estando associada ao grau de riscos e prejuízos causados pelos eventos (SOUSA, 2012).

O conceito de perigo relaciona-se com a probabilidade de ocorrência do processo ou evento num dado período de tempo na área de influência. Assim, relaciona-se com os fatores transitórios, ou seja, a chuva e a sua distribuição temporal na bacia, passíveis de análise estatística (MONTEIRO; KOBAYAMA 2013).

Segundo Campos *et al.* (2014), o risco é decorrente do número de pessoas feridas, óbitos e impactos econômicos, em função de um dado fenômeno monitorado, numa escala espacial e temporal. O risco implica a proximidade de um dano ou adversidade o que pode afetar a vida dos homens, ou seja, a existência de uma situação de risco está intrinsicamente ligada a percepção da população que habita aquela região.

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) instituída pela Lei nº12.608, de 10 de abril de 2012, estabelece que cada município deve identificar e mapear as áreas ameaçadas, suscetíveis e vulneráveis a desastres ambientais, como por exemplo, as inundações, reduzindo ou mesmo evitando a sua ocorrência.

Esses mapeamentos podem ser desenvolvidos por duas abordagens: a primeira é composta por análises descritivo quantitativas como o tipo de solo, a conformação do relevo e a influência da cobertura vegetal. A segunda abordagem envolve conceitos de hidrologia e hidráulica, com elaboração de modelos chuva-vazão e simulação do comportamento dos escoamentos (BITAR, 2014).

Conforme Caprario (2017), as análises descritivas alinhadas aos modelos de comportamento de escoamento são comumente utilizadas para estimar as áreas potenciais de risco, em virtude de sua simples estrutura e fácil aplicação. Uma ferramenta que é amplamente utilizada para aplicação dessas análises descritivas são os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) que dispõem de ferramentas que auxiliam no processo de tomada de decisão.

### 3.5.1 Carta de suscetibilidade a inundações

Proposta por Caprario em 2017, a equação para determinação das áreas suscetíveis às inundações conteve grau de acerto das áreas frequentemente alagadas e inundadas na ordem de 91%, considerando apenas o tipo do solo, uso do solo, altimetria e declividade, conforme apresentado na equação 1.

$$\text{Suscetibilidade à inundação} = 0,0592 (\text{Tipo de solo}) + 0,1590 (\text{Uso do solo}) + 0,2563 (\text{Altimetria}) + 0,5255 (\text{Declividade}). \quad (1)$$

A equação demonstra que 52,55% do peso total das inundações está no fator declividade, enquanto, as menores influências estão associadas ao tipo de solo, a altimetria e o uso do solo, apresentam influência de 5,92%, 25,63% e 15,90%, respectivamente.

Os resultados encontrados pela formulação apresentada anteriormente foram classificados como baixo, médio, alta e muito alto. A escala de suscetibilidade foi construída conforme Caprario (2017), sendo obtida pela combinação das notas mínimas e máximas de cada fator. As faixas da escala de suscetibilidade foram definidas respeitando os intervalos de 50%, 10%, 15% e 25% da variação dos pontos, conforme previsto no instrumento desenvolvido.

Cabe destacar que para a menor suscetibilidade a inundações (Baixa) não devem ter ocorrido desastres hidrológicos significativos em um período de 5 anos e, em contrapartida, a maior suscetibilidade (Muito Alta) envolve dois fatores, sendo estes: a região deve ter sido acometida por 3 eventos extremos nos últimos 5 anos e a localidade deve dispor de habitações que propiciam alta vulnerabilidade, tais como áreas ribeirinhas (CAPRARIO, 2017).

#### 3.5.1.1 Tipo de solo

Segundo Barbosa Júnior (2022) a capacidade de infiltração do solo, interfere diretamente na velocidade de escoamento subterrâneo, visto que, quanto maior for a capacidade de infiltração do solo, menor será o volume de água que pode tornar escoamento superficial, reduzindo assim a probabilidade de inundações.

O autor ainda descreve que os solos com altos teores de areia apresentam essas características descritas anteriormente. Todavia, o mesmo destaca que os solos siltosos e argilosos apresentam as mesmas características quando secos, entretanto, quando em função da saturação, esses tipos de solos podem se tornar impermeáveis.

Os solos da bacia de Iconha foram classificados juntamente com o Estado do Espírito Santo por Cunha *et al.* (2016) em escala de 1:400.000 no Datum “SIRGAS 2000” intitulada de “Mapa de reconhecimento dos solos do estado do Espírito Santo: uma atualização de legenda”.

Em posse dessa classificação proposta e descrita anteriormente, foi identificado que nesta bacia são encontrados Argissolos, Cambissolos, Gleissolos e Latossolos. A

atribuição de notas para as classes é em função da capacidade de infiltração, estando essa característica associada as frações de areia, silte e argila presentes em cada tipo de solo, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação e ponderação das classes do fator tipos de solo.

<b>FATOR</b>	<b>CLASSES</b>	<b>PONDERAÇÃO</b>
Tipos de solo	Argissolos	5
	Cambissolos	2
	Gleissolos	10
	Latossolos	5

Fonte: Adaptado com base em Caprario (2017).

Os argissolos compreendem solos constituídos por material mineral que têm como diferencial uma variação de textura de arenosa a argiloso no horizonte A e de média a muito argiloso no horizonte B (EMBRAPA, 2018).

Os cambissolos são os solos que possuem grande heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, podendo estes solos apresentarem grandes variações. Nesse sentido, essa classe contém desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, com o horizonte B apresentando teores uniformes de argila (EMBRAPA, 2018).

Os gleissolos são solos que se encontram permanentemente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. A água permanece estagnada internamente ou a saturação ocorre por fluxo lateral do solo (EMBRAPA, 2018).

Os latossolos são solos em avançado estado de intemperização, assim, esses solos apresentam características que variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram solos que apresentam características de imperfeitamente drenados (EMBRAPA, 2018).

### 3.5.1.2 Uso do solo

Segundo Magalhaes *et al.* (2011) o uso e ocupação do solo impacta diretamente nos processos de infiltração e escoamento superficial, aumentando as vazões de



escoamento superficial em áreas urbanas e aumentando as infiltrações em áreas com vegetações.

Muller (2012) descreve que a cobertura vegetal pode reduzir o escoamento superficial, principalmente em regiões de matas e florestas, retardando assim o pico de inundação. Em áreas naturais representadas por mangues e brejos, as características geomorfológicas e pedológicas favorecem ao processo de inundação.

O mapeamento do solo e ocupação do solo conteve a atribuição de notas às diferentes classes de permeabilidade do solo, em função da taxa de infiltração e da produção do escoamento superficial. Nesse sentido, a nota mais alta foi estabelecida para região comumente afetada por enchentes e as seguintes foram sucessivamente reduzidas de acordo com grau de encharcamento, a impermeabilização do solo e a densidade da vegetação, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação e ponderação das classes do fator uso e ocupação do solo.

<b>FATOR</b>	<b>CLASSES</b>	<b>PONDERAÇÃO</b>
Uso e ocupação do solo	Massa d'Água	10
	Brejo	9
	Área Edificada	8
	Solo exposto/Extração	7
	Mineração/Afloramento	
	Rochoso	5
	Cultivos Agrícolas	
	Pastagem	
	Macega	3
	Reflorestamento	2
Mata Nativa	1	

Fonte: Adaptado com base em Caprario (2017).

No presente estudo será utilizado a classificação do uso e ocupação do solo do estado do Espírito Santo publicado em 2015 (período mais compatível com o ano do evento analisado) e disponibilizado pelo GEOBASES.

### 3.5.1.3 Altimetria

De acordo com Prochmann (2014), o aumento da altimetria do terreno provoca a redução da probabilidade de ocorrência de inundações, em função da ação da gravidade que direciona o escoamento superficial para as regiões com menores

elevações, favorecendo o acúmulo e, por conseguinte, o aumento da probabilidade de enchentes.

Em consonância, Chaves e Peixoto (2015) ressaltam que as áreas que apresentam maior suscetibilidade à ocorrência de inundações estão associadas as regiões com menores cotas altimétricas, sendo comumente caracterizadas por zonas de ocupações ribeirinhas nas margens dos cursos hídricos. Mas dependendo da situação anterior, pode provocar desmoronamentos.

Em posse dessas informações, o mapeamento altimétrico elaborado pelo IEMA (2019) conteve a atribuição de diferentes classes de altimetria em função da elevação do terreno como alicerce no processo de escoamento superficial, que pode acarretar em alagamentos e inundações em regiões com menores cotas.

Nesse sentido, a nota mais alta foi na região com a cota mais baixa e, as seguintes foram reduzidas em função do aumento da altimetria, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação e ponderação das classes do fator altimetria.

<b>FATOR</b>	<b>CLASSES</b>	<b>PONDERAÇÃO</b>
Altimetria	0 – 250	10
	250 – 500	9
	500 – 750	8
	750 – 1000	7
	1000 – 1250	6
	1250 – 1500	5
	1500 – 1750	4
	1750 – 2000	3
	2000 - 2250	2
	2250 – 2500	2
	2500 – 2750	1
	2750 - 3000	1

Fonte: Caprario (2017).

#### 3.5.1.4 Declividade

De acordo com Caprario (2017), o fator declividade influencia diretamente no processo de escoamento superficial, bem como no acúmulo de água no solo, ressaltando que em regiões planas as probabilidades de ocorrerem inundações são maiores que em regiões de planalto.

Em consonância, Prochmann (2014) destaca que a declividade é o fator mais influente no processo de escoamento superficial, visto que, a variação da declividade numa dada região propicia o aumento da velocidade do escoamento superficial e menor capacidade de armazenamento de água no solo.

Em posse dessas informações, o mapeamento de declividade teve como preceito a consideração da concentração do fluxo de escoamento superficial, que está diretamente relacionada à capacidade de armazenamento de água sobre a superfície do solo (CAPRARIO, 2017).

Nesse sentido, a maior nota à classe de declividade considerada plana, reduzindo sucessivamente as notas conforme aumento da inclinação do terreno, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação e ponderação das classes do fator declividade.

FATOR	CLASSES	PONDERAÇÃO
Declividade	0 – 3	10
	3 – 8	7
	8 – 20	5
	20 – 45	4
	45 – 75	3
	>75	1

Fonte: Caprario (2017).

### 3.5.2 Carta de perigo e risco a inundações

Segundo Monteiro e Kobiyama (2013), o mapa de perigo de inundação contém informações sobre probabilidade e/ou magnitude de um evento. Os autores ainda propõem uma adaptação da caracterização de perigo em função do período de retorno (frequência de inundação) e as alturas de cota de inundação, com base em Prevene (2001).

No presente estudo, os tempos de retorno foram obtidos através de duas formas: a primeira deles foi através do trabalho de Silva e Coelho (2022) que elaboraram uma curva chave para região (equação 2).

O período de retorno é o tempo médio que um determinado evento hidrológico pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez (ROCHA, 2022). Para Silva e Coelho (2022) a curva-chave obtida pode ser denominada de relação cota-descarga, sendo utilizada para determinar a vazão em uma seção do corpo hídrico a partir de uma dada altura.

$$Q = a (h - h_0)^n \quad (2)$$

Sendo:

$h$  é a altura da régua linimétrica no dado momento em que ocorre a vazão  $Q$ ;

$h_0$  o nível em que a  $Q$  é igual a zero;

$a$  e  $n$  constantes locais.

A fim de obter as variáveis dessa equação, os autores analisaram a série histórica da estação fluviométrica do município de Iconha e obtiveram a equação 3 que foi utilizada para calcular a altura da lâmina ( $h$ ) em função das vazões registradas em cada período de retorno.

$$Q = 11,611 (h - 0,18)^{1,9961} \quad (3)$$

A segunda forma utilizada para o cálculo do tempo de retorno do evento de 2020 foi a equação IDF (Intensidade, duração e frequência) para estação de Vitória apresentada na equação 4. Os dados dessas etapas estão apresentados na Tabela 5.

$$i = \frac{245,53T^{0,17}}{t^{0,46}} \quad (4)$$

Sendo:

$i$  = intensidade de chuva (mm/hora)

$T$  = período de retorno (anos)

$t$  = duração do evento (minutos)

Tabela 5 – Alturas atreladas ao período de retorno.

