

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO**

**Priscila Viegas Victor**

**Análise temporal do uso e ocupação do solo e o efeito no deflúvio nas  
microbacias dos córregos São Pedro, Humaitá e Carlos Chagas**

Juiz de Fora  
2024

**Priscila Viegas Victor**

**Análise temporal do uso e ocupação do solo e o efeito no deflúvio nas  
microbacias dos córregos São Pedro, Humaitá e Carlos Chagas**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Ambiente Construído como requisito  
parcial à obtenção do título de  
Mestre em Ambiente Construído.  
Área de concentração: Técnicas do  
Ambiente Construído.

Orientador: Doutor Jonathas Batista Gonçalves Silva

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Victor, Priscila Viegas.

Análise temporal do uso e ocupação do solo e o efeito no deflúvio nas microbacias dos córregos São Pedro, Humaitá e Carlos Chagas / Priscila Viegas Victor. -- 2024.

116 f. : il.

Orientador: Jonathas Batista Gonçalves Silva

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2024.

1. Drenagem. 2. Uso e Ocupação do Solo. 3. Urbanização. I. Silva, Jonathas Batista Gonçalves, orient. II. Título.

**Priscila Viegas Victor**

**Análise temporal do uso e ocupação do solo e o efeito no deflúvio nas  
microbacias dos córregos São Pedro, Humaita e Carlos Chagas**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Ambiente Construído como requisito  
parcial à obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Civil. Área de  
concentração: Técnicas do Ambiente  
Construído:

Aprovada em 13 de novembro de 2024

**BANCA EXAMINADORA**

Doutor Jonathas Batista Gonçalves Silva - Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Doutor César Henrique Barra Rocha  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Doutor Leonardo Duarte Batista da Silva  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Juiz de Fora, 04/11/2024.

---



Documento assinado eletronicamente por **Jonathas Batista Gonçalves Silva, Professor(a)**, em 13/11/2024, às 11:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Cezar Henrique Barra Rocha, Professor(a)**, em 14/11/2024, às 09:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Duarte Batista da Silva, Usuário Externo**, em 18/12/2024, às 14:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2076696** e o código CRC **549A6732**.

---

Dedico este trabalho à minha filha, aos meus pais e amigos que me inspiraram e me auxiliaram na realização.

## AGRADECIMENTOS

Nesse período de muita dedicação e estudo, gostaria de agradecer a algumas pessoas que me acompanharam e foram fundamentais para a realização deste sonho. Por isso, expresso aqui, por meio de palavras sinceras, um pouquinho da importância que elas tiveram, e ainda têm, nesta conquista e a minha sincera gratidão a todas elas.

Agradeço a Deus, por ser refúgio em todos os dias, por guiar meus passos e proteger meus caminhos. Agradeço aos meus pais, pelo incentivo, apoio e por serem exemplos de perseverança. À minha filha, Yasmin, pela compreensão, ao ser privada em muitos momentos da minha companhia e atenção, e pelo apoio incondicional. À minha tia Enir (*in memoriam*) por estar ao meu lado de onde estiver.

Ao Professor Doutor Jonathas Batista Gonçalves Silva, meu orientador, pela manifestação de apoio e disponibilidade e pela compreensão por algumas dilações. Também aos professores Maria Teresa Gomes Barbosa, Maria Helena Rodrigues Gomes e César Henrique Barra Rocha, pelos aconselhamentos assertivos, que muito contribuíram para melhorar a profundidade e a clareza da investigação. À Fundação CAPES, pela Bolsa de Mestrado concedida, que possibilitou a realização deste projeto de investigação.

Um obrigado especial aos meus amigos Regina e Antônio, a quem realmente considero como meus pais do coração, que sempre estiveram ao meu lado, apoiando-me e torcendo por mim. Quero também agradecer às minhas colegas de UFJF, Nádia, Vanessa e Adriana Coelho que fizeram parte ativamente desta conquista, que tornaram a trajetória leve e contribuíram com os estudos. E, finalmente, e não menos importante, a todos os meus alunos, que foram o motivo de todo o meu esforço, que foram meu incentivo e minha decisão de ser professora enquanto Deus me der forças.

