



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS - UEG
CAMPUS CORA CORALINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA (PPGEO)

ALLEF DIANINI MENDES MACHADO

**SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO
PIRAPITINGA (CATALÃO-GO)**

GOIÁS-GO

2025

ALLEF DIANINI MENDES MACHADO

**SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO
PIRAPITINGA (CATALÃO-GO)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual de Goiás, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Geografia.

Área de Concentração: Estudos Ambientais e Territoriais do Cerrado.

Linha de Pesquisa: Análise Ambiental do Cerrado

Orientador: Prof. Dr. Amom Chrystian de Oliveira Teixeira

GOIÁS-GO

2025



**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES NA
BIBLIOTECA DIGITAL (BDTD)**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Estadual de Goiás a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UEG), regulamentada pela Resolução, CsA nº 1.087/2019 sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9.610/1998, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data¹. Estando ciente que o conteúdo disponibilizado é de inteira responsabilidade do(a) autor(a).

Dados do autor (a)

Nome completo: Allef Dianini Mendes Machado

Email: dianini17@hotmail.com

Dados do trabalho

Título: SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIRAPITINGA (CATALÃO-GO)

Tipo:

Tese Dissertação

Curso/Programa: Geografia

Concorda com a liberação documento

SIM NÃO

¹Período de embargo é de até um ano a partir da data de defesa.

Goiás, 06 de setembro de 2025

Documento assinado digitalmente
ALLEF DIANINI MENDES MACHADO
Data: 06/09/2025 10:07:00 (GMT)
Verifique em: <https://verificar.br.gov.br/>

Assinatura autor(a)

Documento assinado digitalmente
ARON CRISTIAN DE OLIVEIRA FERREIRA
Data: 06/09/2025 10:02:17 (GMT)
Verifique em: <https://verificar.br.gov.br/>

Assinatura do orientador(a)

CATALOGAÇÃO NA FONTE

Biblioteca Frei Simão Dorvi – UEG Câmpus Cora Coralina

M149s	<p>Machado, Allef Dianini Mendes.</p> <p>Suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga (Catalão-GO) [manuscrito] / Allef Dianini Mendes Machado. – Goiás, GO, 2025.</p> <p>105 f. ; il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Amom Chrystian de Oliveira Teixeira.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Geografia) – Câmpus Cora Coralina, Universidade Estadual de Goiás, 2025.</p> <p>1. Geociência. 1.1. Hidrografia - Catalão, GO. 1.1.1. Dinâmica fluvial. 1.1.2. Declividade. 1.1.3. Morfometria e impermeabilização. I. Título. II. Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Cora Coralina.</p> <p>CDU: 556.51(817.3)</p>
-------	--

Bibliotecária responsável: Marília Linhares Dias – CRB 1/2971

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
(Criado pela lei nº 13.456 de Abril de 1999, publicada no DOE-GO de 20 de Abril de 1999)
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Coordenação de Pós-Graduação Stricto Sensu
UEG CÂMPUS CORA CORALINA
Av. Dr. Dersadeh Ferreira de Mota Centro - GOIÁS CEP: 76600000
Telefones: (62)3936-2161 / 3371-4971 Fax: (62) 3936-2160 CNPJ: 01.112.580/0001-71

ATA DE EXAME DE DEFESA 09/2025

Aos vinte e cinco dias do mês de junho de dois mil e vinte e cinco às quatorze horas, realizou-se o Exame de Defesa de dissertação do(a) mestrando(a) Allef Dianini Mendes Machado, intitulada: **“SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIRAPITINGA (CATALÃO-GO)”**. A banca examinadora foi composta pelos seguintes professores doutores: Amom Chrystian de Oliveira Teixeira (Presidente - PPGeo/UEG), Joey Ana Paixão de Sousa (UFRB) e Patrick Thomaz de Aquino Martins (PPGeo/UEG). Os membros da banca fizeram suas observações e sugestões, as quais deverão ser consideradas pelo mestrando e seu(sua) orientador(a). Em seguida, a banca examinadora reuniu-se para proceder a avaliação do exame de defesa. Reaberta a sessão, o(a) presidente da banca examinadora, Prof.(a) Dr.(a) Amom Chrystian de Oliveira Teixeira proclamou que a dissertação encontra-se aprovada (x) ou não aprovada () ou aprovada com ressalva () e com as seguintes exigências (se houver):

Cumpridas as formalidades de pauta, às 16:30 horas a presidência da mesa encerrou esta sessão do Exame de Defesa e lavrou a presente ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos membros da banca examinadora.

Goiás-GO, 25/06/2025.

Documento assinado digitalmente
 AMOM CHRYSYTIAN DE OLIVEIRA TEIXEIRA
Data: 27/06/2025 14:28:44 -0300
Verifique em: <https://cst.cade.br/goubr>

Prof.(a) Dr.(a) Amom Chrystian de Oliveira Teixeira (Presidente)

Documento assinado digitalmente
 JOEY ANA PAIXÃO DE SOUSA
Data: 26/06/2025 14:02:07 -0300
Verifique em: <https://cst.cade.br/goubr>

Prof.(a) Joey Ana Paixão de Sousa (UFRB)

Documento assinado digitalmente
 PATRICK THOMAZ DE AQUINO MARTINS
Data: 27/06/2025 14:28:44 -0300
Verifique em: <https://cst.cade.br/goubr>

Prof.(a) Dr.(a) Patrick Thomaz de Aquino Martins (PPGeo/UEG)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao meu orientador e amigo, Professor Dr. Amom Chrystian de Oliveira Teixeira, pelas valiosas orientações, incentivo, apoio e compreensão ao longo desses dois anos de mestrado. Sua dedicação e compromisso com o meu crescimento acadêmico foram fundamentais para a realização deste trabalho, e sou imensamente grato por sua amizade e orientação.

Agradeço também a toda a equipe de professores do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Geografia, nível Mestrado, da Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Goiás, pelo comprometimento com a formação profissional dos estudantes. Cada um de vocês contribuiu de maneira significativa para o meu desenvolvimento acadêmico e intelectual, e sou muito grato por todo o aprendizado adquirido.

Por fim, gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha família, que sempre me incentivou em todos os aspectos da minha vida, tanto no âmbito profissional quanto pessoal. Aos meus pais, Tânia Darc Mendes da Silva e Márcio Machado de Araújo, pelo amor, apoio incondicional e por acreditarem em mim em todos os momentos. Ao meu irmão, Pablo Dêlucas Mendes Machado, pelo carinho e companheirismo que me impulsionaram a seguir em frente. O apoio e a confiança de vocês foram fundamentais para que eu chegasse até aqui, e sou eternamente grato a cada um de vocês.

Este trabalho é dedicado a todos vocês.

RESUMO

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, localizada em Catalão-GO. Para isso, busca-se: avaliar a morfometria da bacia, diagnosticar o percentual de impermeabilização e identificar as áreas mais suscetíveis a inundações. A metodologia foi organizada em três subseções para proporcionar maior clareza ao estudo. A primeira subseção aborda a Caracterização Morfométrica da Bacia, na qual é apresentada a metodologia para análise da morfometria da bacia. A segunda subseção, Impermeabilização da Bacia, detalha a metodologia utilizada para avaliar a taxa de impermeabilização na área de estudo. Na terceira subseção, Suscetibilidade à Inundação, descreve-se a metodologia para análise da suscetibilidade à inundação na bacia. A bacia do Ribeirão Pirapitinga apresenta, sob o ponto de vista morfométrico, características que indicam baixa suscetibilidade a inundações, como declividades suaves e formato alongado, que favorecem a distribuição equilibrada do escoamento da água. No entanto, a presença de áreas com declividades mais acentuadas pode acelerar o escoamento em eventos de chuvas intensas. A análise dos fatores antrópicos revela que a urbanização desordenada, com cerca de 44,5% de impermeabilização do solo, contribui significativamente para a maior suscetibilidade a inundações. A sobrecarga no sistema de drenagem natural, especialmente nas áreas urbanas, e a redução da vegetação nativa, essencial para o ciclo hidrológico, intensificam os problemas de escoamento superficial. Além disso, a ocupação desordenada das planícies de inundação e a falta de planejamento urbano adequado agravam os impactos das inundações. A pesquisa aponta que, para mitigar esses efeitos, é necessário um planejamento urbano integrado, com medidas estruturais e não estruturais, como a preservação da vegetação e o controle do uso do solo. A construção de infraestrutura ecológica e a implementação de políticas de zoneamento urbano mais rigorosas são essenciais para a gestão sustentável das águas e redução da vulnerabilidade da população.

Palavras-chave: Dinâmica fluvial; declividade; morfometria e impermeabilização.

ABSTRACT

The main objective of this research is to analyze the flood susceptibility of the Ribeirão Pirapitinga watershed, located in Catalão, Goiás, Brazil. To achieve this, the study aims to: assess the watershed's morphometry, diagnose the degree of imperviousness, and identify the areas most susceptible to flooding. The methodology is organized into three subsections to provide greater clarity to the study. The first subsection addresses the Morphometric Characterization of the Watershed, presenting the methodology used for morphometric analysis. The second subsection, Watershed Imperviousness, details the methodology applied to evaluate the impervious surface rate in the study area. The third subsection, Flood Susceptibility, describes the methodology used to analyze flood susceptibility in the watershed. From a morphometric perspective, the Ribeirão Pirapitinga watershed exhibits characteristics that suggest low flood susceptibility, such as gentle slopes and an elongated shape, which favor a balanced distribution of water runoff. However, the presence of steeper slopes in certain areas may accelerate runoff during intense rainfall events. The analysis of anthropogenic factors reveals that unplanned urbanization, with approximately 44.5% of the area covered by impervious surfaces, significantly increases flood susceptibility. The overload of the natural drainage system, especially in urban areas, and the reduction of native vegetation—essential for the hydrological cycle—intensify surface runoff problems. Furthermore, the unregulated occupation of floodplains and the lack of proper urban planning worsen the impacts of flooding. The research indicates that, to mitigate these effects, an integrated urban planning approach is necessary, combining both structural and non-structural measures, such as vegetation preservation and land-use control. The development of ecological infrastructure and the implementation of stricter urban zoning policies are essential for sustainable water management and for reducing the vulnerability of the population.

Keywords: Fluvial dynamics; slope; morphometry; imperviousness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Definição de alagamento.....	18
Figura 2	Definição de enchente.....	19
Figura 3	Representação do conceito de inundação.	2121
Figura 4	Leito menor e maior do rio	22
Figura 5	Área Urbana de Catalão-GO.....	42
Figura 6	Localização das bacias hidrográficas.....	44
Figura 7	Crescimento da área urbana de Catalão (GO).....	48
Figura 8	Hipsometria e Declividade na área urbana de Catalão	49
Figura 9	Ocupação de APP no entorno do trecho canalizado do Ribeirão Pirapitinga....	51
Figura 10	Efeitos da inundação no entorno do Ribeirão Pirapitinga	53
Figura 11	Estragos das inundações no entorno do Ribeirão Pirapitinga após chuva intensa, 2020	54
Figura 12	Trecho da obra de ampliação da canalização do Ribeirão Pirapitinga, 2018 ..	55
Figura 13	Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga Catalão-GO	56
Figura 14	Fluxograma das etapas para análise morfométrica	58
Figura 15	Fluxograma do passo a passo para a elaboração de mapas de uso e ocupação do solo e da taxa de impermeabilização.	63
Figura 16	Fluxograma do Mapa de Suscetibilidade à Inundação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga.	66
Figura 17	Rede fluvial da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga (Catalão-GO).....	69
Figura 18	Ordenação dos segmentos da bacia.....	70
Figura 19	Hipsometria da bacia hidrográfica	71
Figura 20	Declividade da bacia hidrográfica	73
Figura 21	Uso e ocupação do solo da bacia Hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga.....	80
Figura 22	Taxa de impermeabilização da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga	82
Figura 23	Mapas utilizados para obtenção da suscetibilidade à inundação	86
Figura 24	Suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga.....	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Curva Hipsométrica da bacia hidrográfica	71
Gráfico 2	Variação de altitude do leito do rio principal da bacia hidrográfica.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Diferença de inundação para enchente	22
Quadro 2	Parâmetros morfométricos calculados para bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Representação da declividade da bacia hidrográfica	59
Tabela 2	Variáveis	67
Tabela 3	Morfometria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga	73
Tabela 4	Comparação dos dados das três bacias.	74
Tabela 5	Classificação supervisionada	79
Tabela 6	Representação da área da bacia hidrográfica	81
Tabela 7	Densidade habitacional e área impermeável	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área da bacia
APP	Área de Preservação Permanente
Cr	Comprimento dos rios
D	Declividade
Dd	Densidade da drenagem
DIMIC	Distrito Miner industrial de Catalão
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
F	Fator de forma (F)
Fa	Fluxo Acumulado
GO	Goiás
HEC RAS	<i>Hydrologic Engineering Center - River Analysis System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ic	índice de circularidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Is	Índice de sinuosidade do canal principal
Kc	Coefficiente de Compacidade
Lax	Comprimento Axial
MDE	Modelo Digital de Elevação
MSI	Mapa de Susceptibilidade à Inundação
P	Perímetro
PDU	Plano diretor urbano
SIG	Sistema de Informação Geográfico
SIMEHGO	Sistema de Meteorologia e Hidrologia Estado de Goiás
UOS	Uso e Ocupação do Solo
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	17
2.1	BACIA HIDROGRÁFICA	17
2.2	DIFERENCIAÇÃO DE ALAGAMENTOS, ENCHENTE E INUNDAÇÃO	18
2.3	PAPEL DA DINÂMICA FLUVIAL DOS RIOS	22
2.4	ÁREAS SUSCETÍVEL AS INUNDAÇÕES	24
2.5	CONCEITO DE OCUPAÇÃO DE ÁREAS IMPRÓPRIAS	29
2.6	IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	34
2.7	SUSCETIBILIDADE E RISCOS AMBIENTAIS	37
3	O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DE CATALÃO E SEUS IMPACTOS NAS INUNDAÇÕES	41
3.1	CARACTERIZAÇÃO DE CATALÃO-GO	42
3.2	COMO OCORREU A URBANIZAÇÃO DE CATALÃO	43
3.3	OS EFEITOS DESSA URBANIZAÇÃO	47
4	SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIRAPITINGA (CATALÃO-GO)	55
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIRAPITINGA CATALÃO-GO	56
4.2	METODOLOGIA	57
4.2.1	caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga Catalão-GO	58
4.2.2	impermeabilização da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga	62
4.2.3	suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
5.1	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIRAPITINGA CATALÃO-GO	70
5.2	IMPERMEABILIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIRAPITINGA	77
5.3	SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA ÁREA DE INTERESSE	85

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
	REFERÊNCIAS	94

1 INTRODUÇÃO

Uma bacia hidrográfica pode ser definida como um sistema dinâmico e aberto, composto por uma rede de canais que drenam uma determinada área delimitada por divisores naturais de água. Segundo Strahler (1979), uma bacia hidrográfica é formada por um conjunto de pequenas bacias que se ajustam em formas e tamanhos conforme os cursos d'água aos quais estão subordinadas. Esses sistemas desempenham um papel fundamental no ciclo hidrológico, atuando como áreas de captação e escoamento de águas superficiais e subterrâneas. No entanto, tais regiões também são suscetíveis a inundações, especialmente quando o volume de água excede a capacidade de infiltração do solo ou a capacidade de escoamento dos canais fluviais, afetando o equilíbrio ambiental e comprometendo os usos antrópicos da área.

A suscetibilidade a inundações em uma bacia hidrográfica está relacionada a diversos fatores físicos e humanos. Entre os fatores físicos destacam-se as características morfométricas, como a topografia, o uso e a cobertura do solo, a geologia local e os padrões climáticos. Do ponto de vista antrópico, práticas como urbanização desordenada, desmatamento, intervenções nos cursos d'água, canalizações e a crescente impermeabilização do solo agravam significativamente os impactos das inundações.

Os efeitos das inundações podem ser significativamente prejudiciais. Entre os impactos mais notáveis estão as perdas humanas e materiais, a interrupção de serviços essenciais — como fornecimento de água potável, energia elétrica e transporte —, além da degradação de ecossistemas e da destruição de habitats naturais. Nesse contexto, a bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, situada no município de Catalão (GO), destaca-se como objeto de estudo por apresentar histórico de eventos de inundação com consequências relevantes para a população local, infraestrutura urbana e o meio ambiente.

Diante da recorrência desses eventos, torna-se necessário compreender os principais fatores que contribuem para a suscetibilidade à inundação nessa bacia hidrográfica. Assim, esta pesquisa propõe-se a responder às seguintes questões: (i) de que forma as características morfométricas da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga influenciam sua suscetibilidade às inundações?; (ii) qual a contribuição da impermeabilização do solo para a frequência e intensidade desses eventos?; (iii) quais os padrões espaciais de vulnerabilidade identificados dentro da bacia?; e (iv) quais fatores físicos e antrópicos estão associados a esses padrões?

A literatura científica sobre o tema é vasta e contribui para o embasamento teórico desta pesquisa. Os estudos de Infanti Jr. e Jornasari Filho (1998), Tucci (2003), Tominaga *et al.* (2009), Júnior e Santos (2013), e Santos (2016) apontam que a inundação representa o

extravasamento das águas de um curso d'água além do seu leito. Adicionalmente, autores como Guerra (1975), Christofolletti (1980), Tucci (2003), Goerl e Kobiyama (2005), e Santos (2012) abordam a diferenciação entre leito menor e leito maior dos rios, e as consequências da ocupação indevida dessas áreas ao longo do tempo. A impermeabilização do solo também se apresenta como uma das principais variáveis a serem consideradas na gestão urbana e ambiental, conforme apontam Tucci e Clarke (1998), Tominaga (2005), Gonçalves e Guerra (2009), Botelho e Silva (2010), Fritzen e Binda (2011), e Mendonça *et al.* (2015), ao ressaltarem a intensificação dos processos de inundação em ambientes urbanos devido ao aumento da cobertura impermeável.

Considerando o exposto, o objetivo geral desta pesquisa é analisar a suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, localizada no perímetro urbano de Catalão-GO. Como objetivos específicos, busca-se: (i) avaliar as características morfométricas da bacia; (ii) diagnosticar o percentual de áreas impermeabilizadas; e (iii) identificar os setores com maior propensão à ocorrência de inundações.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Este capítulo está organizado em sete seções interligadas: a primeira aborda o conceito de bacia hidrográfica; a segunda diferencia alagamento, enchente e inundação; a terceira explora o papel da dinâmica fluvial dos rios; a quarta define as áreas suscetíveis a inundações; a quinta trata da ocupação de áreas inadequadas; a sexta apresenta o conceito de impermeabilização do solo; e, por fim, a sétima seção discute a suscetibilidade e os riscos ambientais. A compreensão desses temas é fundamental para o entendimento do fenômeno analisado nesta pesquisa.

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Inicialmente, é importante compreender o conceito de bacia hidrográfica para aprofundar outros conceitos relacionados a esta pesquisa. Uma bacia hidrográfica pode ser definida como um sistema dinâmico e aberto, formado por uma rede de canais que drenam uma área de terra delimitada por divisores naturais de água. De acordo com Strahler (1979), ela é composta por um conjunto de pequenas bacias que se ajustam em formas e tamanhos de acordo com os rios aos quais convergem.

Segundo Horton (1945) os canais fluviais dentro da bacia podem ser hierarquizados e quantificados, o que facilita o entendimento do ciclo hidrológico, da erosão e da dinâmica natural da região. Christofolletti (1980) amplia essa definição ao destacar que a bacia hidrográfica é resultado de inter-relações processuais de energia, matéria e informações, sendo, portanto, um sistema dinâmico e aberto.

Além disso, a bacia hidrográfica é considerada uma unidade básica de análise ambiental, que permite avaliar diversos componentes, processos e interações que ocorrem em seu interior, além de servir como unidade de planejamento, conforme afirmam Botelho e Silva (2004). Cunha (2007) a define como o espaço drenado por uma rede de canais fluviais interligados que conduzem água para um ponto comum. Guerra e Guerra (2008) também a conceituam como uma área de drenagem, composta por um rio principal e seus afluentes, sendo dinâmica e passível de hierarquização dos cursos fluviais. Partindo desse entendimento, na próxima seção, serão abordadas as diferenças entre alagamentos, enchentes e inundações.

2.2 DIFERENCIAÇÃO DE ALAGAMENTOS, ENCHENTE E INUNDAÇÃO

Antes de iniciar a discussão sobre o fenômeno de inundação, é essencial compreender as diferenças entre alagamentos, enchentes e inundações. As definições podem variar conforme os autores e especialistas. Conforme Chow *et al.* (1988), o alagamento é definido como "o preenchimento temporário e não restrito de terras com água, resultando em cobertura temporária de áreas que normalmente não estão submersas." Dessa forma, o alagamento refere-se ao acúmulo temporário de água em locais que habitualmente não se encontram sob a água. Esse acúmulo pode ocorrer devido a diversos fatores, como chuvas intensas, nas quais a precipitação excessiva sobrecarrega o sistema de drenagem, levando ao acúmulo de água em ruas, calçadas e outros espaços urbanos. Além disso, a obstrução do sistema de drenagem por lixo, detritos e outros materiais pode impedir o escoamento adequado da água, ocasionando alagamentos. Figura 01 exemplifica a definição de alagamento.

Figura 01 – Definição de alagamento

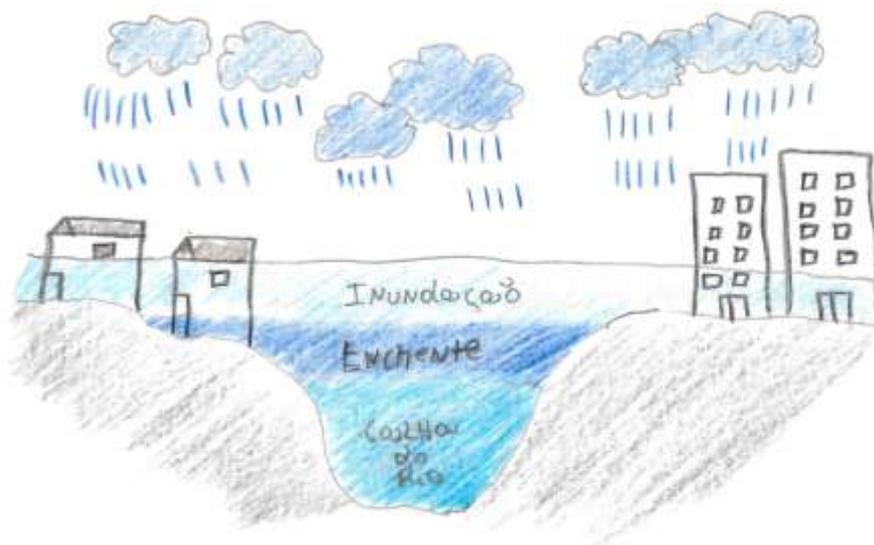


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Castro (2003), Bloom (2004), Barros (2005), Brasil (2007) e Amaral e Ribeiro (2009) apresentam definições complementares de enchentes, caracterizando-as como eventos de aumento gradual do nível das águas nos rios e canais de drenagem. Castro (2003) descreve as enchentes como transbordamentos lentos e graduais, geralmente resultantes de períodos prolongados de precipitação, abrangendo extensas áreas de forma cíclica. Bloom (2004) enfatiza que as enchentes envolvem o aumento do nível das águas dos rios sem ultrapassar as margens dos diques marginais. Barros (2005) observa que a enchente ocorre com a elevação

gradual do nível de água durante precipitações, sem transbordamento, mas com um aumento significativo na vazão dos recursos hídricos devido ao escoamento superficial. Brasil (2007) e Amaral e Ribeiro (2009) definem enchentes ou cheias como a elevação do nível de água no canal de drenagem até a cota máxima, sem extravasamento, resultante do aumento da vazão. A Figura 02 permite observar como ocorrem as enchentes no perímetro urbano.

Figura 02 – Definição de enchente



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Segundo Oliveira (1998), as inundações são fenômenos naturais que fazem parte da dinâmica fluvial, ocorrendo periodicamente nas várzeas, também conhecidas como planícies de inundação. Essas inundações correspondem ao extravasamento das águas de um curso d'água para as áreas marginais quando a vazão excede a capacidade de descarga da calha fluvial. Essa definição destaca a relação direta entre as inundações e a capacidade de escoamento dos cursos de água, caracterizando as várzeas como áreas sujeitas a esses eventos naturais.

De acordo com Infanti Jr e Fornasari Filho (1998), Tominaga *et al.* (2009), e Amaral e Ribeiro (2009), inundações podem ser definidas como o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo áreas adjacentes como planícies de inundação ou várzeas. Em outras palavras, o fluxo hídrico supera a capacidade de descarga do canal, resultando no extravasamento das águas para áreas marginais.

Nessa mesma perspectiva Barros (2005) e Brasil (2007) apontam que inundações podem ser definidas como o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo áreas adjacentes como planícies de inundação, também conhecidas como áreas de várzea. Esse transbordamento

ocorre quando a vazão do rio aumenta significativamente, levando o curso d'água a extravasar seu leito menor e ocupar o leito maior.

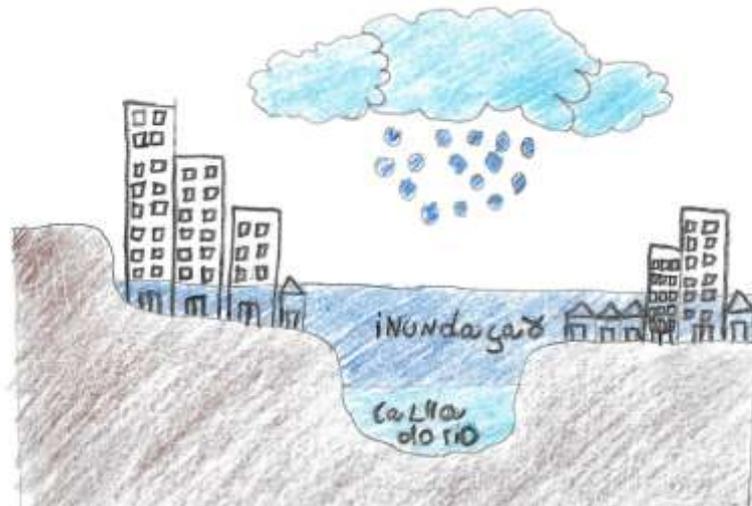
Para Tucci (2003), Junior e Santos (2013) e Santos (2016), inundações podem ser definidas como o transbordamento das águas de rios, riachos e galerias pluviais, que ocorre quando a quantidade de água excede a capacidade de drenagem do canal. Sendo assim, inundações são os transbordamentos, que ocorrem quando a quantidade de água excede a capacidade de drenagem do sistema de escoamento, ocupando áreas adjacentes como ruas, moradias, áreas comerciais e industriais.

Conforme observado por Goerl e Kobiyama (2005) e Kobiyama *et al.* (2006), as inundações mais comuns em áreas urbanas são graduais e bruscas. Esses eventos estão intimamente relacionados à velocidade com que ocorrem e à duração do evento, medida em minutos, horas ou dias. As inundações graduais são caracterizadas por um aumento gradual do nível da água, geralmente ocorrendo ao longo de vários dias ou semanas, sendo frequentemente associadas a chuvas prolongadas e saturação do solo. Já as inundações bruscas são aquelas que acontecem rapidamente, em um curto espaço de tempo, como resultado de chuvas intensas e de alta intensidade em um curto período.

Jha, Bloch e Lamond (2012) destacam que as inundações são principalmente motivadas por eventos climáticos, cujo prognóstico é desafiador devido à complexidade e incerteza associadas aos eventos climáticos extremos. Villas Bôas (2017) afirma que as inundações são eventos desastrosos frequentes, amplamente noticiados nos meios de comunicação em diferentes escalas geográficas.

A falta de planejamento urbano relacionado à drenagem urbana, aliada às alterações no meio ambiente causadas pelo uso inadequado do solo, conforme apontado Goerl e Kobiyama (2005) e Kobiyama *et al.* (2006), cria condições propícias para o surgimento de problemas urbanos complexos, muitas vezes exigindo soluções desafiadoras e medidas estruturais onerosas. A Figura 03 representa os efeitos das inundações nas cidades.

Figura 03 – Representação do conceito de inundação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No Quadro 01, apresentam-se as diferenças desses conceitos de forma resumida para um maior entendimento da problemática. No próximo tópico, será abordado o papel da dinâmica fluvial dos rios no tocante às inundações. Esse conhecimento auxilia na previsão e mitigação, no planejamento urbano, na gestão de recursos hídricos, na proteção ambiental e na redução de danos econômicos e humanos.

Quadro 01 – Diferença de inundação para enchente

	Inundação	Enchente
Definição	Transbordamento das águas de um curso d'água	Aumento do nível da água de um rio ou lago
Causa	A quantidade de água excede a capacidade de drenagem de um rio ou canal	Chuvas intensas, derretimento de neve, etc.
Característica	Áreas adjacentes são inundadas	Nível da água sobe, mas pode não haver transbordamento
Impacto	Soterramento; Erosão do Solo; Contaminação do Solo; Perdas Materiais e Econômicas; Riscos à Saúde Pública; Interrupção de Serviços Públicos; Impactos Psicológicos e Sociais entre outros.	Soterramento; Erosão do Solo; Contaminação do Solo; Perdas Materiais e Econômicas; Riscos à Saúde Pública; Interrupção de Serviços Públicos; Impactos Psicológicos e Sociais entre outros.
Exemplos	Rio que transborda e inunda áreas urbanas	Rio/lago que sobe e inunda áreas ribeirinhas

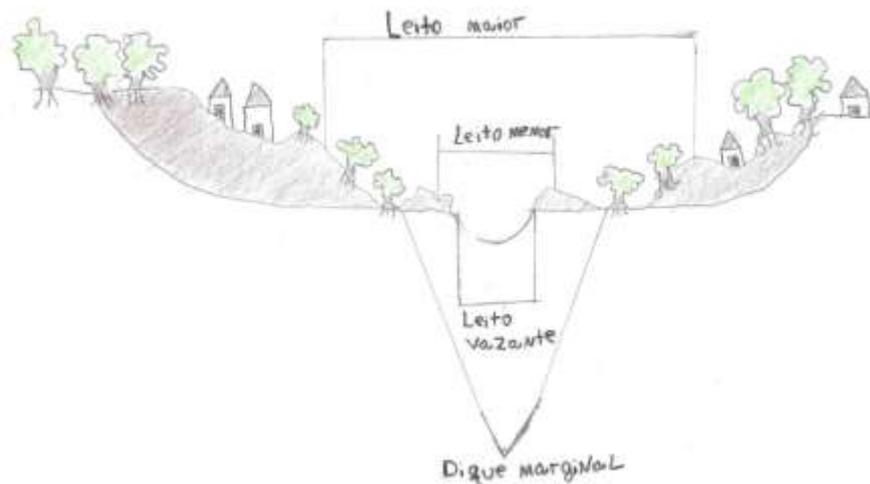
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Nesse quadro, percebe-se que as inundações afetam, de forma mais localizada, principalmente áreas urbanas, com impactos mais imediatos e concentrados. As enchentes, por sua vez, tendem a ser mais devastadoras, afetando vastas áreas, com danos mais profundos e prolongados tanto ao meio ambiente quanto à sociedade.