PERÍODO DE RETORNO (anos)	VAZÃO (m³/s)	ALTURA DA LÂMINA D'ÁGUA (m)
5*	83,743*	2,92*
20*	128,876*	3,59*
100*	178,911*	4,19*
200**	676,93	8,00*

\* Elaborado por Silva e Coelho 2022.

\*\* Calculado por meio da equação da IDF Vitoria.

Monteiro e Kobiyama (2013) classificaram o perigo com base no período de retorno em quatro níveis, sendo alta para o menor tempo de retorno e muito baixa para o maior tempo de retorno utilizado no estudo.

Tabela 6 – Probabilidade de perigo.

PROBABILIDADE	PERÍODO DE RETORNO	PROBABILIDADE DE SUPERAR (%)
Alta	5 anos	10%
Média	20 anos	1%
Baixa	100 anos	0,2%
Muito baixa	200 anos	<0,2%

Fonte: Elaborado pela autora com base em Monteiro e Kobiyama (2013).

Segundo Tominaga, Santoro e Amaral (2016), o conceito de risco é entendido como a probabilidade de acontecer alguma perda esperada, em função das características de vulnerabilidade de uma determinada localidade alvo de análise.

Aplicando-se a definição do risco aos principais atributos identificados em áreas ocupadas, conforme apresentado por Hora e Gomes (2009), quanto à inundação, tem-se a equação (5):

$$\begin{aligned}
 \text{Risco} = \sum(TR) * \{ & (\text{Vulnerabilidade da Tipologia}) * [((\text{Altura de Inundação} * 2) \\
 & + (\text{Densidade Populacional} * 5) + (\text{Densidade de Habitações} \\
 & * 3)) / 10] \} \quad (5)
 \end{aligned}$$

Parâmetros descritos a seguir:

### 3.5.2.1 Tempo de retorno

O tempo de retorno ou de recorrência é o intervalo de tempo, comumente expresso em anos, na qual um determinado evento pode ocorrer ou ser superado (DNIT, 2022).

No que se refere, o risco às inundações, o tempo de retorno em anos é representado por probabilidades, conforme disposto na Tabela 7.

Tabela 7 – Probabilidade do tempo de retorno.

PERÍODO DE RETORNO	PROBABILIDADE
5 anos	0,2
20 anos	0,05
100 anos	0,01

Fonte: Hora; Gomes (2009).

### 3.5.2.2 Vulnerabilidade da Tipologia do uso do solo

A vulnerabilidade da tipologia aborda as áreas que podem ser mais atingidas por inundações no menor tempo de recorrência, ou seja, apresenta a probabilidade que uma área pode ser atingida por um extravasamento da rede de drenagem. Como está sendo analisado as inundações em áreas urbanas, essas apresentaram as maiores probabilidades.

Em posse dessas considerações, a Tabela 8 apresenta a vulnerabilidade dos usos e ocupações do solo. Os valores variam de 0 a 1, sendo que, o maior valor representa a situação de maior vulnerabilidade da habitação com relação à inundação e o valor igual a zero relaciona-se com áreas sem vulnerabilidade, como o próprio rio.

Nesse sentido, valores baixos de vulnerabilidade associam-se às tipologias de áreas descobertas, áreas de cultivos, vegetação ciliar e áreas alagadas, que apesar de não receberem habitações não recebem valores de 0, pois são utilizados em áreas de plantação.

Tabela 8 – Vulnerabilidade da tipologia.

<b>USO E OCUPAÇÃO DO SOLO</b>	<b>VULNERABILIDADE</b>
Área urbana	1,00
Área descoberta/descoberta	0,05
Área de cultivo/pastagem	0,05
Vegetação ciliar	0,05
Áreas alagadas	0,05

Fonte: Hora; Gomes (2009).

### 3.5.2.3 Altura da inundação

A altura da inundação correlaciona-se aos danos associados à altura da lâmina d'água, utilizando as cotas apresentadas na Tabela 5.

### 3.5.2.4 Densidade Populacional e Habitacional

Segundo Silva, Junior e Noronha (2016) a densidade populacional referencia-se a quantidade de habitantes, enquanto, a densidade habitacional aborda a quantidade de casas atingidas por essas enchentes dos respectivos tempos de retorno analisado.

No presente estudo, o número de habitações foi definido em função da contagem das habitações registradas nas fotografias aéreas digitais da área, enquanto o número de habitantes foi estimado a partir do cáculo da média de habitantes por moradia do IBGE.

## 3.6 TRABALHOS QUE RELACIONAM USO E OCUPAÇÃO DO SOLO COM AS INUNDAÇÕES URBANAS

Neto (2010) avaliou os impactos da ocupação urbana e seu incremento nas inundações urbanas em Carandaí-MG. A análise da evolução da ocupação urbana na micro bacia do Córrego Capão do Melo foi desenvolvida por meio de uma comparação visual, utilizando fotografias aéreas do município   escala 1/30.000 (v o de 1986, fornecidas pelo DER - Departamento de Estradas e Rodagem) e imagens de satélite

disponibilizada pelo Google Earth, de 2009. O autor concluiu que o aumento demográfico associado à expansão urbana na micro bacia tem condicionado impermeabilização do solo tanto nas vertentes como nas áreas do leito maior, o que reduz a capacidade de infiltração da água e aumenta os picos de volume de água que chega ao canal principal nas chuvas mais intensas.

Silva (2013) elaborou um conjunto de medidas de intervenção para a regulamentação do uso do solo no município de Atibaia e seus afluentes. Tais medidas foram elaboradas em função das manchas de inundação obtidas no *software* SWMM, que apresentou a probabilidade de ocorrência dos eventos hidrológicos nas localidades. Os resultados dessas análises foram um mapa de inundação de 100 anos de período de retorno e políticas relevantes, como áreas de preservação permanente, áreas de proteção ambiental, densidade demográfica e o próprio zoneamento urbanístico em vigor. A autora conclui pela remoção das edificações instaladas na zona de maior risco e na contenção da ocupação e a adequação a padrões construtivos a prova de enchentes nas demais zonas com restrições.

Silva *et al.* (2016) descreveram o processo de ocupação nas áreas sujeitas a inundações na localidade de Goiânia-GO, as medidas adotadas pelo município para solucionar o problema, bem como identifica os fatores que favorecem tais eventos naquela localidade. No estudo, realizou-se um levantamento e análises de imagens e fotos aéreas da região, as quais permitiram visualizar e comparar o histórico de intervenções na área; caracterização da bacia hidrográfica por ferramentas do ArcGIS, ferramenta que permitiu qualificar e quantificar o uso e ocupação do solo; arquivo topográfico do município de Goiânia e imagens de satélite Landsat 8. Os autores concluíram que a ocorrência de inundações está relacionada principalmente ao processo de urbanização que acarreta o desmatamento e impermeabilização de vários espaços, aliada à ocupação inadequada de Área de Preservação Permanente (APP).

Santos, Rufino e Filho (2017) analisaram os impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo ao longo de 32 anos no município de Campina Grande (PB). A realização desse acompanhamento ocorreu utilizando o *software* desktop ArcGIS 10.2.2® (Esri), em relação ao modelo hidrológico utilizado para simulação de eventos



foi o *software Storm Water Management Model – SWMM*. Os autores concluíram que a impermeabilização do solo contribuiu para o aumento do escoamento superficial em decorrência da sobrecarga no sistema de microdrenagem. Os mesmos demonstram que mesmo existindo uma legislação que orienta as zonas de ocupação e suas respectivas taxas, a ausência de planejamento na ocupação do solo coopera para um alto percentual de área impermeabilizada nos mesmos, acarretando em maior escoamento superficial em períodos de chuva.

Simplício e Abreu (2021) analisaram a evolução da ocupação em áreas sujeitas a inundação na planície aluvial pertencente ao Rio Atibaia entre os municípios de Campinas e Jaguariúna, no estado de São Paulo. As interpretações foram realizadas por meio de fotos aéreas e imagens de satélite dentre os anos de 1962 e 2019. As imagens foram georreferenciadas no software ArcGIS 10.7. A interpretação dos dados apontou que apesar dos municípios apresentarem normas e mapeamento de áreas de suscetibilidade, não ocorre restrição para ocupação de áreas sujeitas a inundações.

Cury *et al.* (2021) analisaram a suscetibilidade de inundação no domínio do seu limite geomorfológico na Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga no estado de Santa Catarina. O mapeamento das áreas suscetíveis foi realizado analisando o uso e cobertura da terra, a declividade, a hipsometria e as ordens dos rios, por meio do software ArcGis 10.5. Os resultados apontaram que 30% da área urbana da Bacia Hidrográfica possui alto grau de suscetibilidade a inundações, com uma razão de consistência de 0,082 e apontando que esse estudo serve como alicerce para a tomada de decisão pelo órgão público para o desenvolvimento futuro do território.

Neto, Silva e Barbosa (2022) mapearam as áreas suscetíveis as inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes em Pernambuco, tomando como base a declividade, a hipsometria, o uso e ocupação do solo, a pedologia, a distância entre corpos hídricos, os índices de precipitação e a densidade urbana utilizando o método AHP (Processo Analítico Hierárquico) no software QGIS 3.10.9. Os autores concluem que os resultados foram satisfatórios representando bem a região acometida por esses eventos, entretanto, os mesmos destacam que caso seja necessário maior precisão dos resultados deve ser utilizado alguns outros fatores, tais

como: a densidade de drenagem, a geologia, a hierarquia fluvial, o fluxo acumulado de água, o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), o CN (Curve Number) que não foram considerados em função das complicações de obter algumas informações.

Ladwig *et al.* (2023) mapearam o risco de inundações na bacia hidrográfica do Rio Belo em Orleans – Santa Catarina. Utilizou-se o modelo *Height Above the Nearest Drainage* (HAND) para determinar as áreas inundáveis, enquanto, O índice de vulnerabilidade foi construído por meio do método Analytic Hierarchy Process (AHP). O alto risco de inundação predomina nas áreas de maior urbanização, onde o perigo e a vulnerabilidade são maiores. Os riscos médio e baixo estão concentradas em áreas de transição entre o espaço urbano e o rural. O mapeamento identificou áreas prioritárias para a tomada de medidas mitigadoras, de prevenção e proteção dos impactos negativos decorrentes do evento de inundação.

O Quadro 1 descreve os trabalhos correlatos, contendo os objetivos e as considerações.

Quadro 1 – Trabalhos correlatos.