## RESUMO

Historicamente, cidades foram estabelecidas próximas a corpos hídricos para facilitar o abastecimento de água e o transporte. Contudo, essa relação tornou-se problemática devido à expansão urbana desordenada, especialmente no Brasil, onde o controle urbanístico e o monitoramento das bacias hidrográficas são insuficientes para mitigar os impactos dos eventos extremos. A urbanização reduz o tempo de concentração e aumenta as vazões de pico, diminuindo a infiltração do solo e promovendo o assoreamento dos cursos d'água, elevando a suscetibilidade a riscos hidrológicos. A gestão de recursos hídricos contribui na redução desses riscos em áreas urbanas. Neste contexto, visando contribuir com o auxílio na gestão do município de Juiz de Fora, o presente estudo objetivou analisar a contribuição da urbanização no aumento de deflúvio dos córregos Humaitá, Carlos Chagas e São Pedro. Para tal, foi realizada uma análise do Uso e Ocupação do Solo entre os anos de 1985 a 2023 utilizando-se o *software* Qgis, que permitiu obter as alterações das áreas urbanas, de vegetação densa e de pastagem e solo exposto. Além disso, foram desenvolvidos por meio de modelagem hidrológica, com o *software* ABC6, hidrogramas unitários para cada microbacia, permitindo comparar o deflúvio antes e após o processo de urbanização. Os resultados desta análise mostraram que as microbacias tiveram mudanças significativas em suas classes de uso e ocupação, aumentando a área urbana e recuperando parte da cobertura vegetal em locais que antes era pastagem. Por fim, a partir dos hidrogramas unitários, constatou-se que houve redução no volume infiltrado no solo, aumento de escoamento superficial, aumento nas vazões de pico, e redução do tempo de concentração de todas as microbacias estudadas. Entre elas destacam-se a microbacia do córrego São Pedro, com maior taxa de urbanização (aumento de 177,66% em 38 anos) e a microbacia do córrego Carlos Chagas com a maior porcentagem de área impermeável (72,1% da área total da microbacia). Todos os fatores observados contribuem para o aumento da suscetibilidade a eventos hidrológicos, reafirmando a necessidade de controle e gestão hídrica.

Palavras-chave: Drenagem. Urbanização. Uso do solo.



## ABSTRACT

Historically, cities have been established near water bodies to facilitate water supply and transportation. However, this relationship has become problematic due to disorderly urban expansion, especially in Brazil, where urban control and monitoring of watersheds are insufficient to mitigate the impacts of extreme events. Urbanization reduces the time of concentration and increases peak flows, reducing soil infiltration and promoting silting of watercourses, increasing susceptibility to hydrological risks. Water resource management contributes to reducing these risks in urban areas. In this context, aiming to contribute to the management of the municipality of Juiz de Fora, this study aimed to analyze the contribution of urbanization to the increase in runoff from the Humaitá, Carlos Chagas and São Pedro streams. To this end, an analysis of Land Use and Occupation was carried out between 1985 and 2023 using the Qgis software, which allowed us to obtain changes in urban areas, dense vegetation, pasture and exposed soil. In addition, unit hydrographs were developed for each microbasin through hydrological modeling, with the ABC6 software, allowing us to compare the runoff before and after the urbanization process. The results of this analysis showed that the microbasins underwent significant changes in their use and occupation classes, increasing the urban area and recovering part of the vegetation cover in places that were previously pasture. Finally, from the unit hydrographs, it was found that there was a reduction in the volume infiltrated into the soil, an increase in surface runoff, an increase in peak flows, and a reduction in the concentration time of all the microbasins studied. Among them, the São Pedro stream microbasin stands out, with the highest urbanization rate (an increase of 177.66% in 38 years) and the Carlos Chagas stream microbasin with the highest percentage of impermeable area (72.1% of the total area of the microbasin). All the factors observed contribute to the increased susceptibility to hydrological events, reaffirming the need for water control and management.