2.3 PAPEL DA DINÂMICA FLUVIAL DOS RIOS

Segundo Tricart (1966), compreender a dinâmica fluvial é fundamental para uma melhor análise do fenômeno das inundações. A Figura 04 exemplifica as áreas correspondentes ao leito maior e ao leito menor de um rio.

Figura 04 – Leito menor e maior do rio



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Segundo Tucci (2003), o leito menor de um rio corresponde à seção de escoamento em regime de estiagem, ou seja, em níveis médios de água. Já o leito maior pode apresentar diferentes lances, dependendo da seção transversal considerada e da topografia da várzea inundável. Durante as enchentes, o rio costuma ocupar esse leito maior. Quando o tempo de retorno de extravasamento do leito menor é superior a 2 anos, existe uma tendência da população em ocupar a várzea. No entanto, essa ocupação pode acarretar danos significativos aos ocupantes dessas áreas durante as cheias, além de afetar as populações que ocupam a bacia hidrográfica à montante, devido à obstrução ao escoamento natural causada pelos primeiros

ocupantes. Essa situação ilustra a importância de um planejamento adequado das áreas sujeitas a inundações e de medidas preventivas para minimizar os riscos e prejuízos decorrentes desses eventos.

As definições e informações apresentadas por Tricart (1966) e Tucci (2003) complementam-se ao abordar a dinâmica fluvial, as inundações, a ocupação de várzeas e a importância do planejamento adequado para lidar com esses eventos naturais de maneira mais segura e eficiente. Após essa compreensão da dinâmica fluvial, conforme apontado pelos autores, é importante analisar outros elementos fundamentais, como a geomorfologia, a hidrogeomorfologia e as condições topográficas, que influenciam diretamente a ocorrência de inundações.

Os estudos de geomorfologia desempenham um papel crucial na análise da dinâmica das inundações, fornecendo informações valiosas para o planejamento urbano, a gestão de bacias hidrográficas e a implementação de medidas de redução de riscos. Ao compreender como a paisagem influencia o fluxo de água e os processos de inundação, é possível tomar decisões mais assertivas para proteger e conservar comunidades e ecossistemas vulneráveis.

Assim, conforme Hugget (2005), a geomorfologia se dedica à investigação das características físicas da superfície terrestre, abrangendo elementos como rios, montanhas, planícies, praias e dunas, e alguns pesquisadores também incorporam o estudo das formas de relevo submarino nesse campo de estudo.

Para Goerl, Kobiyama e Santos (2012), tanto a geomorfologia clássica quanto a moderna estão preocupadas com a classificação e descrição das formas do relevo, assim como com os processos e dinâmicas envolvidos em sua origem e evolução. Além disso, essas abordagens buscam compreender a relação e associação entre as formas do relevo e outros processos naturais, como hidrológicos, climáticos, bióticos, tectônicos e antrópicos. Sendo assim, essas definições deixam claro importância da geomorfologia para compreensão do fenômeno das inundações.

Os estudos de hidromorfologia são uma ferramenta valiosa para entender e gerenciar as inundações, permitindo a implementação de estratégias de mitigação e adaptação mais eficazes e sustentáveis. Ao analisar as características físicas da paisagem e sua interação com os processos hidrológicos, é possível tomar decisões mais efetivas para reduzir os riscos e minimizar os impactos das inundações em ambientes urbanos e naturais.

Sendo assim, analisaram-se as definições apresentadas por alguns pesquisadores. De acordo com Goudie (2004), a relação entre hidrologia e geomorfologia é denominada geomorfologia hidrológica, representando um ramo específico desta última disciplina. O autor

ressalta que a dinâmica das áreas superficiais desempenha um papel fundamental na interação com a hidrologia e que pesquisas colaborativas entre a geomorfologia e as águas subterrâneas, assim como a hidrogeologia, têm sido objeto de desenvolvimento recente.

Segundo Babar (2005), o conceito de hidrogeomorfologia pode ser desdobrado em três termos: "hidro", englobando as águas superficiais e subterrâneas; "geo", representando a terra; e "morfologia", expressando as características superficiais refletidas nas formas da paisagem. Em essência, a hidrogeomorfologia aborda os aspectos relacionados à água, às rochas e às feições morfológicas da superfície. O autor destaca que as pesquisas na área atualmente visam explicar a paisagem, suas formas e evolução, compreendendo quais são essas formas, qual a sua função e como elas se desenvolvem em relação às condições hidrológicas.

Para DeBarry (2004), a hidrogeomorfologia é definida como o estudo dos efeitos dos processos hidrológicos na superfície terrestre. Já para Sidle e Onda (2004), a hidrogeomorfologia é uma disciplina científica que visa compreender o papel dos processos hidrológicos na configuração e desenvolvimento da paisagem, bem como a maneira pela qual as características do relevo condicionam ou influenciam os processos hidrológicos em diversas escalas de tempo e espaço.

Na perspectiva apresentada por Montgomery e Bolton (2003), as inundações e os deslizamentos são compreendidos como processos hidrogeomorfológicos. Nessa mesma linha, Hungr *et al.* (2001) afirmam que os processos hidrogeomorfológicos englobam inundações, fluxos hiperconcentrados e fluxos de detritos.

Segundo Sidle e Onda (2004), as pesquisas hidrogeomorfológicas abordam diversos temas-chave, que incluem: processos de escoamento superficial influenciados pela litologia e geomorfologia; processos erosivos superficiais relacionados a canais; fatores que moldam a hidrologia e afetam o desencadeamento de deslizamentos; avaliação das propriedades hidrológicas dos solos associadas aos deslizamentos; e a interação entre a precipitação e o ambiente terrestre.

Na análise de Sidle e Onda (2004), os avanços atuais na hidrogeomorfologia têm o potencial de oferecer contribuições significativas para estudos em diversas áreas temáticas, como desenvolvimento sustentável, desastres naturais e medidas mitigadoras, efeitos das mudanças climáticas e planejamento territorial.

Marini e Piccolo (2005) e Marini *et al.* (2009) conduziram estudos relacionados à elaboração de cartas hidrogeomorfológicas para diversas bacias hidrográficas na Argentina. Segundo esses autores, as cartas hidrogeomorfológicas desempenham um papel essencial na determinação das condições de escoamento em uma bacia, sendo resultado da combinação de

diversos processos que influenciam o comportamento hidrológico. Para tal, essas cartas devem conter informações sobre as características hidrológicas do terreno, a circulação superficial da água, os tipos e formas de escoamento, as características fisiográficas das encostas da bacia hidrográfica, o tipo de vegetação, entre outros fatores relevantes.

Embora as definições variem em abordagens específicas, todas enfatizam a importância da hidrogeomorfologia como uma disciplina que investiga a interação complexa entre processos hidrológicos e morfológicos, visando compreender como essa interação molda a paisagem, influencia a ocorrência de inundações e deslizamentos e tem implicações em várias áreas de estudo e aplicação prática.

Os estudos de topografia são vitais para entender a dinâmica das inundações, permitindo uma análise detalhada da topografia do terreno e sua relação com os processos hidrológicos. Esses dados são essenciais para tomadas de decisão informadas e estratégias de gestão de riscos de inundação.

Sendo assim, Tominaga (2009) destaca que as características do vale podem influenciar a velocidade do processo de inundação. Em vales encaixados (em forma de V) e vertentes com altas declividades, as águas tendem a se deslocar rapidamente, resultando em inundações bruscas e mais destrutivas. Por outro lado, vales abertos com planícies extensas e terraços fluviais tendem a ter inundações mais lentas e graduais, devido ao menor gradiente de declividade das vertentes circundantes. Essa observação ressalta a importância de considerar as características geomorfológicas ao avaliar os riscos de inundação em uma determinada área.

Um exemplo disso pode ser observado na pesquisa de Oliveira *et al.* (2013), que aponta que as condições topográficas, as condições climáticas (incluindo as precipitações) e o processo de urbanização na planície de inundação do rio Capivari têm contribuído significativamente para a ocorrência de inundações. As condições topográficas, como a configuração do terreno e a presença de encostas íngremes, influenciam o escoamento da água e a concentração de enchentes em determinadas áreas. Além disso, as condições climáticas, como a intensidade e a frequência das precipitações, são fatores-chave que afetam diretamente a quantidade e a velocidade do escoamento superficial.

De acordo com Christofolletti (1980), a margem côncava de um rio é o local onde ocorre a escavação no leito do rio, sendo também nessa margem que a velocidade do fluxo é maior. Por outro lado, na margem convexa, ocorre a deposição, e o fluxo apresenta uma velocidade menor. Nessa relação diferencial entre as margens, nota-se que a maior parte do transbordamento durante as inundações acontece nas margens côncavas. Essa característica

hidrodinâmica das margens do rio é relevante para entender os padrões de inundação e os processos de erosão e sedimentação associados ao comportamento fluvial.

2.4 ÁREAS SUSCETÍVEL AS INUNDAÇÕES

As áreas de várzeas ou planícies de inundações ou áreas ribeirinhas são suscetíveis a inundações devido a uma combinação de fatores naturais e características geográficas que tornam essas regiões propensas ao acúmulo de água durante eventos de chuvas intensas.

Para Christofolletti (1980), a várzea ou planície de inundação é definida como a faixa ao longo do vale fluvial, composta por sedimentos aluviais, que acompanha o curso do rio e é periodicamente inundada pelas águas de transbordamento provenientes do próprio rio. Essa definição ressalta a natureza dinâmica das várzeas, que são áreas importantes para o funcionamento dos ecossistemas fluviais, uma vez que atuam como zonas de amortecimento das cheias, contribuindo para a regulação do fluxo de água e a redução do impacto das inundações em áreas urbanas e rurais adjacentes. A proteção e conservação dessas áreas são essenciais para a manutenção da biodiversidade, a promoção de serviços ecossistêmicos e a mitigação de riscos associados a eventos hidrometeorológicos extremos.

De acordo com Baker (2009), as planícies de inundação representam os leitos dos vales formados por rios ativos, que são periodicamente cobertos pelas águas das inundações durante os períodos de cheias, as quais excedem os diques marginais.

Na classificação proposta por Tucci (1999), as inundações em áreas ribeirinhas são aquelas que fazem parte da dinâmica natural de um canal de drenagem. Nesse contexto, a ocupação humana não é a causa direta da inundação. Ocorre que essas áreas, naturalmente propensas a inundações, foram ocupadas por atividades humanas, resultando em situações que contribuem para os riscos às populações.

No entendimento de Santos (2012), para que ocorra uma inundação ribeirinha, é necessária uma combinação de diversos fatores. Entre eles, podemos citar o tipo de ocupação das planícies fluviais, que pode reduzir a capacidade de escoamento do leito fluvial, as características hidráulicas dos solos e rochas presentes na área, a densidade de drenagem da bacia hidrográfica e a forma geométrica da própria bacia, além de outros fatores relevantes. Essa interação complexa entre diferentes elementos naturais e antrópicos é fundamental para o entendimento das causas e dinâmicas das inundações em áreas ribeirinhas, sendo de grande importância para o planejamento e gestão adequada dessas regiões vulneráveis.

De acordo com Jorge e Uehara (1998), o principal fator que contribui para as inundações ribeirinhas que afetam a população é a ocupação da planície fluvial ou do leito maior do rio. Essas áreas são naturalmente propensas a inundações, e a presença humana nessas regiões interfere na dinâmica natural do rio, expondo os ribeirinhos a riscos adicionais. A ocupação das áreas inundáveis pode aumentar tanto os riscos quanto os impactos das inundações nas comunidades ribeirinhas. Isso ressalta a importância de um planejamento adequado do uso do solo e da implementação de medidas de gestão e mitigação de riscos, visando reduzir a suscetibilidade dessas populações às cheias fluviais.

Segundo Christofolletti (1980), a planície de inundação pode ser conceituada e delimitada de maneira variada, dependendo da perspectiva e dos objetivos dos pesquisadores envolvidos no estudo. Essa abordagem flexível na definição e delimitação da planície de inundação permite que diferentes pesquisadores possam adaptar a conceituação conforme as necessidades e objetivos específicos de suas investigações, o que contribui para uma melhor compreensão e caracterização desse importante ecossistema.

Na perspectiva de Tucci (1999), existem também as inundações localizadas, que podem ser causadas por diversos fatores, tais como o estrangulamento da seção do rio, a formação de remanso, erros de execução e projeto de drenagem de rodovias e avenidas, entre outros. Essas inundações ocorrem em pontos específicos e podem ser agravadas por intervenções inadequadas no ambiente urbano, tornando necessário considerar esses aspectos para o correto planejamento e gestão dos recursos hídricos nas áreas urbanas.

De acordo com Gonçalves e Guerra (2009), os movimentos de massa, especialmente os escorregamentos, e as inundações são os processos naturais mais frequentes em áreas urbanas de climas tropicais. As intervenções humanas nessas áreas, como a ocupação de encostas e fundos de vale sem o uso de técnicas adequadas, têm causado significativas alterações na paisagem, resultando na intensificação e/ou aceleração desses processos naturais. A ocupação inadequada e desordenada das áreas urbanas em regiões propensas a esses fenômenos naturais aumenta os riscos de desastres e pode levar a perdas humanas e materiais significativas. Nesse sentido, é essencial adotar abordagens de planejamento urbano e gestão de riscos que considerem os aspectos naturais do ambiente e promovam o desenvolvimento sustentável e seguro das cidades.

Essas definições destacam a dinâmica complexa e multidimensional das inundações em áreas de várzea e planície de inundação, envolvendo fatores naturais, hidrológicos, geomorfológicos, antrópicos e de uso do solo. Essa compreensão é essencial para o

planejamento, gestão e mitigação de riscos relacionados a inundações em diferentes contextos geográficos e ambientais.

Conforme destacado por Farias e Mendonça (2022), no Brasil, chuvas de alta intensidade e curta duração causam sérios problemas, especialmente quando associadas às características do relevo, da rede de drenagem e ao uso do solo urbano. A ocorrência frequente de inundações e a magnitude desses fenômenos, junto aos problemas socioambientais resultantes da complexa interação entre sociedade e natureza nas áreas urbanas, são aspectos importantes a serem considerados na gestão de riscos de desastres. A relação entre eventos climáticos extremos, as características geográficas das cidades e suas dinâmicas urbanas impõe desafios significativos para a adoção de medidas eficazes de prevenção, preparação e resposta a desastres naturais, com o objetivo de reduzir os impactos e proteger as populações vulneráveis.

Nos estudos de Tucci (2005), é recomendado que as áreas de amortecimento de enchentes sejam destinadas a usos restritos, permitindo apenas atividades que não obstruam o escoamento da água. Exemplos adequados de utilização para essas áreas incluem estacionamentos e espaços esportivos abertos, pois essas atividades não interferem na capacidade de armazenamento temporário da água durante eventos de chuva intensa. Essas medidas têm como objetivo preservar a funcionalidade dessas áreas no controle de inundações e garantir a segurança das populações em regiões suscetíveis a inundações.

Na análise de Souza (1996), destaca-se que os problemas relacionados às inundações e o nível de risco associado a esses eventos estão intimamente ligados ao grau de ocupação das áreas adjacentes aos canais e à frequência das inundações, referida como tempo de retorno. A ocupação desordenada dessas áreas, juntamente com a ocorrência frequente de inundações, tende a agravar os impactos desses eventos, reforçando a importância de implementar medidas de planejamento e gestão adequadas para reduzir os riscos e minimizar os danos causados pelas cheias urbanas.

Desta forma, a contextualização apresentada destaca a importância do planejamento urbano adequado, do uso restrito de áreas de amortecimento de enchentes, do controle da ocupação próxima a canais e da necessidade de medidas de prevenção, preparação e resposta para enfrentar as inundações urbanas e seus efeitos socioambientais. A gestão eficaz dos riscos de desastres é fundamental para minimizar os impactos e proteger as populações suscetíveis a essas situações. Assim, será analisada a ocupação dessas áreas e suas consequências na próxima seção.

2.5 CONCEITO DE OCUPAÇÃO DE ÁREAS IMPRÓPRIAS

Analisar o processo de urbanização no Brasil é essencial para entender os fatores que contribuem para as frequentes ocorrências de inundações. Diversos estudos sobre essa problemática serão examinados para proporcionar uma compreensão mais abrangente do tema.

De acordo com Santos (2008) e Tucci (2012), a segunda metade do século XX foi marcada por uma rápida urbanização no Brasil. Entre as várias consequências desse processo, podemos destacar: (i) a criação de regiões metropolitanas; (ii) a construção de prédios e o aumento da população nas áreas já urbanizadas; (iii) a expansão das cidades para áreas periféricas; e (iv) a ocupação de áreas de risco, como as várzeas sujeitas a inundações e os morros íngremes. Esses fatores mostram os desafios que as cidades brasileiras enfrentam no planejamento urbano, na gestão de riscos e na preservação ambiental.

Santos e Rocha (2013) destacam que o processo de ocupação urbana, aliado à falta de um planejamento adequado, gera várias consequências. Entre elas, estão mudanças no balanço de energia e nos níveis de conforto urbano, como o aumento da temperatura e a diminuição da umidade relativa. Além disso, a urbanização provoca a impermeabilização do solo, o que agrava os problemas de inundações que frequentemente afetam essas áreas. Essas inundações causam perda de bens materiais e aumentam o risco de contaminação por doenças transmitidas pela água, o que intensifica o sofrimento da população.

Nesta mesma perspectiva, segundo Jha, Bloch e Lamond (2012), a urbanização mal planejada e gerida contribui para o aumento do perigo de inundações, principalmente devido à mudança inadequada no uso do solo. À medida que as cidades crescem para acomodar o aumento da população, a expansão urbana muitas vezes ocorre de forma não planejada, ocupando áreas alagáveis, costeiras e outras regiões sujeitas a inundações.

Segundo os mesmos pesquisadores eles apontam que, a aceleração da urbanização e desenvolvimento urbano pode aumentar significativamente o risco de inundação, independentemente da mudança climática. O crescimento das áreas urbanas e o desenvolvimento não planejado em regiões suscetíveis a inundações podem aumentar a exposição de populações e ativos aos riscos desses eventos naturais. A expansão urbana em áreas alagáveis, costeiras e outras áreas propensas a inundações pode resultar em um maior número de pessoas e bens em perigo, tornando mais desafiadora a gestão eficiente do risco de inundação nessas localidades.

Na visão de Torres *et al.* (2007), a expansão urbana desordenada pode agravar diversas situações de risco e degradação ambiental. Entre essas situações, destacam-se enchentes e

deslizamentos, que são problemas frequentemente associados ao crescimento caótico das cidades. O avanço descontrolado das áreas urbanas para regiões de encostas e áreas de várzea aumenta a exposição das populações a esses eventos extremos, ampliando os danos e os impactos socioambientais causados pelas chuvas intensas. Assim, é essencial promover um planejamento urbano adequado e medidas de gestão de riscos para evitar ou minimizar essas consequências negativas da expansão urbana.

O crescimento não planejado das áreas urbanas resultou em uma ocupação desregrada dos leitos de inundação e limitações significativas na circulação livre da água nos canais fluviais. Essas intervenções humanas, combinadas com a ocorrência de eventos hidrometeorológicos extremos, podem levar a inundações urbanas com efeitos devastadores na cidade e na população. Essa situação destaca a importância de um planejamento urbano adequado, gestão de riscos e medidas de adaptação para enfrentar os desafios associados às inundações urbanas e proteger as cidades e seus habitantes.

Nas reflexões apresentadas por Oliveira Junior *et al.* (2013), indicam que o surgimento da revolução industrial trouxe um significativo aumento na população urbana. No entanto, esse crescimento populacional não foi acompanhado pelo um planejamento adequado nas cidades, o que resultou no inchaço das áreas urbanas. Esse cenário de expansão desordenada acarretou em danos, como a supressão excessiva da vegetação, a ocupação de áreas vulneráveis, como fundos de vales, margens de rios, córregos e várzeas, além da impermeabilização parcial ou total de corpos d'água.

Conforme destacado por Mendonça (2004), o processo de urbanização atingiu níveis significativos no final do século XX e início do século XXI, levando a uma predominância da população urbana no planeta. Esse rápido crescimento urbano trouxe consigo uma série de novos e complexos desafios para a compreensão e gestão do espaço e da sociedade nas cidades, especialmente em países com condições socioeconômicas de alta complexidade, como é o caso do Brasil. Nesse contexto, os problemas socioambientais se destacam, representando desafios importantes para a sustentabilidade urbana e a qualidade de vida da população. A crescente urbanização impõe a necessidade de uma abordagem integrada que considere tanto os aspectos sociais quanto ambientais na gestão das cidades, buscando soluções sustentáveis e equitativas para enfrentar os problemas urbanos contemporâneos.

Carmo e Silva (2009) destacam que as áreas urbanas, devido à forma como são ocupadas, passam por mudanças drásticas na paisagem, como a impermeabilização do solo, a alteração do curso dos rios, a retirada da vegetação e o adensamento em áreas com declive

acentuado e construções precárias. Essas mudanças podem provocar eventos ou desastres que causam sérios danos ao meio ambiente e a população.

Por fim, Maricato (2001) analisa que o rápido crescimento das cidades brasileiras facilita a ocupação urbana irregular. Isso frequentemente leva à ocupação de áreas inadequadas, como encostas e planícies fluviais, aumentando os riscos de desastres naturais, como deslizamentos e inundações. Essa ocupação desordenada pode gerar problemas socioambientais tanto para a população quanto para o ambiente urbano.

Sendo assim, nas diversas perspectivas apresentadas destacam uma preocupante realidade: a rápida e desordenada urbanização no Brasil ao longo do século XX e início do século XXI trouxe consigo uma série de desafios complexos e interligados. A falta de um planejamento urbano adequado, aliada à ocupação desregrada de áreas vulneráveis, como encostas, margens de rios e várzeas, resultou em consequências negativas para a população e o meio ambiente.

Diversas pesquisas mostram que as áreas próximas aos rios foram as primeiras a serem urbanizadas. Segundo Carneiro e Miguez (2011), é comum que áreas planas próximas aos rios sejam ocupadas primeiro, por oferecerem facilidade para construção e acesso. No entanto, esse padrão de ocupação pode tornar essas áreas mais suscetíveis a inundações e outros riscos relacionados a eventos hidrológicos extremos.

Nos estudos de Souza (1996), os problemas relacionados às inundações e o nível de risco associado a esses eventos estão diretamente ligados ao grau de ocupação das áreas próximas aos canais e à frequência com que as inundações ocorrem, ou seja, ao seu tempo de retorno. A ocupação desordenada e a repetição frequente de inundações podem agravar os impactos desses eventos, reforçando a importância de medidas de planejamento e gestão adequadas para reduzir os riscos e minimizar os danos causados pelas cheias urbanas.

Assim, Santos (2012) aponta que, os problemas decorrentes das inundações são influenciados por diferentes fatores, sendo que no caso das inundações ribeirinhas, o grau de ocupação das áreas marginais aos rios desempenha um papel importante. Já nas inundações urbanas, a impermeabilização do solo e a canalização da rede de drenagem são fatores relevantes que podem agravar o impacto desses eventos. Portanto, a abordagem para lidar com as inundações deve levar em consideração esses aspectos específicos, a fim de desenvolver estratégias eficazes de gestão de riscos e de planejamento urbano sustentável.

As análises e perspectivas apresentadas convergem para a compreensão de que a ocupação desordenada e inadequada das áreas urbanas próximas a rios e canais desempenha um papel crítico no agravamento dos riscos e impactos das inundações. O padrão de ocupação

nessas zonas de fácil acesso e construção muitas vezes coloca populações e infraestruturas em perigo diante de eventos hidrológicos extremos, ampliando a suscetibilidade das cidades a essas catástrofes.

Nesse contexto, é fundamental adotar medidas que visem a redução da ocupação inadequada das Áreas de Preservação Permanente (APP) dos rios que cortam as cidades. Conforme destaca Tucci (2003), a ocupação imprópria das áreas urbanas pode ser evitada por meio de um planejamento adequado do uso do solo, especialmente nas várzeas. Para alcançar esse objetivo, é crucial que os municípios integrem essa questão no Plano Diretor Urbano (PDU), assegurando um ordenamento territorial que leve em conta os riscos de inundações e promova um desenvolvimento urbano sustentável. Assim, o planejamento urbano emerge como uma ferramenta indispensável para mitigar os impactos das inundações, proteger a população e preservar o meio ambiente, promovendo a convivência harmônica entre as áreas urbanas e os recursos naturais.

O mesmo pesquisador destaca que esse processo de enfrentamento das inundações urbanas requer a implementação de diversas ações preventivas de planejamento urbano e ambiental. O objetivo dessas medidas é reduzir os impactos decorrentes das inundações e buscar um desenvolvimento sustentável. Portanto, é fundamental adotar uma abordagem integrada e sustentável que envolva diferentes setores e atores para lidar efetivamente com esse desafio complexo.

Nas considerações de Espíndola (2020), é fundamental que as áreas propensas a inundações e alagamentos sejam devidamente identificadas e mapeadas nos planos municipais, com destaque para o PDU. Nesse contexto, o autor ressalta que as cidades devem adotar uma política de planejamento abrangente, visando evitar que esses espaços se tornem ocupações desordenadas e suscetíveis aos riscos inerentes a esses eventos climáticos.

Assim, Koffler (1993) aponta que os processos de erosão acelerada, as inundações cada vez mais frequentes e o assoreamento de cursos d'água e reservatórios são resultados diretos do uso indevido das terras. Esses impactos ambientais são agravados pela falta de um planejamento adequado do uso do solo, que pode ser mitigado por meio de um planejamento territorial sustentável. O manejo adequado das terras e o planejamento urbano criterioso são fundamentais para reduzir os efeitos negativos desses processos naturais e humanos no meio ambiente. A consideração das questões ambientais no planejamento territorial e a adoção de práticas de conservação do solo podem contribuir significativamente para minimizar os impactos negativos desses fenômenos e promover a sustentabilidade do ambiente urbano e rural.

Essas reflexões ressaltam um ponto crucial: o planejamento urbano eficaz é uma ferramenta indispensável para enfrentar os desafios complexos decorrentes das inundações e outros eventos climáticos extremos. O uso inadequado das áreas urbanas, seja pela ocupação desordenada de regiões propensas a inundações ou pela falta de consideração ambiental no desenvolvimento territorial, é uma raiz fundamental desses problemas.

Essa problemática causa prejuízos significativos ao poder público e a população de forma geral, conforme apontadas nas pesquisas abaixo. Nesse sentido, Guerra (2011) destaca que as cidades brasileiras enfrentam um dos maiores problemas atualmente, que é a ocorrência de inundações ou enchentes. Esses eventos têm resultado em significativos prejuízos econômicos e até mesmo em perdas de vidas humanas.

Nessa mesma perspectiva, Santos (2012) aponta que nas notícias divulgadas em jornais de diversas cidades sobre inundações, são descritas várias consequências, incluindo transtornos no trânsito, como a interdição de pontes, desvios de tráfego e engarrafamentos. Além disso, os prejuízos materiais são relatados, tais como a destruição de móveis, alimentos e eletrodomésticos em casas inundadas ou alagadas, bem como danos em veículos cujos motoristas arriscaram a travessia em áreas inundadas. Essas notícias destacam os impactos negativos das inundações e a importância de medidas preventivas e de gestão para minimizar tais danos à população e à infraestrutura urbana.

Assim, as informações de Jha, Bloch e Lamond (2012) vão de encontro nas mesmas análises apresentadas, em 2010 um impressionante número de 178 milhões de pessoas foram impactadas pelas inundações. Além disso, em anos particularmente excepcionais, como 1988 e 2010, as perdas econômicas totais ultrapassaram a marca de 40 bilhões de dólares. Esses dados destacam a magnitude dos efeitos devastadores das inundações em termos de danos humanos e econômicos.

As análises apresentadas pelos pesquisadores destacam de maneira inequívoca os prejuízos significativos causados pelas inundações às cidades e a sociedade como um todo. A ocorrência desses eventos climáticos extremos resulta em consequências graves que afetam tanto a economia quanto a qualidade de vida das pessoas. outro fator responsável pelo agravamento de inundações é o excesso de impermeabilização do solo urbano.

2.6 IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO

A impermeabilização do solo urbano influencia diretamente ocorrência de inundação, logo, é importante entender diversos estudos sobre essa temática para que possamos compreender o cenário foco da pesquisa.

Conforme Mendonça e Santos (2000), quando há uma ocupação "desordenada" das áreas próximas às margens de um rio, ocorre a modificação do processo de infiltração de água no solo, o que leva à impermeabilização do solo em áreas da bacia hidrográfica. Esse cenário resulta no aumento do escoamento da água pela superfície, elevando as vazões acima da capacidade da rede de drenagem e desencadeando as inundações durante o período de chuvas. Esse processo ressalta a importância do planejamento urbano adequado e da gestão integrada de bacias hidrográficas para mitigar os impactos das inundações em áreas urbanas.