AUTOR	OBJETIVO	CONSIDERAÇÕES
Neto (2010)	Avaliou os impactos da ocupação urbana e seu incremento nas inundações urbanas	O aumento da expansão urbana reduz a capacidade de infiltração da água e aumenta os picos de volume de água
Silva (2013)	Elaborar um conjunto de medidas de intervenção para a regulamentação do uso do solo no município de Atibaia e seus afluentes.	Remoção das edificações instaladas na zona de maior risco e na contenção da ocupação e a adequação a padrões construtivos a prova de enchentes nas demais zonas com restrições.
Silva <i>et al.</i> (2016)	Descreveram o processo de ocupação nas áreas sujeitas a inundações na localidade de Goiânia-GO.	A ocorrência de inundações é devido, principalmente, ao processo de urbanização que acarreta o desmatamento e impermeabilização de vários espaços.
Santos, Rufino e Filho (2017)	Analisaram os impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo ao longo de 32 anos no município de Campina Grande (PB).	A ausência de planejamento na ocupação do solo coopera para um alto percentual de área impermeabilizada, acarretando em maior escoamento superficial em períodos de chuva.
Simplício e Abreu (2021)	Analisaram a evolução da ocupação em áreas sujeitas a inundação na planície aluvial pertencente ao Rio Atibaia	Apesar de existir legislações, não ocorre a restrição da ocupação de áreas sujeitas a inundações.
Cury <i>et al.</i> (2021)	Analisaram a suscetibilidade de inundação no domínio do seu limite geomorfológico na Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga no estado de Santa Catarina	A utilização de 5 fatores para mapear áreas suscetíveis apresentou resultados satisfatórios com alta correlação.
Neto, Silva e Barbosa (2022)	Mapearam as áreas suscetíveis as inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes em Pernambuco	Existem diversos fatores que podem ser utilizados na elaboração do mapeamento para aumentar a precisão a ser obtida, entretanto, em função de nem todas informações serem de fácil acesso não é possível ser executado.
Ladwig <i>et al.</i> (2023)	Mapearam o risco de inundações na bacia hidrográfica do Rio Belo em Orleans – Santa Catarina	O mapeamento identificou áreas prioritárias para a tomada de medidas mitigadoras, de prevenção e proteção dos impactos negativos decorrentes do evento de inundação.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

## 4 METODOLOGIA

Esta pesquisa é uma abordagem quantitativa que visa investigar a análise comparativa baseada em dados secundários, sendo denominada como descritiva e explicativa, pois tem como objetivo analisar espacialmente a suscetibilidade a inundações do município de Iconha, no estado do Espírito Santo, em especial a área de ocupação urbana (GIL, 2008).

As etapas foram realizadas conforme descrito a seguir.

### 4.1 TIPO DE PESQUISA E LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O levantamento bibliográfico, foi realizado essencialmente por buscas no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) gerido pelo Ministério da Educação, que disponibiliza um vasto acervo de periódicos para consulta. Os artigos pesquisados e selecionados foram organizados por meio do software *Mendeley Desktop* versão 2.80.1.

A busca do conteúdo científico utilizou as palavras-chave nos artigos referentes ao tema estudado.

## 4.2 ÁREA DE ESTUDO

O objeto do presente estudo, foi o município de Iconha que está localizado na microrregião Litoral Sul e Macrorregião Sul do estado do Espírito Santo, (dentro da bacia do rio Iconha) ocupando uma área de 203,528 km<sup>2</sup>, limitando-se com os municípios de Alfredo Chaves, Rio Novo do Sul, Piúma e Anchieta (IBGE, 2022).

O padrão da disponibilidade hídrica na região é limitado pelo perfil de textura média dos solos e da profundidade efetiva do sistema radicular das principais culturas agrícolas produzidas no município. Entre os meses chuvosos (outubro a abril) ocorre um excedente hídrico acumulado de 295 mm, entretanto, nos meses de seca (maio a setembro) a redução das chuvas provoca a retirada de água do solo acumulada no período chuvoso. Cabe destacar que a quantidade retirada não provoca deficiência no saldo no solo (INCAPER, 2020).

A geomorfologia a jusante do rio de Iconha é limitada por uma formação rochosa que acarreta na formação de zonas de acúmulo de sedimentos provocando o assoreamento do rio e reduzindo o transporte efetivo do corpo hídrico (INCAPER, 2020).

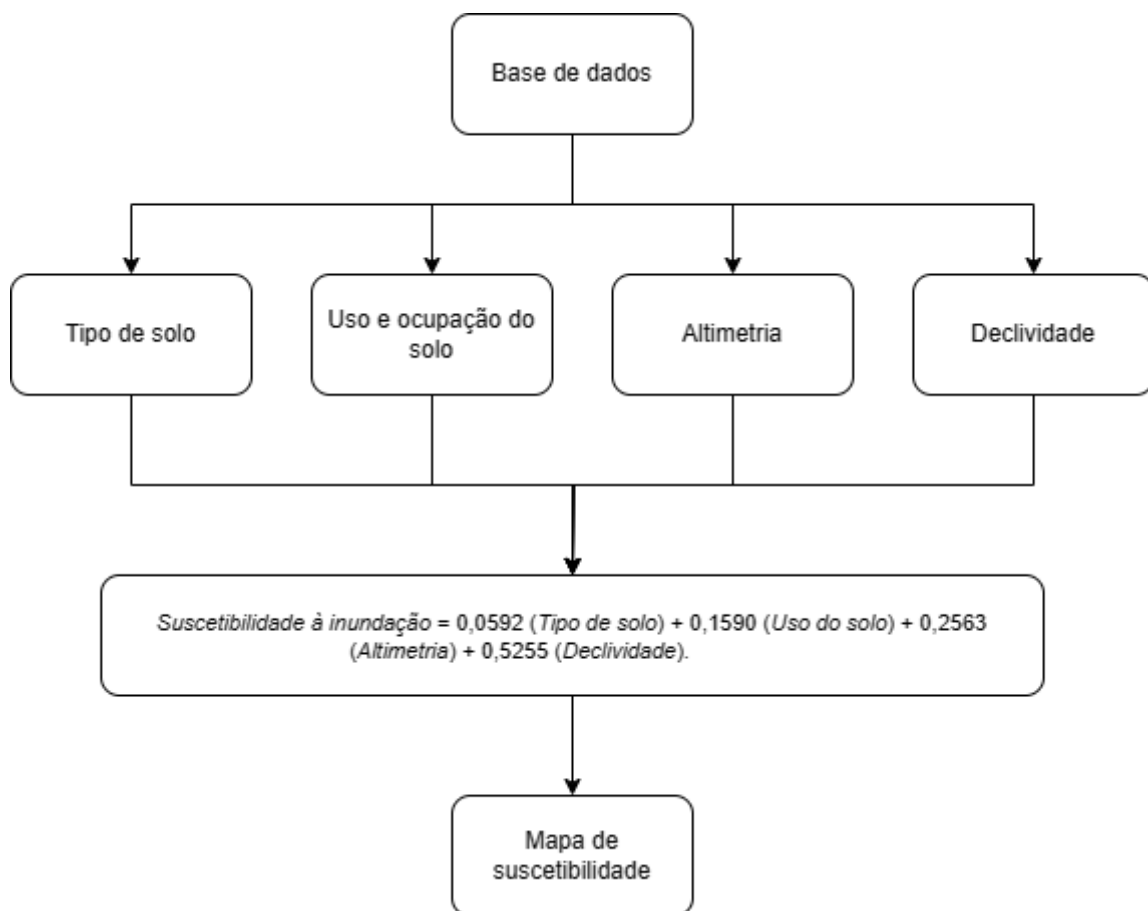
Os dados secundários utilizados na pesquisa são provenientes do banco de dados da Defesa Civil do Estado do Espírito Santo e do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES).

### 4.3 MAPEAMENTOS DE ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES

#### 4.3.1 Carta de suscetibilidade a inundações

A carta de suscetibilidade (seção 3.5) foi obtida por meio das etapas representadas no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma para obtenção da carta de suscetibilidade.

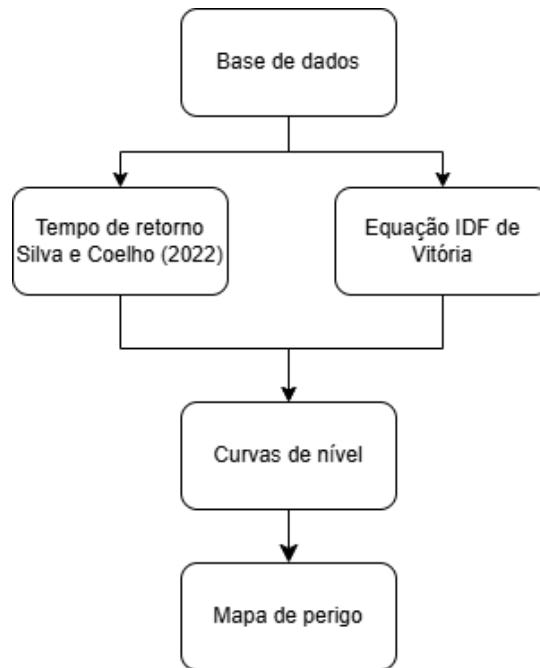


Fonte: Elaborado pela autora (2024).

#### 4.3.2 Carta de Perigo a inundações

A carta de perigo a inundações (seção 3.5) foi obtido por meio das etapas representadas no fluxograma da Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma para obtenção da carta de perigo a inundações.

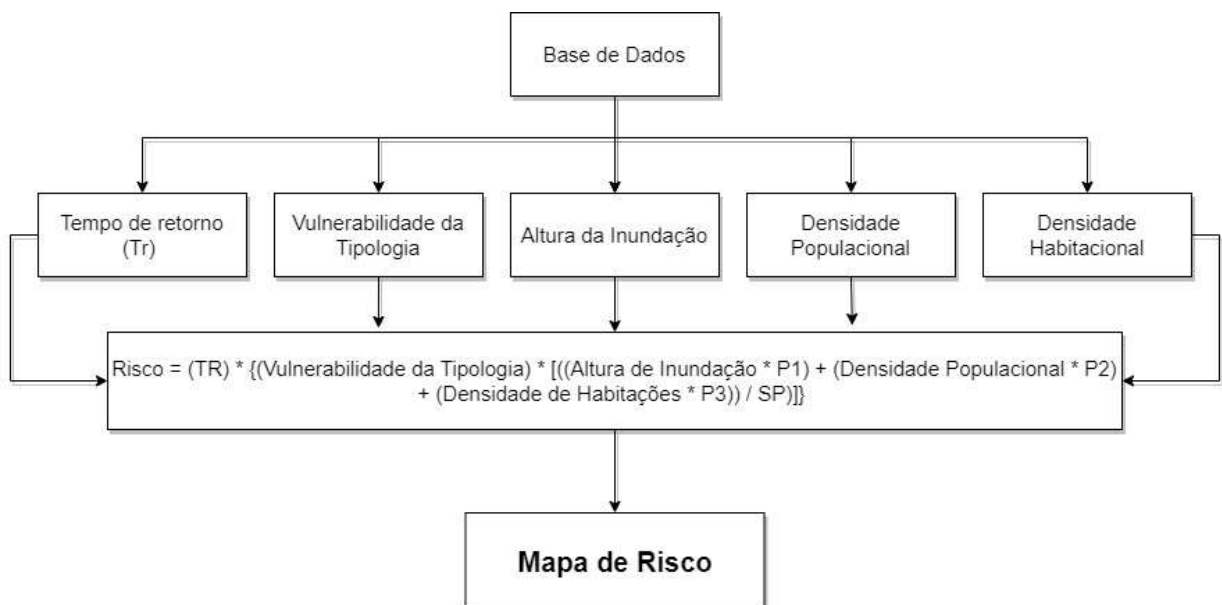


Fonte: Elaborado pela autora (2024).

#### 4.3.3 Carta de Risco a inundações

A carta de risco a inundações (seção 3.5) foi obtido por meio das etapas representadas no fluxograma da Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma para obtenção da carta de risco a inundações.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Cabe destacar que esse método proposto por Hora e Gomes (2009), foi utilizado no presente estudo pois o mesmo foi replicado com ajustes para cada região por Silveira *et al.* (2013), Campos *et al.* (2015), Borges *et al.* (2015), Ramalho, Oliveira e Dourado (2015), Silva, Junior e Noronha (2016), Martins e Vaz (2019) e Faria e Gomes (2023).



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARTA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES

#### 5.1.1 Tipo de solo

O conhecimento sobre os recursos naturais é fundamental para o planejamento da ocupação do território e a gestão ambiental alinhada ao desenvolvimento sustentável. Entre os recursos naturais, o tipo de solo tem sua relevância principalmente devido a suas relações com vários elementos que constituem o ecossistema (CUNHA *et al.*, 2016).

Na bacia hidrográfica de Iconha são encontrados quatro tipos de solo com destaque para o Cambissolo que está presente em 74,22% da bacia, seguido pelos Latossolos que compõe 20,27% da bacia, o menos expressivo são os Argissolos com 0,75%, conforme disposto na Tabela 9.