Keywords: Drainage. Urbanization. Use of the soil.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição dos Desastres por Tipologia, por vítimas fatais e por prejuízos econômicos a nível mundial (1970 a 2019) .....	22
Figura 2 – Perfil esquemático da calha de um canal e dos processos de enchente e inundação .....	23
Figura 3 – Comportamento do fluxo pluvial em áreas naturais e em áreas urbanizadas.....	25
Figura 4 – Hidrograma típico de uma bacia hidrográfica .....	27
Figura 5 – Hidrogramas.....	29
Figura 6 - Influência da Urbanização no hidrograma de enchente .....	30
Figura 7 – Representação do Ciclo Hidrológico Completo .....	40
Figura 8 – Representação do Ciclo Hidrológico Parcial utilizado pelo ABC6 ...	40
Figura 9 – Rede Esquemática de Dados de Entrada no software ABC6 .....	41
Figura 10 – Caracterização da Área de Estudo.....	53
Figura 11 – Caracterização da Microbacia Hidrográfica do Córrego Humaitá..	56
Figura 12 – Rua Lúcio Bitencourt após temporal em 2022 .....	57
Figura 13 – Rua Lúcio Bitencourt após temporal em 2023 .....	57
Figura 14 – Mancha de inundação para 2022.....	58
Figura 15 – Caracterização da Microbacia Hidrográfica do Córrego Carlos Chagas.....	60
Figura 16 – Bairro Jardim Cachoeira registrou alagamento durante forte chuva em 2021 .....	61
Figura 17 – Caracterização da Microbacia Hidrográfica do Córrego São Pedro .....	63
Figura 18 – Exutório da MBHCSP .....	64
Figura 19 – Bairro Democrata alagado após chuvas .....	65
Figura 20 – Sobreposição de pontos de alagamentos e inundações levantados, as áreas de suscetibilidade à inundações em Juiz de Fora pelo CPRM e as áreas de risco à inundação pela Defesa Civil.....	66
Figura 21 - Fluxograma das etapas da pesquisa .....	68
Figura 22 – Mapeamento das redes e canais de microdrenagem pluvial subterrâneos cadastrados até o momento. ....	70
Figura 23 – Rede de drenagem com foco nas áreas estudadas .....	71

Figura 24 – Tipos de Solos presentes nas Microbacias em estudo segundo a Prefeitura Municipal de Juiz de Fora em 2024 .....	76
Figura 25 – Estação Pluviométrica utilizada na modelagem .....	77
Figura 26 – Dados de Entrada para cálculo da Rugosidade de Manning Composto (n) no ABC6 .....	81
Figura 27 – Características Fisiográficas das Microbacias .....	84
Figura 28 – Uso e Ocupação do Solo para a MBHC Humaitá .....	86
Figura 29 – Comparação de Uso e Ocupação da MBHCH (1985 e 2024).....	87
Figura 30 – Mapa Comparativo do Uso e Ocupação do Solo entre os anos de 1985 e 2023 para a MBHC Carlos Chagas .....	87
Figura 31 – Comparação de Uso e Ocupação da MBHCCC (1985 e 2023) ....	88
Figura 32 – Mapa Comparativo do Uso e Ocupação do Solo entre os anos de 1985 e 2023 para a MBHC São Pedro.....	89
Figura 33 – Comparação de Uso e Ocupação da MBHCSP (1985 e 2023).....	90
Figura 34 – Gráficos de Lâmina Infiltrada e Excedente para a MBHCH .....	96
Figura 35 – Gráficos de Lâmina Infiltrada e Excedente para a MBHCCC .....	98
Figura 36 – Gráficos de Lâmina Infiltrada e Excedente para a MBHCSP .....	100
Figura 37 – Hidrograma Unitário da MBHCH em 1985 .....	101
Figura 38 – Hidrograma Unitário da MBHCH em 2023 .....	102
Figura 39 – Hidrograma Comparativo da MBHCH .....	103
Figura 40 – Hidrograma Unitário da MBHCCC em 1985.....	105
Figura 41 – Hidrograma Unitário da MBHCCC em 2023.....	106
Figura 42 - Hidrograma Comparativo da MBHCCC .....	106
Figura 43 – Hidrograma Unitário da MBHCSP em 1985 .....	108
Figura 44 – Hidrograma Unitário da MBHCSP em 2023 .....	109
Figura 45 - Hidrograma Comparativo da MBHCSP .....	109