Os estudos de Tucci e Clarke (1998) destacam que a impermeabilização do solo nas áreas urbanas tem diversos impactos significativos no ciclo hidrológico das bacias hidrográficas. A principal consequência desse processo é o aumento do escoamento superficial, o que intensifica problemas como enchentes, redução da evapotranspiração e do escoamento subterrâneo, além de contribuir para o aumento da produção de sedimentos e materiais sólidos. Isso também resulta na degradação da qualidade da água dos rios e na contaminação dos aquíferos. Essas alterações nos sistemas hidrológicos urbanos decorrem principalmente das intervenções de engenharia realizadas durante a urbanização, que cobriram extensas áreas de drenagem natural com construções, pavimentação, ruas, calçadas, aterros e a canalização de cursos d'água, entre outras obras urbanas.

Fritzen e Binda (2011) também retratam o mesmo cenário, no ambiente urbano, a impermeabilização do terreno afeta o ciclo hidrológico ao influenciar as etapas de escoamento superficial e infiltração. A pavimentação asfáltica e a construção de obras de drenagem e saneamento são os principais fatores modificadores que podem potencializar o aumento do escoamento superficial e impedir a infiltração de água no solo, contribuindo assim para ocorrência de inundações.

Nas análises de Leite *et al.* (2011), as impermeabilizações nas bacias hidrográficas decorrem da remoção da cobertura vegetal, resultando em um uso inadequado e ocupação do solo, principalmente devido à falta de consideração das particularidades das bacias, como suas características pedológicas, climáticas, geográficas, geológicas e ecológicas, nas etapas de urbanização.

No entendimento de Genz e Tucci (1995), a ocupação desordenada das áreas urbanas, sem um adequado planejamento, resulta em impactos significativos nos processos hidrológicos. Esse tipo de ocupação gera um aumento nas superfícies impermeáveis nas bacias hidrográficas no perímetro urbano ou nas zonas de crescimento das cidades. A impermeabilização do solo decorrente dessa ocupação desordenada reduz a capacidade natural de absorção e infiltração da água, aumentando o escoamento superficial e o risco de ocorrência de inundações em períodos de chuvas intensas.

Waydzik (2015) destaca que a urbanização resulta em um aumento considerável nos níveis de escoamento superficial em uma bacia hidrográfica. Segundo seus estudos, a cada habitante em uma bacia, contribui-se, em média, com cerca de 49 m² de área impermeável, composta por elementos urbanos como estradas, calçadas e edificações. Esse processo de impermeabilização do solo tem um impacto direto no aumento do escoamento de cheia e no volume de escoamento superficial. Estima-se que, para cada 10% de aumento na área impermeável, ocorra um aumento de aproximadamente 100% no escoamento de cheia. Assim, a expansão urbana tem um papel substancial no agravamento dos problemas de inundação em bacias hidrográficas urbanizadas, conforme evidenciado por diversos estudos na área.

Conforme os resultados de Tucci (1999), as inundações decorrentes da urbanização ocorrem principalmente devido à impermeabilização das pequenas e médias bacias hidrográficas urbanas. A urbanização implica na remoção da cobertura vegetal original e na substituição por estruturas impermeáveis, resultando na diminuição da infiltração de água no solo (impermeabilização) e na redução da evapotranspiração. Isso leva ao aumento do escoamento superficial, o que resulta em uma maior vazão de cheia nos rios urbanos. Essa modificação no ciclo hidrológico é um dos principais fatores que contribuem para o aumento do risco de inundações nas áreas urbanas.

Diante do exposto, nas diversas abordagens apresentadas convergem para uma conclusão fundamental: a impermeabilização do solo decorrente da ocupação desordenada e intensiva nas áreas urbanas desencadeia uma série de impactos negativos no ciclo hidrológico das bacias hidrográficas. A substituição da cobertura vegetal por elementos impermeáveis, como edificações, estradas e pavimentações, resulta na diminuição da infiltração de água no solo e na elevação do escoamento superficial. Esse fenômeno culmina no aumento das vazões durante as chuvas, sobrecarregando as redes de drenagem e resultando em inundações recorrentes.

Diversos estudos (Tucci, 1999; Botelho e Silva, 2010; Guerra, 2011; Santos, 2012; Waydzik, 2015) destacam a importância do planejamento urbano adequado, da gestão integrada

das bacias hidrográficas e da consideração das características locais no processo de urbanização. O aumento do escoamento superficial e o agravamento dos problemas de inundação estão diretamente relacionados ao crescimento urbano desordenado. A cada nova área impermeabilizada, o problema se intensifica, evidenciando a necessidade de adotar práticas urbanísticas mais sustentáveis e integradas no planejamento das cidades.

Esse problema é comum em praticamente todas as cidades, tanto no Brasil quanto no resto do mundo. De acordo com estudos de Chin (2006) e Cunha (2012), as áreas urbanas são amplamente cobertas por superfícies impermeáveis, como telhados, concreto e asfalto. Durante eventos de precipitação intensa e de curta duração, essa impermeabilização acelera o escoamento superficial, o que aumenta a vazão máxima e reduz o tempo de pico das águas pluviais.

Segundo Gonçalves e Guerra (2009), o espaço urbano é resultado de grandes transformações e uso inadequado da terra ao longo dos anos. O rápido crescimento populacional, aliado à ação humana, tem levado à degradação dos fatores naturais do ambiente urbano. Essas intervenções humanas podem piorar os impactos negativos no meio ambiente, como a impermeabilização do solo, o desmatamento, a degradação dos recursos hídricos e o aumento da suscetibilidade a eventos extremos, como inundações e deslizamentos de terra.

Segundo Botelho e Silva (2010), a urbanização resulta em dois problemas principais: a obstrução da infiltração e o aumento do escoamento superficial. A pavimentação do solo impede a infiltração adequada da água da precipitação, fazendo com que ela esco superficialmente, acompanhando o gradiente de declividade. Esses fatores são típicos do ambiente urbano, onde a impermeabilização do solo e as alterações nas superfícies naturais têm impactos significativos no ciclo hidrológico local.

Felippe e Magalhães Júnior (2009) destacam que, além da impermeabilização do solo, a redução da infiltração de água causada pelo processo de urbanização pode ser atribuída a dois fatores principais: a compactação do solo e a remoção da cobertura vegetal natural. Essas intervenções humanas diminuem a capacidade do solo de absorver e infiltrar a água da chuva, agravando os problemas de escoamento superficial e elevando os riscos de enchentes e inundações em áreas urbanas.

Como ressaltado por diversos estudiosos, incluindo Booth (1991), Tucci (2005) e Botelho e Silva (2010), a impermeabilização do solo nas áreas urbanas aumenta o escoamento da água da chuva para os canais fluviais, que frequentemente são canalizados e retificados nas cidades. Esse fenômeno ocorre porque a água da chuva não é absorvida ou infiltrada pelo solo. Como consequência, as inundações são mais propensas, já que os picos de vazão são atingidos

rapidamente, mesmo com menores volumes de precipitação. Esse excesso de água sobrecarrega o sistema de drenagem urbana, podendo resultar em eventos extremos de inundação durante chuvas intensas.

Em estudo realizado por Tucci (2003), é destacado que o aumento da população e a impermeabilização do solo, resultante das construções urbanas, aceleram o escoamento da água por condutos e canais. Com isso, a quantidade de água que chega simultaneamente ao sistema de drenagem também se eleva. Essa alteração no escoamento superficial leva a um aumento na frequência das inundações, em comparação aos períodos em que a superfície era mais permeável e o escoamento era naturalmente direcionado pelos rios e cursos d'água. A urbanização desordenada e a ausência de planejamento adequado agravam os impactos das inundações, o que torna essencial a adoção de medidas de controle e gestão para reduzir os riscos e prejuízos causados pelas cheias.

As pesquisas de Hall (1984), Brandão (1992), e Pauleit e Duhme (2000) abordam os impactos negativos das atividades humanas no meio ambiente, destacando a relação entre o processo de urbanização, o aumento da impermeabilização do solo nas bacias hidrográficas e a ocupação inadequada das margens de rios e encostas. Essas intervenções no ambiente contribuem para o aumento e a antecipação do pico de vazão nos rios, resultando, em alguns casos, em inundações. Além disso, essas práticas dificultam a preservação dos ecossistemas naturais, podendo provocar modificações climáticas, alterar a distribuição e disponibilidade dos recursos hídricos e intensificar a poluição, entre outros impactos ambientais.

Conforme apontado por Botelho e Silva (2010), a hidrologia da área urbana apresenta diversas peculiaridades em comparação com as áreas rurais e florestadas. Essas diferenças são atribuídas à intensidade da ocupação humana e aos níveis significativos de alteração no ambiente urbano. A presença de infraestruturas, pavimentação, construções e sistemas de drenagem influenciam diretamente os padrões hidrológicos urbanos, tornando-os distintos dos ambientes naturais.

As diversas pesquisas e estudos (Tucci, 2003; Botelho e Silva, 2010; Felipe e Magalhães Júnior, 2009) sobre o impacto da urbanização nos processos hidrológicos revelam de forma clara a influência direta da expansão desordenada das cidades nas mudanças nos ciclos hidrológicos urbanos. O crescimento populacional e as intervenções humanas resultam na predominância de superfícies impermeáveis, o que acelera o escoamento superficial, reduz a capacidade de infiltração do solo e aumenta a vazão das águas pluviais. Essa transformação do ambiente natural em ambiente urbano, além de interromper os ciclos hidrológicos naturais, promove a degradação ambiental. A impermeabilização do solo, associada à compactação do

solo e à remoção da vegetação, contribui para a diminuição da capacidade de absorção de água, intensificando o escoamento superficial e ampliando os riscos de inundações, especialmente em eventos climáticos extremos.

Além disso, a canalização e retificação dos corpos d'água nas áreas urbanas agravam ainda mais os problemas de inundação. A rápida condução das águas pluviais para esses canais limita a capacidade de absorção e retenção natural do solo, resultando em inundações que não apenas causam danos materiais, mas também comprometem a qualidade da água, a integridade dos ecossistemas e a saúde pública (Booth, 1991; Tucci, 2005; Brandão, 1992).

Seguindo nessa problemática algumas pesquisas apontam elementos importante para minimizar os efeitos negativos da impermeabilização do solo urbano. Kaufman e Silva (2005) destacam que a taxa de impermeabilização é um indicador valioso, pois reúne em um único parâmetro diversos elementos importantes para o controle e limitação da expansão urbana, com foco na busca pela sustentabilidade. Entre esses elementos, encontram-se a densidade populacional e de habitações, a disponibilidade de áreas verdes, a existência de infraestrutura urbana e a qualidade da água e do ar.

Tominaga (2009) destaca que a presença de vegetação desempenha um papel crucial na retenção de água no solo e na redução da velocidade do escoamento superficial, o que ajuda a minimizar as taxas de erosão.

Conforme Kaufman e Silva (2005) e Tominaga (2009), torna-se evidente a importância fundamental de adotar uma abordagem holística e sustentável na gestão do ambiente urbano. A taxa de impermeabilização emerge como um indicador abrangente, capaz de encapsular diversos fatores interconectados que afetam diretamente a qualidade de vida nas cidades.

A consideração da densidade populacional, infraestrutura urbana, áreas verdes e qualidade ambiental ao calcular a taxa de impermeabilização destaca a necessidade de equilibrar o crescimento urbano com a preservação dos recursos naturais. Isso proporciona uma base sólida para planejamento urbano mais consciente, que busca harmonizar o desenvolvimento com a capacidade do meio ambiente de absorver e gerenciar os fluxos de água.

Além disso, Tominaga (2009) destaca a importância da vegetação na retenção de água e na redução do escoamento superficial, evidenciando a relevância das soluções baseadas na natureza. A presença de vegetação não apenas desacelera o fluxo de água, minimizando erosões, enchentes e inundações, mas também melhora a qualidade do ar, favorece a biodiversidade e contribui para a criação de ambientes urbanos mais saudáveis e resilientes.

2.7 SUSCETIBILIDADE E RISCOS AMBIENTAIS

A suscetibilidade é entendida como a predisposição de um ambiente a sofrer determinados fenômenos naturais, influenciada por suas características intrínsecas. Conforme apontado por Girão *et al.* (2018), essa propensão ocorre de forma independente dos fatores sociais, embora a ação humana possa acelerar ou retardar os processos, alterando a dinâmica natural. A suscetibilidade é específica para cada fenômeno, como no caso das planícies de inundação, que apresentam maior vulnerabilidade a inundações. Lima e Amorim (2023) destacam que a suscetibilidade está associada à fragilidade de um ambiente, tornando-o predisposto a determinados eventos. Saito (2004) enfatiza que a suscetibilidade é uma característica inerente ao meio, evidenciando a vulnerabilidade ambiental diante desses processos. Dessa forma, áreas com elevada suscetibilidade a inundações, em função de sua topografia ou outras características, apresentam maior propensão a esse tipo de evento.

Segundo Dagnino e Carpi Junior (2007), o conceito de risco possui ampla aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento, sendo frequentemente associado a termos como potencial, suscetibilidade, vulnerabilidade, sensibilidade ou danos potenciais. Lima e Silva *et al.* (1999) complementam essa compreensão ao destacar a relação do risco ambiental com acidentes, definidos como eventos inesperados no ambiente. Nesse contexto, o conceito de risco torna-se fundamental para os estudos de suscetibilidade de inundação, pois abrange tanto a possibilidade de ocorrência desses eventos quanto os fatores que contribuem para sua materialização, oferecendo uma base sólida para análises e estratégias de gestão ambiental.

De acordo com Dagnino e Carpi Junior (2007), o risco é uma condição presente em situações ou áreas onde há probabilidade, suscetibilidade, vulnerabilidade, acaso ou azar de ocorrer algum tipo de ameaça, perigo, problema, impacto ou desastre. Amaro (2005) complementa essa definição ao afirmar que o risco é uma função da natureza do perigo, da acessibilidade ou via de contato (potencial de exposição), das características da população exposta (receptores), da probabilidade de ocorrência e da magnitude das consequências.

Diante disso, a importância do conceito de risco torna-se evidente para os estudos de suscetibilidade de inundação em uma bacia hidrográfica, como no caso específico deste estudo. A compreensão do risco permite uma análise abrangente dos fatores que contribuem para a ocorrência de inundações, incluindo a identificação das áreas com maior probabilidade de serem afetadas, as características da população exposta e a avaliação das consequências potenciais. Essa abordagem integrada possibilita o desenvolvimento de medidas preventivas e

de mitigação mais eficazes, com o objetivo de reduzir os impactos das inundações e promover uma gestão sustentável dos recursos hídricos na bacia hidrográfica.

O pesquisador Rebelo (2003) introduz o conceito de "Bacia de Riscos", ressaltando a interconexão e a convergência de diferentes tipos de riscos em uma determinada localidade ou região. De acordo com o autor, quando ocorre a convergência de dois ou mais riscos, os quais podem se manifestar simultaneamente, resultando em crises complexas, essa área ou região passa a ser caracterizada como uma bacia de riscos.

Essa abordagem é fundamental para os estudos de suscetibilidade de inundação, pois evidencia a interação entre riscos de origem natural, tecnológica e social. A combinação de eventos de forte precipitação (risco natural), a ocupação inadequada de áreas de várzea (risco social) e intervenções impróprias no curso d'água (risco tecnológico) pode culminar em áreas suscetíveis a inundações recorrentes.

A compreensão da formação de uma bacia de riscos e dos fatores que contribuem para essa dinâmica permite o aprimoramento dos estudos de suscetibilidade de inundação, possibilitando uma avaliação mais abrangente dos potenciais impactos associados a esses eventos. Além disso, essa compreensão favorece a implementação de medidas preventivas e de mitigação mais eficazes. Tal perspectiva integrada é essencial para uma gestão mais sustentável e resiliente das áreas suscetíveis às inundações. Diante disso, no próximo capítulo serão discutidos esses problemas na cidade de Catalão-GO.

3 O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DE CATALÃO E SEUS IMPACTOS NAS INUNDAÇÕES

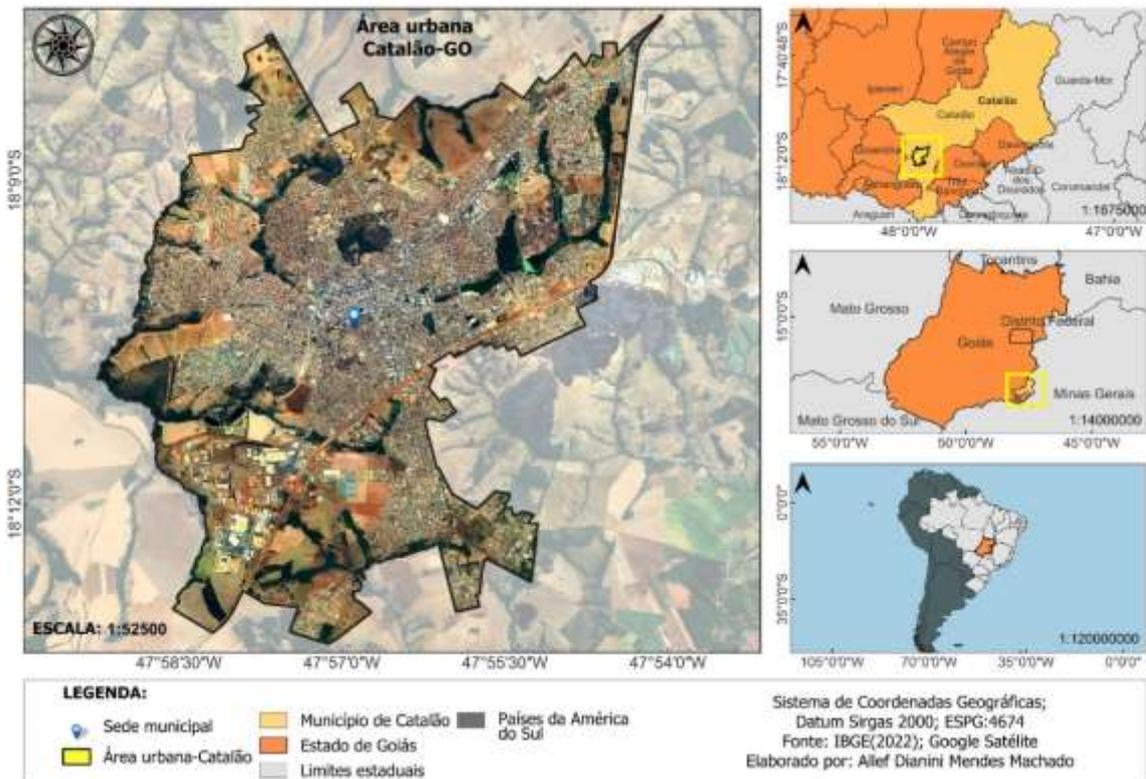
No capítulo dois, são discutidas, a nível local, as consequências dos conceitos apresentados anteriormente em relação às cidades. Para compreender a dinâmica da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, foco deste estudo, é essencial analisar o processo de urbanização de Catalão e seus impactos nas inundações. O capítulo é estruturado em três seções interligadas: a primeira faz a caracterização da cidade; a segunda examina o processo de urbanização de Catalão; e a terceira analisa os efeitos dessa urbanização.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DE CATALÃO-GO

Catalão é uma cidade localizada no estado de Goiás, Brasil. A cidade tem uma população de aproximadamente 114.427 habitantes, de acordo com dados de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que em relação ao censo de 2010, houve um aumento de 27.780 habitantes, a cidade está situada a cerca de 290 quilômetros da capital do estado, Goiânia.

De acordo Mendes (2016), o município de Catalão está localizado na porção Sudeste do estado de Goiás, situando-se entre os paralelos de 17° 27' 20" e 18° 30' de latitude Sul, bem como entre os meridianos de 48° 10' 20" e 47° 17' de longitude Oeste. A área total do município é de aproximadamente 3.821,463 Km². Catalão faz divisa com o estado de Minas Gerais, especificamente nas regiões do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro, conforme dados do IBGE de 2022. É relevante destacar que o mesmo é o principal município da microrregião que abrange dez outros municípios em sua constituição: Ipameri, Ouvidor, Três Ranchos, Davinópolis, Goiandira, Cumari, Nova Aurora, Ananguera e Corumbaíba, conforme ilustrado na figura 05.

Figura 05 – Área Urbana de Catalão-GO



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Reis e Junior (2022) destacam que o clima de Catalão é predominantemente tropical, com duas estações bem definidas: uma seca, que vai de maio a setembro, e uma chuvosa, que ocorre de outubro a abril. Isso é corroborado pela pesquisa de Rodrigues (2021), que aponta que o clima da cidade é influenciado por sua localização geográfica e pela faixa de latitude em que se encontra. De acordo com a classificação de Köppen, Catalão apresenta um clima tropical (Aw). As temperaturas na região são amenas, variando entre 15 °C e 31 °C, raramente caindo abaixo de 12 °C ou ultrapassando 35 °C.

Mendes (2016) destaca que o perímetro urbano de Catalão é composto por três elementos morfológicos principais. O primeiro consiste nas formações residuais, entre elas o Morro São João (também conhecido como Morro da Saudade), que é o ponto mais alto da cidade, o Morro das Três Cruzes e o Morro Santo Antônio, que apresenta uma altitude inferior. Além dessas formações, a área é marcada por pequenos vales e baixadas, que são atravessados por córregos. Por fim, na região nordeste do centro urbano, há áreas planas elevadas, com uma altitude aproximada de 900 metros. No lado sudeste da cidade, localiza-se um vale mais amplo. Esses elementos morfológicos contribuem para a diversidade do terreno e da paisagem no entorno de Catalão.

Um dado importante para esta pesquisa é a compreensão da hidrografia da área urbana de Catalão. Nesse contexto, destaca-se a presença de importantes corpos hídricos, como o Ribeirão Pirapitinga. Entre seus afluentes, o córrego do Almoço teve um papel crucial no início da expansão da cidade. Além disso, os Ribeirões Samambaia e Pari são essenciais para o abastecimento público de água, especialmente na região Centro-Norte da cidade, onde a expansão urbana tem avançado sobre essas fontes hídricas (Ribeiro e Chaves, 2011; Tomé, 2017; Silva e Rosa, 2019).

Conforme observado por Mendes (2016), a hidrografia do perímetro urbano de Catalão é composta por um canal principal, o Ribeirão Pirapitinga, e seus afluentes, como os córregos Paquetá, Pasto do Pedrinho, Açude e Almoço, que atualmente atravessam áreas urbanizadas. Além disso, na porção sudeste do perímetro urbano, localiza-se o córrego Santo Antônio, que integra a bacia do Ribeirão Ouvidor.

De acordo com Mendes (2016), a bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga desempenha um papel crucial na drenagem das águas pluviais da área urbana de Catalão. Essa bacia apresenta uma variação altimétrica significativa, que vai de 788 metros no fundo do vale até 950 metros no alto curso, próximo ao Morro São João. É importante destacar que, devido ao processo de urbanização, as vertentes e as áreas de várzea ao longo do leito do Pirapitinga tornaram-se parcialmente impermeabilizadas em função da expansão urbana nessas regiões. Além disso, muitos dos setores censitários consolidados estão localizados nessas áreas, onde reside uma parte significativa da população de Catalão.

Diante disso, Mendes (2016) destaca a complexa relação entre urbanização, uso do solo e drenagem de águas pluviais em Catalão, a qual influencia diretamente a problemática central deste estudo. A urbanização e impermeabilização das áreas próximas ao ribeirão Pirapitinga podem ter implicações significativas na gestão das águas pluviais e na resiliência urbana, especialmente no que se refere a eventos climáticos extremos e inundações.

3.2 COMO OCORREU A URBANIZAÇÃO DE CATALÃO

De acordo com Pedrosa *et al.* (2005), o crescimento econômico de Catalão foi impulsionado por uma série de fatores, incluindo a chegada da estrada de ferro no início do século XX, a construção de Goiânia em 1937 e de Brasília em 1960, a implementação da rodovia BR/050 conectando a cidade a Brasília e aos grandes centros de São Paulo e Minas Gerais, a GO/330 que a conecta a Goiânia, a exploração de minérios a partir da década de 1970, a modernização da agricultura a partir da década de 1980 e a instalação de montadoras de

automóveis e máquinas agrícolas nos últimos anos. Diante disso, com essas combinações de fatores históricos e desenvolvimentos econômicos, convergiu para tornar Catalão um centro econômico significativo na região do Sudeste Goiano.

A rápida urbanização da cidade começou com um fato importante: as regiões de Catalão e Ouvidor possuem características geológicas que levaram à formação de depósitos minerais de grande valor econômico, conforme apontado por Rodrigues (2021). Essa particularidade atraiu investimentos estrangeiros e a instalação de mineradoras na área. Como resultado, houve migração de trabalhadores em busca de emprego, o que contribuiu diretamente para o aumento da urbanização na região.

Além disso, essa transformação impulsionou o desenvolvimento de Catalão como um polo educacional e tecnológico, com a presença de instituições como a Universidade Federal de Catalão (UFCAT), o Instituto Federal Goiano (IFG), o Centro Universitário UNA, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), o Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (SENAC), além dos Colégios Tecnológicos (Cotecs) do Governo de Goiás e outras faculdades em modalidade de ensino a distância (EAD). A oferta de cursos e treinamentos nessas instituições, juntamente com as unidades do SENAI e SENAC no município, foi direcionada para suprir a crescente demanda por mão de obra qualificada, necessária para atender às mineradoras, indústrias e comércios resultantes desse desenvolvimento econômico.

Mendes (2016) destaca a importância do processo histórico de urbanização na evolução da malha urbana de Catalão. Ele ressalta que as características atuais das áreas consolidadas no centro da cidade estão diretamente relacionadas à concentração populacional que ocorreu devido à construção da estrada de ferro. Assim, para uma análise abrangente dos riscos ambientais na região, é fundamental considerar não apenas os aspectos geofísicos, mas também a análise da ocupação humana e da economia do município ao longo de seu desenvolvimento histórico-geográfico.

Mendes (2016), somando-se ao processo de urbanização, o início da atividade da indústria mineradora, envolvendo a exploração de rochas fosfatadas e nióbio, teve um impacto significativo no desenvolvimento de Catalão. Essas novas atividades econômicas impulsionaram uma notável evolução econômica na região, consolidando Catalão como um centro regional em ascensão. Assim, essa diversificação econômica, incluindo a indústria mineradora, desempenhou um papel fundamental na transformação socioeconômica da cidade.

De acordo com Pedrosa *et al.* (2005), o crescimento desordenado e sem planejamento gerou sérios problemas ambientais e sociais, uma vez que qualquer alteração no meio ambiente teve um impacto profundo na qualidade de vida da população. O maior aumento no espaço

urbano da cidade ocorreu durante a década de 1970, com a exploração de áreas minerais no município e a subsequente instalação das primeiras indústrias mineradoras. Isso levou a uma mudança demográfica significativa, conforme indicado por dados do IBGE, com um aumento na população urbana em detrimento da população rural à medida que as atividades comerciais e industriais se estabeleceram na região.

Rodrigues (2021) também aponta que o rápido aumento da taxa de urbanização, impulsionado pela demanda das mineradoras, da indústria automobilística e do comércio, resultou em um crescimento urbano desordenado, sem o devido planejamento. Esse processo levou à expansão das áreas urbanizadas, o que resultou na construção de áreas impermeabilizadas e na redução das áreas verdes na cidade.

As mudanças significativas no ambiente urbano resultaram em diversos impactos ambientais adversos, como a poluição de mananciais, a supressão de áreas de vegetação nativa, erosão do solo, assoreamento dos rios, a poluição do ar, além de enchentes e inundações. Esses problemas refletem a ausência de um planejamento e gestão adequados no crescimento urbano, destacando a importância de se considerar o meio ambiente de forma cuidadosa em processos de desenvolvimento urbano.

Mendes (2016) e Rodrigues (2021) ressaltam uma preocupação importante em relação ao desenvolvimento urbano de Catalão. O rápido crescimento da cidade, impulsionado pelas demandas das mineradoras, da indústria automobilística e do comércio, gerou uma série de desafios ambientais significativos.

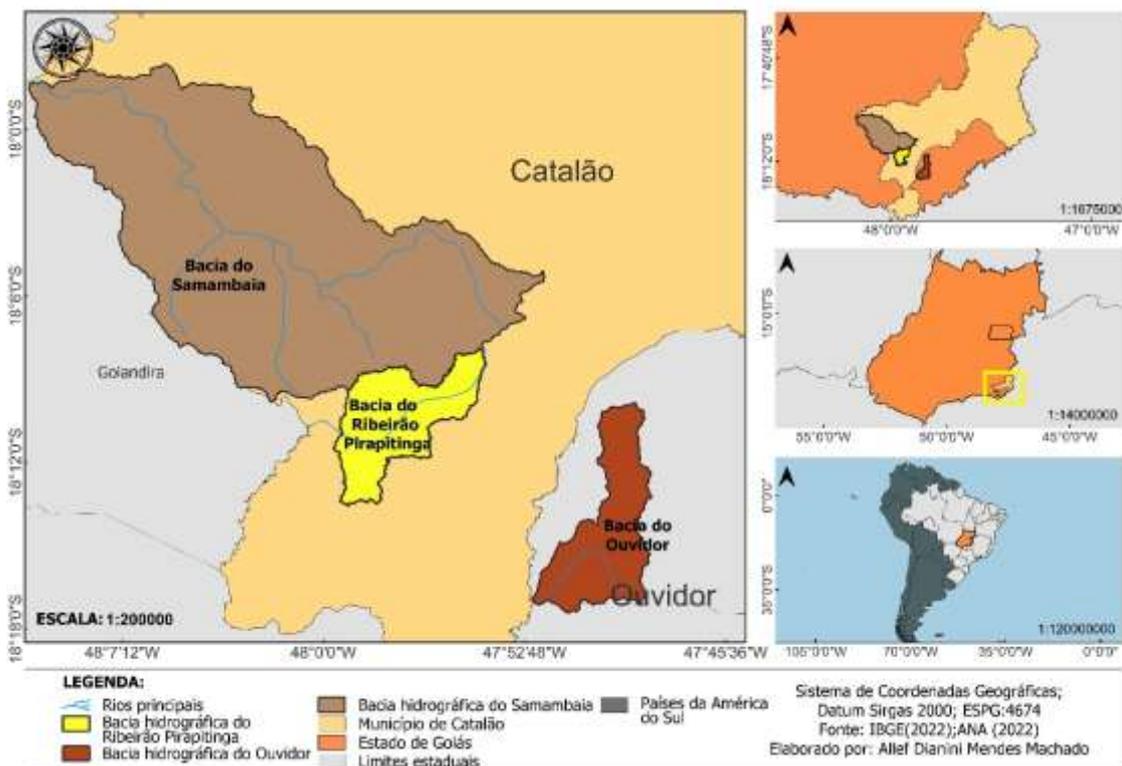
O processo de crescimento industrial em Catalão impactou diretamente a dinâmica populacional e o espaço urbano, conforme apontado por Silva (2015). A atração de trabalhadores imigrantes, resultando em um aumento significativo da população urbana durante as décadas de 1970 e 1980, com um crescimento de aproximadamente 129,83%, de acordo com Mendonça (2004). Simultaneamente, registrou-se uma diminuição de cerca de 22,74% na população rural, devido à saída de produtores rurais em busca de oportunidades de emprego nas mineradoras. O crescimento populacional demandou a criação de novos loteamentos. De acordo com Silva (2015), a instalação de mineradoras impulsionou um expressivo aumento da população urbana, resultando na expansão da cidade durante as décadas de 1970 e 1980. Nesse período, surgiram novos bairros, como Vila Liberdade I e II, Bairro Margon I e II, e Vila Teotônio Vilela. Essa expansão urbana evidencia o impacto direto do crescimento industrial e populacional na organização e no desenvolvimento do espaço urbano da cidade. Lima (2003) apresenta dados importantes para entender o processo de urbanização de Catalão entre 1970 e 1990, período em que mais de 30 bairros surgiram na cidade. Alguns desses bairros foram

destinados principalmente a abrigar trabalhadores, enquanto outros atenderam às classes de maior poder aquisitivo. Essa expansão do tecido urbano reflete as diversas demandas habitacionais e o crescimento econômico da região.