Tabela 9 – Composição percentual de áreas dos tipos de solos para a bacia de Iconha.

<b>CLASSES</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
Argissolos	199,567	0,75%
Cambissolos	19638,8	74,22%
Gleissolos	1258,71	4,76%
Latossolos	5364,4	20,27%

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Analisando os resultados para a cidade de Iconha, é possível observar que são observadas apenas três classes de tipo de solo, visto que, a classe dos argissolos está localizada próximo a foz da bacia do Rio Iconha.

Assim, no município a classe predominante do tipo de solo é Latossolo com 64,48%, seguido pelo Cambissolo e o menos representativo é o Gleissolo com 0,74%, conforme disposto na Tabela 10.

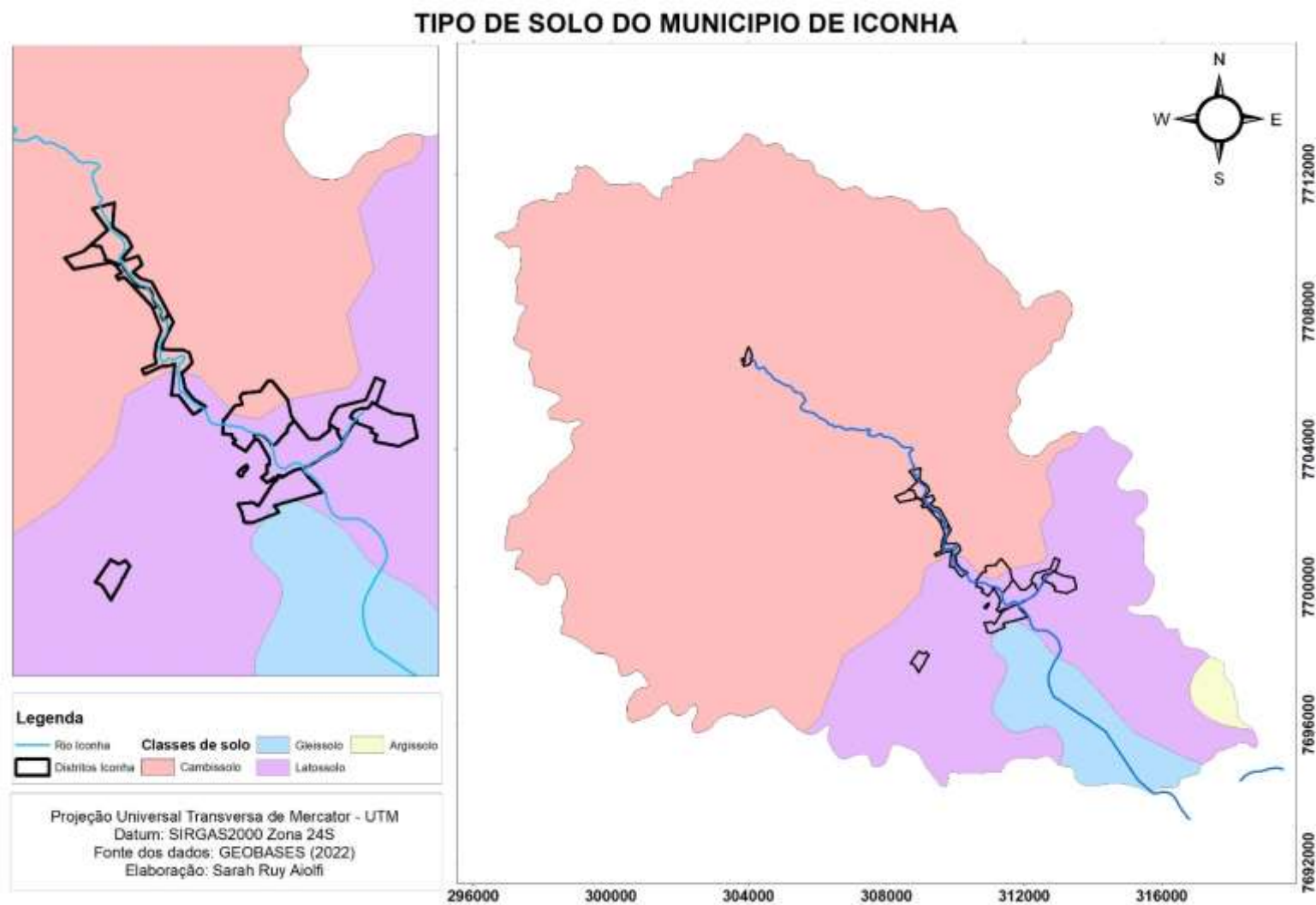
Tabela 10 – Composição percentual de áreas dos tipos de solos para a cidade de Iconha.

<b>CLASSES</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
Cambissolos	118,054	34,78%
Gleissolos	2,52398	0,74%
Latossolos	218,844	64,48%

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Em posse dessas considerações é possível observar que os tipos de solo da área de estudo variam desde bem drenados até a imperfeitamente drenados, devendo ser analisado graficamente a localização de cada tipo de solo de acordo com o mapa que apresenta o tipo de solo da bacia e da cidade da Figura 6.

Figura 6 – Mapa do tipo de solo para a bacia e a cidade de Iconha.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Analisando a Figura 6 é possível observar que os cambissolos localizam-se na porção a montante até o centro da cidade, enquanto os latossolos estão contidos na parte a jusante do centro da cidade de Iconha.

Dessa forma, pode se compreender que o tipo de solo pode não ser o fator mais influente dos processos de inundações da cidade, entretanto, é importante destacar que os cambissolos podem dispor de camadas argilosas que quando saturadas favorecem o processo de escoamento superficial, caso seja comparado aos solos com maiores teores de areia.

### 5.1.2 Uso do solo

Na bacia de Iconha são encontrados nove tipos de classes de uso do solo, com as três mais expressivas sendo pastagem, cultivos agrícolas e mata nativa contendo área equivalente a 90% da bacia, e em menor expressão a classe de massa d'água com área de 0,34%, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Composição percentual de áreas dos usos do solo para a bacia de Iconha.

<b>CLASSES</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
Massa d'Água	87,107	0,34%
Brejo	107,87	0,42%
Área Edificada	117,15	0,46%
Solo exposto/Extração Mineração/Afloramento Rochoso	757,16	2,96%
Cultivos Agrícolas	5636,11	22,02%
Pastagem	13025,81	50,89%
Macega	592,65	2,32%
Reflorestamento	651,34	2,54%
Mata Nativa	4622,53	18,06%

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Analisando os resultados para a cidade de Iconha, nota-se que a classe de brejo foi omitida, visto que, essa classe não está presente na área urbana do município. Outro ponto a ser destacado é em relação a classe de mata nativa, que na bacia possui área de 4622,53 ha, enquanto nas áreas da cidade, ocorre a supressão vegetal chegando a 5,31 ha o que corresponde a apenas 2,37% da área da cidade.

Na área urbana da cidade as classes mais expressivas são a de áreas edificadas que corresponde 51,70% da área, seguido de cultivos agrícolas com 21,19% e pastagem com 14,88%, conforme descrito na tabela abaixo.

Tabela 12 – Composição percentual de áreas dos usos do solo para a cidade de Iconha.

<b>CLASSES</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
Massa d'Água	12,82	5,73%
Área Edificada	115,67	51,70%
Solo exposto/Extração Mineração/Afloramento Rochoso	0,5	0,22%
Cultivos Agrícolas	47,41	21,19%
Pastagem	33,29	14,88%
Macega	3,99	1,78%
Reflorestamento	4,74	2,12%
Mata Nativa	5,31	2,37%

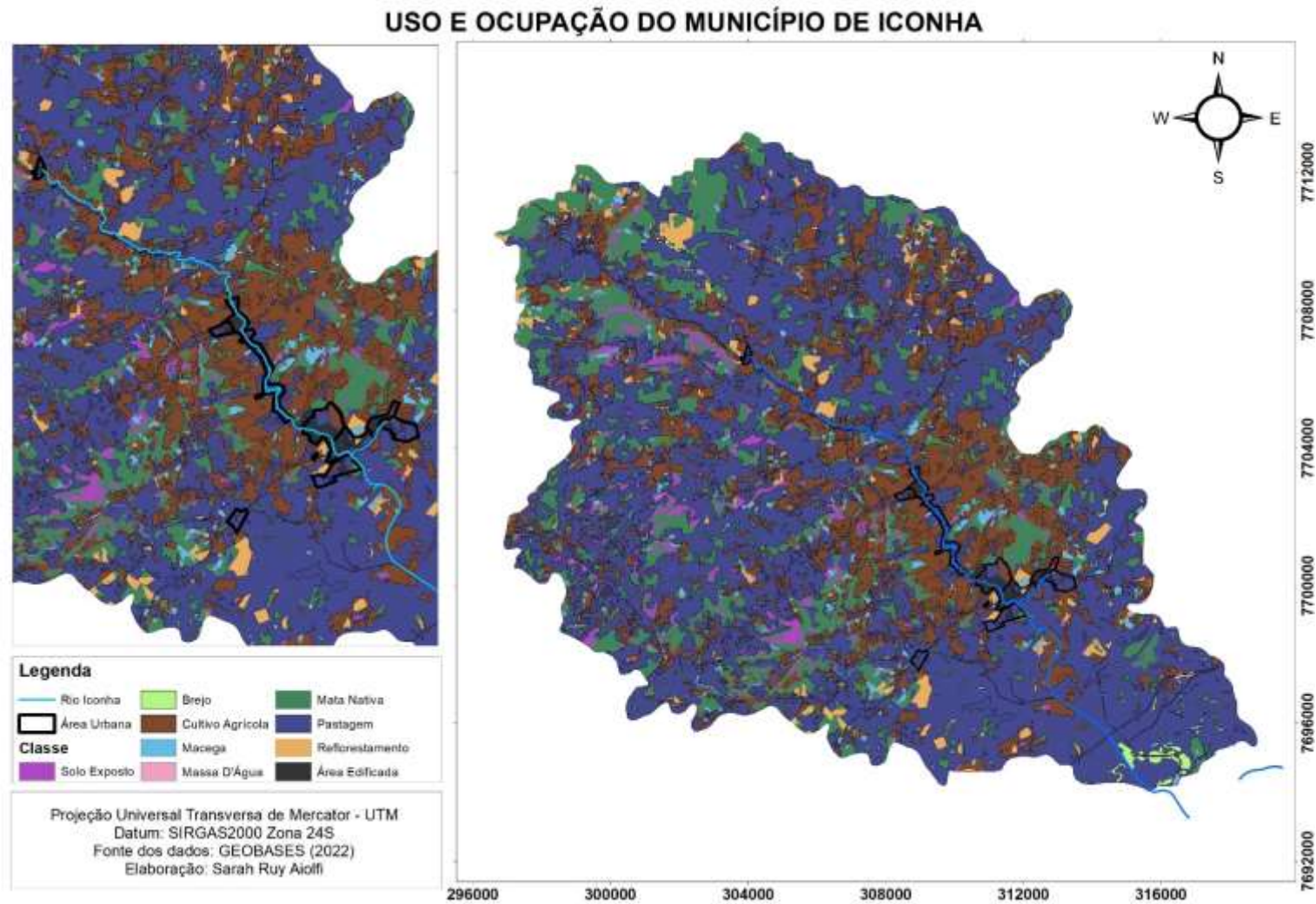
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Analisando o mapa de uso e ocupação do solo para a cidade de Iconha disposto na Figura 7, é possível observar que o processo de ocupação da cidade foi se desenvolvendo ao longo do corpo hídrico, principalmente na planície de inundação do Rio Iconha.

Essas regiões de planície foram intensamente ocupadas em função do recorte espacial fértil e da proximidade de corpos d'água, entretanto, sendo comumente afetadas por processos de enchentes em função do extravasamento do sistema de drenagem (OLIVEIRA; GUEDES; COSTA, 2019).