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de Modelos Hidrológicos e suas Aplicações.....	32
Quadro 2 - Valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo (Condição II de umidade). .....	38
Quadro 3 – Principais Eventos de Inundação em Juiz de Fora.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de Retorno para Sistemas Urbanos .....	73
Tabela 2 - Classes de Uso da Terra e Ocupação do Solo .....	75
Tabela 3 - Valores do tempo de concentração (tc) e equações utilizadas. ....	79
Tabela 4 – Valores do Coeficiente c para áreas urbanas no ABC6 .....	80
Tabela 5 - Características das Microbacias.....	83
Tabela 6 – Área Impermeabilizada e porcentagem utilizada nos cálculos para elaboração do Hidrograma Unitário.....	85
Tabela 7 - Áreas de Uso e Ocupação entre os anos de 1985 a 2023 da MBHCH .....	86
Tabela 8 - Áreas de Uso e Ocupação entre os anos de 1985 a 2023 da MBHCCC.....	88
Tabela 9 - Áreas de Uso e Ocupação entre os anos de 1985 a 2023 da MBHC São Pedro .....	89
Tabela 10 - CN Médio de Cada Bacia no Intervalo de Tempo de Estudo .....	90
Tabela 11 – Distribuição Temporal pelo Método dos Blocos Alternados .....	92
Tabela 12 – Dados de Entrada no ABC6 e resultados parciais.....	93
Tabela 13 – Valores de Lâmina Infiltrada e Excedente para MBHC Humaitá ..	96
Tabela 14 – Valores de Lâmina Infiltrada e Excedente para MBHC Carlos Chagas.....	98
Tabela 15 – Valores de Lâmina Infiltrada e Excedente para MBHC São Pedro .....	99
Tabela 16 – Resultados Finais para a MBHC Humaitá .....	103
Tabela 17 – Resultados Finais para a MBHC Carlos Chagas.....	107
Tabela 18 – Resultados Finais para a MBHC São Pedro .....	110

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
CEMADEM	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres
ONU	Organização das Nações Unidas
EM-DAT	<i>The International Disaster Database</i>
OMM	Organização Meteorológica Mundial
HU	Hidrograma Unitário
HUS	Hidrograma Unitário Sintético
ANA	Agência Nacional de Águas
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
SSD	Sistemas de Suporte a Decisão
LABSID	Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões
CRFB	Constituição da República Federativa do Brasil
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PJF	Prefeitura de Juiz de Fora
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MBHCH	Microbacia Hidrográfica do Córrego Humaitá
MBHCCC	Microbacia Hidrográfica do Córrego Carlos Chagas
MBHCSP	Microbacia Hidrográfica do Córrego São Pedro
SCP	<i>Semi-Automatic Classification</i>
DGI	Divisão de Geração de Imagem
CN	<i>Curve Number</i>
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
GAN-IDF	<i>Genetic Algorithm Methodology</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
	3.1 ESTUDO DA HIDROLOGIA APLICADO À PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS .....	21
	3.1.1 Desastres no Ambiente Urbano .....	21
	3.1.2 Enchentes e Inundações.....	22
	3.2 MODELAGEM HIDROLÓGICA E CONTROLE DAS ÁGUAS URBANAS	24
	3.2.1 Escoamento Superficial e Hidrograma .....	25
	3.2.2 Modelos hidrológicos.....	31
	3.2.2.1 Modelo SCS Curve Number .....	35
	3.2.3 Sistemas de Suporte a Decisão e ABC6.....	39
	3.2.4 Uso e Ocupação do Solo.....	42
	3.2.4.1 Legislação que regulamenta o uso e ocupação do solo em Juiz de Fora.....	44
	3.3 HISTÓRICO DE CHEIAS EM JUIZ DE FORA .....	48
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>52</b>
	4.1. A ÁREA ESTUDADA .....	52
	4.1.1. Microbacia Hidrográfica do Córrego Humaitá.....	54
	4.1.2. Microbacia Hidrográfica do Córrego Carlos Chagas .....	58
	4.1.3. Microbacia Hidrográfica do Córrego São Pedro .....	61
	4.2. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA E HIDROLÓGICA.....	66
	4.2.1.1 Delimitação dos limites, das áreas, dos exultórios e dos comprimentos dos afluentes principais.....	69
	4.2.1.2 Cálculo dos desníveis dos afluentes principais.....	69