Segundo Pedrosa *et al.* (2005), à medida que as cidades crescem, o ambiente adquire uma nova configuração, marcada por uma malha urbana distinta, um clima específico, um sistema de drenagem próprio e uma morfologia única em cada área. A intensidade dessas mudanças ambientais está diretamente relacionada à escala da transformação e à expansão da infraestrutura urbana. Assim, quanto maior a cidade, maior será o impacto nas mudanças tanto dentro dela quanto em seu entorno.

Pedrosa *et al.* (2005) também destacam a preocupação com a qualidade ambiental das bacias hidrográficas dos Ribeirões Samambaia, Ouvidor e Pirapitinga, cujas nascentes estão localizadas dentro do perímetro urbano de Catalão. Além dos recursos hídricos, a expansão urbana impacta todos os elementos naturais da região, gerando preocupações ambientais mais amplas. A figura 06 ilustra a localização dessas bacias.

Figura 06 – Localização das bacias hidrográficas



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Lima (2003), Pedrosa *et al.* (2005) e Silva (2015) descrevem o cenário da rápida expansão urbana em Catalão, destacando que o crescimento substancial da cidade nas últimas três décadas trouxe mudanças significativas no ambiente, como a impermeabilização do solo, a degradação do meio ambiente e alterações climáticas.

Rodrigues (2021) aponta que, a partir dos anos 2000, houve um significativo surgimento de loteamentos no espaço urbano de Catalão, resultando em um processo de espraiamento urbano. Durante esse período, novos bairros e condomínios foram criados para atender às demandas das classes média e alta. Ao mesmo tempo, os bairros periféricos passaram a ser ocupados por classes sociais mais baixas, muitas vezes com a expectativa de serem incluídos em programas de habitação de interesse social. Essa evolução no padrão de expansão urbana reflete a complexa dinâmica e as diferentes necessidades habitacionais da população de Catalão ao longo dos anos.

3.3 OS EFEITOS DESSA URBANIZAÇÃO

Segundo Ribeiro e Chaves (2011), Catalão apresentou um aumento em sua dimensão geográfica e em sua influência sobre as cidades vizinhas. Esse crescimento resultou no fortalecimento da cidade como um polo em diversas áreas, como educação, saúde e emprego, o que, por sua vez, atraiu um fluxo de novos residentes.

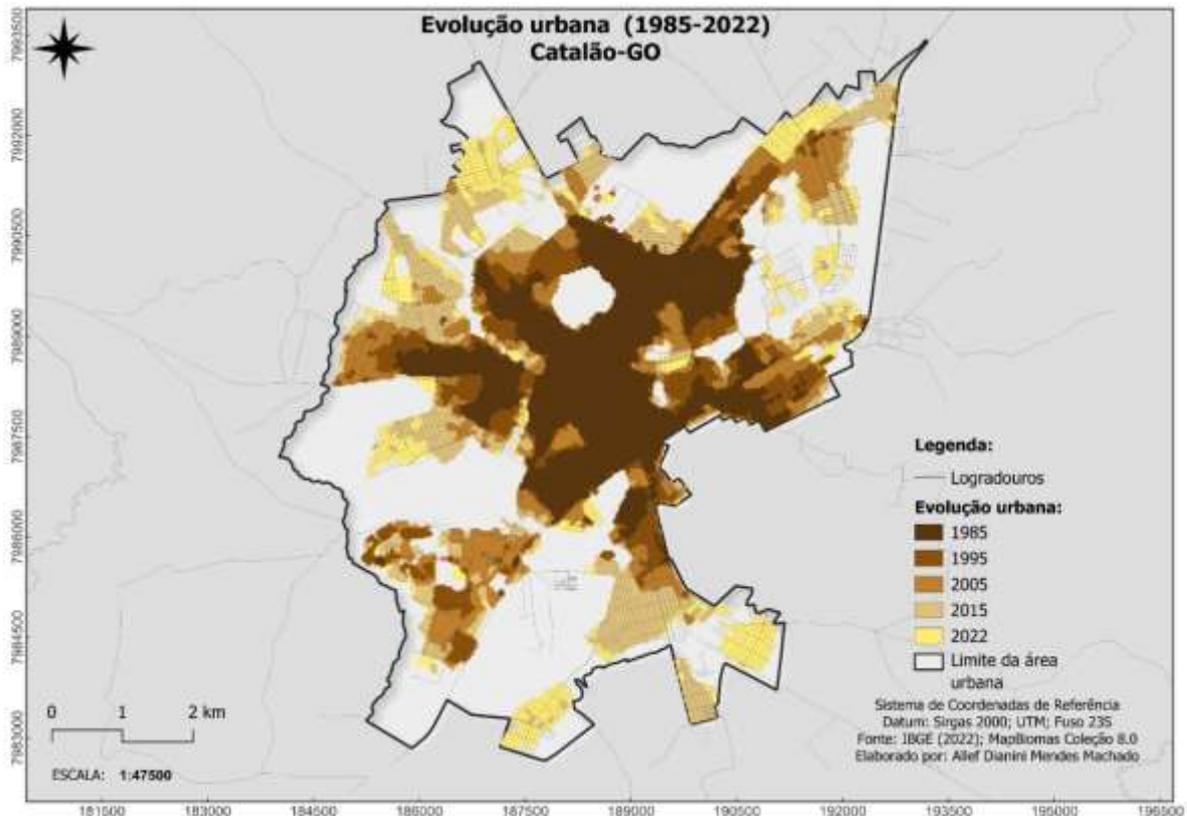
Diante dessa situação, Catalão teve que expandir seus limites territoriais e criar novos bairros para atender às crescentes demandas da população. Essa necessidade de expansão é destacada por Ribeiro e Chaves (2011), que citam o surgimento de diversos bairros, como Jardim Primavera II, Ipanema II, Mansões do Lago, Vila Margon, Dona Matilde, Condomínio dos Buritis, além de Estrela, Marconi, Sofia, Leblon, Alto da Boa Vista, Setor Aeroporto e Copacabana.

O rápido crescimento experimentado, juntamente com o processo de impermeabilização do solo e o desmatamento para a criação de novos bairros, trouxera consigo desafios significativos relacionados à infiltração de água nas áreas urbanas. É importante destacar que Catalão não se diferencia de outras localidades no que se refere à especulação imobiliária. Conseqüentemente, ao longo desse período de expansão da cidade, houve um notável e constante surgimento de loteamentos, com início nos anos 1970 e se estende até os dias atuais.

Esse processo de crescimento pode ser observado na figura 07, que mostra o impressionante crescimento de Catalão em um curto período (1985 a 2022), durante o qual diversos bairros surgiram. Essa expansão afetou todo o processo de drenagem urbana,

aumentando a quantidade de áreas impermeabilizadas, reduzindo significativamente o número de áreas verdes e resultando na destruição de inúmeros cursos d'água ao longo do tempo. Todos esses fatores, entre outros, contribuem para o cenário foco desta pesquisa, que é a suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, em Catalão-GO.

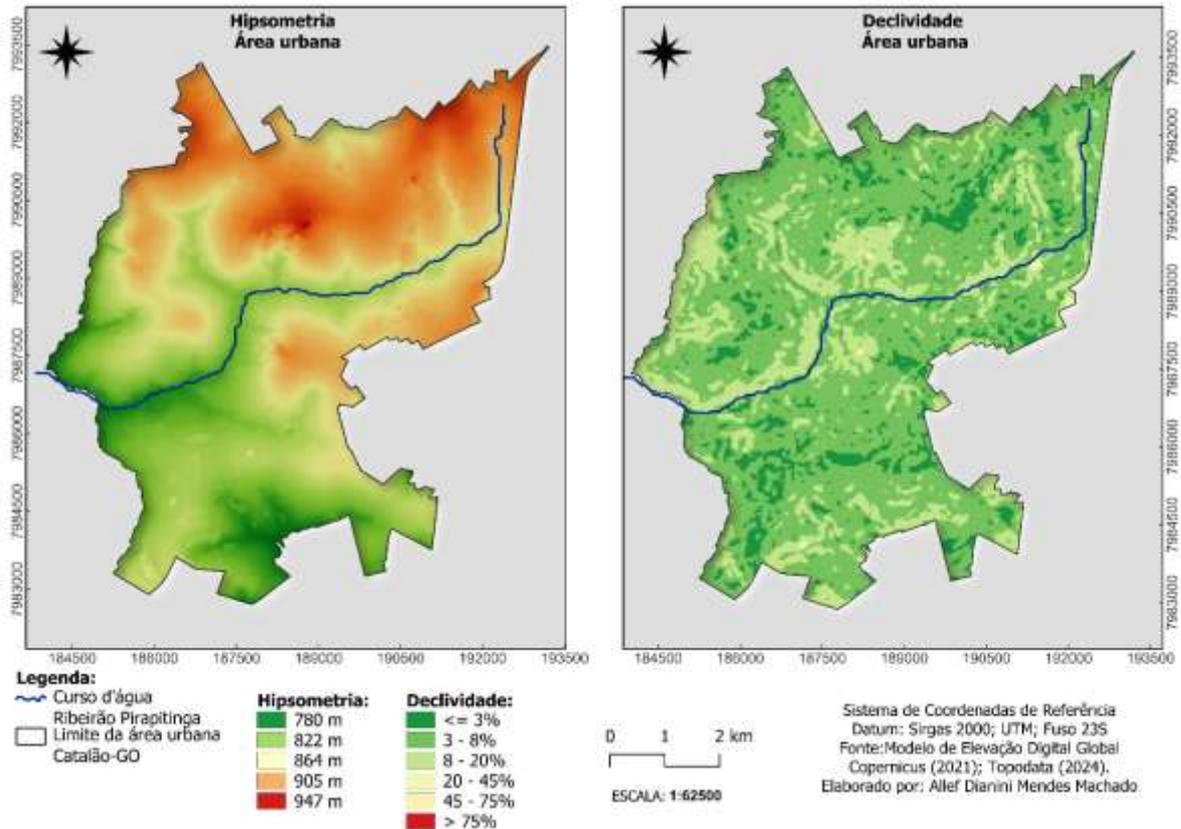
Figura 07 – Crescimento da área urbana de Catalão (GO)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Através da análise figura 08 e com base no conhecimento em geomorfologia fluvial, foi possível estabelecer uma ligação entre o curso d'água do Ribeirão Pirapitinga, mesmo que tenha sido modificado devido à canalização, e a convergência das águas pluviais. Isso ocorre devido à localização dessa área em um nível altimétrico mais baixo em relação às regiões circundantes. Essa relação torna-se evidente para os residentes próximos ao Pirapitinga durante períodos de chuvas intensas, quando são observados alagamentos, enchentes, inundações e danos humanos e materiais.

Figura 08 – Hipsometria e Declividade na área urbana de Catalão



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Conforme abordado por Alves (2020), a impermeabilização do solo nas áreas urbanas modifica significativamente a dinâmica natural da drenagem. A redução da permeabilidade do solo e a alteração das barreiras naturais intensificam o escoamento superficial e aumentam a velocidade de transporte de sedimentos. Como consequência, tornam-se mais frequentes episódios de alagamentos, enchentes e inundações durante períodos de chuva intensa. Esse cenário representa um dos principais desafios da drenagem urbana, uma vez que a falta de áreas permeáveis limita a absorção da água pelo solo, elevando os picos de fluxo e agravando os impactos das precipitações.

A expansão urbana ofuscada pela significativa redução da permeabilidade do solo atinge de maneira impactante os cursos d'água que atravessam a localidade, notadamente o Ribeirão Pirapitinga. Este ribeirão desempenha um papel de destaque na complexa rede de drenagem de Catalão, sendo encarregado primordialmente de conduzir o escoamento pluvial para além dos limites urbanos.

Segundo Alves (2020), o padrão de expansão urbana também impactou diretamente o Ribeirão Pirapitinga, resultando em alterações em seu traçado devido à canalização e à

construção de represas de contenção e detenção. Além disso, a urbanização contribuiu para a poluição das águas, afetando a fauna e a flora aquática, principalmente pela presença de resíduos sólidos e despejo de esgoto ao longo de seu curso.

Os impactos do processo de urbanização estão cada vez mais evidentes no Ribeirão Pirapitinga, cuja porção que atravessa a área urbana sofreu consideráveis modificações. Além das adaptações realizadas para atender às demandas da infraestrutura citadina, o curso d'água também recebe resíduos provenientes das atividades domésticas e comerciais nas suas imediações.

A Área de Preservação Permanente (APP) é uma porção do território legalmente protegida com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade e assegurar o bem-estar das populações humanas. No caso específico retratado na figura 09, a delimitação da APP no entorno do segmento canalizado do Ribeirão Pirapitinga foi realizada com base no que estabelece o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), especialmente o artigo 4º, que determina a proteção de uma faixa mínima de 30 metros de cada lado de cursos d'água com largura inferior a 10 metros em áreas urbanas. A delimitação foi feita a partir da identificação do leito regular do ribeirão e a aplicação do buffer (faixa de proteção) de 30 metros em ambos os lados, utilizando ferramentas de geoprocessamento no software QGIS. As bases cartográficas foram geradas a partir de imagens de satélite e dados vetoriais fornecidos pelo IBGE e pelo SIG municipal. Assim, o mapeamento permitiu evidenciar as ocupações irregulares dentro da faixa de APP, conforme pode ser observado na figura 9, que destaca as áreas edificadas sobrepostas à zona de preservação.

De acordo com a revisão do Plano Diretor de Catalão, a infraestrutura viária da cidade é composta principalmente por asfalto, que cobre cerca de 96% das vias. Além disso, aproximadamente 1% das ruas são pavimentadas com blocos de concreto, 1% com calçamento poliédrico, e cerca de 2% ainda não possuem pavimentação.

Para entender como essa situação impacta a drenagem urbana, é necessário considerar fatores que contribuiriam para essa configuração. Entre eles, destaca-se a impermeabilização do solo devido ao crescimento desordenado da cidade, o que dificulta a absorção da água da chuva. Outro aspecto relevante é a deterioração do Ribeirão Pirapitinga, agravada pelo avanço da urbanização sem planejamento adequado.

Figura 09 – Ocupação de APP no entorno do trecho canalizado do Ribeirão Pirapitinga



Fonte: SIEG (2021); Google Earth (2021). Org.: Machado, A. D. M.; Pereira, J. C. (2021).

O Ribeirão Pirapitinga, que atravessa a área urbana de Catalão e é afluente do rio Paranaíba, tem sido significativamente impactado pelo processo de urbanização. Conforme apontado por Pedrosa (2005), a degradação desse curso d'água ocorre devido ao desmatamento das nascentes, à impermeabilização do solo causada pela pavimentação asfáltica e pela expansão residencial, além das alterações nos fluxos de escoamento pluvial, que se tornam cada vez mais concentrados. Outro fator preocupante é a poluição, resultante do descarte inadequado de resíduos sólidos e do lançamento de esgoto sanitário. O Ribeirão Pirapitinga, que nasce dentro do perímetro urbano e corta a cidade no sentido Leste-Oeste, desempenha um papel fundamental na estrutura da malha urbana, mas enfrenta constantes desafios ambientais devido ao crescimento desordenado.

Esse ribeirão compartilha semelhanças com outros corpos d'água que atravessam zonas urbanas, como previamente discutido neste estudo. Isso ocorre devido à ausência de reconhecimento por parte da sociedade como um rio urbano, resultante da falta de acesso a uma Educação Ambiental crítica que fomente a compreensão da interligação entre sociedade e meio ambiente. Além disso, há uma carência por parte das autoridades públicas em fortalecer o planejamento das cidades, contribuindo para essa situação.

Pedrosa (2005) destaca um ponto importante relacionado às inundações em Catalão, especialmente nas áreas próximas ao Ribeirão Pirapitinga. Apesar de, inicialmente, terem sido considerados os índices pluviométricos e a capacidade de infiltração do solo para planejar a canalização do ribeirão, a expansão da cidade para as proximidades de sua nascente agravou o problema. A pavimentação asfáltica, que diminui a permeabilidade do solo, aumentou o escoamento da água. Como resultado, os dados usados anteriormente para calcular o fluxo de água perderam relevância, e atualmente o escoamento superficial é mais intenso do que quando os cálculos foram feitos.

Para exemplificar os impactos das precipitações em Catalão, serão apresentadas a seguir matérias jornalísticas que evidenciam os efeitos de um planejamento urbano inadequado. Nesse contexto, um artigo do Jornal Mais Goiás (2020) relata a intensidade da chuva que ocorreu em 29 de janeiro de 2020. Em apenas quatro horas, entre 1h e 5h da manhã, a chuva atingiu 134,6 mm, segundo o Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás (SIMEHGO). De acordo com o Portal Mais Goiás (2020), o atual secretário de Obras de Catalão informou que o volume de chuvas ultrapassou o recorde anterior, registrado em 1972, de 130 mm. Os efeitos desse planejamento inadequado podem ser observados nas figuras 10 e 11.

Figura 10 – Efeitos da inundação no entorno do Ribeirão Pirapitinga



Fonte: Machado, A. D. M. (2020).

Figura 11 – Estragos das inundações no entorno do Ribeirão Pirapitinga após chuva intensa, 2020



Fonte: Machado, A. D. M. (2020).

Esse evento evidencia a ineficácia das medidas preventivas adotadas pelo poder público, já que, apesar de ocorrências semelhantes nos últimos anos em Catalão, não foram implementados planos de evacuação antecipada para situações de risco, como o rompimento de barragens na área urbana. Além disso, a população não estava devidamente informada sobre os procedimentos a serem seguidos e as áreas a serem evitadas nesses momentos. A mídia local também noticiou outros episódios de chuvas intensas em datas como 19/08/2018, 31/10/2018 e 12/04/2019. Destaca-se, especialmente, a ocorrência de 19/09/2018, que resultou em dois óbitos - trabalhadores envolvidos na obra de canalização do Ribeirão Pirapitinga.

Figura 12 – Trecho da obra de ampliação da canalização do Ribeirão Pirapitinga, 2018



Fonte: Portal catalão (2019)

Outro evento significativo ocorrido em 22/11/2014, amplamente noticiado em plataformas online e na televisão, causou diversos danos à pavimentação, muros e residências devido às chuvas intensas. De acordo com relatos do Portal Catalão, foram identificados vários pontos de alagamento, casas inundadas, colapsos de muros, edifícios e árvores, além de tampas de bueiros arrastadas pelas enxurradas. Também diversos veículos foram afetados por esse evento. No próximo capítulo, será abordada a bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, que é o foco deste estudo.

4 SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIRAPITINGA (CATALÃO-GO)

O capítulo três aborda o estudo da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, localizada na área urbana de Catalão-GO. A estrutura do capítulo é composta por duas seções e três subseções, organizadas de maneira a alcançar o objetivo da pesquisa. A primeira seção apresenta uma caracterização geral da área de estudo, fornecendo informações iniciais sobre o contexto da bacia hidrográfica. A segunda seção, intitulada Metodologia, é dividida em três subseções. A primeira descreve o método utilizado para a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica. A segunda subseção detalha os procedimentos adotados para a identificação da taxa de impermeabilização da área. Por fim, a terceira subseção apresenta a metodologia aplicada para a análise da suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIRAPITINGA CATALÃO-GO

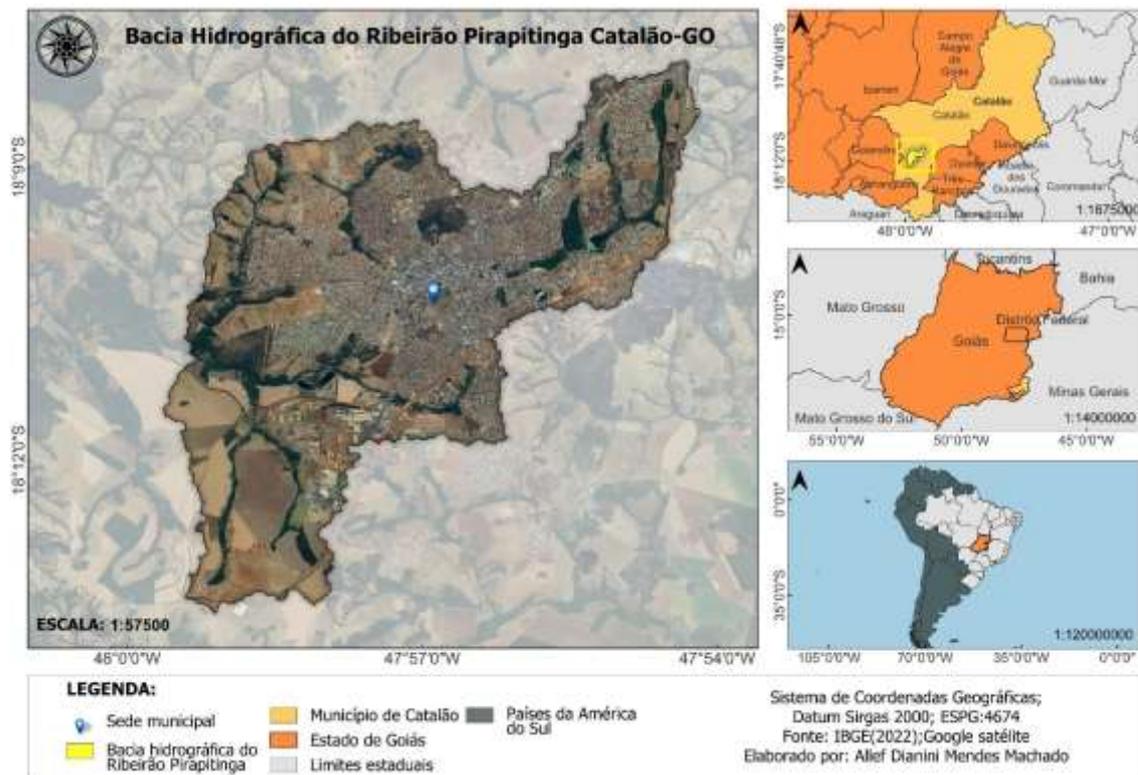
A bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, foco desta pesquisa, está inserida no perímetro urbano de Catalão-GO conforme ilustrado na figura 13, atravessando a cidade no sentido Leste-Oeste. Essa bacia desempenha um papel crucial na drenagem das águas pluviais da área urbana, abrangendo uma área de aproximadamente 48 km² segundo Agência Nacional de Águas (ANA). Conforme discutido no capítulo anterior, a expansão urbana também exerceu grande impacto sobre o rio principal dessa bacia, o Ribeirão Pirapitinga. Mudanças significativas em seu curso foram ocasionadas pela canalização e pela construção de represas para contenção e detenção das águas.

Esse modelo de expansão urbana, que frequentemente desconsidera a permeabilidade do solo, impacta profundamente os cursos d'água que atravessam áreas urbanas, como o Ribeirão Pirapitinga, em Catalão (GO). Em consequência do processo de urbanização, o ribeirão enfrenta desafios significativos, como a deterioração da qualidade da água, causada pela poluição por esgoto e resíduos sólidos, além da alteração de seu curso natural devido a intervenções humanas, como canalizações e represamentos.

As inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga ocorrem em decorrência de uma série de fatores interligados. Primeiramente, a área está situada em um nível altimétrico mais baixo em relação às regiões circundantes, o que a torna suscetível a inundações durante

períodos de chuvas intensas. Além disso, as transformações significativas no ambiente urbano, como a supressão de áreas de vegetação nativa e a impermeabilização do solo, resultantes da expansão urbana, contribuem para o aumento do escoamento superficial. Esse fenômeno acarreta um maior volume de água fluindo para o leito do Ribeirão Pirapitinga, provocando transbordamentos e inundações em áreas urbanas adjacentes. A falta de planejamento e gestão adequada do crescimento urbano também exerce um papel relevante, pois a urbanização desordenada pode obstruir cursos d'água naturais, intensificando o risco de inundações. Portanto, torna-se essencial compreender a suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, em Catalão-GO.

Figura 13 – Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga Catalão-GO



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga Catalão-GO

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga foi realizada com base na metodologia dos estudos de Dias *et al.* (2004), que analisaram a bacia do Córrego Guariroba, em Campo Grande (MS); Lacerda *et al.* (2019), em sua pesquisa sobre a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos, na Paraíba, abrangendo os municípios de Condado, Malta, Vista Serrana, Pombal e São Bentinho; e, por fim, no método de Rosa e Ferreira (2022), que investigaram os aspectos morfográficos, morfométricos e de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Araguari (MG).

No presente estudo, foram utilizados dois softwares: O QGIS 3.22 e o Microsoft Excel versão 2016. O QGIS versão 3.22, juntamente com os geocalgoritmos *r.watershed*, *r.water.outlet* e *r.to.vect*, foram executados pela ferramenta GRASS GIS 7 e SAGA 7.8.2. Os procedimentos para alguns parâmetros e índices morfométricos foram realizados por meio de comandos básicos, utilizando a calculadora de campo e a régua da interface do QGIS. Esses processos foram aplicados na criação do banco de dados, enquanto o Excel foi utilizado para os cálculos morfométricos.

Para o levantamento de dados, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus (2021), com resolução espacial de 30 metros. Os dados vetoriais do município, no formato shapefile, foram extraídos do IBGE (2022). A Figura 14 apresenta as etapas dos procedimentos adotados para a obtenção dos resultados.

Figura 14 – Fluxograma das etapas para análise morfométrica



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada por meio de procedimentos no software *QGIS* aplicados ao MDE do Copernicus (2021). O preenchimento das depressões no MDE foi feito utilizando o geolgoritmo *r.fill.dir*, e os geolgoritmos *r.watershed*, *r.water.outlet* e *r.to.vect* foram empregados para a obtenção dos limites da bacia hidrográfica foco desta pesquisa.

Para a delimitação da bacia, inicialmente, foi realizado o processamento do MDE utilizando a ferramenta *r.watershed*, que gerou produtos como imagens de direção de fluxo e segmentos de fluxo. Após o processamento dessas informações, a delimitação da bacia foi obtida com a ferramenta *r.water.outlet*, utilizando a imagem de direção de fluxo e as coordenadas do exutório (latitude -18.181.581 e longitude -47.989.505). Posteriormente, o arquivo raster gerado foi convertido para o formato vetorial (*shapefile*). Os produtos raster e vetorial foram então reprojutados para o *Datum SIRGAS 2000, Zona 23 S*.

Para a construção do mapa hipsométrico e da curva hipsométrica da bacia hidrográfica, os dados foram inicialmente corrigidos utilizando o geolgoritmo *r.fill.dir* para ajustar a imagem do MDE. Após essa correção, a imagem gerada foi recortada utilizando os dados vetoriais do limite da bacia como camada de máscara. Em seguida, foram ajustadas a simbologia de cores e as faixas de altitude para a elaboração do mapa temático. O cálculo da área entre os intervalos de classe das altitudes foi realizado com comandos no geolgoritmo de

curvas Hipsométricas, da ferramenta *GRASS GIS 7*, com intervalos de altitude definidos a cada 20 metros. A criação da curva hipsométrica foi realizada utilizando as ferramentas do *Excel*.

O gráfico do perfil longitudinal do rio foi elaborado utilizando o MDE da bacia hidrográfica, em conjunto com a camada vetorial do rio principal, extraída por meio do complemento *Terrain Profile* no software *QGIS*.

O mapa de declividade foi elaborado de forma semelhante ao mapa hipsométrico, seguindo procedimentos básicos no *QGIS*. O processo iniciou-se com a transformação do MDE em um plano de informação de declividade, utilizando o geolgoritmo *r.slop.aspect*, com a saída em formato de porcentagem (%). As classes de declividade foram reclassificadas pelo geolgoritmo reclassificar por tabela, seguindo a classificação proposta pela EMBRAPA (1979). Com base nos valores encontrados para a bacia hidrográfica, foram definidas seis faixas de declividade, conforme apresentado na Tabela 01. Para o cálculo automático das áreas entre os intervalos de classe das declividades, foi utilizada a imagem reclassificada e o geolgoritmo *r.report*.

Tabela 01 – Representação da declividade da bacia hidrográfica

Declividade (%)	Relevo	Área (Km²)	Área (%)
0-3%	Plano	8.786468	18.95
3-8%	Suave-Ondulado	25.612066	55.23
8-20%	Ondulado	11.624349	25.06
20-45%	Forte-Ondulado	0.350655	0.76
45-75%	Montanhoso	0.003348	0.01
>75%	Forte-Montanhoso	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2023). Seguindo a classificação proposta pela EMBRAPA (1979).