Segundo Bueno (2020), caso o uso e ocupação do solo ocorra de forma desordenada, e não controlada, a quantidade de impactos ambientais decorrentes desse processo pode ser diverso. Dentre as possíveis adversidades temos: a perda da biodiversidade de fauna e flora, a inundação das cidades pela água das chuvas, a desertificação de faixas do colo, o desmoronamento de encostas e contaminação dos corpos hídricos.

Figura 7 – Mapa do uso e ocupação do solo para a bacia e a cidade de Iconha.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

### 5.1.3 Altimetria

Na bacia de Iconha são encontradas apenas 5 classes de altimetria, variando de 0 a 1250 metros, sendo que, a classe mais expressiva é a de 0 a 250 metros com área equivalente a 35,74%, seguido pela classe de 250 a 500 metros com área equivalente a 29,39% da bacia. A classe com menor percentual é a que dispõe da maior altimetria com variação entre 1000 e 1250 metros que corresponde 0,02%, conforme apresentado na

Tabela 13 e na Figura 8.

Explorando o apresentado na tabela 3, é importante destacar que foram contempladas apenas as classes que variam entre 0 e 1250 metros, cujas ponderações variaram entre 6 e 10. Dessa forma, nota-se que 35,74% pode dispor de características físicas que podem influenciar na ocorrência de inundações, como por exemplo, o aumento da velocidade de escoamento superficial que pode acarretar na rápida elevação do corpo hídrico em áreas vulneráveis.

Tabela 13 – Composição percentual de áreas das altimetrias para a bacia de Iconha.

<b>CLASSES</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
0 – 250	9457,126	35,74%
250 – 500	7776,122	29,39%
500 – 750	7464,018	28,21%
750 – 1000	1759,738	6,65%
1000 – 1250	4,406	0,02%

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A análise da cidade de Iconha foi realizada por meio de uma reclassificação contendo 13 classes de análise. Essa adequação foi realizada pois as altimetrias da cidade são menores que 250 metros, nesse sentido, para obter um maior detalhamento da região, foi desenvolvido nessa etapa a subdivisão dessas altimetrias em classes de 10 metros de intervalo para toda a área da cidade de Iconha, conforme a tabela 14.

Anteriormente a análise de cada classe é importante ressaltar que as altimetrias das entradas no rio Iconha, variam entre 4 e 12 metros na área urbana do município, dessa

forma, deve ser identificadas áreas que estão num mesmo plano, pois essas são naturalmente mais vulneráveis a inundações.

Em posse dessa consideração, na classe de 4 a 8 metros não foram encontradas áreas dentro da cidade, entretanto, essa classe está contida em algumas regiões do corpo hídrico que devem ser regiões onde ocorreu o processo intenso de carreamento de partículas para o corpo receptor, gerando zonas de deposição de sedimento na região a jusante da cidade.

Segundo Oliveira *et al.* (2021), esse processo de assoreamento produz impactos caso existam obras de infraestruturas desenvolvidas a montante, o que pode contribuir para inundações nessas regiões, visto que, os volumes maiores de chuvas podem ultrapassar a capacidade de suportes das estruturas existentes e por conseguinte, acarretar no processo de enchentes.

Na região central da cidade o corpo hídrico encontra-se localizado na classe entre 8 e 12 metros, podendo chegar até as cotas de 20 a 30 metros em regiões a montante da cidade.

No que tange os percentuais, nota-se que os mesmos estão bem distribuídos entre as classes com destaque para as classes de 12 a 16 metros (onde o centro da cidade foi desenvolvido) com 13,61% e 30 a 50 metros região a montante da cidade de Iconha com percentual de 33,28%.

Correlacionando esses resultados com os dispostos na tabela 5, é impreterível destacar que a altura da lâmina d'água pode atingir cotas de 2,92 m (tr de 5 anos) até 8 metros (chuva de 2020). Dessa forma, caso ocorra uma chuva com o menor tempo de retorno analisado, algumas regiões da cidade já devem ficar em alerta para alagamentos.

Caso seja considerado um tempo de retorno de 100 anos, a altura da lâmina d'água pode chegar até 4,19 m e tendo em vista que o curso hídrico atinge cotas naturais de 12 metros, o mesmo pode chegar até a cota de 16,19 m ocasionando inundações em todas as regiões próximas do corpo hídrico.



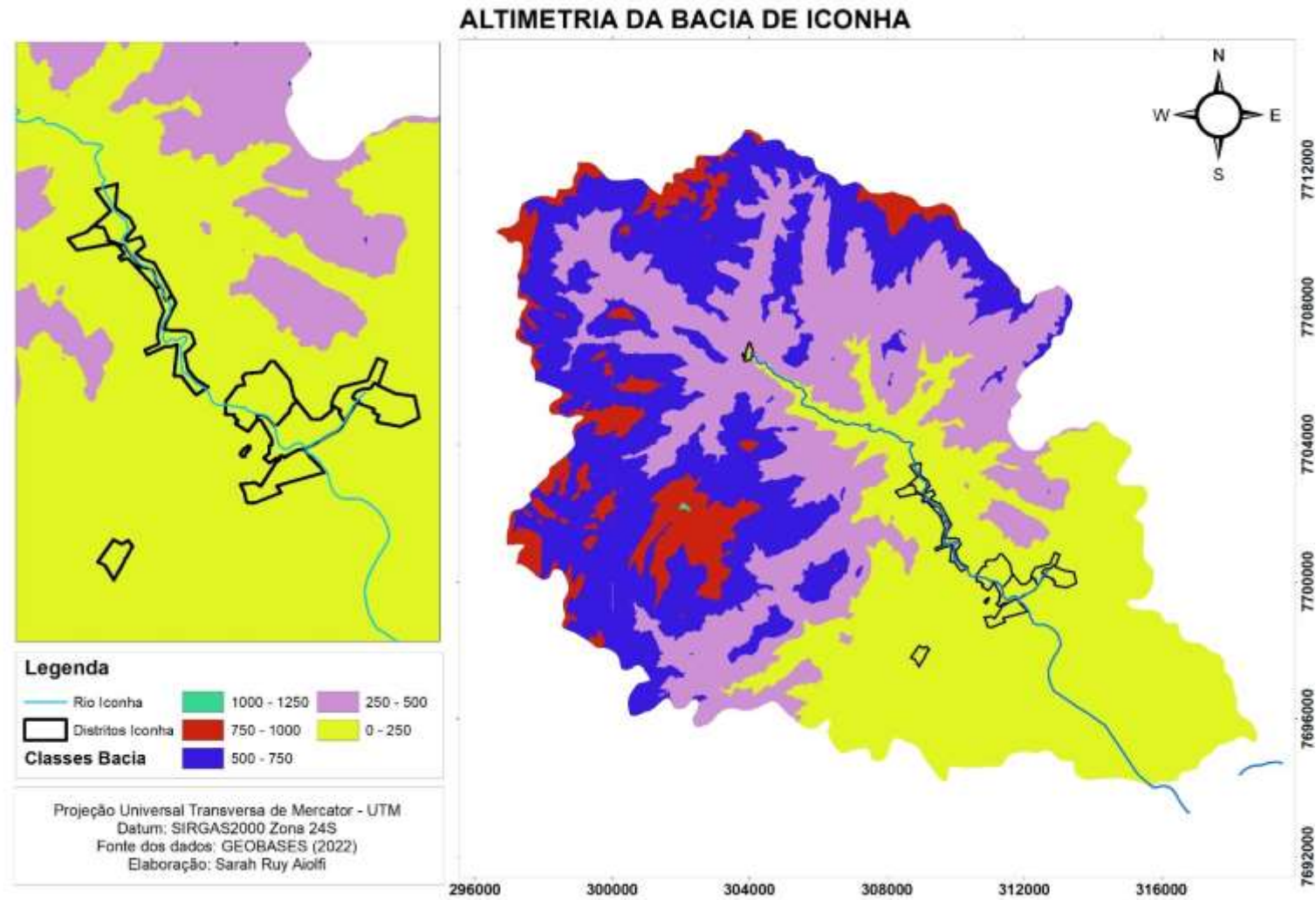
Tabela 14 – Composição percentual das classes altimétricas para a cidade de Iconha.

<b>CLASSES</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
4 - 8	7,16	2,01%
8 - 12	33,1628	9,30%
12 - 16	48,5496	13,61%
16 - 20	31,7488	8,90%
20 - 30	27,3272	7,66%
30 - 40	54,286	15,22%
40 - 50	64,4108	18,06%
50 - 60	35,482	9,95%
60 - 70	19,8812	5,57%
70 - 80	13,1408	3,68%
80 - 90	8,8616	2,48%
90 - 100	5,856	1,64%
100 - 117	6,868	1,93%

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

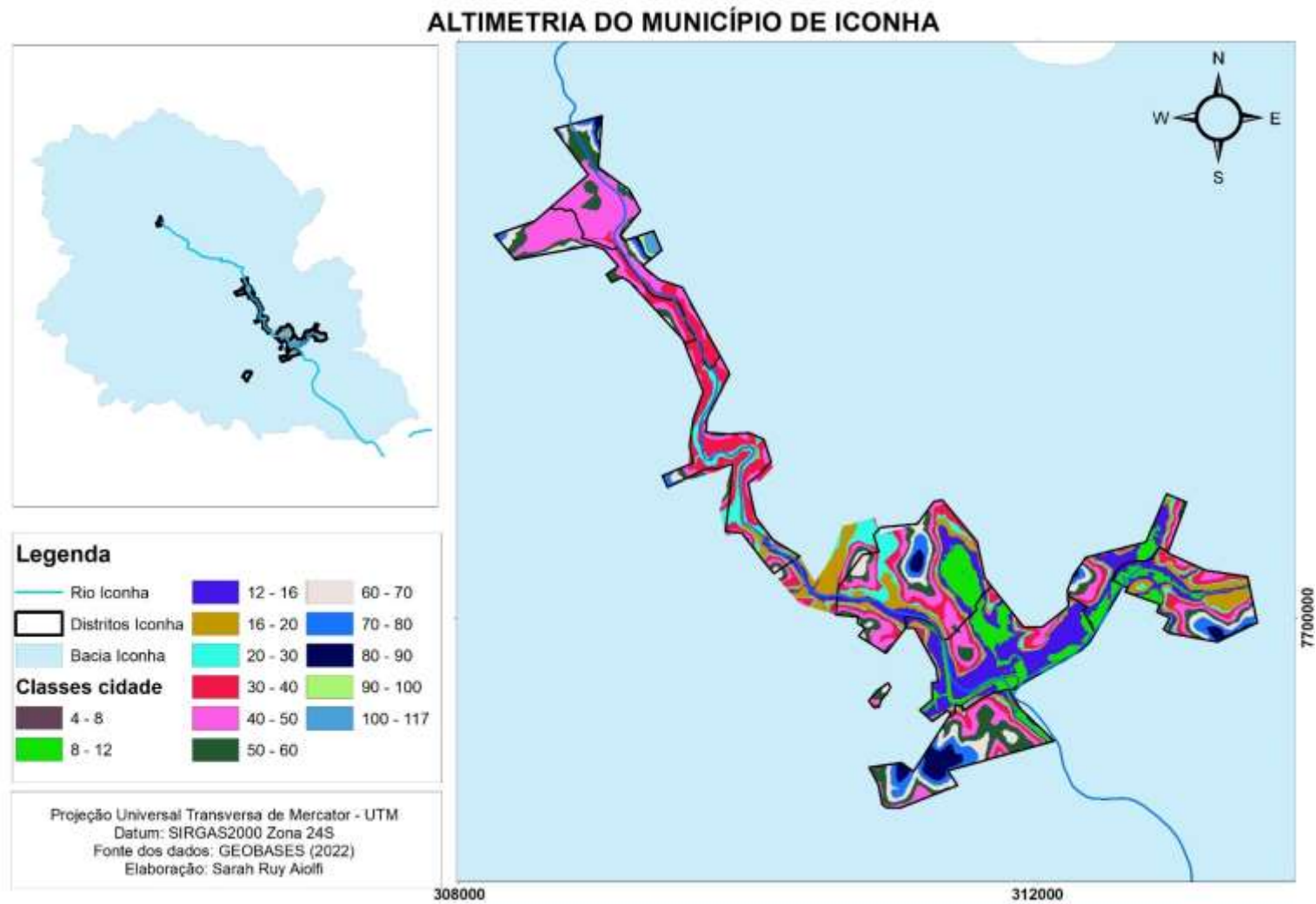
Analisando o mapa de altimetria para a cidade de Iconha disposto na Figura 9, é possível observar que a cidade de Iconha foi desenvolvida em grande parte na mesma classe altimétrica ou próxima ao curso hídrico, tendo alta probabilidade de que ocorram processos de inundação na localidade.