4.2.1.3	Área diretamente conectada ao Sistema de Microdrenagem Urbano .....	70
4.2.1.	Etapa 2 - Análise do Uso e Ocupação do solo .....	71
4.2.1.4	Obtenção de imagens de Satélite para Identificação do Uso e Ocupação do Solo.....	71
4.2.2.	Etapa 3 - Caracterização Hidrológica .....	72
4.2.2.1.	Curve Number.....	74
4.2.2.2.	Distribuição Temporal de Precipitação .....	77
4.2.2.3.	Tempo de Concentração (calculado pelo software);....	79
•	Vazão e Velocidade dos cursos d'água .....	81
•	Tempo de Trânsito da Onda de Cheia (h).....	82
4.2.2.4.	Cálculo da Taxa de Infiltração .....	82
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>83</b>
5.1.	ETAPA 1 - ANÁLISE FISIAGRÁFICA DAS MICROBACIAS..	83
5.2.	ETAPA 2 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	85
5.3.	ETAPA 3 - RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA.....	90
5.3.1.	<i>Curve Number</i> (CN).....	90
5.3.2.	Distribuição Temporal de Precipitação .....	91
5.3.3.	Tempo de Concentração, Tempo de Trânsito da Onda de Cheia e Velocidade dos Cursos D'água .....	93
5.3.4.	Taxa de Infiltração e Escoamento Superficial .....	95
5.3.4.1.	MBHC Humaitá.....	95
5.3.4.2.	MBHC Carlos Chagas.....	97
5.3.4.3.	MBHC São Pedro .....	99
5.4.	HIDROGRAMAS .....	100
5.4.1.	<b>Hidrograma da Microbacia Hidrográfica do Córrego Humaitá.....</b>	<b>101</b>



5.4.2. Hidrograma da Microbacia Hidrográfica do Córrego Carlos Chagas.....	104
5.4.3. Hidrograma da Microbacia Hidrográfica do Córrego São Pedro.....	107
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO A – Equação IDF Resumo dos Resultados para a Região de Estudo</b>	<b>122</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico das áreas urbanas, aliado aos efeitos do aquecimento global e a impermeabilização intensa, tornam as cidades locais vulneráveis ao risco de inundações e enchentes, com frequência e intensidade cada vez maiores.

Em novembro de 2022 o número de habitantes do planeta atingiu a marca de 8 bilhões. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), em 2037 a população mundial superará 9 bilhões de pessoas (ONU, 2022). Ainda segundo a ONU (2018), cerca de 55% da população mundial reside em centros urbanos e as projeções mostram que até 2050 essa taxa aumentará para 68%. O processo de crescimento populacional ocasiona “deficiências estruturais, modelos de produção e consumo não sustentáveis, maiores níveis de poluição, degradação ambiental e desigualdades econômicas e sociais” (SILVA, 2013). Por conseguinte, diversos efeitos ambientais negativos se agravam.

Em relação às alterações climáticas, que também influenciam nos eventos de desastres naturais, estudos de uma organização sem fins lucrativos, a *Berkeley Earth*, revelaram que os últimos oito anos foram os mais quentes observados pela instituição desde o ano de 1850 (período em que o controle das temperaturas começou a ser registrado). O ano com maior registro na temperatura foi o de 2016, com média global de 1,37°C. Em 2022, os registros marcaram um aumento de 1,24°C (Rohde, 2023). Essas informações são validadas também pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) que, em seu Relatório Especial sobre Emissões (2021-2022), projeta anomalias de 1° até 1,5°C na temperatura global (IPCC, 2021).

Segundo o IPCC (2013), o aquecimento global possui como consequências alguns fatores, tais como o aumento na frequência e intensidade de eventos extremos (inundações e deslizamentos de encostas); potencialização de situações de risco como desastres ambientais e vulnerabilidade econômica, uma vez que setores como os de transporte, indústria e energia seriam diretamente atingidos pelas chuvas intensas.

Além disto, em conjunto com o aumento do contingente populacional urbano ocorre o acréscimo das áreas impermeabilizadas. Segundo Tucci

(2001), o processo de urbanização da maior parte das cidades brasileiras ocorreu de forma desorganizada. Isso contribuiu para o aumento da impermeabilização do solo, retirando as barreiras naturais que atrasam o escoamento do fluxo das águas pluviais, proporcionando um aumento nas vazões dos afluentes em cerca de 7 vezes, segundo o autor.

Segundo estudo da Confederação Nacional de Municípios (2022), o Estado de Minas Gerais foi o que mais decretou estado de anormalidade. Foram mais de 8.095 Decretos, 54% de todos os Decretos emitidos em âmbito nacional. Cerca de 990 mil mineiros foram atingidos por chuvas intensas, alagamentos e inundações entre os anos de 2021 e 2022. A instituição reconhece que a ausência de políticas públicas de habitação, saneamento e infraestrutura são as principais causas dos desastres e reafirma a necessidade de investimento em gestão e planejamento dos municípios, em face de redução dos altos gastos com os prejuízos.