Para a construção do mapa de ordenação dos rios, foram utilizados geolgoritmos da ferramenta de processamento SAGA 7.8.2. O processo teve início com o preenchimento das depressões da imagem do MDE por meio do geolgoritmo *fill.sinks Wang & Liu*. Com a imagem corrigida, foi possível extrair a rede de drenagem e suas respectivas ordenações utilizando o geolgoritmo *Channel network and drainage basins*. O limite selecionado na caixa *Threshhold* foi definido como “4”. Com a camada vetorial da rede de drenagem, foram obtidos dados métricos, como o número de cursos d'água da bacia, o comprimento total dos cursos d'água e o comprimento do rio principal, que serviram como dados primários para os cálculos morfométricos. A rede fluvial foi classificada segundo a hierarquia de Strahler (1952).

Os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica foram fundamentados nos estudos de Christofolletti (1980) e Villela & Mattos (1975). Os dados extraídos referem-se à área da bacia (A), Perímetro (P), Comprimento Axial (Lax), Comprimento dos rios (Cr), Índice de sinuosidade do canal principal (Is), Fator de forma (F), Coeficiente de Compacidade (Kc), Densidade da drenagem (Dd) e índice de circularidade (IC). Esses parâmetros estão ilustrados no Quadro 02.

Quadro 02 – Parâmetros morfométricos calculados para bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga

Parâmetros	Equação	Descrição/Importância para estudos de inundação
Área da bacia (A)		A área da bacia, que representa a extensão total da região drenada pelos rios, é um indicador essencial em estudos de inundação. Seu tamanho influencia a capacidade de armazenamento de água, a resposta hidrológica, a extensão da rede de drenagem e a determinação das vazões de pico. Compreender a área da bacia é fundamental para o planejamento, prevenção e gestão de riscos de inundação, proporcionando <i>insights</i> sobre a dinâmica hidrológica e facilitando a identificação de áreas propensas a inundações.
Perímetro (P)		O perímetro de uma bacia hidrográfica, representando o comprimento da linha que delimita sua borda externa, é um indicador importante para estudos de inundação. Ele fornece <i>insights</i> sobre a extensão da área drenada, a forma da bacia e a distribuição do escoamento. Essa informação é crucial para avaliação de riscos, planejamento de drenagem e modelagem hidrológica, contribuindo para uma compreensão abrangente da dinâmica hidrológica e eventos de inundação em uma região.
Comprimento Axial (Lax)		O comprimento axial de uma bacia hidrográfica, que representa a distância ao longo do curso principal de água, é crucial para estudos de inundação. Ele afeta o tempo de concentração da água na bacia, os padrões de escoamento, a determinação das vazões de pico, as características do canal e a modelagem hidráulica. Essa medida é essencial para compreender a dinâmica hidrológica da bacia e avaliar os riscos de inundação, influenciando diretamente a propagação de inundações ao longo do curso d'água principal.
Comprimento dos rios (Cr)		O comprimento dos rios, que representa a extensão total do curso d'água, é crucial em estudos de inundação devido ao seu impacto no tempo de resposta da água, na capacidade de armazenamento, na propagação de inundações, na conectividade com a bacia, na avaliação de riscos e no planejamento de uso do solo. Ele influencia

Parâmetros	Equação	Descrição/Importância para estudos de inundação
		diretamente a dinâmica hidrológica e a vulnerabilidade de áreas ao longo do rio a eventos de inundação.
Índice de sinuosidade do canal principal (Is)	Equação (01) $Is = L/Dv$	O índice de sinuosidade, conforme proposto por Schumm (1963), estabelece uma relação entre o comprimento do canal principal de um rio e a distância vetorial entre seus extremos. Esse índice é de relevância significativa na análise de inundação. A sinuosidade, que indica a tendência do rio em meandrar, desempenha um papel importante nos processos hidrológicos, especialmente em relação às inundações. Uma maior sinuosidade pode influenciar a capacidade do rio de acomodar e distribuir as águas de enchentes, afetando assim a dinâmica do escoamento e a propagação das inundações ao longo do curso d'água. Portanto, a análise do índice de sinuosidade contribui para uma compreensão mais aprofundada dos padrões fluviais e é essencial para avaliações precisas dos riscos de inundação em uma determinada área.
Fator de forma (F)	Equação (02) $k_f = \frac{A}{L^2}$	Segundo Villela e Mattos (1975), o índice de forma (F), expresso pela Equação (2), descreve a configuração da bacia em termos da relação entre sua área e seu comprimento axial. A interpretação desse índice revela que quanto maior o valor de (F), maior é a susceptibilidade da bacia a inundações, e vice-versa. Essa relação ocorre devido à tendência de bacias estreitas e longas, caracterizadas por valores baixos de (F), apresentarem menor probabilidade de serem afetadas por chuvas intensas que cobrem simultaneamente toda a sua extensão.
Coeficiente de Compacidade (Kc)	Equação (03) $K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	conforme apontado por Villela e Mattos (1975), o índice de Gravelius, representado pela Equação (3) como Kc, constitui uma medida de irregularidade no formato da bacia, avaliando a relação entre seu perímetro e área. A observação crucial é que à medida que a irregularidade da bacia aumenta, o valor do Kc também aumenta. Portanto, um valor mais elevado de Kc indica uma bacia mais irregular. Além disso, a proximidade do valor do Kc a 1 sugere uma forma mais circular da bacia, o que, por sua vez, indica uma maior suscetibilidade à inundação.
Densidade da drenagem (Dd)	Equação (04) $D_d = \frac{L}{A}$	A densidade de drenagem de acordo com Villela e Mattos (1975), é determinada pela razão entre o comprimento total dos canais (L) e a área da bacia (A). Este índice é crucial para estudos de inundação, pois indica a eficiência de drenagem da bacia, sua capacidade de escoamento, e influencia na resposta hidrológica a eventos de precipitação intensa. A densidade de

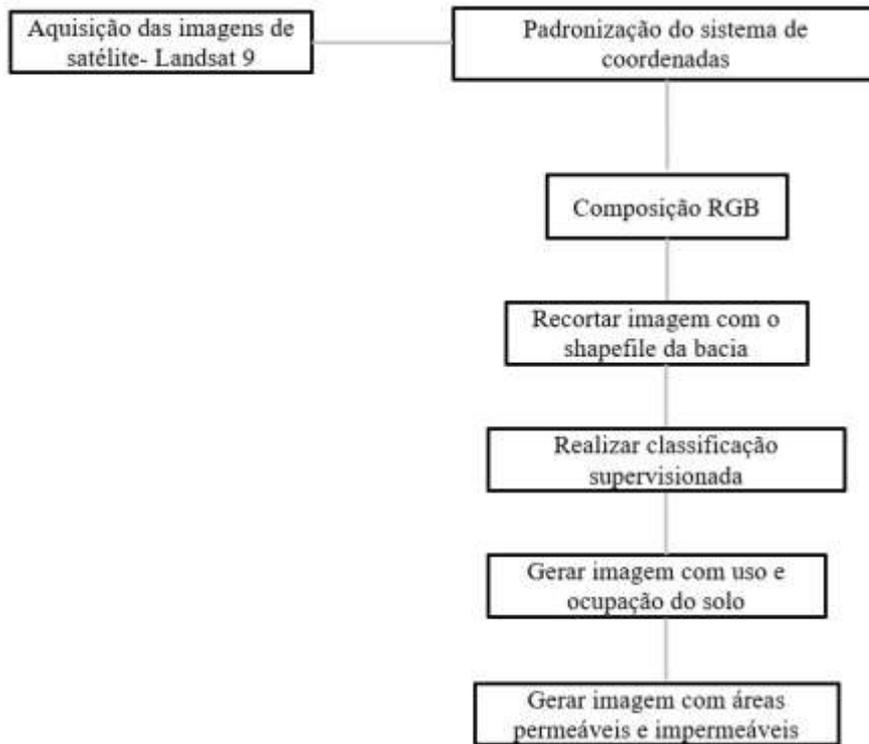
Parâmetros	Equação	Descrição/Importância para estudos de inundação
		drenagem também é relevante para análise de riscos de inundação e orienta o planejamento do uso do solo, sendo um parâmetro valioso na compreensão da dinâmica hidrológica de uma determinada área.
índice de circularidade (IC)	Equação (05) $IC = 12,57 * A / P^2$	Segundo Miller (1953), o índice de circularidade (Ic) é definido como a relação entre a área da bacia e a área de um círculo com o mesmo perímetro. O valor máximo alcançado é 1,0, indicando que quanto mais próximo desse valor, mais circular é a forma da bacia. Essa métrica oferece uma medida objetiva da forma da bacia, sendo que valores mais elevados sugerem uma maior semelhança com a forma circular. A configuração geométrica da bacia hidrográfica desempenha um papel significativo na retenção da água das chuvas. Conforme mencionado, bacias mais circulares tendem a apresentar uma maior capacidade de retenção de água, o que resulta em uma suscetibilidade aumentada a enchentes e inundações.

Fonte: adaptação de Christofolletti (1980) e Villela e Mattos (1975).

4.2.2 impermeabilização da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga

O mapa de impermeabilização da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga foi elaborado com base na metodologia de Reis *et al.* (2011), que trata da estimativa entre densidade habitacional e áreas impermeáveis na região urbana da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, em Santa Maria, RS. Para a construção dos mapas de uso e ocupação do solo, e posteriormente da taxa de impermeabilização, seguiram-se os passos ilustrados na Figura 15.

Figura 15 – Fluxograma do passo a passo para a elaboração de mapas de uso e ocupação do solo e da taxa de impermeabilização.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As imagens de satélite foram obtidas no catálogo do United States Geological Survey (USGS). Foram utilizadas a cena (órbita/ponto 221/072), capturada em 06/11/2023 (Landsat 9), e as bandas 2, 3, 4, além da banda pancromática 8, que foi utilizada para melhorar a resolução da imagem. A base cartográfica empregada para o georreferenciamento e o processamento dos dados foi o sistema de coordenadas UTM, o *Datum SIRGAS 2000, Zona 23 S*.

Foi realizado o tratamento das imagens que consiste em melhorar a resolução com a banda pancromática, ajustar o georreferenciamento para o sistema UTM, o *Datum SIRGAS 2000, Zona 23 S*, criar uma composição de bandas multiespectrais (RGB 4, 3, 2) e preparar o mosaico das imagens para o recorte da bacia. Em seguida, foi efetuada a classificação das imagens por meio de método supervisionado. Segundo Reis *et al.* (2011), na classificação supervisionada, o analista fornece amostras das categorias relevantes ao enfoque do trabalho que está sendo desenvolvido. A partir dessas amostras, são estimados os parâmetros que definem cada classe e que serão utilizados na classificação.

A classificação supervisionada foi realizada utilizando o método de máxima verossimilhança, que, de acordo com Reis *et al.* (2011), consiste na análise pixel a pixel. Esse método pressupõe a ponderação das distâncias entre as médias dos níveis digitais das classes,

utilizando parâmetros estatísticos. Para apoiar a classificação, foram realizadas quatro saídas de campo na área em estudo, permitindo a definição de quatro classes de uso e cobertura da terra: solo exposto, vegetação densa, vegetação rasteira/cultivo e área urbana.

No software QGIS 3.22, foi utilizado o plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) para criar um shapefile no formato de polígono, para identificadas as classes que serviram como amostra para a classificação supervisionada. Por fim, a ferramenta correlaciona os dados estatísticos de entrada à imagem RGB, gerando uma imagem classificada.

Após a etapa de classificação do uso e cobertura da terra, foi realizada a construção do mapa de taxa de impermeabilização da bacia hidrográfica, um instrumento essencial para avaliar o impacto da urbanização sobre o ciclo hidrológico. Esse mapa permite identificar a proporção de áreas impermeáveis e permeáveis dentro da bacia, fornecendo subsídios para o planejamento urbano, ambiental e a gestão dos recursos hídricos.

Para elaborar o mapa, foram seguidas as etapas descritas abaixo:

1) Delimitação das Classes de Uso do Solo: Com base na classificação supervisionada, os diferentes tipos de cobertura da terra foram agrupados em três classes principais, conforme a adaptação de Reis *et al.* (2011):

- Vegetação: Inclui todas as formas de vegetação presentes na área, como florestas, matas ciliares, gramados e cultivos agrícolas.
- Solo Exposto: Refere-se a superfícies onde o solo está visível, sem cobertura vegetal, podendo incluir áreas desmatadas ou em processo de urbanização.
- Área Urbana: Engloba elementos construídos pelo homem, como ruas pavimentadas, calçadas, edifícios, estacionamentos e corpos d'água presentes na área urbana.

2) Definição das Áreas Impermeáveis e Permeáveis: Após a delimitação das classes de uso, foi necessário classificá-las de acordo com sua capacidade de infiltração de água no solo:

- Áreas Permeáveis (Classe 1 e 2 – Vegetação e Solo Exposto): Representam superfícies que permitem a absorção da água, reduzindo o escoamento superficial e contribuindo para a recarga dos aquíferos. Exemplos incluem florestas, áreas de pastagem e terrenos sem pavimentação.
- Áreas Impermeáveis (Classe 3 – Área Urbana): Englobam superfícies que dificultam ou impedem a infiltração da água, resultando em maior escoamento superficial. Essa

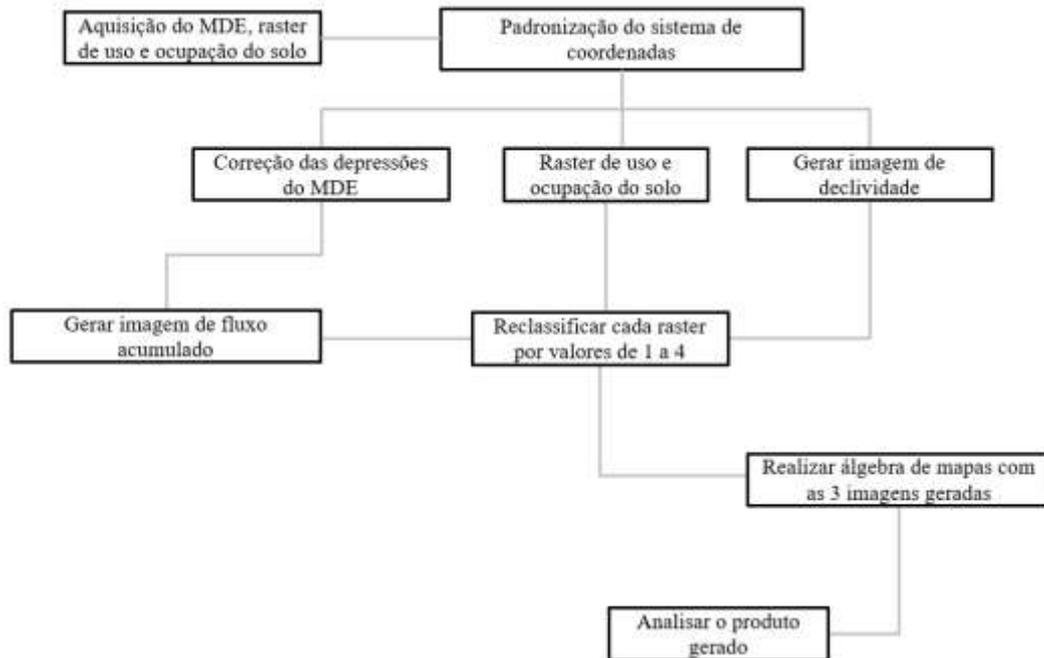
categoria inclui ruas pavimentadas, edificações, estacionamentos e outras infraestruturas urbanas.

3) Geração do Mapa de Taxa de Impermeabilização: Com a classificação estabelecida, foi possível calcular os percentuais de área impermeável dentro da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga. Esse mapa auxilia na compreensão dos impactos da urbanização, como o aumento do escoamento superficial, a redução da infiltração de água e o potencial risco de inundação. Além disso, ele fornece informações valiosas para o planejamento urbano sustentável, permitindo a adoção de estratégias que minimizem os efeitos da impermeabilização excessiva do solo.

4.2.3 suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga

Para identificar as áreas mais suscetíveis à inundação na bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, foi elaborado um mapa de suscetibilidade à inundação, seguindo a metodologia de Korah e Lopez (2015), aplicada na Guatemala. Esse mapa permite analisar os principais fatores que contribuem para a ocorrência de inundações, auxiliando no planejamento urbano e na gestão do risco de desastres naturais. O processo de elaboração do mapa seguiu os passos descritos na figura 16.

Figura 16 – Fluxograma do Mapa de Suscetibilidade à Inundação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Foram utilizados dados do MDE do Copernicus (2021), além do raster de uso e ocupação do solo (ESRI, 2021) e o vetor limite da bacia hidrográfica estudada. As imagens foram processadas no software *QGIS*, versão 3.22, e os dados foram reprojetados para o *Datum SIRGAS 2000, Zona 23 S*.

Inicialmente, foi realizado o pré-processamento do MDE do Copernicus (2021), corrigindo-se as depressões por meio da ferramenta *fill Sinks Wang & Liu*, utilizando o *SAGA 7.8.2*. Após a correção, foi gerada a imagem de fluxo acumulado por meio da ferramenta *r.watershed* do *GRASS*.

Os dados de declividade foram obtidos a partir de procedimentos básicos no *QGIS*. O processo começou com a transformação do MDE do Copernicus (2021) em um plano de informação de declividade, utilizando-se o geocalgoritmo *r.slop.aspect*, com saída em formato de graus. Para os dados de uso e ocupação do solo, foi utilizada a imagem fornecida pela *ESRI*, proveniente do satélite *Sentinel-2*, com resolução espacial de 10 metros.

As três imagens foram reclassificadas para a obtenção de quatro escala de suscetibilidade à inundação (muito baixa, baixa, moderada e alta), conforme os parâmetros estabelecidos por Korah e Lopez (2015). Essas escalas representam diferentes níveis de

suscetibilidade da bacia hidrográfica à ocorrência de inundações, com base em três variáveis principais: fluxo acumulado, declividade do terreno e uso e ocupação do solo.

- 1) Fluxo acumulado: Foi organizado em uma escala crescente, indicando a quantidade de água acumulada em diferentes áreas. Regiões com valores baixos foram classificadas como menos suscetíveis à inundação, enquanto áreas com valores elevados de fluxo foram associadas a uma alta suscetibilidade, por concentrarem maior volume de escoamento superficial.
- 2) Declividade do terreno: Classificada conforme a inclinação do relevo. Áreas mais planas, com pouca inclinação, foram identificadas como mais suscetíveis à inundação, pois favorecem o acúmulo de água. Em contrapartida, regiões com maior declividade apresentaram menor suscetibilidade, devido ao escoamento mais eficiente da água.
- 3) Uso e ocupação do solo: Essa variável foi analisada para determinar a influência das diferentes coberturas do terreno na suscetibilidade à inundação. Áreas urbanizadas e de solo exposto foram classificadas como de alta suscetibilidade, pois apresentam grande quantidade de superfícies impermeáveis, dificultando a infiltração da água e aumentando o escoamento superficial. Por outro lado, regiões com vegetação nativa foram classificadas como de baixa suscetibilidade, pois possuem maior capacidade de absorção da água, reduzindo o risco de inundação.

Tabela 02 – Escala utilizada para as variáveis Fluxo acumulado, Inclinação e Cobertura do solo

Valores	Escala	Fluxo acumulado	Inclinação (graus)	uso e ocupação do solo
1	Muito baixa	0 a 1600	>51	Vegetação nativa
2	Baixa	1601 a 5500	23 a 51	Áreas em regeneração e florestas plantadas
3	Moderada	5501 a 18000	9 a 23	Áreas agrícolas e pastagens
4	Alta	> 18000	0 a 9	Solo exposto e área urbana

Fonte: Korah e Lopez (2015). Adaptação: Machado, A. D. M (2023)

Geração do mapa de suscetibilidade à inundação foi realizada por meio da combinação de diferentes camadas de dados, que representavam os fatores determinantes para o risco de

inundação. Essa combinação foi feita utilizando a álgebra de mapas, conforme a Equação 06, que descreve o processo de ponderação e soma dos fatores considerados na análise. Os pesos atribuídos a cada fator foram definidos com base no estudo de Korah e Lopez (2015), que forneceu a fundamentação para a atribuição das influências relativas de cada variável.

$$\text{Equação 06: } \text{MSI} = \text{UOS} * 0,4 + \text{D} * 0,25 + \text{FA} * 0,35$$

Onde:

MSI: Mapa de Suscetibilidade à Inundação;

UOS: Uso e Ocupação do Solo;

D: Declividade;

FA: Fluxo Acumulado.

Na equação, cada fator foi multiplicado por um peso, refletindo sua importância relativa no cálculo da suscetibilidade à inundação. O Uso e Ocupação do Solo (UOS) recebeu o maior peso (0,4), pois é um dos fatores mais influentes, especialmente em áreas urbanizadas, onde o solo impermeável aumenta o risco de escoamento superficial. O Fluxo Acumulado (FA) teve o peso de 0,35, dado que as áreas com maior concentração de água são mais propensas à inundação. Já a Declividade (D), com um peso de 0,25, reflete a contribuição do relevo na drenagem das águas, sendo que áreas planas têm maior propensão a acumular água.

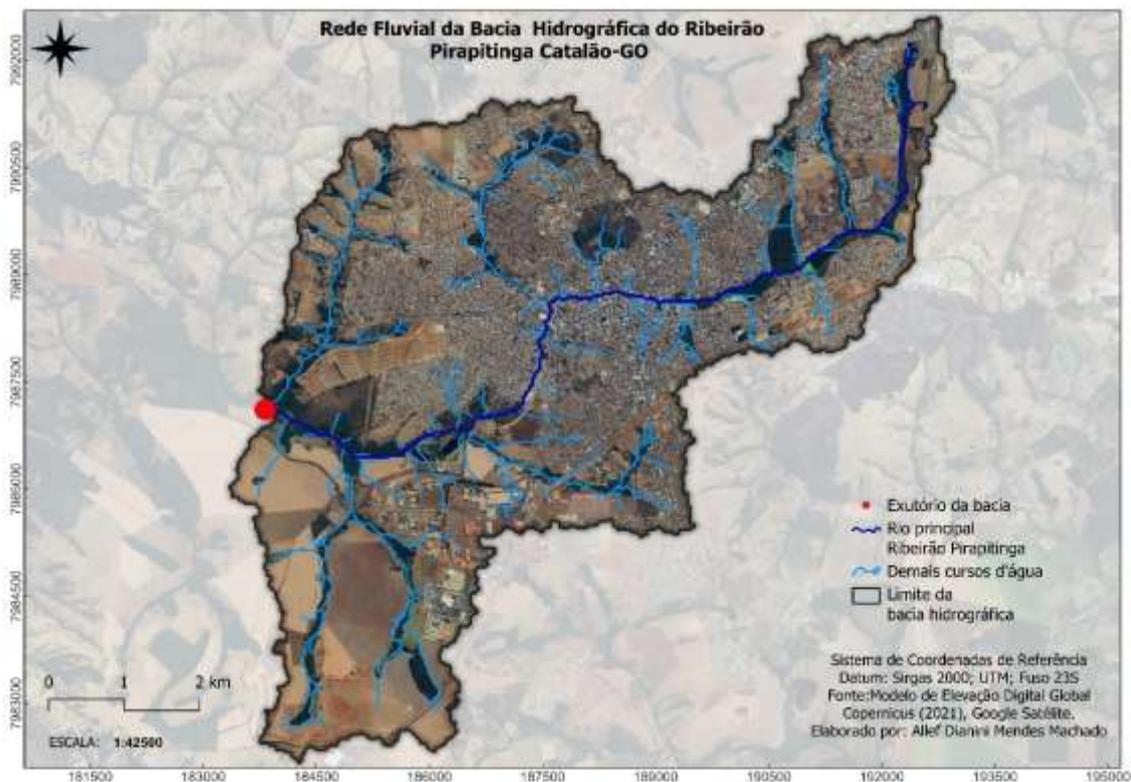
Esse processo gerou um mapa que combina esses fatores de forma ponderada, permitindo identificar as áreas mais suscetíveis à inundação na bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIRAPITINGA CATALÃO-GO

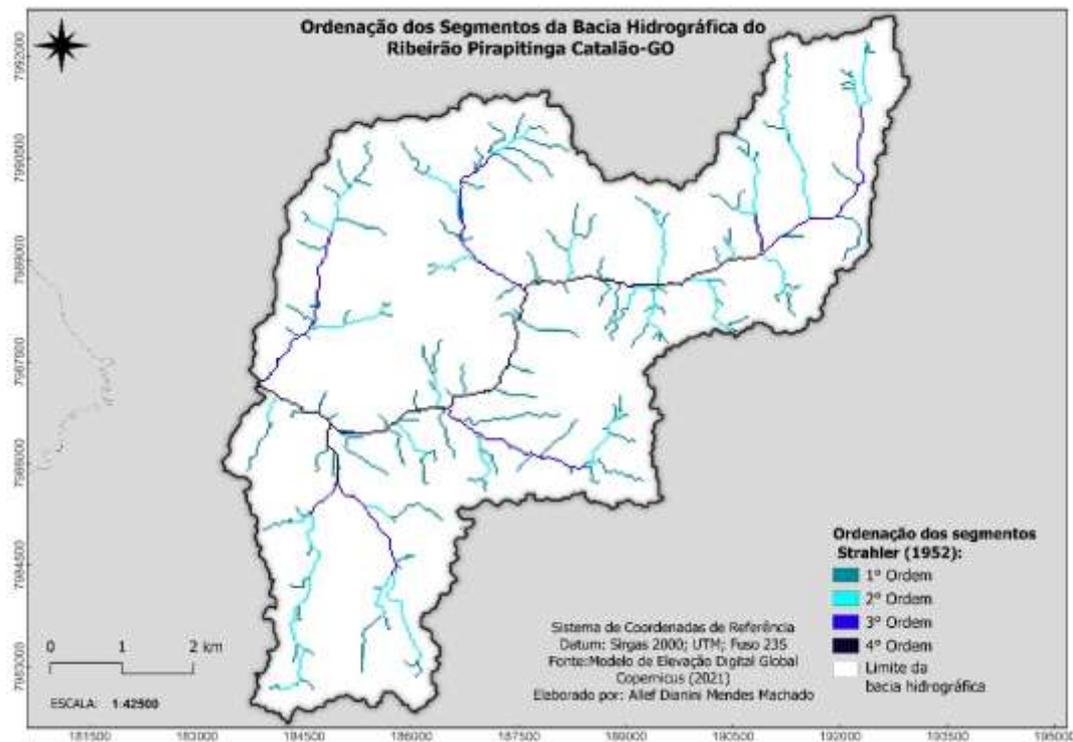
Seguindo os procedimentos descritos na metodologia, foram geradas a Figura 17 e 18, que apresentam a rede fluvial da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, localizada em Catalão-GO, além do exutório definido para o estudo. A partir desses dados, foi possível obter informações iniciais necessárias para a análise morfométrica, como a área total da bacia e seu perímetro, que serviram como parâmetros para o estudo. Trata-se de uma bacia hidrográfica de quarta ordem, que tem como rio principal o ribeirão Pirapitinga, que recebe o volume de água de seus tributários os ribeirões Caçador, Almoço, Samambaia e Pari entre outros cursos d' água.

Figura 17 – Rede fluvial da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga (Catalão-GO)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 18 – Ordenação dos segmentos da bacia

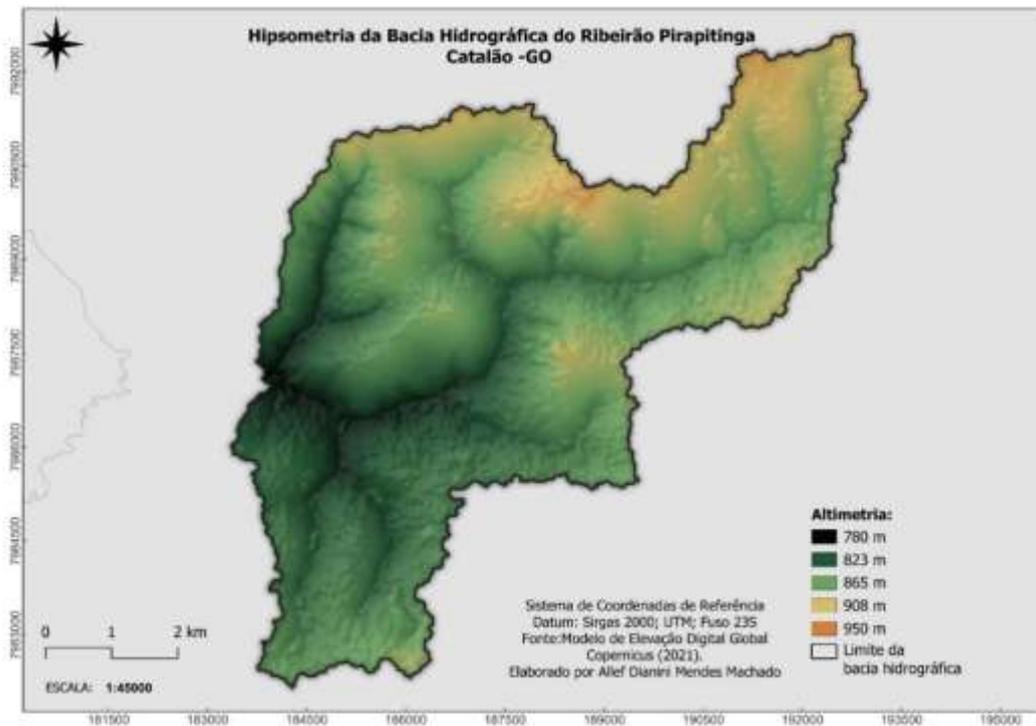


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 19 e no Gráfico 01, são representadas a hipsometria e a curva hipsométrica da bacia hidrográfica em análise, fornecendo informações sobre a distribuição das altitudes na área. Esses dados permitem a compreensão da relação entre o relevo e os processos hidrológicos e geomorfológicos, que influenciam a dinâmica das águas e a evolução do terreno.