Figura 8 – Mapa de altimetria para a bacia de Iconha.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 9 – Mapa de altimetria para a cidade de Iconha.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

### 5.1.4 Declividade

Na bacia de Iconha foram encontradas 5 classes para a declividade, visto que, a classe que varia entre 3 e 8% não apresentou notáveis constituintes. Posto isso, as classes mais expressivas variam entre 20 e 75% de declividade, que corresponde a uma área de 70,63% da bacia hidrográfica de Iconha, classificando segundo a EMBRAPA (2006) o terreno como fortemente ondulado ou montanhoso.

A classe com menor percentuais foi a de 8 a 20%, o que demonstra que o terreno possui características para ser levemente ondulado ao longo da bacia hidrográfica, conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Composição percentual de áreas das declividades para a bacia de Iconha.

<b>CLASSES (%)</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
0 – 3	3370,67	12,74%
3 – 8	0	0%
8 – 20	2006,642	7,58%
20 – 45	7945,954	30,03%
45 – 75	10744,35	40,60%
>75	2393,798	9,05%

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Analisando a tabela 16, é possível verificar que 40% da cidade de Iconha é encontrada na classe de declividade que varia entre 0 e 3%, enquanto 60% é classificada como levemente ondulada a montanhosa, indicando que nas áreas urbanas, uma parcela considerável da cidade, pode conter áreas propícias para alagamento e maior escoamento superficial.

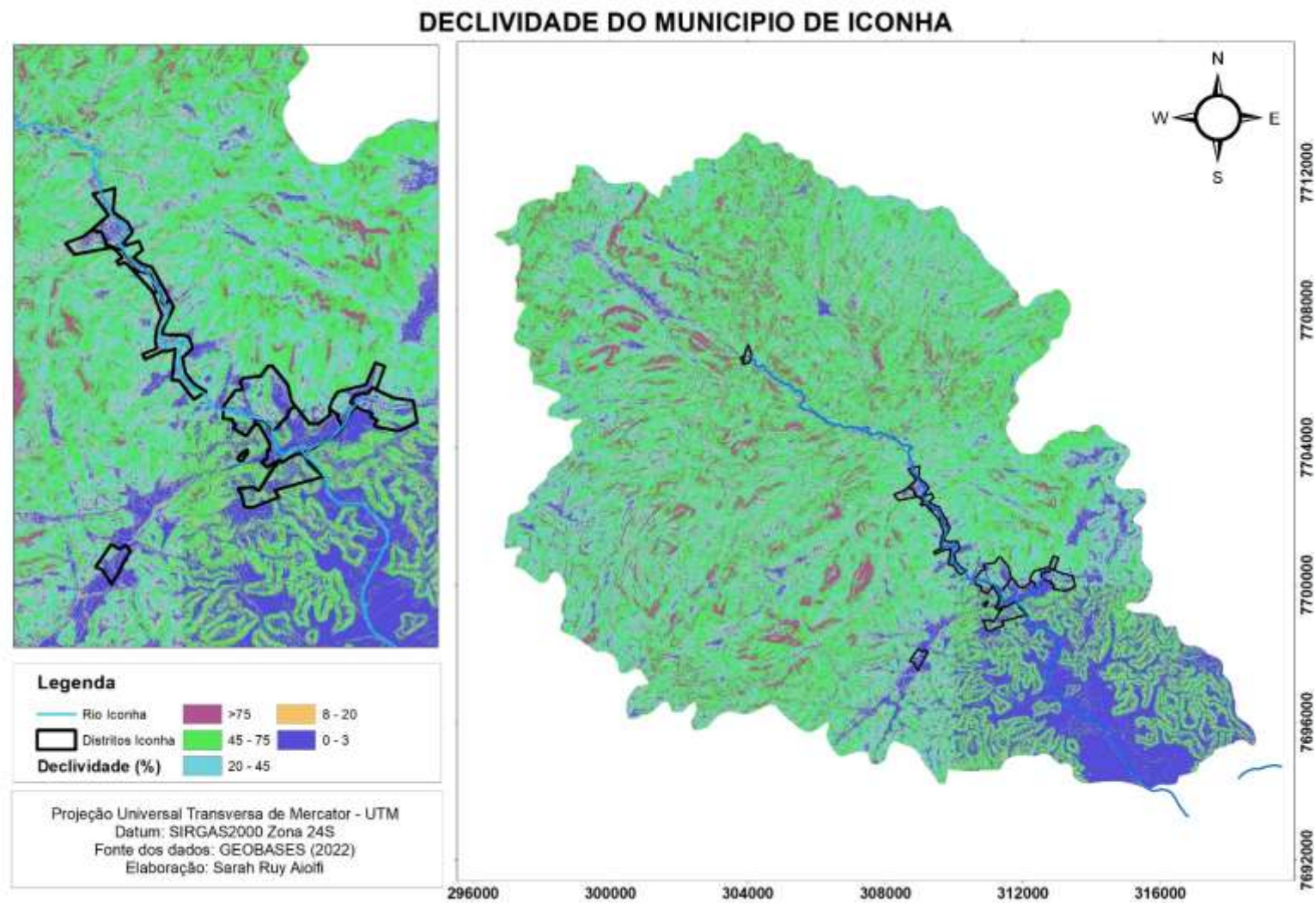
Tabela 16 – Composição percentual de áreas das declividades para a cidade de Iconha.

<b>CLASSES (%)</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
0 – 3	129,604	38,18%
3 – 8	0	0%
8 – 20	50,3632	14,84%
20 – 45	95,24	28,06%
45 – 75	60,4388	17,81%
>75	3,7784	1,11%

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Analisando o mapa de declividade para a cidade de Iconha disposto na Figura 10, é possível observar que as regiões planas estão localizadas no entorno do corpo hídrico enquanto as regiões de planalto rodeiam a cidade, o que torna propício um maior escoamento superficial.

Figura 10 – Mapa de declividade para a bacia e a cidade de Iconha.

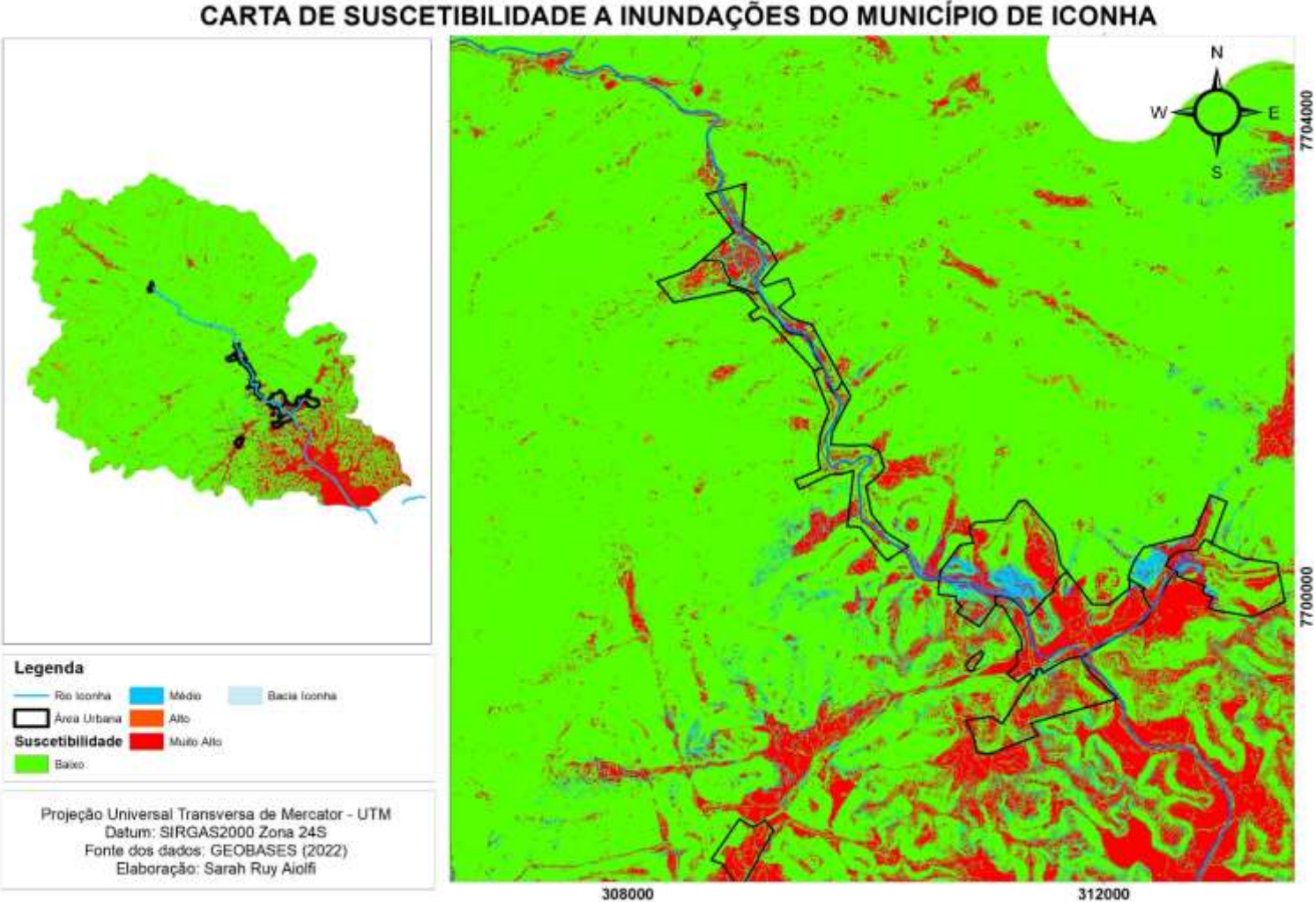


Fonte: Elaborado pela autora (2024).

### **5.1.5 Carta de suscetibilidade a inundações**

A partir dos dados apresentados anteriormente, foi elaborada a carta de suscetibilidade para a cidade e a bacia de Iconha.

Figura 11 – Carta de suscetibilidade para a bacia e a cidade de Iconha.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).



Na bacia de Iconha 86,36% das áreas possuem baixa suscetibilidade a inundações, enquanto as áreas com suscetibilidade muito alta representam 11,59% da bacia hidrográfica. Cabe destacar que as classes médias e altas representam 2% da área, conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 – Composição percentual de áreas suscetíveis às inundações para a bacia de Iconha.

<b>CLASSES</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
Baixo	22845,8	86,36%
Médio	235,3675	0,89%
Alto	307,415	1,16%
Muito Alto	3066,218	11,59%

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Analisando os resultados para a cidade de Iconha, nota-se uma classificação diferente da visualizada para a bacia. Na cidade a classe baixa de suscetibilidade a inundações fica entorno de 49% da área urbana e a classe muito alta, 38,29%. Em relação as classes médias e altas, na cidade essas continuam representando pequenos percentuais, na ordem de 12,66% para as médias e 0,25% para as altas, conforme a Tabela 18.

Tabela 18 – Composição percentual de áreas suscetíveis às inundações para a cidade de Iconha.