A problemática que impulsiona esse estudo é a recorrência de inundações e enchentes na cidade de Juiz de Fora. Conforme estudo do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres (CEMADEN, 2018), a Cidade encontra-se em 9º lugar no ranking de cidades do Brasil e em 3º lugar no Estado de Minas Gerais, como o município que possui a maior população exposta ao risco. Cerca de 25% da população está vulnerável a inundações e deslizamentos de terra.

Tendo em vista os prejuízos supracitados, o estudo da influência do uso e ocupação do solo na recorrência dos eventos de inundação torna-se extremamente importante. Além disso, por considerar o fato de que as áreas ribeirinhas são as mais prejudicadas, a regularização na ocupação dos bairros a montante pode reduzir os impactos sociais e econômicos gerados pelas mudanças climáticas.

O recorte espacial escolhido para esta pesquisa são os bairros São Pedro, Industrial e Carlos Chagas, que estão localizados na cidade de Juiz de Fora e atualmente vêm passando por eventos recorrentes de inundação.

## 2 OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo principal identificar, por modelagem hidrológica, a contribuição de deflúvio das bacias (entre os anos de 1985 e 2023) dos córregos São Pedro, Carlos Chagas e Humaitá, no município de Juiz de Fora.

Alguns objetivos específicos foram traçados no intuito de alcançar o objetivo geral, são eles:

- a) Fazer a análise fisiográfica das sub-bacias estudadas;
- b) Aplicar o modelo hidrológico SCS para definir os deflúvios de contribuição na bacia do Rio Paraibuna provenientes do exutório do Córrego São Pedro, do exutório do Córrego Humaitá e do exutório do Córrego Carlos Chagas;
- c) Compilar um estudo comparativo com intuito de identificar as consequências da expansão urbana face aos eventos de inundação.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ESTUDO DA HIDROLOGIA APLICADO À PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS

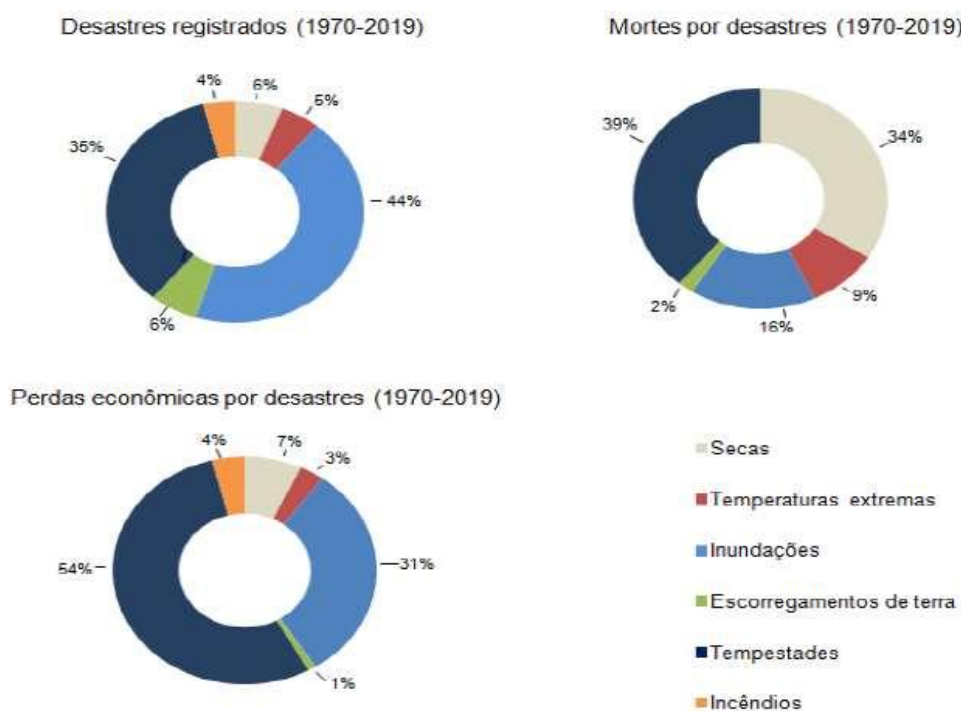
##### 3.1.1 Desastres no Ambiente Urbano

Segundo a Defesa Civil, os desastres são resultados “de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais” (CASTRO, 1999, p. 2). Os desastres decorrem do processo de crescimento demográfico; da mesma forma que as transformações do espaço urbano, os mesmos podem ter causas naturais (ocorrência de um fenômeno natural com intensidade elevada em uma localização habitada) ou antrópicas (decorrente das ações humanas) (GANEM, 2012).