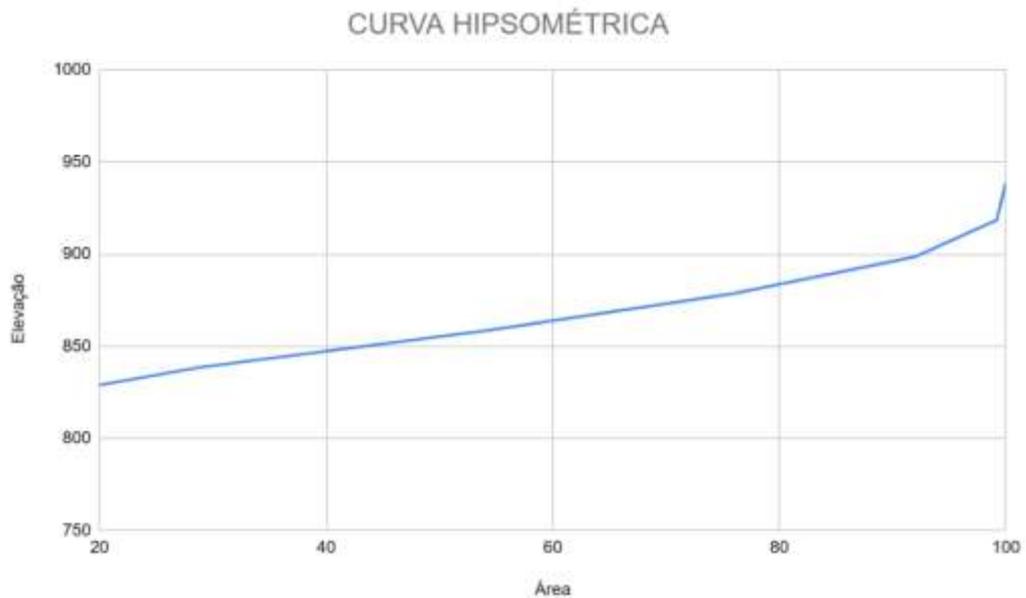
Conforme pode ser observado na Figura 19 e no Gráfico 01, há a redução significativa das altitudes da nascente até o exutório, desde os 950 metros de altitude nas proximidades da cabeceira, para 780 metros nos fundos dos vales mais próximos à desembocadura, perfazendo um desnível de cerca de 170 metros. Em sua relação com a área da bacia hidrográfica esse desnível gera declividades (Figura 20) que privilegiam e aumentam a velocidade dos fluxos superficiais podendo intensificar a probabilidade de picos de cheia em períodos de precipitação intensa, impactando diretamente o escoamento superficial e a resposta hidrológica da bacia.

Figura 19 – Hipsometria da bacia hidrográfica



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Gráfico 01 – Curva Hipsométrica da bacia hidrográfica

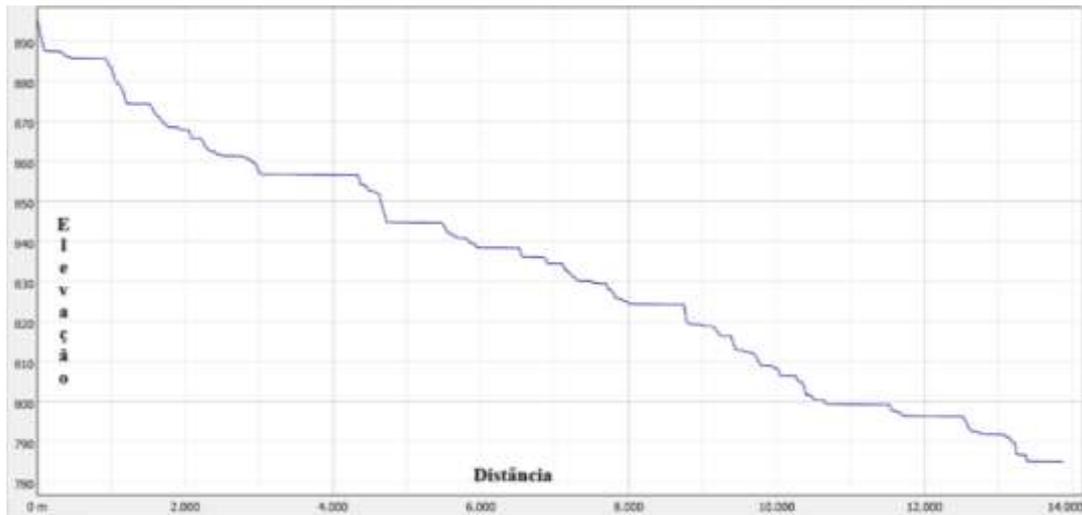


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Isso também pode ser observado no Gráfico 02, que representa a variação da altitude do leito do rio principal ao longo de seu percurso, da nascente até o exutório definido neste estudo.

A análise do gráfico revela uma significativa variação de elevação, com altitudes que variam de 950 metros na nascente a 780 metros no exutório, em uma distância de cerca de 14 Km (declividade média do curso fluvial de cerca de 0,5°). Essa diferença pode aumentar a suscetibilidade à inundação, uma vez que a água tende a ganhar velocidade à medida que desce, intensificando o escoamento em períodos de precipitação elevada.

Gráfico 02 – Variação de altitude do leito do rio principal da bacia hidrográfica

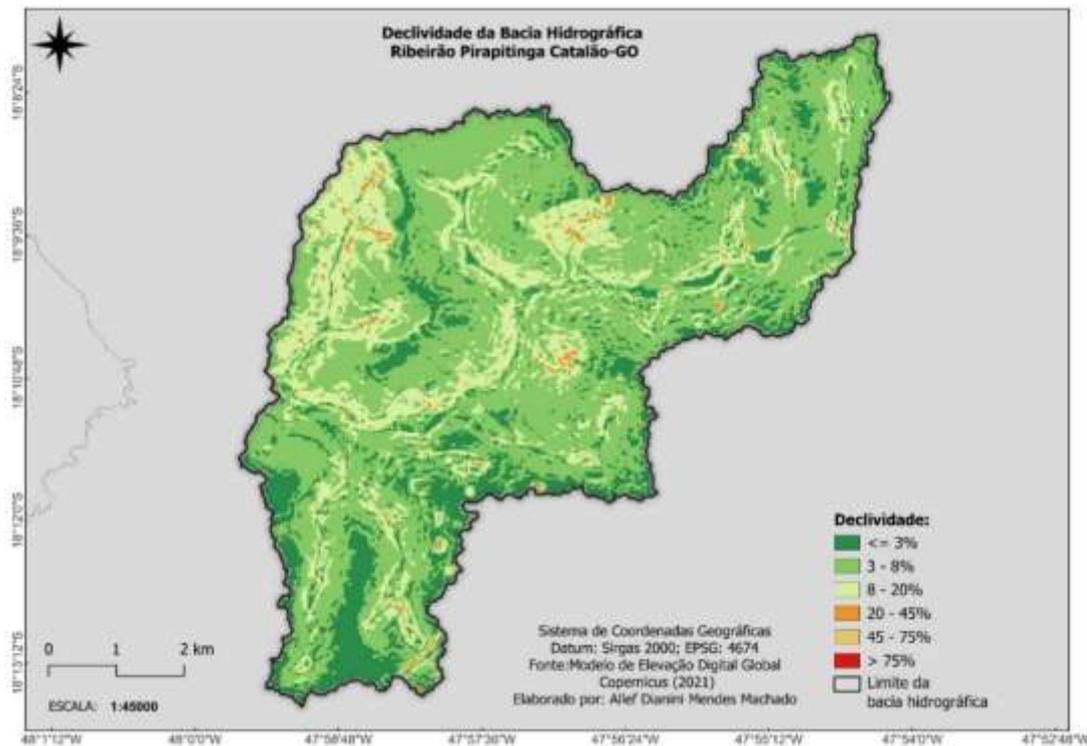


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 20 apresenta a declividade, um dos parâmetros mais relevantes na análise morfométrica de uma bacia hidrográfica, pois influencia diretamente o comportamento hidrológico, os processos geomorfológicos e a ocupação do solo. Compreender a declividade de uma bacia permite prever o escoamento da água, identificar áreas suscetíveis à erosão, otimizar o uso dos recursos hídricos, planejar práticas agrícolas sustentáveis e prevenir riscos ambientais, como enchentes, inundações e deslizamentos.

Como pode ser visto na Figura 20, embora na bacia hidrográfica predominem declividades baixas, cerca de 34,40 km², correspondente a 74,18% (entre 3% e 8%), com relevos suave ondulados - segundo a classificação da Embrapa (1979) -, há áreas importantes e com extensões significativas de relevos ondulados, cerca de 11,62 km², correspondente a 25,06% (declividades entre 8% e 20%) ou até forte-ondulados, cerca de 0,35 km², correspondente a 0,76% (entre 20% e 45%). Mesmo que este fosse um cenário de ambientes naturais, nas áreas de relevo mais movimentado o escoamento poderia sobrepular, em quantidade, a infiltração, e sua velocidade tenderia a ser mais acentuada que nas áreas mais planas, tendo como efeito o aumento da suscetibilidade a inundações em pontos onde a morfologia do canal seja alterada.

Figura 20 – Declividade da bacia hidrográfica



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir dos dados primários obtidos por meio dos mapas, incluindo a área da bacia (48 km²), perímetro (47 km), comprimento axial (10 km), comprimento do rio principal (14 km), além das cotas máxima (895 metros) e mínima (784 metros) desse rio, e o comprimento total dos rios (102 km), foram realizados os cálculos morfométricos da bacia hidrográfica em estudo, conforme apresentado na Tabela 03.

Tabela 03 – Morfometria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga

Área da bacia		
Km ² 48		M ² 48.017.511
Perímetro		
Km 47		M 46.630
Comprimento Axial		
Km 10		
Rio Principal		
Cota máxima (m) 895	Cota mínima (m) 784	Comprimento (km) 14

Comprimento dos rios	
soma (km)	102
Índice de sinuosidade do canal principal (Is)	1,33
Fator de forma (Kf)	0,44
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,9
Densidade da drenagem (Dd)	2,13
Índice de circularidade (Ic)	0,28

Fonte: Machado, A. D. M (2023)

A análise dos três principais parâmetros de forma – fator de forma (Kf), coeficiente de compacidade (Kc) e índice de circularidade (Ic) – permite avaliar a suscetibilidade à inundação das bacias hidrográficas. De modo geral, bacias com valores elevados de Kf e Ic apresentam maior tendência a inundações, pois possuem formato mais circular, o que favorece o escoamento superficial concentrado e reduz o tempo de resposta da bacia. Já valores mais altos de Kc indicam bacias mais alongadas, o que tende a diminuir a propensão a inundações. Comparando a bacia em estudo com outras duas bacias, conforme representado na Tabela 04, encontramos os seguintes resultados.

Tabela 04 – Comparação dos dados das três bacias.

Parâmetro	Macambira-GO	Cascavel-GO	Ribeirão Pirapitinga
Fator de Forma (Kf)	0,299	0,316	0,44
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,74	1,86	1,9
Índice de Circularidade (Ic)	0,321	0,285	0,28

Fonte: (Silva *et al.*, 2019). adaptação: Machado, A.D. M (2024)

O Ribeirão Pirapitinga apresenta um Kf (0,44) maior do que os das bacias do Córrego Macambira-GO (0,299) e do Córrego Cascavel-GO (0,316), o que sugere uma bacia ligeiramente mais propensa à concentração do escoamento, mas ainda dentro de um limite relativamente seguro. O Kc do Ribeirão Pirapitinga (1,9) é o mais elevado entre as três bacias, reforçando seu formato mais alongado, o que aumenta o tempo em que a água escoar para o rio principal, minimizando riscos de inundações. O Índice de Circularidade (Ic) do Ribeirão Pirapitinga (0,28) é similar ao do Córrego Cascavel-GO (0,285) e um pouco menor do que o do

Córrego Macambira-GO (0,321), confirmando que todas as três bacias apresentam formas mais alongadas e menos circulares, o que reduz a suscetibilidade a inundações.

Dessa forma, assim como as bacias do Córrego Macambira-GO e Córrego Cascavel-GO, a bacia do Ribeirão Pirapitinga também apresenta baixa suscetibilidade a inundações do ponto de vista geomorfológico, devido ao seu formato alongado e aos seus parâmetros morfométricos. No entanto, a influência de outros fatores, como impermeabilização do solo e intervenções antrópicas, deve ser considerada para uma análise mais abrangente dos riscos hidrológicos.

Na bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, o Fator Forma (Kf), possui valor de 0,44 e, sendo este um parâmetro que relaciona a área da bacia hidrográfica com o comprimento do seu eixo, é um dado importante para entender sua resposta hidrológica. De acordo com Villela e Mattos (1975), Apollo *et al.* (2012) e Nardini *et al.* 2013, apenas valores de Kf acima de 0,75 indicam tendência alta a inundações, enquanto valores abaixo de 0,50, como os da bacia em estudo, tem relação com a baixa propensão a picos de cheia. Contudo, a interpretação desse valor precisa levar em consideração outros fatores, como o uso do solo, a topografia e os padrões climáticos locais. No caso da bacia do Ribeirão Pirapitinga, situada no perímetro urbano, esses fatores podem alterar a dinâmica hidrológica da região, tornando necessária uma análise mais ampla para entender os processos de escoamento e drenagem.

Valor do Kc de 1,9 ($> 1,50$) indica que essa é uma bacia hidrográfica ter formato irregular e contornos complexos. Conforme Villela e Mattos (1975), enquanto valores de Kc próximos a 1, sugerem bacias de forma mais circular, com contornos menos entrecortados, e consequentemente mais suscetíveis à inundações, valores mais altos ($>1,50$) como os da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga indica baixa propensão a inundações.

E por último, de acordo com Cardoso *et al.* (2006), Villela e Matos (1975), Apollo *et al.* (2012) e Nardini *et al.* 2013 o Índice de Ic é uma medida que indica a quão próxima a bacia está de uma forma circular. Quanto mais próximo o valor do Ic de 1, mais circular é a bacia e consequentemente mais rápidas as respostas hidrológicas, ou seja, a água da chuva atinge rapidamente o canal principal do rio, aumentando o risco de inundações. Dessa forma valores, para o índice de circularidade, acima de 0,8 indicam alta tendência a inundações, enquanto valores abaixo de 0,4, como os da bacia do Ribeirão Pirapitinga (Ic=0,28), indicam bacias com formas alongadas e estreitas e baixa propensão a inundações.

De acordo com Villela e Mattos (1975), o valor de Dd de 2,13 indica uma relação relativamente alta entre o comprimento total dos canais (L) e a área da bacia (A). Dd é calculada como a razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia. Valores mais altos indicam

uma maior densidade de canais, o que pode influenciar a eficiência de drenagem da bacia. Uma Dd mais alta está associada a uma maior quantidade de canais em relação à área da bacia, o que normalmente facilita o escoamento da água. No entanto, uma densidade de drenagem maior também pode tornar a bacia mais suscetível a inundações, situação que ocorre porque, em situações de precipitação intensa, o escoamento pode ser mais rápido, aumentando a chance de picos de cheia. Assim, embora a alta densidade de canais possa melhorar a drenagem em condições normais, ela também pode intensificar os efeitos de chuvas fortes, tornando a bacia mais suscetível a inundações.

O Índice de Sinuosidade ($I_s = 1,33$) indica que o canal principal do rio é 33% mais longo que a distância em linha reta entre sua nascente e foz, caracterizando uma sinuosidade relativamente alta. Segundo Villela e Mattos (1975), rios sinuosos têm maior capacidade de armazenamento temporário da água, reduzindo a velocidade do fluxo e atenuando picos de cheia, o que pode diminuir o risco de inundações em condições naturais. No entanto, a canalização e a urbanização podem reduzir essa sinuosidade, aumentando a vulnerabilidade da bacia a inundações. Além disso, a retenção de água em rios sinuosos pode prolongar o tempo de escoamento, favorecendo alagamentos em áreas com drenagem ineficiente. Assim, embora a alta sinuosidade contribua para amortecer cheias, outros fatores, como o uso do solo e intervenções antrópicas, devem ser considerados na análise da suscetibilidade a inundações.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, localizada em Catalão-GO, é uma bacia de quarta ordem, cujo rio principal recebe águas dos ribeirões Caçador, Almoço, Samambaia, Pari entre outros cursos d'água. A análise morfométrica revelou que a bacia possui uma área de 48 km², perímetro de 47 km e comprimento axial de 10 km. O rio principal tem 14 km de extensão, com altitudes variando entre 895 metros na nascente e 784 metros no exutório, resultando em um desnível de aproximadamente 111 metros.

Os parâmetros morfométricos indicam que a bacia possui baixa suscetibilidade a inundações. O fator de forma ($K_f = 0,44$) e o índice de circularidade ($I_c = 0,28$) confirmam que a bacia tem formato alongado, o que prolonga o tempo de resposta hidrológica e reduz a concentração do escoamento superficial. O coeficiente de compacidade ($K_c = 1,9$) sugere um contorno mais irregular, o que também favorece uma menor propensão a inundações. Comparada a outras duas bacias estudadas por (Silva *et al.*, 2019), a do Ribeirão Pirapitinga apresenta características semelhantes no que diz respeito à drenagem e risco hidrológico.

A análise da declividade mostra que a maior parte da bacia (74,18%) possui relevos suaves, com inclinações entre 3% e 8%. No entanto, áreas menores apresentam declividades mais acentuadas (até 45%), o que pode aumentar a velocidade do escoamento e a probabilidade

de picos de cheia em eventos de precipitação intensa. A densidade de drenagem ($Dd = 2,13$) indica uma rede fluvial relativamente densa, o que favorece o escoamento, mas também pode contribuir para respostas hidrológicas rápidas durante chuvas intensas. O índice de sinuosidade ($Is = 1,33$) revela um curso fluvial com trechos sinuosos, o que pode ajudar a reduzir a velocidade do fluxo e atenuar picos de cheia. No entanto, processos de urbanização e impermeabilização do solo podem alterar essa dinâmica natural, aumentando a suscetibilidade a inundações.

Dessa forma, a análise geomorfológica indica que a bacia do Ribeirão Pirapitinga possui baixa suscetibilidade a inundações, principalmente devido ao seu formato alongado e à distribuição das declividades. O fator de forma e o índice de circularidade sugerem um escoamento mais distribuído ao longo do tempo, reduzindo a concentração do fluxo. Além disso, a densidade de drenagem e o índice de sinuosidade mostram que a rede hidrográfica contribui para a regulação do escoamento, embora chuvas intensas possam gerar respostas hidrológicas rápidas. Apesar dessas características naturais favoráveis, a presença de áreas com declividades acentuadas pode aumentar a velocidade do escoamento em determinados pontos. Além disso, processos antrópicos, como a urbanização e a impermeabilização do solo, podem modificar essa dinâmica e elevar o risco de inundações. Portanto, para uma avaliação mais precisa da suscetibilidade da bacia, é fundamental considerar os impactos do uso e ocupação do solo na área.

5.2 IMPERMEABILIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIRAPITINGA

Segundo Farias e Mendonça (2022), a interação entre eventos climáticos extremos, características geográficas e dinâmicas urbanas geram desafios adicionais na gestão de riscos de desastres, aumentando a vulnerabilidade das populações afetadas. Considerando que, de acordo com os resultados, a morfometria da bacia hidrográfica do Rio Pirapitinga não é a principal responsável pelas inundações frequentes que afetam a área, o trabalho investigou estes eventos como sendo resultado, principalmente, de processos de origem antrópica, que aliados às condições climatológicas do Cerrado, vulnerabilizaram a área frente aos processos hidrológicos.

Conforme Tucci e Clarke (1998) a impermeabilização intensiva do solo nas áreas urbanas leva a uma série de efeitos adversos no ciclo hidrológico das bacias hidrográficas. Isso inclui o aumento do escoamento superficial, a redução da infiltração de água no solo, o aumento

das enchentes, a degradação da qualidade da água, entre outros impactos negativos. Isso ocorre sobretudo porque a substituição da cobertura vegetal por elementos impermeáveis, como edificações, estradas e pavimentações, contribui para o aumento do escoamento de cheia, sobrecarregando as redes de drenagem e desencadeando inundações recorrentes.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga possui uma área total de 48 km², dos quais aproximadamente 45% (cerca de 21,4 km²) estão urbanizados (Tabela 05 e Figura 21), sendo esse o principal uso do solo na área, e que, de acordo com a literatura, é uma das maiores fontes de impacto no escoamento superficial. O modelo de urbanização predominante nas cidades brasileiras contribui para esses impactos, pois a impermeabilização das superfícies, decorrente das edificações e das pavimentações, reduz a infiltração da água no solo. Além disso, o ordenamento urbano, que inclui instrumentos como o plano diretor e legislações locais, muitas vezes é insuficiente ou negligenciado, dificultando a manutenção de áreas mínimas de permeabilidade nos terrenos edificados.

Além disso, 15,3 km² são ocupados por vegetação rasteira/cultivo, 6,3 km² de vegetação densa e 5,0 km² de solo exposto. Cada tipo de cobertura tem características específicas que influenciam processos hidrológicos como interceptação, infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial. Segundo Tucci (2000), a vegetação rasteira/cultivo tem menor capacidade de interceptação em comparação com a vegetação densa, permitindo que parte da água atinja o solo diretamente. A infiltração varia conforme o manejo do solo. Em áreas agrícolas convencionais, o revolvimento do solo pode reduzir sua permeabilidade, favorecendo o escoamento superficial e aumentando o risco de erosão. Já em parques e praças, o solo pode reter parte da água da chuva, mas sua eficácia depende do tipo de vegetação presente e da compactação causada pelo uso humano.

A vegetação densa, segundo Tucci (2000), desempenha um papel essencial na regulação do ciclo hidrológico. A interceptação da chuva pelas copas das árvores reduz o impacto da precipitação no solo, evitando a erosão e controlando a velocidade do escoamento superficial. A vegetação também pode favorecer os processos de evapotranspiração diminuindo a quantidade de água disponível para o escoamento superficial. Além disso, a infiltração é favorecida pela alta quantidade de matéria orgânica e pela estrutura do solo florestal, promovendo a recarga dos lençóis freáticos. A evapotranspiração também contribui para o equilíbrio hidrológico, reduzindo a umidade excessiva e ajudando a controlar a temperatura da região.

Já no solo exposto, segundo Tucci (2000), a infiltração é reduzida devido à compactação e à ausência de cobertura vegetal, favorecendo um escoamento superficial intenso. Isso aumenta

o transporte de sedimentos para os cursos d'água, causando o assoreamento de rios e córregos, o que pode agravar inundações. Além disso, a evapotranspiração é praticamente inexistente, pois não há vegetação para realizar esse processo, o que pode levar a variações térmicas extremas e à degradação da qualidade do solo.

Tabela 05 – Classificação supervisionada

ID	Classificação	Área (Km²)	Área relativa
1	Solo exposto	5,03	10,5%
2	Vegetação densa	6,32	13,1%
3	Vegetação rasteira/cultivo	15,33	31,9%
4	Área Urbana	21,36	44,5%
Total		48,05	100,0%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Como pode ser observado na Figura 21, a urbanização se concentrou nas áreas médias e altas da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, especialmente nas proximidades do corpo d'água principal, formando grandes áreas urbanizadas contínuas. Em algumas partes da bacia, esse crescimento foi limitado pelas áreas onde o terreno apresenta maiores declividades (Figura 20).

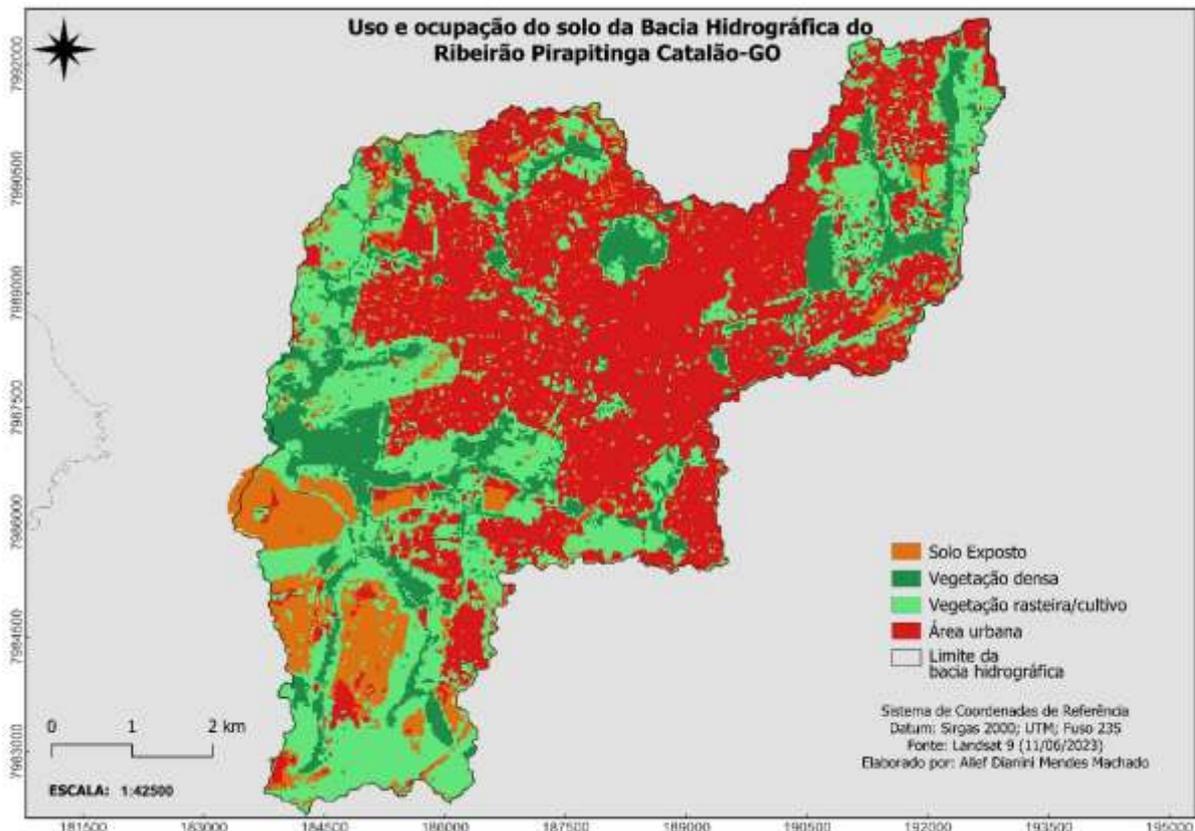
Além disso, o mapeamento e os trabalhos de campo permitiram constatar que a impermeabilização do solo é mais acentuada nas áreas já consolidadas, identificadas na Figura 21 pela cor vermelha, como a região central, próxima ao Ribeirão Pirapitinga, e em bairros como São João, Ipanema, Nossa Senhora de Fátima, Jardim Paraíso, Santa Teresinha e Castelo Branco. No perímetro urbano, predominam as áreas edificadas, e embora algumas áreas de vegetação ainda possam ser encontradas, elas são bastante limitadas. Essas áreas estão concentradas em locais como as APP indicadas na Figura 21 pela tonalidade verde escuro, como por exemplo o pasto do Pedrinho, a mata do setor universitário e nos parques e praças da cidade, destacados pela cor verde clara, onde a vegetação é predominantemente rasteira.

Na bacia hidrográfica em estudo, especialmente nas áreas mais baixas, a presença de solo exposto e de áreas extremamente urbanizadas altera significativamente o ciclo da água, tornando o sistema hidrológico mais suscetíveis a inundações. A vegetação natural do Cerrado, que cobre as áreas intactas da bacia, tem um papel fundamental ao interceptar a precipitação, promover a evapotranspiração, facilitar a infiltração da água no solo e controlar o escoamento

superficial. Porém, nas áreas com solo exposto e urbanizadas ou com pouca vegetação, esses processos são prejudicados. A interceptação da chuva é reduzida, já que não há cobertura vegetal para reter a água, fazendo com que a precipitação atinja diretamente o solo. A evapotranspiração também é diminuída pela falta de vegetação, o que afeta o regime de umidade do solo, e a infiltração da água é comprometida pela compactação do solo e pela ausência de cobertura vegetal.

Esse comprometimento da infiltração resulta em maior escoamento superficial, pois a água não é absorvida pelo solo e flui rapidamente para os corpos d'água. Esse aumento do escoamento superficial, especialmente nas áreas de baixa altitude da bacia, pode causar inundações, pois a água não tem tempo suficiente para ser absorvida e recarregar os lençóis freáticos. Além disso, a ausência de vegetação dificulta a filtragem natural da água da chuva, contribuindo para a poluição dos corpos hídricos com sedimentos e poluentes. Segundo Tucci (2000), essas mudanças no uso do solo alteram o equilíbrio hidrológico da bacia, tornando-a ainda mais suscetível a eventos extremos, como as inundações.

Figura 21 – Uso e ocupação do solo da bacia Hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir dessa classificação, foram gerados os percentuais de áreas impermeáveis na bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, que tem seus valores expressos na tabela 06 e na figura 22. Embora, como já observado anteriormente, mesmo que nas áreas vegetadas a infiltração e o grau de permeabilidade varie, de acordo com a metodologia aqui adotada, adaptada de Reis *et al.* (2011), as áreas permeáveis correspondem à vegetação (todas as formas de vegetação e solo exposto), enquanto as áreas impermeáveis correspondem às áreas urbanas (passeios, ruas pavimentadas, corpos d'água, edifícios, estacionamentos e coberturas de concreto).