<b>CLASSES</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
Baixo	165,6325	48,81%
Médio	42,96	12,66%
Alto	0,8325	0,25%
Muito Alto	129,9475	38,29%

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Ponderando a carta de suscetibilidade para a cidade de Iconha disposta na Figura 11, nota-se que as regiões planas que a cidade se desenvolveu são as mais suscetíveis a possuir inundações caso ocorra algum evento hidrológico no local.

Esse fato pode ser explicado devido à relação entre os baixos declives, a existência de um aquífero livre próximo da superfície e a rápida subida do nível freático por saturação do solo, em períodos de maior pluviosidade, proporcionando uma maior

suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações nestas áreas (CUNHA *et al.*, 2012).

Nesse sentido, nessas áreas levantadas devem ser desenvolvidas medidas de controle estruturais e não estruturais para contenção ou a prevenção desses eventos quando forem ocorrer, reduzindo os danos e impactos no local.

## 5.2 CARTA DE PERIGO A INUNDAÇÕES

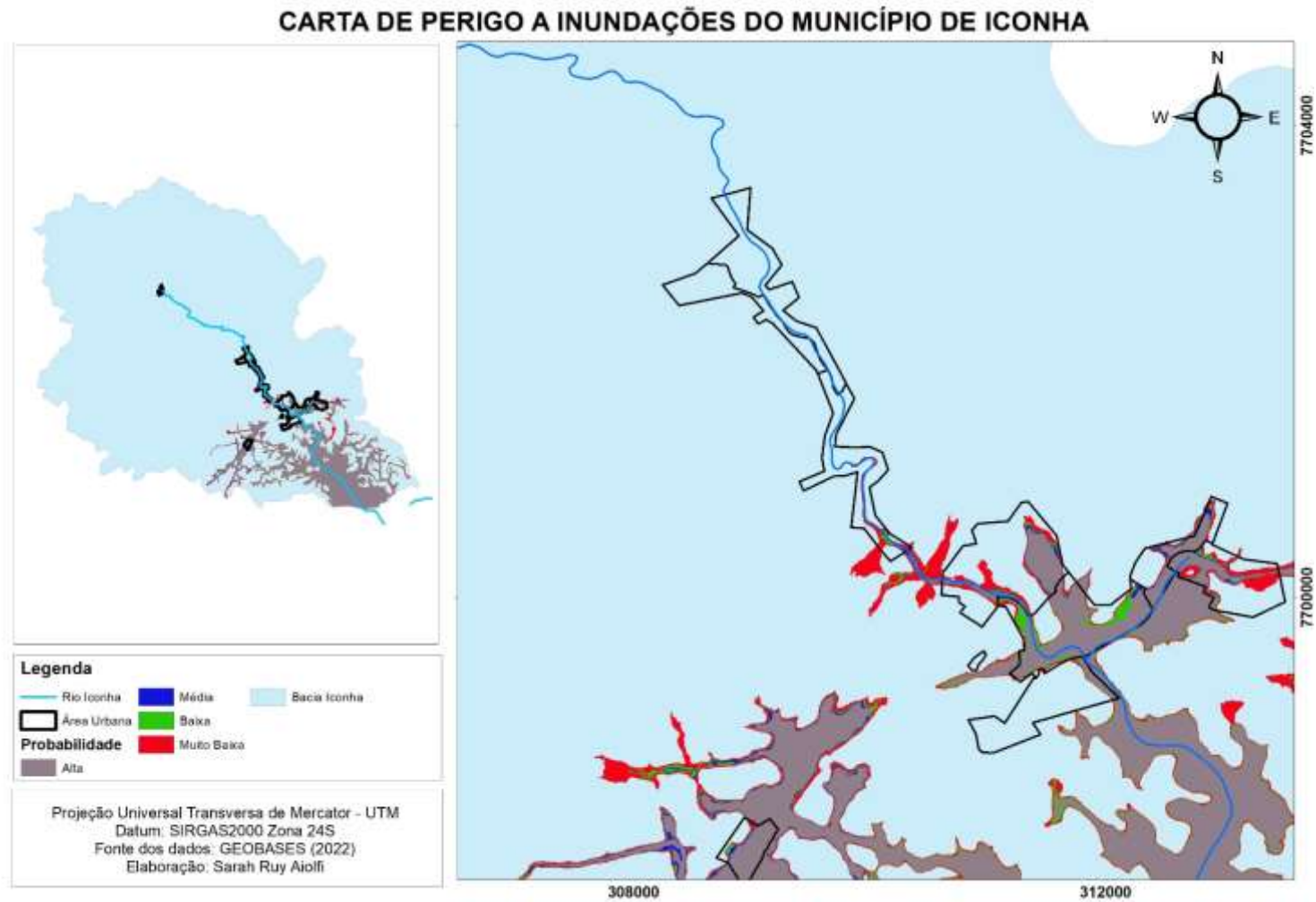
A carta de perigo a inundações da cidade de Iconha considerando os tempos de retorno de 5, 20, 100 e 200 anos está apresentada na Figura 12. Analisando essa carta, nota-se que caso ocorra uma chuva com tempo de retorno de 5 anos as regiões planas da cidade, com cotas próximas a do rio Iconha, apresentam alta probabilidade de serem inundadas.

Segundo Prevene (2001), nessas áreas classificadas como nível alto as pessoas estão em perigo, tanto dentro quanto fora de suas casas caso ocorra algum evento hidrológico de grande magnitude, visto que, as construções estão em alta possibilidade de serem destruídas.

Em relação as classes médias e baixas não foram possíveis verificar o aumento expressivo das manchas de perigo a inundações. Esse fato, se dá principalmente em função do nível de detalhamento das informações de base disponíveis, visto que as curvas de nível do GEOBASES possuem pixel de 2 x 2 metros, e a altura de inundação obtida por Silva e Coelho (2022) para o Tempo de retorno de 20 para 100 anos variou apenas 50 cm.

Ao que se refere o tempo de retorno de 200 anos que foi o calculado para o evento de chuva de 2020, a mancha de inundação se espalha a montante atingindo diversas construções que não seriam consideradas em outros tempos de retorno, entretanto, as probabilidades de um evento assim novamente ocorrer são muito baixas e, caso sejam feitas medidas de controle visando o atendimento desse cenário o investimento pode ser extremamente alto.

Figura 12 – Carta de perigo a inundações para a cidade de Iconha.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

### 5.3 CARTA DE RISCO A INUNDAÇÕES

Considerando que anteriormente foram abordados o uso e ocupação do solo, bem como a altura das cotas de inundação, nesta análise esses parâmetros serão omitidos.

Em posse dessa consideração, a Tabela 19 apresenta a quantidade estimada de domicílios e habitantes que podem ser atingidos pelas cheias de acordo com cada tempo de retorno.

Analisando essa tabela é possível observar que no tempo de retorno de 5 anos, 201 domicílios foram identificados dentro da cota de inundação e conseqüentemente 804 pessoas podem ter que deixar suas casas nesse evento considerando que conforme o Censo Demográfico o Estado do Espírito (IBGE, 2021), será adotado na pesquisa 4 pessoas por domicílio.

Caso a cidade seja acometida por um evento cujo tempo de retorno se aproxime dos 100 anos, estima-se que 303 domicílios e por conseguinte 1212 habitantes da região podem necessitar de apoio dos órgãos competentes.

E por fim, se a cidade for impactada por um evento hidrológico semelhante ao de 2020, cujo tempo de retorno se aproxime de 200 anos, mais de 2200 pessoas que residem em 554 habitações, deverão deixar suas residências e serem realocadas pelos órgãos responsáveis nessas emergências.

Cabe destacar que, os resultados encontrados na pesquisa estão de acordo com os registrados nos noticiários do evento de 2020 (G1,2020). Visto que, mais de 2200 famílias foram afetadas nesse evento hidrológico extremo.

Tabela 19 – Quantidade estimada de domicílios (D) e habitantes (H) atingidos pelas cheias na cidade de Iconha.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	TEMPO DE RETORNO							
	5		20		100		Evento de 2020	
	D	H	D	H	D	H	D	H
Área residencial	201	804	279	1116	303	1212	554	2216

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Analisando a composição percentual de áreas de risco às inundações para a cidade de Iconha apresentada na Tabela 20, é possível observar que 62,25% da cidade possui risco baixo de sofrer com grandes inundações, em contrapartida, 37,75% da cidade dispõe de risco alto/muito alto de ser acometida por esses eventos.

Tabela 20 – Composição percentual de áreas de risco às inundações para a cidade de Iconha.

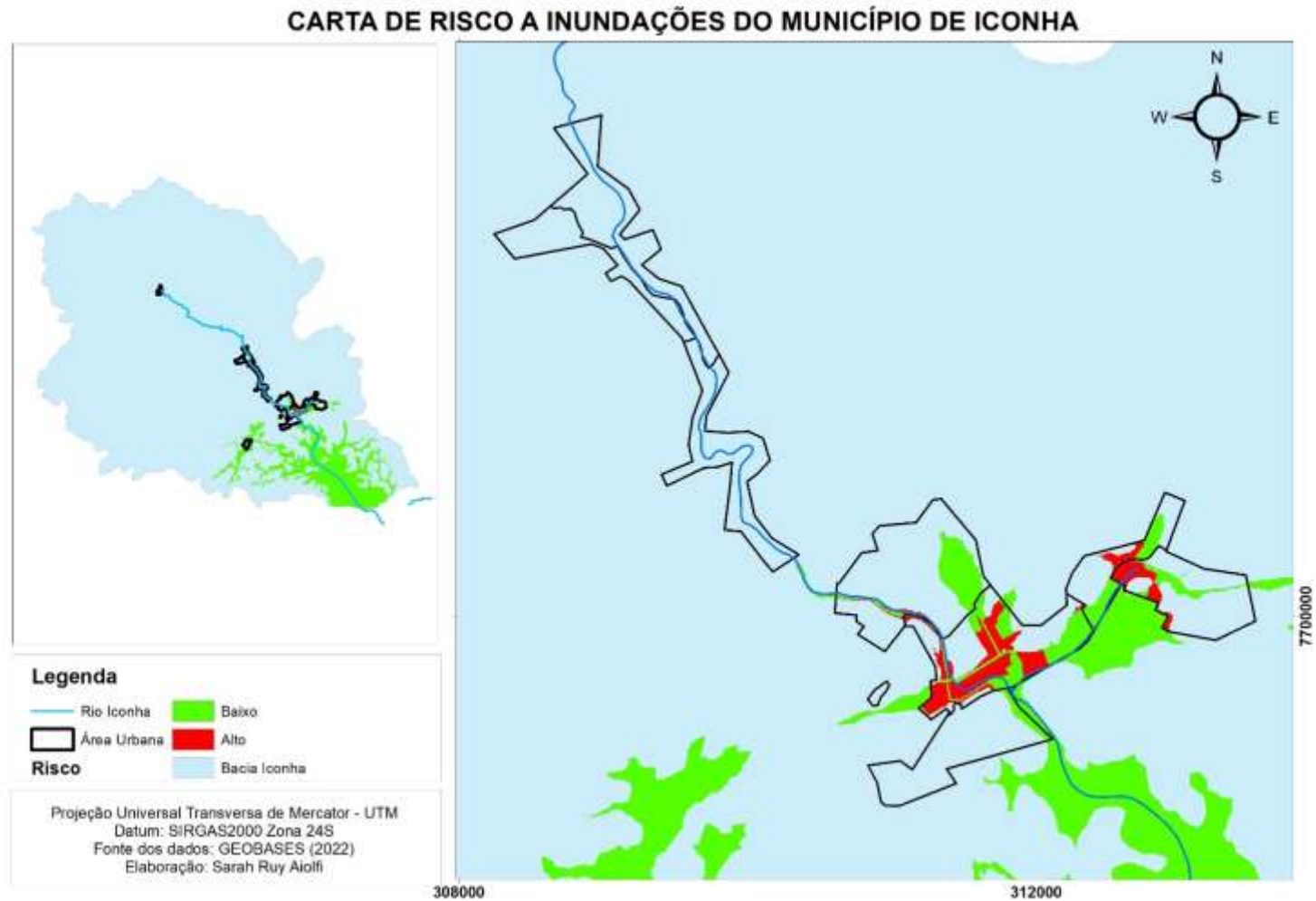
CLASSES	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Baixo	41,348	62,25%
Alto	25,07	37,75%

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Ponderando a carta de risco a inundações para a cidade de Iconha disposta na Figura 13, nota-se que as regiões próximas ao corpo hídrico são as mais suscetíveis a inundações caso ocorra algum evento hidrológico no local.