Segundo pesquisa do *The International Disaster Database* (EM-DAT) os desastres que mais afetam o Brasil possuem causas naturais; entre eles estão as inundações, a seca e as altas temperaturas. Entre os desastres listados, as inundações foram o tipo de desastre mais recorrente e mortal, totalizando 2.435 mortes (88% das mortes devido a desastres) no período de 2000 a 2018; a seca combinada com as altas temperaturas foram os desastres que mais afetaram a população, atingindo mais de 33 milhões de pessoas no período de 2012 a 2014 (EM-DAT, 2020).

O atlas elaborado pela Organização Meteorológica Mundial - OMM (OMM, 2021) “Mortalidade e Perdas Econômicas de Eventos Extremos de Tempo, Clima e Água” revela que a ocorrência de desastres aumentou em cinco vezes em 50 anos. Na Figura 1, está demonstrada a distribuição mundial dos eventos por números de registros, óbitos e perdas econômicas entre os anos de 1970 a 2019. Pode-se observar que as inundações são os desastres mais frequentes, enquanto as tempestades ocasionam o maior número de mortes e perdas econômicas (EDUARDO, 2022 apud OMM, 2021).

Figura 1 – Distribuição dos Desastres por Tipologia, por vítimas fatais e por prejuízos econômicos a nível mundial (1970 a 2019)



Fonte: Eduardo (2022).

### 3.1.2 Enchentes e Inundações

As enchentes ocorrem quando há uma concentração excessiva no volume de água que escoar no leito de um rio, superando a capacidade de escoamento do mesmo e transbordando em suas margens, ao passo que nas inundações há a submersão de áreas fora do curso natural do canal, extravasando em regiões que normalmente não ficam submersas (CEMADEN, 2016).

O curso do rio é composto por três áreas que podem ser ocupadas dependendo das condições ambientais. São elas: o leito menor, que seria o curso natural do afluente em épocas de estiagem; o leito maior, que serve para escoar o volume gerado por períodos chuvosos, onde o volume aumenta devido ao escoamento da precipitação na bacia, e a várzea ou planície de inundação. Essa região capta o volume que excede a capacidade da calha do canal (CORREIA, 2011). Na Figura 2 demonstra-se as áreas acima citadas.

Figura 2 – Perfil esquemático da calha de um canal e dos processos de enchente e inundação



Fonte: CEMADEN (2016).

Segundo Ward (1978), as inundações são fenômenos naturais que ocorrem aleatoriamente, devido a diversos fatores e seu surgimento deve-se a diferentes formas, podendo ser intensificadas pelas características das bacias, formato do canal e da rede de microdrenagem. Tucci (2007) descreve a enchente como consequência de dois processos: a ocupação de áreas ribeirinhas, que ocorre devido à negligência no controle do uso e ocupação do solo, e o processo de urbanização intensificado, que ocasiona o aumento no escoamento superficial devido à impermeabilização do solo.

Em relação às inundações, Tucci (2007) pontua que a ocorrência se deve às alterações realizadas no curso do afluente, tais como estrangulamento de seção, aterros de várzeas, assoreamento do rio e implantação de estradas, entre outros fatores de infraestrutura; remanso produzido pela topografia local e erros de projetos de drenagem.

Como consequência da recorrência desses eventos, além dos prejuízos econômicos, sociais e humanos, Tucci (2007, p. 26) destaca os efeitos sobre a saúde, tais como “contaminação por doenças de veiculação hídrica como leptospirose, cólera, entre outras, e contaminação da água pela inundação de depósitos de material tóxico, estações de tratamento, entre outros”. O autor descreve que a atuação preventiva e integrativa permite a redução dos riscos e redução dos gastos com as ações de contingência pós-evento.