Tabela 06 – Representação da área da bacia hidrográfica

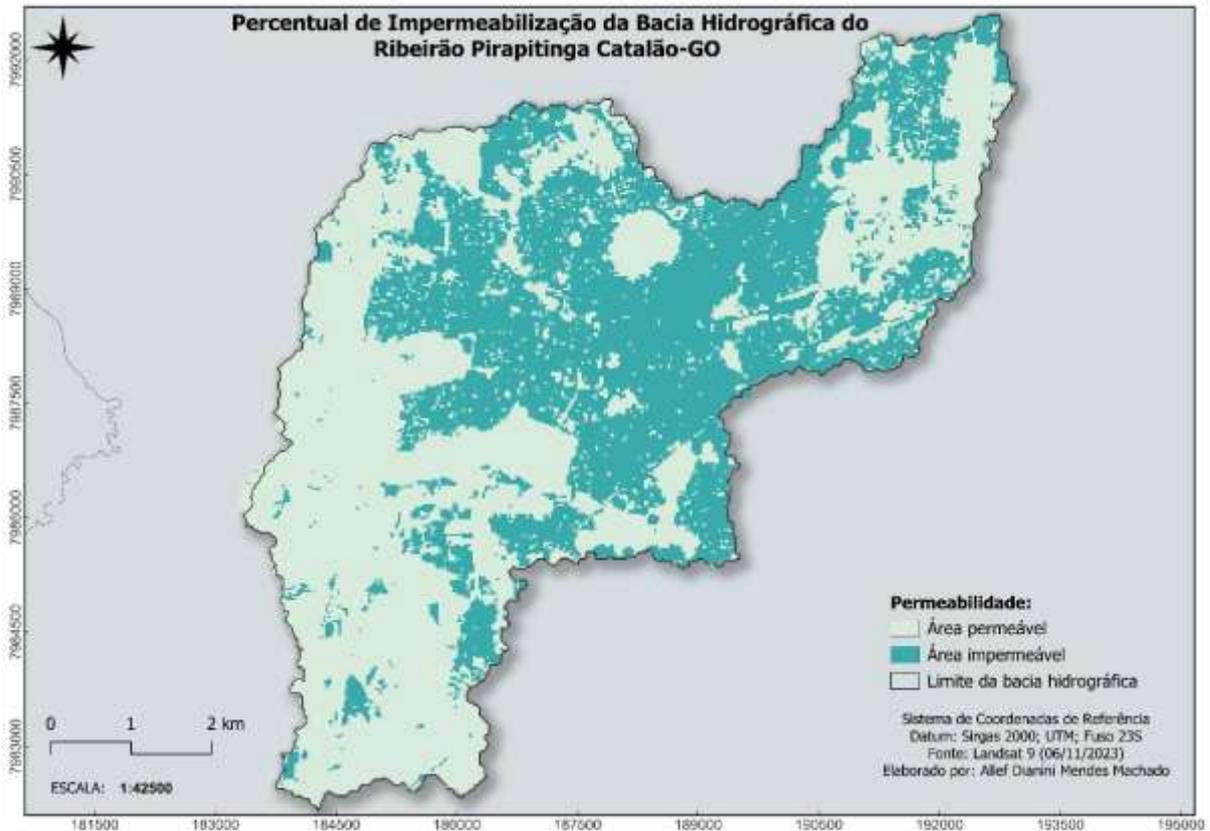
	Área (Km ²)	Área(%)
Área permeável	26.68	55.54%
Área impermeável	21.36	44.46%
Total	48.05	100%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os resultados (da tabela 06 e figura 22) indicam que quase metade da área da bacia hidrográfica (44,46%) está fortemente impermeabilizada devido ao avanço da urbanização. Esse processo, associado às formas do terreno e; as precipitações concentradas típicas do Cerrado (clima Aw), que ocorrem principalmente entre outubro e abril, aumentam a suscetibilidade da população ao risco de inundações e outros processos hidrológicos.

Assim, a impermeabilização, combinada com as formas do terreno, resulta no escoamento das águas em direção às áreas de várzea do Ribeirão Pirapitinga, que está altamente povoada e para além dela. Esse cenário contribui significativamente para o aumento da frequência e intensidade das inundações, impactando a vida da população afetada.

Figura 22 – percentual de impermeabilização da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com base na bibliografia já mencionada Genz e Tucci (1995), Tucci e Clarke (1998), Tucci (1999), Mendonça e Santis (2000), Kaufman e Silva (2005), Guimarães *et al.* (2008), Felipe e Magalhães Júnior (2009), Gonçalves e Guerra (2009), Tominaga (2009) Botelho e Silva (2010), Fritzen e Binda (2011) Leite *et al.* (2011), Waydzik (2015), é possível inferir que o grau de urbanização e impermeabilização dessa bacia hidrográfica (44,5%), em conjunto com as características climáticas do Cerrado e com a forma de urbanização desorganizada, típica do país, elevou a suscetibilidade área aos riscos hidrológicos.

A impermeabilização do solo, conforme Souza (1996), contribui para o aumento do escoamento superficial e a redução da infiltração, resultando em um rápido acúmulo de água nas áreas urbanas e nas planícies de inundação após chuvas intensas. Além disso, as características do pavimento urbano e das canalizações pluviais e fluviais tendem a aumentar as velocidades de escoamento, reduzindo o tempo de resposta hidrológica e intensificando os eventos de cheias em determinados trechos do rio. Outro fator relevante é a diminuição da interceptação da água pelas copas das árvores e da evapotranspiração, processos naturais que, em áreas vegetadas, contribuem para a retenção de parte da água da chuva e sua devolução à

atmosfera. No ambiente urbano, a remoção da vegetação e a predominância de superfícies impermeáveis reduzem significativamente esses processos, aumentando o escoamento superficial e agravando os riscos de inundações.

É importante destacar que, conforme concluído por Tucci (1997), existe uma relação direta entre a densidade habitacional e a impermeabilização do solo (Tabela 07). O aumento da densidade habitacional resulta em uma maior necessidade de infraestrutura, como edificações e vias pavimentadas, ampliando a área impermeabilizada. Esse processo reduz a capacidade de infiltração da água no solo, aumentando o escoamento superficial e elevando os riscos de inundações. Dessa forma, a densidade habitacional torna-se um indicador relevante para compreender as dinâmicas hídricas do ambiente urbano e os impactos ambientais associados ao uso e ocupação do solo.

Tabela 07 – Densidade habitacional e área impermeável (adaptado de Tucci,1997)

Densidade Habitacional da área urbana (hab./Km²)	Área Impermeável (%)
25	12
50	24
75	36
100	50
120	59
150	65
200	67

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De acordo com o IBGE (2019), Catalão apresenta uma densidade habitacional na área urbana de 36,14 hab./km². Esse valor, somado ao fato de que 44,46% da área da bacia está impermeabilizada, está bem acima do recomendado na pesquisa de Tucci (1997), o que indica um cenário preocupante para a bacia em estudo. A tendência é que as áreas impermeabilizadas continuem a crescer, agravando ainda mais a suscetibilidade à inundação. Esses dados, extraídos da tabela, foram analisados em diferentes regiões e biomas do Brasil pelo autor, incluindo cidades como Curitiba, Porto Alegre e São Paulo, e também foram reaplicados por outros pesquisadores em diversos municípios.

Segundo Christofolletti (1980) e Santos (2012), a ocupação desordenada das áreas ribeirinhas e das planícies de inundação, aliada à falta de planejamento adequado, aumenta

significativamente o risco de inundações e a vulnerabilidade das populações. A urbanização acelerada e sem planejamento, como apontado por Tyilianga (2017), leva à ocupação de áreas suscetíveis a eventos extremos e à modificação do ambiente natural, tornando essas regiões mais suscetíveis. Além disso, a substituição da vegetação por superfícies impermeáveis reduz processos naturais essenciais, como a interceptação da água pelas copas das árvores e a evapotranspiração, que, em áreas naturais, contribuem para a regulação do ciclo da água. A diminuição desses processos intensifica o escoamento superficial, agravando os impactos das inundações e aumentando os desafios associados à gestão hídrica no meio urbano.

Assim, com base nas análises e perspectivas apresentadas na bibliografia correlata e nos resultados do trabalho, é possível afirmar que a impermeabilização de parte considerável da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga aumentou significativamente a suscetibilidade da área a inundações. Diante disso, torna-se evidente a necessidade de medidas integradas de planejamento urbano, gestão de riscos e adaptação às mudanças ambientais. Entre as ações que podem ser implementadas para reduzir os impactos desses eventos estão: a recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) com vegetação nativa, a ampliação de áreas verdes e parques lineares ao longo do curso d'água, a implantação de sistemas de drenagem urbana sustentável (como jardins de chuva, pavimentos permeáveis e reservatórios de retenção), a regularização fundiária acompanhada de reassentamento em áreas de risco, além da criação de planos diretores que integrem a gestão dos recursos hídricos com o ordenamento territorial. Essas estratégias, se executadas de forma articulada, podem contribuir para a mitigação das inundações e para a melhoria da qualidade de vida da população local.

Dessa forma, a significativa porcentagem de área impermeável na bacia hidrográfica indicada (44,5%) sugere uma redução considerável na capacidade natural de absorção e infiltração da água. Isso resulta em um aumento significativo do escoamento superficial durante eventos de chuvas intensas, elevando as vazões além da capacidade da rede de drenagem e aumentando a suscetibilidade a inundações. Essa impermeabilização do solo contribui para o rápido acúmulo de água nas áreas urbanas e planícies de inundação, especialmente em situações de urbanização desordenada e ocupação inadequada de áreas suscetíveis.

Com base nas contribuições de diversos autores, como Genz e Tucci (1995), Tucci e Clarke (1998), Guimarães *et al.* (2008), entre outros, fica claro que a impermeabilização do solo, resultante da ocupação desordenada em áreas urbanas, é um fator determinante para o aumento do risco de inundações. Dessa forma, é fundamental compreender os locais mais suscetíveis a inundações na área de estudo.

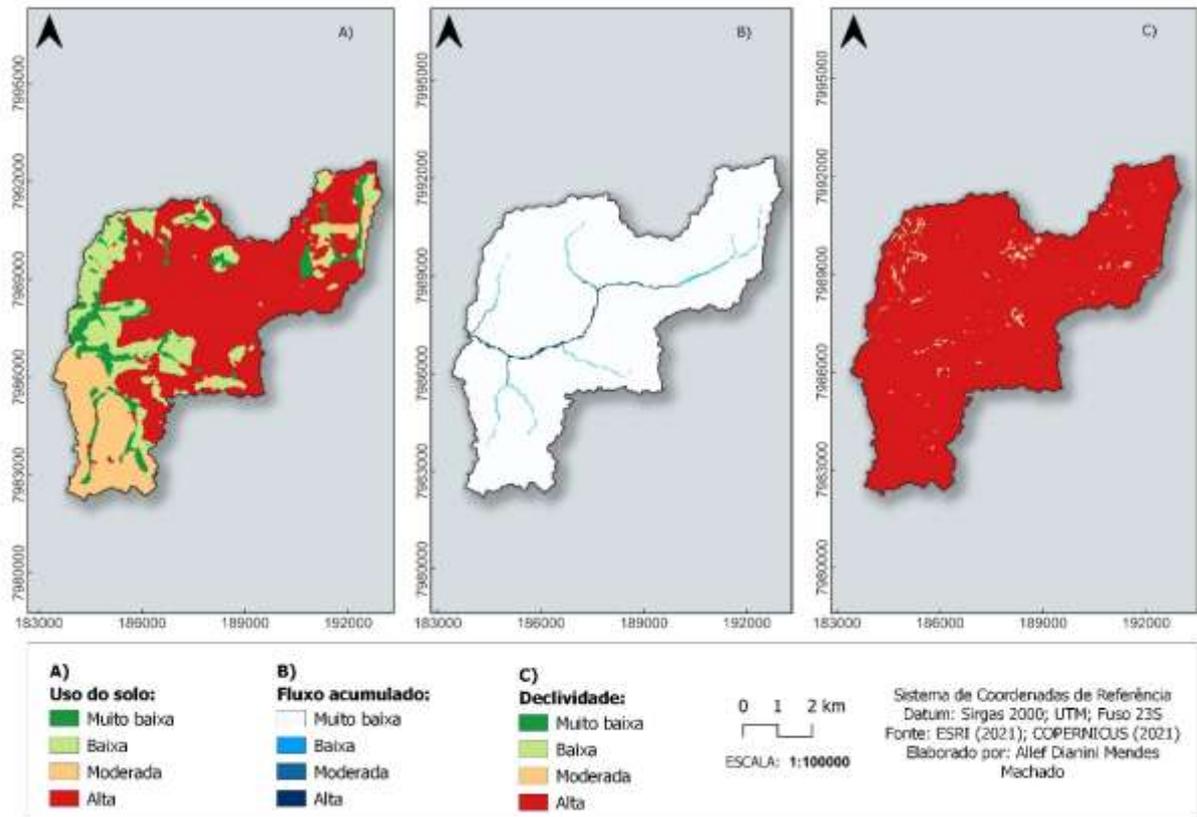
5.3 SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA ÁREA DE INTERESSE.

A cidade de Catalão-GO apresenta locais de suscetibilidade durante períodos de precipitação, especialmente na região do leito maior do Ribeirão Pirapitinga. As características do terreno (declividade e rampas) fazem com que a água do escoamento superficial da bacia hidrográfica escoe para o leito do Ribeirão Pirapitinga. Em um cenário de chuvas concentradas, típicas do clima da bacia hidrográfica (clima Aw), somado à remoção da vegetação, o que diminui a interceptação da água, e à impermeabilização dos terrenos, como ocorreu nesta bacia, o volume de água frequentemente ultrapassa a capacidade de vazão do canal, ocasionando transbordamentos que impactam o leito maior e além dele, gerando riscos e prejuízos à população.

Além disso, a canalização do ribeirão no perímetro urbano alterou suas características naturais de escoamento, tornando-o mais suscetível a transbordamentos; e a presença e o adensamento de edificações agravam o problema das inundações. Considerando que, como visto nos capítulos anteriores, apesar da morfometria favorável as inundações são uma realidade nesta bacia hidrográfica, principalmente devido às características climáticas e ao processo de ocupação que removeu a vegetação e impermeabilizou os solos, o trabalho buscou identificar as áreas suscetíveis a inundações.

Para a identificação dessas áreas suscetíveis, foi necessária a elaboração de um mapa de suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica da região de estudo. Seguindo os procedimentos descritos na metodologia, foram gerados mapas de uso do solo, fluxo acumulado e declividade (em graus). Esses mapas foram posteriormente reclassificados em quatro classes (muito baixa, baixa, moderada e alta) e receberam cores distintas para cada categoria, conforme os parâmetros estabelecidos por Korah e Lopez (2015), apresentados na Figura 23.

Figura 23 – Mapas utilizados para obtenção da suscetibilidade à inundação



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A gestão de bacias hidrográficas urbanizadas constitui um desafio significativo, especialmente em áreas impermeabilizadas, o que compromete a infiltração da água e intensifica os processos de escoamento superficial. A bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, conforme demonstrado nas figuras analisadas, apresenta uma interação complexa entre o uso do solo, os fluxos hídricos e a declividade do terreno, fatores que, em conjunto, determinam os padrões de resposta hidrológica da região.

A Figura 23a evidencia que, nesta bacia hidrográfica fortemente impermeabilizada, a classe predominante é a de alta suscetibilidade ao escoamento superficial, principalmente devido à urbanização intensa, especialmente nos trechos mais próximos à cabeceira do Ribeirão Pirapitinga. Nessas áreas, a ocupação urbana tem promovido uma acentuada impermeabilização da superfície, reduzindo a infiltração de água no solo e elevando significativamente os volumes de escoamento superficial.

A presença de infraestrutura pavimentada e edificações dificulta a infiltração da água, favorecendo processos volumosos de escoamento superficial, que, mais rápidos, levam à rápida concentração do fluxo pluvial nos sistemas de drenagem urbana e, então, nos canais fluviais.

Esse processo intensifica os riscos de enchentes, erosão, transporte e deposição de sedimentos, afetando a estabilidade dos cursos d'água, como o Ribeirão Pirapitinga. Além disso, a substituição da vegetação nativa por construções e vias altera os processos naturais de interceptação pela vegetação e evapotranspiração, comprometendo o balanço hídrico da região e aumentando a disponibilidade de água para os processos de escoamento, que afetarão o fluxo do Ribeirão Pirapitinga.

As áreas classificadas com suscetibilidade moderada a muito baixa estão predominantemente localizadas nas bordas sul e sudoeste da bacia. Essas regiões, caracterizadas pela presença de fragmentos de vegetação remanescente ou pela presença de pastagens e de usos agrícolas, apresentam uma capacidade de infiltração superior à das áreas urbanas, permitindo maior absorção da água pluvial e reduzindo parcialmente o impacto do escoamento superficial. No entanto, embora importantes, a extensão dessas áreas é relativamente reduzida, o que limita sua influência no equilíbrio hidrológico da bacia.

A Figura 23b representa a distribuição espacial do fluxo acumulado na bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga. Este mapa foi gerado a partir da organização do fluxo em uma escala crescente, indicando a quantidade de água superficial que se acumula em diferentes áreas da bacia. De acordo com a metodologia adotada, regiões com valores baixos de fluxo acumulado foram classificadas como menos suscetíveis à inundação, enquanto áreas com valores elevados foram associadas a maior suscetibilidade, uma vez que concentram grandes volumes de escoamento superficial.

Observa-se que os maiores valores de fluxo acumulado se concentram ao longo do canal principal do Ribeirão Pirapitinga e de seus principais afluentes, refletindo a convergência natural dos escoamentos gerados em toda a bacia. A organização do escoamento superficial segue o padrão topográfico, direcionando os fluxos das áreas mais elevadas para as cotas mais baixas, onde ocorre o acúmulo de água.

Esse comportamento é influenciado tanto pelas características naturais da bacia — como sua morfologia e declividade — quanto pelas modificações antrópicas, como a impermeabilização do solo urbano e a canalização de trechos fluviais. Essas alterações intensificam o escoamento superficial, reduzindo a infiltração e contribuindo para o aumento dos volumes acumulados em determinados pontos da rede de drenagem.

A topografia desempenha um papel fundamental na dinâmica do escoamento superficial e na suscetibilidade a inundações. A Figura 23c ilustra a distribuição da declividade na bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, destacando a predominância de terrenos de baixa inclinação.

Em condições normais, baixas declividades favorecem a infiltração e a retenção hídrica pelo solo, reduzindo a velocidade do escoamento superficial e seu volume. No entanto, em um ambiente amplamente urbanizado, essa característica pode potencializar a formação de inundações, pois a água tende a se acumular nas áreas mais planas devido à ausência de mecanismos naturais de escoamento.

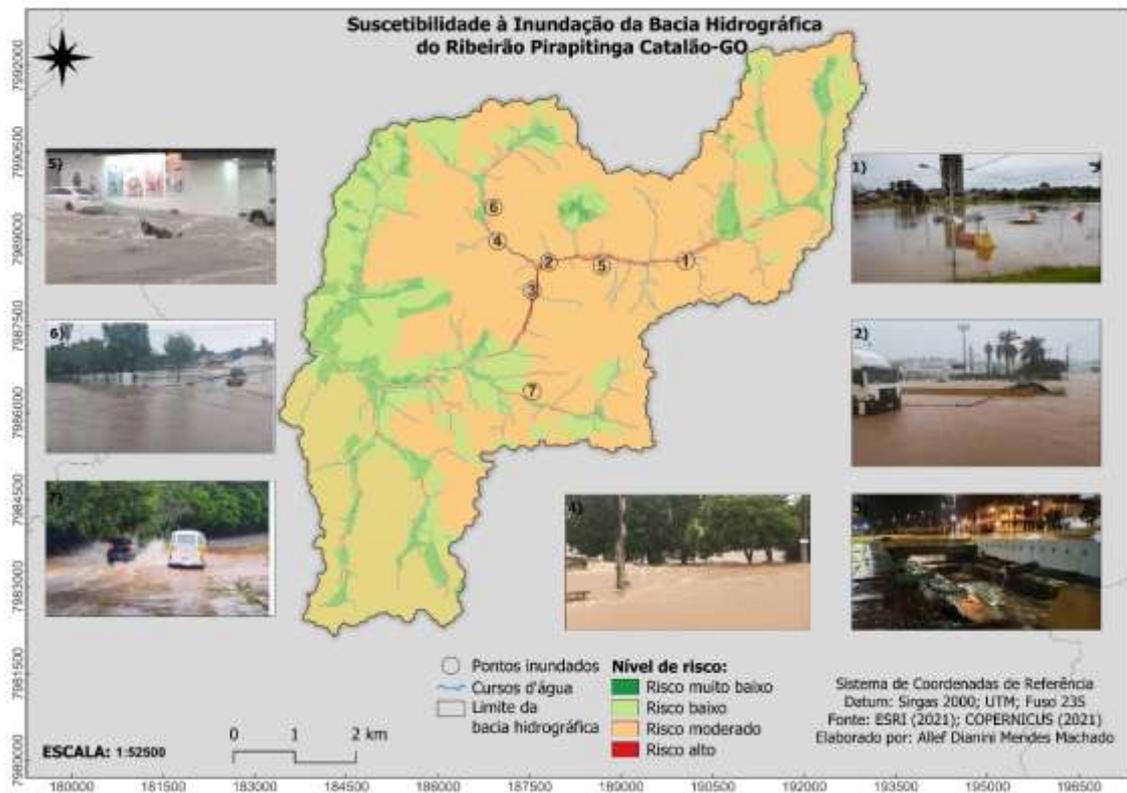
Além disso, a proximidade entre os canais fluviais e as áreas urbanizadas eleva o risco de inundações, uma vez que pequenos aumentos no nível do rio podem resultar na ocupação rápida de grandes extensões da bacia. Esse fenômeno é agravado pela impermeabilização do solo, que impede a absorção da água e prolonga o tempo de permanência das inundações.

Embora, como visto anteriormente, a forma (morfometria) da bacia não lhe confira grande suscetibilidade a inundações, a combinação das características naturais e antrópicas levou ao estabelecimento dos processos de inundação na bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, como pode ser observado na Figura 24.

A intensa urbanização, especialmente nas áreas próximas às cabeceiras, resultou em elevada impermeabilização do solo e alta suscetibilidade ao escoamento superficial, agravando a suscetibilidade de inundações. Além disso, embora o relevo da bacia seja caracterizado predominantemente por terrenos de baixa declividade — condição que, naturalmente, favoreceria a infiltração e a retenção de água —, no contexto urbano, essa característica contribui para a formação de inundações, pois a água tende a se acumular nas áreas mais planas devido à ausência de mecanismos naturais de escoamento.

As áreas críticas suscetíveis a inundações, identificadas na bacia hidrográfica, foram validadas por meio de pesquisas em notícias da imprensa local sobre eventos de inundação. Quatro dos sete pontos mapeados a partir dessas notícias estavam localizados em áreas classificadas como de alta suscetibilidade a inundações, o que corrobora os resultados deste trabalho. Além disso, embora o relevo da bacia seja caracterizado predominantemente por terrenos de baixa declividade — condição que, naturalmente, favoreceria a infiltração e a retenção de água —, no contexto urbano, essa característica contribui para a formação de inundações, pois a água tende a se acumular nas áreas mais planas devido à ausência de escoamento natural.

Figura 24 – Suscetibilidade à inunda o da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

De acordo com Christofolletti (1980), os processos fluviais e as inunda es são condicionados por fatores como a declividade do terreno, a capacidade de infiltra o do solo, o regime pluviométrico e as altera es antrópicas no ambiente. Dessa forma, a bacia foi classificada em diferentes níveis de suscetibilidade com base na intera o desses elementos.

As áreas de alta suscetibilidade a inunda es identificadas na bacia ocupam 149.600 m² e constituem um fenômeno tpico de regiões onde a ocupa o desordenada interfere na vazão dos rios, conforme apontado por Christofolletti (1980). Essas áreas correspondem a regiões com superfícies impermeabilizadas devido à intensa urbaniza o, baixa declividade e alta concentra o de fluxo acumulado, de acordo com as condicionantes descritas por Korah e Lopez (2015). Nesses locais, a impermeabiliza o, associada à baixa declividade e à proximidade com o curso d'água, intensifica os episódios de inunda o.

Nas áreas de alta suscetibilidade a inunda es, os fatores elencados neste trabalho reduzem a capacidade de infiltra o da água no solo e aumentam a propensão a transbordamentos, gerando os pontos mais críticos. Esses padrões alinham-se às considera es de Waydzik (2015) sobre a rela o entre declividade, escoamento e risco de inunda o, além

de reforçarem a influência da expansão urbana sobre a dinâmica hídrica da bacia, processo também observado nos estudos de Korah e Lopez (2015).

As áreas classificadas como de risco moderado, que correspondem a 26.613.200 m² e representam a classe predominante na bacia, apresentam características intermediárias, como maior declividade ou, nesta bacia, principalmente a presença de cobertura do solo com vegetação rala, rasteira ou agropecuária. Essas condições favorecem, ainda que de forma limitada, a drenagem da água, principalmente por meio da infiltração, reduzindo o acúmulo superficial. São áreas típicas onde a cobertura do solo influencia a relação entre escoamento superficial e subsuperficial, ainda que de forma restrita, proporcionando melhores condições de drenagem natural e diminuindo a frequência e a intensidade das inundações. Contudo, salienta-se que o crescimento das áreas urbanas pode alterar a suscetibilidade dessas regiões.

As áreas classificadas como de risco baixo, que somam 17.018.300 m², apresentam alguma interferência antrópica, como ocupações esparsas ou atividades agropecuárias, além da presença de coberturas vegetais (de cerrado) rasteiras e esparsas. No entanto, essa interferência ainda é limitada, permitindo que essas áreas mantenham condições razoáveis de drenagem devido à existência de espaços permeáveis. Nessas regiões, embora o escoamento superficial seja levemente aumentado, a infiltração de água no solo ainda ocorre de forma eficiente, reduzindo a frequência de inundações.

Por fim, as áreas de risco muito baixo, totalizando 4.216.500 m², correspondem a zonas com alta permeabilidade do solo e cobertura vegetal predominante e mais densa. A presença de vegetação natural favorece a infiltração e o armazenamento da água no solo, minimizando o escoamento superficial e, conseqüentemente, a ocorrência de inundações.

A diferenciação entre essas classes de risco reforça a importância do planejamento territorial para mitigar impactos das inundações, garantindo medidas preventivas em áreas mais suscetíveis e promovendo estratégias de ocupação do solo que favoreçam a permeabilidade e a drenagem natural da bacia.

Os resultados mostram que as áreas mais suscetíveis a inundações estão associadas à ocupação urbana intensa no leito maior do Ribeirão Pirapitinga. A análise da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica revela que a maior parte da área estudada se encontra em zonas de risco moderado e baixo, enquanto as áreas de risco muito baixo e alto ocupam parcelas menores. Essa configuração reflete diretamente as condições naturais e o padrão de uso e ocupação do solo, influenciando a dinâmica do escoamento superficial.

Além disso, destaca-se que a canalização do Ribeirão Pirapitinga altera o escoamento das águas fluviais, aumentando a velocidade do fluxo nos trechos canalizados. Embora a

canalização seja frequentemente utilizada como medida para mitigar inundações, no caso do Ribeirão Pirapitinga — assim como em diversas outras cidades do país — essa solução não se mostrou plenamente eficiente, e os trechos canalizados continuam sofrendo com inundações.

Dessa forma, os dados reforçam que a urbanização da bacia tem papel central na definição dos padrões de suscetibilidade à inundação. A presença de áreas de alto risco próximas ao leito do Ribeirão Pirapitinga evidencia a necessidade de um planejamento adequado, com estratégias de manejo hídrico que favoreçam a drenagem e reduzam os impactos das cheias.

O cenário atual reforça a necessidade de um planejamento urbano eficiente para reduzir os impactos das inundações. Medidas estruturais e não estruturais desempenham papéis complementares na mitigação desse problema. Segundo Miguez *et al.* (2016), as medidas estruturais envolvem intervenções diretas no ambiente, como canalização de rios, construção de barragens, bacias de contenção e parques inundáveis, que visam controlar o escoamento da água e minimizar os danos. Já as medidas não estruturais atuam de forma preventiva, incluindo o zoneamento urbano, a preservação de várzeas, sistemas de alerta e educação ambiental, buscando reduzir os riscos sem grandes intervenções físicas.

Em Catalão, o poder público tem investido milhões de reais no combate às inundações, concentrando a maior parte dos recursos na canalização dos cursos d'água. No entanto, essa estratégia, isoladamente, não tem se mostrado eficaz. A canalização, embora acelere o escoamento das águas em trechos específicos, também pode aumentar a velocidade do fluxo, agravando as inundações em áreas a jusante. Paralelamente, investimentos em alternativas como a criação de parques ecológicos e a preservação de áreas naturais têm sido significativamente menores, limitando o potencial de retenção e infiltração da água da chuva.

Além disso, a ocupação desordenada das margens dos rios e das áreas de várzea intensifica a vulnerabilidade da população e dificulta a efetividade das medidas de mitigação. Assim, observa-se que tanto as medidas estruturais quanto as não estruturais, tal como vêm sendo aplicadas, não têm sido suficientes para enfrentar o problema das inundações, evidenciando a necessidade de uma abordagem integrada, que combine infraestrutura, conservação ambiental e controle rigoroso do uso do solo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga foi possível compreender as interações entre os componentes naturais e antrópicos da bacia que podem contribuir para a suscetibilidade a inundações, e assim, fornecer subsídios para o planejamento urbano e o manejo adequado do território.

Do ponto de vista morfométrico, a bacia do Ribeirão Pirapitinga apresenta características que indicam uma baixa suscetibilidade a inundações. A morfologia da bacia, marcada por declividades suaves e um formato alongado, contribui para uma distribuição mais equilibrada do escoamento superficial. O fator de forma e o índice de circularidade indicam o favorecimento de fluxos mais lentos, dificultando a concentração rápida das águas durante eventos pluviométricos. No entanto, apesar dessa configuração favorável, a presença de áreas com declividades mais acentuadas, próximas aos principais corpos hídricos, pode acelerar o escoamento, sobretudo quando associada a chuvas intensas.

A análise dos fatores antrópicos evidenciou que a urbanização desordenada é o principal agente do aumento da suscetibilidade a inundações. As áreas com elevado índice de impermeabilização do solo, que abrangem cerca de 44,5% da bacia e se concentram predominantemente nas porções médias e altas, reduzem a capacidade de infiltração e intensificam o escoamento superficial. Essa condição sobrecarrega o sistema de drenagem natural e agrava a ocorrência de inundações, especialmente nas áreas urbanizadas.

Os efeitos da urbanização incluem a modificação do uso do solo, com a substituição da cobertura vegetal natural, que desempenha um papel essencial na regulação do ciclo hidrológico. A substituição da vegetação nativa do Cerrado por áreas urbanizadas, associada a um modelo de ocupação do solo com alta densidade populacional, altera significativamente processos fundamentais, como a interceptação da precipitação, a evapotranspiração, a infiltração da água no solo e o escoamento superficial. A redução da vegetação compromete a capacidade de infiltração, aumenta o escoamento superficial e concentra os fluxos hídricos — fatores que intensificam a ocorrência e a gravidade das inundações, especialmente nas áreas urbanizadas.