Para-as áreas de maior risco recomendam-se a realocação das famílias, associada a implantação de áreas para recreação e lazer, como instalação de campos de futebol, ciclovias, quiosques, etc.; e a preservação da mata ciliar definida por lei (Lei 12.651/2012) como área de preservação permanente, evitando dessa forma novas ocupações irregulares nas margens nas margens do rio.

Figura 13 – Carta de risco a inundações para a cidade de Iconha.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

## 6 CONCLUSÃO

A cidade de Iconha foi desenvolvida em grande parte na mesma cota, ou em cotas próximas do corpo hídrico, tendo alta probabilidade de que ocorram processos de inundação na localidade.

A cidade foi dividida majoritariamente entre a classe baixa e muito alta de suscetibilidade a inundações, com percentuais de 48,81% e 38,29%, respectivamente. Em relação as classes médias e altas, as mesmas continuam representando pequenos percentuais na ordem de 12,66% para as médias e 0,25% para as altas

No que tange o perigo, caso ocorra uma chuva com tempo de retorno de 5 anos e superiores as regiões planas da cidade, com cotas próximas a do rio Iconha, apresentam alta probabilidade de serem inundadas.

Analisando a carta de risco, identificou-se que, em um evento com tempo de retorno de 5 anos, 201 domicílios e 804 pessoas podem ser afetados por inundações. Em um evento com tempo de retorno de 100 anos, estimam-se 303 domicílios e 1212 habitantes impactados.

Para as áreas da cidade que apresentam maior risco recomenda-se a remoção das famílias visando reduzir os impactos em caso de novos desastres, e a implantação simultânea de estruturas áreas que possam auxiliar na contenção de cheias.

As informações técnicas deste estudo podem subsidiar as políticas públicas na adoção de medidas relacionadas ao desenvolvimento de regiões e a gestão dos recursos hídricos, com o intuito de mitigar os impactos das inundações, seja por meio da implantação de infraestrutura (medidas estruturais) ou de políticas públicas (medidas não estruturais), em trechos estratégicos do município de Iconha.



## REFERÊNCIAS

- BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de hidrologia aplicada**. São Paulo: Blucher, 2022. 430 p.
- BARRA,G.G ; TEIXEIRA,B.A. **Análise da permeabilidade e dos métodos de instalação de pavimentos permeáveis: Contidos em artigos científicos e em catálogos técnicos**, Minas Gerais, p.12-13, out.2015. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/34dc/c347ed0cd8681786b99dcefe84a651837857.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2022.
- BITAR, O. Y. (Coord.). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000** (livro eletrônico). Nota técnica explicativa /coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM –, Serviço Geológico do Brasil, 2014. – (Publicação IPT; 3016) 5 Mb ; PDF.
- BITAR, Omar Yazbek; CAMPOS, Sofia Júlia Alves Macedo; MONTEIRO, Ana Cândida Melo Cavani; ARGENTIN, Priscilla Moreira; CORSI, Alessandra Cristina; PAULON, Nivaldo. **Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações na região da Macrometrópole Paulista**. RBGE, Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v.11, n.2, p.p.29-49, 2021.
- CAMPOS, S. J. A. M.; STEFANI, F. L.; PAULON, N.; FACCINI, L. G.; BITAR, O. Y. **Mapeamento de áreas sujeitas à inundações para planejamento e gestão territorial: cartas de suscetibilidade, perigo e risco**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental, 2014.
- CANHOLI, ALUÍSIO PARDO. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. -- São Paulo : Oficina de Textos, 2014.
- CAPRARIO, J. **Desenvolvimento de um instrumento para o mapeamento de**

**áreas suscetíveis a alagamento e inundações urbanas**, Florianópolis, SC, 2017.

CEMADEN. **Inundação**. 2016. Disponível em:

<http://www2.cemaden.gov.br/inundacao/>. Acesso em: 01 nov. 2022.

COSTA, A.H.A. **Simulação dos impactos da urbanização sobre as inundações urbanas na Bacia Hidrográfica do Rio Cuia**. Dissertação (Mestrado em) – Universidade Federal da Paraíba, 2013.

CUNHA, A. M.; FEITOZA, H. G.; FEITOZA, L. R.; OLIVEIRA, F. S.; LANI, J. L. **Atualização da Legenda do Mapa de Reconhecimento de Solos do Estado do Espírito Santo e Implementação de Interface no Geobases: Para uso dos dados em SIG**. Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia e do Departamento de Geografia da UFES, 2016.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FREITAS, C. M.; ROCHA, V. (Org.). **Agentes locais em desastres naturais: defesa civil e saúde na redução de riscos: Livro do aluno**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2014.

GALVÃO, A. L. C. O. **A Base de Dados Geoespacializados do Centro Nacional De Pesquisa E Conservação De Cavernas – CECAV**. Revista Brasileira de Espeleologia – RBEsp, v. 1, n. 4, 2014

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUHA-SAPIR, D., VOS, F., BELOW, R., PONSERRE, S. **Annual Disaster Statistical Review 2011: the numbers and trends**. CRED, Brussels, 2012. Disponível em: [http://](http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2011.pdf)

[www.cred.be/sites/default/files/ADSR\\_2011.pdf](http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2011.pdf). Acesso em: 10 out. 2022.

**G1. Sobe para sete o nº de mortos por causa da chuva no ES; mais de 2,2 mil pessoas estão fora de casa.** 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/es/espírito-santo/noticia/2020/01/21/sobe-para-sete-o-no-de-mortos-por-causa-da-chuva-no-es-mais-de-22-mil-pessoas-estao-fora-de-casa.ghtml>. Acesso em: 10 out. 2022.

HORA, S. B.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. Sociedade & Natureza, Uberlandia, v. 21, no 2, Ago. 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil: Panorama** . Espírito Santo, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/panorama> Acesso em: 10 out. 2022.

IEMA - INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Geomática: ortofotomosaico**. [S. l.], 25 nov. 2019. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/geomatica/ortofoto>. Acesso em: 10 out. 2022.

INCAPER – INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Programa de Assistência técnica e extensão rural (PROATER 2020 – 2023): Iconha**. 2020. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Iconha.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

NOGUEIRA, F. R.; SOUZA, L. A. **Carta de suscetibilidade a processos múltiplos no município de São Bernardo do Campo, SP**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14., 2013, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABGE, 2013. 1 CD ROM.

JANTSCH; M. MODRO, N. R.; SOUSA, A. L.; SALMOLIN, L. C. **Modelo de Visualização de Cotas de Inundação (O Caso de Rio Negrinho)**. 2º Congresso Nacional de Inovação e Tecnologia – 19 a 21 de setembro de 2017 – São Bento do Sul, SC, INOVA 2017

MATA-LIMA, H.; BORBA, A. A.; PINHEIRO, A.; MATA-LIMA, A.; ALMEIDA, J.A. **Impactos dos desastres Naturais nos sistemas ambientais e socioeconômicos:**

**O que faz a diferença?**. Revista Ambiente e Sociedade, São Paulo v. XVI, n.3. 2013. 45-64 p. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/asoc/a/b8D9BKkQXYsKhR3X7Lnsxfm/?format=pdf&lang=pt>.  
Acesso em: 01 nov. 2022.

MATSOUKA, J.V.; FERNANDES, N. R. P. **Implementação de um Sistema de Informações Geográficas (Sig) para o Monitoramento do Aterro Sanitário da Cidade Monte Carmelo – MG**. GETEC, v.7, n.15, p. 132 - 150 /2018

MONTEIRO, L. R.; KOBAYAMA, M. **Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundação**. REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina, São Paulo, v. 10, n.2, 2013.

OLIVEIRA, P.V. **Águas Urbanas: uma temática contemporânea**, São Paulo,p.06-07, jul.2019. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/ea/a/SfqYWrhrvtkxybFsjYQtxd7v/?lang=pt>.

PAULO, Deisy Pereira. **Gestão de resíduos de desastres naturais: estudo de caso sobre chuvas intensas no estado do Espírito Santo, Brasil**. 2019. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Sustentáveis, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019. Disponível em:  
<http://biblioteca.ifes.edu.br:8080/pergamumweb/vinculos/00001a/00001a94.pdf>.  
Acesso em: 10 out. 2023.

PERON, K. C. *et al.* A UTILIZAÇÃO DE MAQUETE DIDÁTICA NOS ESTUDOS DE PRESERVAÇÃO DAS PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO. In: **Anais do CIET: EnPED: 2020-(Congresso Internacional de Educação e Tecnologias| Encontro de Pesquisadores em Educação a Distância)**. 2020. Disponível em:  
<https://cietenped.ufscar.br/submissao/index.php/2020/article/view/1103>. Acesso em: 10 out. 2022.

PEPDEC. **Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil**. Defesa Civil do Espírito Santo, 2023. Disponível em:  
<https://defesacivil.es.gov.br/Media/DefesaCivil/CARTILHA/PEPDEC%20->

%20OUTUBRO\_2023.pdf. Acesso em: 10 out. 2023.

PEZANTE, Maria Fernanda Miranda. **Relação entre urbanização e rios: Um estudo da cidade de Francisco Beltrão (PR)**. 2018. 215 f. Dissertação (Mestrado) - o Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/198544#:~:text=A%20pesquisa%20trata%20da%20rela%C3%A7%C3%A3o,ocupa%C3%A7%C3%A3o%20irregular%20de%20suas%20margens>. Acesso em: 10 out. 2023.

PREVENE. **Contribution to “Natural” Disaster Prevention in Venezuela**. Cooperation: Venezuela – Switzerland – PNUD. 2001

SILVA, Carla Voltarelli Franco. **Planejamento do uso e ocupação do solo urbano integrado ao mapeamento de áreas com risco de inundação**. Dissertação (Mestrado) mestre em engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-06072014-214625/publico/Dissertacao\\_CarlaVoltarelliFSilva\\_unprotected.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-06072014-214625/publico/Dissertacao_CarlaVoltarelliFSilva_unprotected.pdf). Acesso em: 10 out. 2023.

Silva, Maira Rosa Ferreira da. Coelho, Rafael de Barcellos. **Análise comparativa entre as manchas de inundação geradas no modelo HAND, atrelado a equação da curva-chave, e nos modelos HEC-HMS e HEC-RAS para diferentes períodos de retorno na sede do município de Iconha – ES**, 2022. Acesso em: 10 out. 2023.

SOUSA, L.F.N. M. de. **Metodologia para o mapeamento de cheias em zonas de risco. Aplicação a um trecho de um rio do norte de Portugal**. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil. Universidade do Porto, Porto. 2012

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e cheias: Medidas de controle na fonte**, São Paulo, 2013.

TUCCI, C. E. **Regulamentação da drenagem urbana no Brasil**. REGA, Porto Alegre, v. 13, n.1, p. 29-42, jan/jun 2016.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION-  
UNISDR. **Marco de Ação Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-  
2030**. 18 mar. 2020. Disponível em:

<http://www.defesacivil.pr.gov.br/arquivos/File/Marco/MarcodeSendaiPortugues.pdf>.

Acesso em: 10 out. 2022.

UNIFESP. **Unidade 1: Aspectos básicos de desastres naturais**. Disponível em:

[https://www.unasus.unifesp.br/biblioteca\\_virtual/MOOCs/DAB\\_2021/unidade1.html](https://www.unasus.unifesp.br/biblioteca_virtual/MOOCs/DAB_2021/unidade1.html).

Acesso em: 10 out. 2022.