Além disso, a ocupação desordenada das planícies de inundação e a ausência de um planejamento urbano adequado agravam a suscetibilidade da área. Apesar das tentativas de controle, como a canalização do ribeirão, os impactos das inundações permanecem evidentes, indicando a necessidade urgente de ações mais eficazes e sustentáveis no manejo da bacia.

Em síntese, a bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga enfrenta um alto risco de inundações, com os principais fatores de risco relacionados à urbanização desordenada,

impermeabilização do solo e remoção da vegetação natural. Para mitigar esses impactos, é fundamental adotar um planejamento urbano integrado, que combine medidas estruturais e não estruturais, como a preservação de áreas de vegetação e E o manejo adequado do solo. A construção de infraestrutura ecológica, como bacias de contenção e parques inundáveis, juntamente com políticas de zoneamento urbano mais rigorosas, é essencial para a gestão sustentável das águas e redução da vulnerabilidade da população.

Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram os estudos teóricos realizados por Pedrosa (2005), Ribeiro (2011), Costa e Orlando (2018), Alves (2020) e Borges (2020), ao apontarem a relação direta entre a urbanização desordenada, a impermeabilização do solo e o aumento da suscetibilidade a inundações em bacias urbanas. Esta análise da bacia do Ribeirão Pirapitinga contribui significativamente para o entendimento dos processos hidrológicos urbanos, ao identificar com precisão as áreas mais suscetíveis às inundações, evidenciar as principais causas desse risco e propor caminhos para sua mitigação. A pesquisa reforça a importância de considerar tanto os aspectos físicos quanto os antrópicos da paisagem no planejamento territorial, destacando a urgência de políticas públicas integradas que promovam o uso sustentável do solo, a recuperação de áreas verdes e a implantação de infraestruturas de drenagem considerando as características locais. Dessa forma, espera-se que este estudo ofereça subsídios técnicos e científicos relevantes para a formulação de estratégias eficazes de gestão de riscos e planejamento urbano sustentável.

Este estudo demonstrou que o Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma ferramenta valiosa para a análise da suscetibilidade a inundações, pois permite integrar dados espaciais de diferentes fontes e produzir resultados precisos para o planejamento urbano. A pesquisa pode servir como base para futuras análises em outras regiões com características semelhantes, contribuindo para o aprimoramento das práticas de gestão urbana e ambiental.

Por fim, os resultados indicam que, apesar dos esforços para controlar as inundações, o modelo atual de ocupação do solo não é suficiente para garantir a sustentabilidade da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga e a segurança da população. A adoção de um modelo de desenvolvimento mais equilibrado, que respeite os limites ambientais e promova a conscientização sobre os riscos associados às mudanças no uso da terra é essencial para a construção de um futuro mais seguro e resiliente para os moradores da região.

REFERÊNCIAS

- ABHAS K JHA, A. K; BLOCH R E LAMOND J. **Cidades e Inundações Um guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XXI. Um Resumo para os Formuladores de Políticas.** Ed.: Joaquin Toro e Frederico Ferreira Pedroso, Banco Mundial / Escritório de Brasília, 2012.
- ACERDA, G. L. B.; FIRMINO, L. Q.; SÁ, A. C. N.; ROCHA NETO, O.; SILVA, V. F.. **Caracterização morfométrica: estudo de caso da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos, Paraíba, Brasil.** Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.10, n.2, p.362-376, 2019.
- AGNINO, R. S., E CARPI JUNIOR, S. **Risco ambiental: conceitos e aplicações.** Climatologia e Estudos da Paisagem. p.2-50, 2007.
- ALAMY FILHO, J. E. *et al.* **Influência da progressiva ocupação urbana na ocorrência de áreas inundáveis.** Ciências e Engenharia, v. 26(2), p. 21-31, 2017.
- ALMEIDA, J. W. L. ; SANTOS, I. S.; VELOSO, G. A.; LEITE, M. E. **Geotecnologias aplicadas ao uso do solo: estudo de caso na bacia do Vieira no Município de Montes Claros.** Anais do XVI Encontro Geógrafos Brasileiros. Porto Alegre: [s.n.], 2010. p. 1-11.
- ALVES, H. P. F.; TORRES, H. G. **Vulnerabilidade Socioambiental na Cidade de São Paulo: uma análise de famílias e domicílios em situação de pobreza e risco ambiental.** Revista São Paulo em Perspectiva. Vol. 20. Nº 1. Jan.-Mar. 2006, p. 44-60.
- ALVES, V. **Relação cidade-curso de água: a canalização do ribeirão pirapitinga na cidade de Catalão (GO).** Universidade Federal de Goiás, regional Catalão, Programa de Pós-Graduação em Geografia,2020.
- APOLLO, R. A.; BARROS, B. S. X.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; RODRIGUES, V. A. **Caracterização morfométrica da microbacia do Ribeirão Água da Lucia, Botucatu-SP.** Pesquisa Aplicada &Agrotecnologia, v. 5, n. 1, 2012. p. 163-167.
- AMARAL, R. ;RIBEIRO, R.R. Inundação e Enchentes. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J. ; AMARAL, R. **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir.** São Paulo, Instituto Geológico, p.39-52, 2009.
- AMARO, A. **Consciência e cultura do risco nas organizações.** Territorium, Coimbra, n. 12, p. 5-9, 2005.
- ANDRADE, S. L., FERREIRA, V. O., E SILVA, M. M. **Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro.** Caderno de Geografia, 24(41), 2014.

ANDRADE, S. L.; FERREIRA, V. O.; SILVA, M. M. **Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG.** Caderno de Geografia, v.24, n.41, 2014

ANTUNES, P. **Áreas de Preservação Permanente Urbanas: O Novo Código Florestal e o Judiciário.** Revista de Informação Legislativa, Número 206 abr./jun. 2015.

ARAUJO, A. S.; SILVA, G.A; SILVA, M. F; SILVA, F.L. **Percepção de risco de moradores de área com inundações recorrentes: análise da Baixada do Sobral–Rio Branco/AC.** Uáquiri-Revista do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Acre, 2, 19-19, 2020.

ARAÚJO,G.H.S.; ALMEIDA,J.R.;GUERRA,A.J.T. **Gestão ambiental de áreas degradadas.** 6. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.320 p.

AUGUSTO FILHO, O. Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle. In: BITAR, O.Y. (Coord.). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 3.4, p.77-100.

BABAR, M. **Hydrogeomorphology: Fundamentals Applications and Techniques.** Nova Delhi: NIPA, 2005, 274p.

BAKER, Victor. **Fluvial landforms.** Goddard Earth Sciences. 2009.

BARROS, D. V., SILVA, Q. D., TEIXEIRA, E. C., COSTA, C. M., SANTANA, R. G. **Morfometria, uso e cobertura do solo como indicadores de enchentes e inundações na Bacia do Rio do Prata, Ilha do Maranhão.** Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 3(5), 217-226. 2016.

BARROS, M. T. L. de. Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento. In: PHILIPPI JR, A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável.** Barueri: Manole, 2005.

BLOOM, A. **Geomorphology.** 3rd. Illinois:Waveland Press, Inc, 2004. 482p.

BOOTH, D.B. **Urbanization and the natural drainage system – impacts, solutions, and prognoses.** The Northwest Environmental Journal, n.7, p.93-118. 1991.

BORGES, U. C. dos S. **Alagamentos e inundações na bacia do ribeirão Pirapitinga em Catalão (GO).** Universidade Federal de Goiás, Regional Catalão, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2020.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.153-192. 2004.

BOTELHO, R.G.M., SILVA, A.S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: GUERRA, A.J.T; VITTE, A.C. (orgs). **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3.ed. 2010.

BRANDÃO, A. B. (2010). **Urbanização e inundações urbanas: um estudo de caso em Belo Horizonte**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 3, n. 3, p. 665-676.

BRANDÃO, A.M.P.M. “As Alterações Climáticas na Área Metropolitana do Rio de Janeiro: Uma Provável Influência do Crescimento Urbano”. In: ABREU, M.A. (org.). **Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, Secret. Munic. de Cultura, Turismo e Esportes. Col. Biblioteca Carioca, 1992, vol.21, p.143-200

BRASIL. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília – DF: Ministério das Cidades; Instituto de pesquisas tecnológicas – IPT. 2007. 176 p.

CARDOSO, C. A; DIAS, H. C. T; SOARES, C. P. B; MARTINS, S. V. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ**. Rev. Árvore 30 (2). Abril, 2006.

CAMPOS, M. das D. **Catalão: Estudo Histórico e Geográfico**. Goiânia: Tipografia e Editora Bandeirantes, 1976.

CARMO, R. L.; SILVA, C. A. M. População em zonas costeiras e mudanças climáticas: redistribuição espacial e riscos. In: D.J. HOGAN; E. MARANDOLA JR. (Orgs.). **População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais**. Campinas: Núcleo de Estudos de População – NEPO/Unicamp; Brasília: UNFRA, 2009, p. 137-157.

CARNEIRO, P. R. F.; MIGUEZ, M. G. **Controle de inundações em bacias hidrográficas metropolitanas**. São Paulo: Annablume, 2011.

CASTRO, A. L.C. **Manual de Desastres Naturais**. V.1 Brasília (DF): Ministério da integração Nacional, 2003.

CASTRO, A.L.C. de. **Ministério da integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Desastres Naturais Relacionados com o Incremento das Precipitações Hídricas e com as Inundações**. P.34-48. 2007.

CHIN, A. **Urban transformation of River Landscapes in a global context**. Geomorphology, n. 79, P. 460-487. 2006.

CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., & MAYS, L. W. **APPLIED Hydrology**. McGraw-Hill Education.1988.

COSTA, J. e ORLANDO, P. **Riscos ambientais no final do trecho canalizado do ribeirão pirapitinga, em Catalão (GO)**. XIX Encontro Nacional de Geógrafos, pensar e fazer a Geografia Brasileira no século XXI: Escalas, conflitos socioespaciais e crise estrutural na nova geopolítica mundial. João Pessoa-Paraíba, 2018.

CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CUNHA, S. B. da. Geomorfologia fluvial. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 211-252.

CUNHA, S. B. Rios desnaturalizados. In: BARBOSA, J. L. (Org.). **Ordenamento territorial ambiental**. Niterói: Eduff, 2012. p. 171-191.

CUNHA, S.B. E GUERRA, A.J.T. Degradação Ambiental. In: CUNHA. S.B. & GUERRA A.J.T. (orgs). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Editora Bertrand Brasil, Rio do Janeiro, 7.ed.2009

DAGNINO, R. DE S.; CARPI JR . **Risco ambiental: conceitos e aplicações**. Climatologia e Estudos da Paisagem. Rio Claro, v . 2 , n . 2, p 50 – 87 , jul . /dez 2007.

DEBARRY, P. A. **Watershed: processes, assessment and management**. John Wiley & Sons: New Jersey, 2004. 700p.

DIAS, L.S.O.; ROCHA, G.A.; BARROS, E.U.A.; MAIA, P.H.P. **Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas**. Bahia Análise & Dados, Salvador, v. 4, n.2, p.265-271, 2004.

DREW, D. **Processos Interativos Homem x Meio Ambiente**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, 224 p.

ESPÍNDOLA, I. B.; RIBEIRO, W. C. **Cities and climate change: challenges to Brazilian municipal Master Plans**. Cadernos Metr pole, v. 22, n. 48, p. 365-396, 2020.

DUARTE, F. **Planejamento Urbano**. Curitiba: Ibpx, 2009. p. 202.

FARIAS, A; MENDONÇA, F. **Riscos socioambientais de inunda o urbana sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano**. Sociedade&Natureza. Uberl ndia, MG. v.34. e63717. 2022.

FELIPPE, M.F. E MAGALH ES J NIOR, A.P. **Consequ ncias da Ocupa o Urbana na Din mica das Nascentes em Belo Horizonte-MG**. In: VI Encontro Nacional Sobre Migra es. Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: CEDEPLAR, FACE, UFMG. 2009.

FRANCO, A. C. V.; DAL SANTO, M. A. **Contribui o da morfometria para o estudo das inunda es na sub-bacia do Rio Lu s Alves/SC**. MERCATOR, v. 14, n. 3, dez. 2015.

FRITZEN, M.; BINDA, A. L. **Altera es no ciclo hidrol gico em  reas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente**. Revista eletr nica Ateli  Geogr fico, v.5, n.3, p. 239-254, dez. 2011.

FRUTUOSO, G. K. C.; GRIGIO, A. M.; BARROS, T. C. A. N. **Mapeamento das áreas de risco de inundação urbana na cidade de Assú - Rio Grande do Norte, Brasil.** Revista Brasileira de Geografia Física. v.15, n.06, 2994-3012. 2022

GENZ, F.; TUCCI, C. E. M. **Infiltração em superfícies urbanas.** Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, V. 13, n. 1, p.105-124, jun. 1995.

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. **Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade.** REGNE , Vol. 4, N° Especial (2018).

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil.** 2005 Disponível em: http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf. Acesso em: 29 jul. 2023.

GOERL, R. F; KOBAYAMA, M; SANTOS, I. **Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 13, nº 2 (2012)

GONÇALVES, L. F. H.; GUERRA, A. J. T. Movimentos de massa na cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro). In: CUNHA, S. B; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil.** 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p. 189 – 252.

GOUDIE, A. **Encyclopedia of Geomorphology.** Routledge: London, 2004, 1200 p.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Dicionário geológico-geomorfológico.** 6.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 652p. 2008.

GUERRA, A. J. T., **Geomorfologia Urbana.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A. T; GUERRA, A. J. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico.** 9ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, F. C; ZACHARIAS, A. A. **Mapeamento das áreas de riscos hidrológicos e as políticas públicas de sustentabilidade: o caso de Ourinhos/SP.** Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 04, n. 26, 2016, p. 75-94

HALL, C. M. (2008). **Urban flooding and climate change: impacts and implications for tourism in the UK.** Current Issues in Tourism, v. 11, n. 5, 2008, p. 475-501.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology.** Geol Soe. Am. Bull., v.56, n.3, p. 275-370. 1945.

HUGGET, R. J. **Fundamentals of Geomorphology.** Routledge: London, 2005, 386p.

HUNGR, O.; EVANS, S. G.; BOVIS, M. J.; HUTCHINSON, J.N. **A review of the classification of landslides of the flow type.** Environmental and Engineering Geoscience, v. 7, n. 3, p. 221-238, 2001.

INFANTI JUNIOR, N. & FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 9, p.131-152.

JACOB, A. C. P. **Você sabe qual a diferença entre alagamento e inundação?** Aquafluxus. 2014.

JORGE F. N.; UEHARA, F. N. Águas de superfície. In: OLIVEIRA A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Org.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998, p.101-109.

JUNIOR, V. J. S; SANTOS, C. O. **A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas**. Estação científica (UNIFAP), Macapá, v.3 n. 1, p.19-30, jan-jun. 2013.

KAUFFMANN, M.O; SILVA, L. P. **Taxa de impermeabilização do solo: um recurso para a implementação da bacia hidrográfica como unidade de planejamento urbano integrado à gestão dos recursos hídricos**. XI Encontro Nacional da associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional-ANPUR, Salvador, 23-27 de maio 2005- Bahia.

KAUFFMANN, Márcia O. **Expansão Urbana e Qualidade de Vida: Proposta para Desenvolvimento de Indicadores de Sustentabilidade Aplicados à Legislação Urbanística**. Rio de Janeiro, Mestrado em Engenharia Ambiental da UERJ, dez. 2003. Dissertação.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F. RUDORFF, F.M. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos**. 1ª ed. Editora: Organic Trading. Curitiba, 2006. 109 p.

KOFFLER, N. F. **Uso das terras da bacia do rio Corumbataí em 1990**. Geografia, Rio Claro, 18 (1): p. 135-150, abril 1993.

Korah, P. I.; López, F. M. J. **Mapping Flood Vulnerable Areas in Quetzaltenango, Guatemala using GIS**. Journal of Environment and Earth Science, 5(6), ISSN 2224-3216 (Paper), ISSN 2225-0948, 2015.

LACERDA, G. L. B.; *et al.* **Caracterização morfométrica: estudo de caso da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos, Paraíba, Brasil**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais Ibero-American Journal of Environmental Sciences Fev a Mar 2019 - v.10 - n.2

LEITE, M. E.; SANTOS, I. S.; ALMEIDA, J. W. L. **Mudança de uso do solo na bacia do rio Vieiras**, Montes Claros/MG. Revista Brasileira de Geografia Física, v.4, p. 779-792, 2011.

LIMA, G. S; AMORIM, R. R. **Suscetibilidade e vulnerabilidade: um impasse conceitual que dificulta a responsabilização pelo desastre**. ANAIS DO EVENTO EM COMEMORAÇÃO AOS 20 ANOS DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA (IG-UNICAMP). 2023.

LIMA, V. B. **OS caminhos da urbanização/mineração em Goiás: o estudo de Catalão (1970-2000)**. 2003. Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2003.

LOCZY, L. & LADEIRA, E.A. **Geologia estrutural e introdução à geotectônica**. Rio de Janeiro/São Paulo: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Cnpq) & Editora Edgard Blücher Ltda, 1981. 528p.

MACHADO, P. J. de O. ; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MARICATO, E. **Brasil, cidades, alternativas para a crise urbana**. Petrópolis: Vozes, 2001.

MARINI, F, M.; PICCOLO, M. C. **Hidrogeomorfología de la cuenca del río Quequén Salado, Argentina**. Investigaciones Geográficas, n. 37, p. 59-71, 2005.

MARINI, F, M.; SCHILLIZI, R.; MONTGOMERY, D. R.; BOLTON, S. M. **Hydrogeomorphic Variability and River Restoration**. In: WISSMAR, R. C. e BISSON, P. A. (ed.) Strategies for Restoring River Ecosystems: Sources of Variability and Uncertainty in Natural and Managed Systems. American Fisheries Society Publication: Maryland, p. 39-80, 2003.

MILLER, V.C.A. **Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area**. Virginia and Tennessee Technical Report 3, Office of Naval Research, Department of Geology, Columbia University, New York, 1953.

MENDES, G. G., ARRUDA, V. M., MATA, J. F. DA, QUEIROZ, G. L., SILVA E SILVA, K. A.; SILVA, G. D. DA. **Mapeamento de áreas suscetíveis a inundações no município de Muniz Freire-ES**. In: Anais do 19º Congresso de Meio Ambiente, Poços de Caldas, 2022.

MENDES, P. P. M. **Os Riscos na Modernidade Reflexiva: Análise dos Riscos Ambientais no Perímetro Urbano de Catalão (GO)**. Dissertação (Mestrado em Geografia e Ordenamento do Território, Linha de pesquisa: Estudos Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Regional Catalão, 2016.

MENDES, R. S; OLIVEIRA. F. V. **Aspectos Morfográficos, Morfométricos e de Cobertura e Uso da Terra da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais, Brasil**. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, v. 2, n. 44, p. 57-80, mai.-ago. 2022.

MENDONÇA, F. A. Riscos e Vulnerabilidades socioambientais urbanos a contingência climática. Mercator, v 9, n.1, p.153-163, dez/2010.

MENDONÇA, F. A.; BUFFON, E. A. M.; GOUDARD, G. **l'adaptation urbaine au changement climatique global: les inondations à Curitiba et Pinhais (Brésil)** In: XXVIIIe Coloque de l'Associon Internationale de Climatologie. Liège (Sart-Tilman)/Belgique, 2015, p. 200-205.

MENDONÇA, F.A. ; S.A.U.- Sistema socioambiental Urbano: uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade. In:____. (org.) **Impactos socioambientais urbanos**. Curitiba: ED. UFPR, 2004.

MIGUEZ, M.G., VERÓL, A.P., REZENDE, O.M., 2016, **Drenagem Urbana: do Projeto Tradicional à Sustentabilidade**. Elsevier Brasil.

MONTGOMERY, C.W. **Environmental geology**. 3ª ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1992. 465p.

MORAIS, M.M.L;ROCHA, J. D. N. **Vulnerabilidade socioambiental: inundações urbanas de Pendências/RN**. Representações da Paisagem - Caderno de Resumos, 2022.

MOTA, S. **Gestão ambiental de recursos hídricos**. 3. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2008.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 356 p

OLIVEIRA JUNIOR, E. S; BUHLER, F. B.; MUNIZ, C. C.; A. O. **Córregos urbanos do município de Cáceres-MT, brasil: um olhar para a conservação**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET. v. 17n. 17. p. 3268- 3274. 2013.

OLIVEIRA, A. L.; VENÂNCIO, M.; MENDONÇA, M. R.; PEDROSA, L. E. **A Degradação Ambiental Decorrente da Expansão Urbana: Um Estudo de Caso - Catalão/GO**. In: Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina, 20 a 26 de março de 2005, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, K.A; MIRANDA,L. V; AMRILDO, L.K; PINTO,M.L.C. **Encuentro de Geógrafos de América Latina**. Perú , 2013.

OLIVEIRA, L. M. **Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos**. Curitiba: Mineropar, 1998.

OLIVEIRA, R. D.; ROCHA, P. C.; SENNA, C. S. F. (2020). **Estudo da morfometria de três sub-bacias urbanas no rio Xingu e as mudanças na dinâmica de inundações após a construção da usina hidrelétrica de Belo Monte em Altamira, PA**. Fórum Ambiental da Alta Paulista, volume 16, número 7, ISSN 1980-0827.

PARKINSON, Jonathan *et al.* **Drenagem Urbana Sustentável no Brasil**. Relatório do workshop em Goiânia – GO. 7 de Maio de 2003. Goiânia: CREEA, 2003.

PAULEIT, S., & DUHME, F. (2013). **Assessing the environmental performance of urban planning strategies for flood prevention based on sustainable urban development indicators**. Journal of Environmental Management, v. 122, p. 20-30.

PEDROSA, L. E. *et al.* **A apropriação do relevo urbano e suas implicações sócio-ambientais: um estudo de caso em Catalão/GO**. (dissertação). Uberlândia, IG/UFU, 2001.

PEDROSA, L. E. *et al.* **Áreas urbanas e os aspectos físicos. Um estudo de caso de Catalão/Go.** Monografia (bacharelado em Geografia), Catalão/GO - UFG/CAC, 1997.

PEDROSA, L. *et al.* **A degradação ambiental decorrente da expansão urbana: um estudo de caso - Catalão/GO.** X Encontro de Geógrafos da América Latina, Universidade de São Paulo, 2005.

PEREIRA, P. S. P. M. L.; MENDES, L. D. **Morfometria de bacia hidrográfica urbanizada: uma análise do Rio Iguaçu-Sarapuí, na Baixada Fluminense (RJ), para avaliação de parâmetros de suscetibilidade à ocorrência de enchente e inundação.** Revista Continentes (UFRRJ), 2018, n. 13, ISSN 2317-8825.

PICCOLO, M. C. **Carta hidrogeomorfológica de la cuenca superior de los arroyos Pillahuincó Grande y Pillahuincó Chico, Buenos Aires, Argentina.** Revista de Geografía Norte Grande, n. 42, p. 71-80, 2009

REBELO, F. **Riscos naturais e ação antrópica.** Coimbra: Imprensa da Universidade, 2003.

REIS, J. T; FILHO, W. P; SILVEIRA, A. Luiz L. **Estimativa entre densidade habitacional e áreas impermeáveis na região urbana da sub bacia hidrográfica do arroio Cadena em Santa Maria, RS.** Ciência e Natura, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 145-160, 2011.

REIS, K. K. R.; OLIVEIRA JUNIOR, D. N. de. **Ação antrópica e o clima: uma análise comparativa da temperatura na cidade de Catalão (GO).** Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, v. 21, n. 7, p. 7181-7193, 2023.

RIBEIRO, L. **Expansão Urbana e Derivações Ambientais Sobre o Ribeirão Pirapitinga em Catalão-GO.** Universidade Federal de Goiás campus Catalão, Programa de pós-graduação em Geografia. 2011.

RIBEIRO, L. J.; CHAVES, M. R. **Planejamento e gestão de recursos hídricos no perímetro urbano de Catalão (GO).** In: XI World Water Congress, 2011, Porto de Galinhas (PE).

Rosa, R. M ;Ferreira , V.O. **Aspectos morfográficos, morfométricos e de cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais, Brasil.** Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n. 44, v. 2, p. 57-80, mai.-ago. 2022. ISSN: 2176-5774

Rodrigues, J. P. S. **Arborização Urbana de Acompanhamento Viário em Catalão (GO).** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, 2021.

SAITO, S. M.; SORIANO, E.; LONDE, L. R. Desastres Naturais. In: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. (Org.). **Sensoriamento Remoto para Desastres.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 23-42.

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

SANTOS, L. T. **Plano ambiental ambiental de manejo e gestão da bacia do Ribeirão Samambaia/Pari – Catalão/GO**. Monografia (bacharelado em Geografia), Campus de Catalão, Universidade Federal de Goiás. Catalão. 2004, 32 p.

SANTOS, Milton. *A Urbanização Brasileira*. 5ªed. São Paulo: Edusp, 2008.

SANTOS, V. F. **Dinâmica de inundação em áreas úmidas costeiras: zona urbana de Macapá e Santana, costa amazônica, Amapá**. PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP. Macapá, v. 9, n. 3, p. 121-144, dez. 2016.

SANTOS, F. A.A; & ROCHA, E.J.P. **Alagamento e inundação em áreas urbanas. Estudo de caso - Cidade de Belém**. Revista GeoAmazônia, Belém, v. 02, n. 2, p. 33 - 55, jul./dez. 2013.

SILVA, A. S. ; ROSA, R. **Mapa de capacidade e potencial do uso da terra do município de Catalão (GO)**. Caderno de Geografia, v. 29, n. 59, 2019.

SILVA, M. V. **Trabalho de campo no espaço urbano de Catalão/Goiás: uma proposta pedagógica**. In: Anais VII Encontro Nacional de Ensino de Geografia “Fala Professor (qual) é o fim do ensino da Geografia? Catalão (GO), 9 a 12 de outubro de 2015.

SEHNEM, M.; RODRIGUES, G. P.; CAMARGO, G. I. L.; CORSEUIL, C. W.; D'AQUINO, C. A. **Análise da morfometria de bacias hidrográficas sujeitas a inundações na região sul de Santa Catarina - Brasil**. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2015.

SIDLE, R. C.; ONDA, Y. **Hydrogeomorphology: overview of an emerging science**. Hydrological Processes, n. 18, p. 597-602, 2004.

SOARES, A.; PEREIRA, B.; SANTOS, C.; RAMOS, C.; VAZ, T.; OLVEIRA, P. **“Inundações urbanas: o caso das ruas STª. Maria, S. José e Portas de Stº Antão (Lisboa)”** in Anais do X Colóquio Ibérico de Geografia: a Geografia ibérica no contexto europeu, Evora, 2005, pp. 1-14.

SOUZA, C. R. de G. **Cartografia de risco à inundação no Litoral Paulista: o exemplo do município de São Sebastião**. Departamento de Geotecnia (USP), departamento de Geologia Aplicada (Unesp), 1996.

STRAHLER, A. N. **Geografia física**. Barcelona: Ediciones Omega S. A. p.449-475. 1979. Schumm, S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. Geological Society of America Bulletin, v.74, n.9, p. 1089-1100, 1963.

TYILIANGA, J. F. **Problemática do abastecimento de água e saneamento de águas residuais no município do Lubango/Angola**. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas. Universidade Nova de Lisboa. Outubro, 2007

TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo : Instituto Geológico, 2009.

TOMÉ, L. F. **A cidade de Catalão em um Homem e sua família, de Braz José Coelho: tempo e espaço, experiências e memórias, paisagem e cultura urbana.** 2019, 200 f. Dissertação (Mestrado em História)- Programa de Pós- Graduação em História (profissional), Unidade Acadêmica Especial de Historia e Ciências Sociais, Universidade Federal de Goiás, Regional Catalão. Catalão,2019.

TONELLO, M. F.; FERREIRA, E. S.; RODRIGUES, I. O. M.; SOUZA, V. **Situação ambiental do Igarapé Mirandinha (canalização).** Revista ACTA GEOGRÁFICA, ano II, v. 4, p. 41-53, 2008.

TORRES, H. G., ALVES, H. P. F.; OLIVEIRA, M. A. **São Paulo peri-urban dynamics: some social causes and environmental consequences.** Environment & Urbanization Journal. Vol. 19. Nº 1. Abr. 2007, p. 207- 223.

TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana e Controle de Inundações. In: CAMPOS, Heraldo & CHASSOT, Attico (Org). **Ciências da Terra e meio ambiente.** São Leopoldo: Ed. Unisinos, 1999.

Tucci, C. E. M.; Clarke, R. T. **Impactos das mudanças da cobertura no escoamento.** In: I - Fórum Geo-Bio Hidrologia. Instituto de Pesquisa Hidráulica – IPH – UFRGS. Anais. Curitiba, 1998. Artigo, p. 77 – 103.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação.** Porto Alegre: ABRH-EDUSP, 2000.

TUCCI, C.E.M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas.** Ministério das Cidades. Global Water Partnership. World Bank. Unesco. 2005.

TUCCI, C.E.M. **Curso de Gestão de inundações urbanas.** Porto Alegre – RS/ 2005

TUCCI, C.E.M. Águas Urbanas. In: TUCCI, C.E.M e BERTON, J.C. (Org). **Inundações Urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.
TRICART, J. 1966. As discontinuidades nos fenômenos de erosão. *Notícia Geomorfológica*, 6 (12):3-4

UNITED NATIONS. **Guidelines for reducing flood losses.** United Nations: Geneva, v. 79, 2004.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). **Flood Risk Management Glossary.** 2010.

VAZ, L.; ORLANDO, P. H. K. **Diagnóstico de uma Área de Preservação Permanente no Interior Urbano de Catalão-GO.** In: Anais do III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Goiânia/GO, 19 a 22/11/2012.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

VILLAS BOAS, G. H. **Etnogeomorfologia da APA Macaé de Cima: um objetivo e dois saberes.** Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Geografia) –Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro –UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

WAYDZIK, D. **Desafios na gestão da drenagem urbana.** Revista Técnico Científica do CREA – PR. Paraná. 3ª edição, p. 1-3, out.2015