### 3.2 MODELAGEM HIDROLÓGICA E CONTROLE DAS ÁGUAS URBANAS

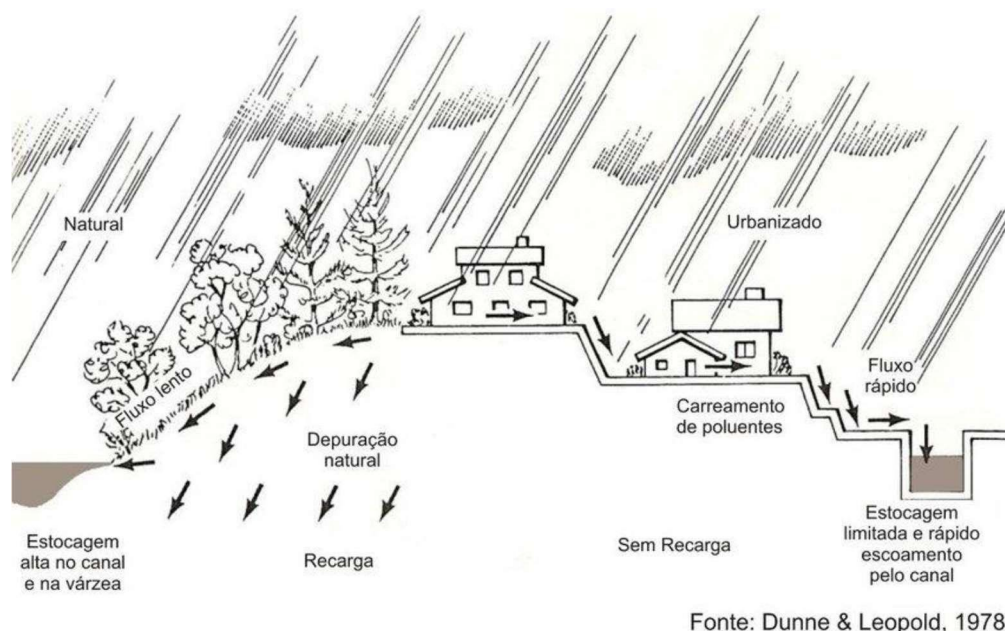
O processo de urbanização teve seu crescimento acelerado a partir do século 20. No entanto, a experiência e o controle da gestão pública não acompanharam o progresso do espaço urbano. A procura por emprego nas cidades e o êxodo rural influenciaram o aumento das áreas periféricas, uma vez que a população imigrante possuía renda limitada para aquisição de locais formais para moradia. Assim, espaços como áreas de risco a desabamento de terra e enchentes foram ocupados pela população carente. Aliado a isso, tem-se a incapacidade dos gestores de planejar e antecipar obras de infraestrutura adequada para reduzir riscos, contribuindo com o processo de urbanização informal e, conseqüentemente, expondo parte da população à vulnerabilidade (TUCCI, 2005).

Segundo Santos *et al.* (2007), a urbanização de uma bacia pode diminuir o tempo de resposta hidrológica em até 20 vezes em comparação ao seu estado natural. Com o escoamento superficial elevado e a baixa permeabilidade do solo, ocasionados pelo processo de urbanização, o sistema de drenagem torna-se incapaz de atender às demandas para qual foi projetado.

Na Figura 3 está demonstrado o processo de escoamento em áreas naturais, onde o fluxo hidráulico pluvial se dá de forma lenta devido às barreiras naturais, e em áreas urbanizadas, onde o processo de infiltração é comprometido pela impermeabilização do tecido urbano. Na primeira situação, a água infiltra no solo natural percolando para as regiões de recarga que seriam os lençóis freáticos. Nesse processo há a depuração da mesma, pois, ao transcorrer o percurso, as partículas sólidas ficam retidas no solo. Desta forma, o volume que chega ao manancial é livre de impurezas. No perfil urbanizado o escoamento dá-se rapidamente, provocando erosão e carreando poluentes. Neste caso, por conta da velocidade alta o volume no canal excede, gerando eventos de enchentes (RODRIGUES, 2020).



Figura 3 – Comportamento do fluxo pluvial em áreas naturais e em áreas urbanizadas



Fonte: Adaptado de DUNNE; LEOPOLD, 1978, citado por RODRIGUES, 2020.

Segundo Tucci (2005), a falta de conhecimento da população e dos profissionais, a visão setORIZADA e independente dos setores de planejamento e sua incapacidade na gestão contribuem com o aumento de casos de enchentes, uma vez que o conhecimento a respeito da microdrenagem é antiquado e provém da prática higienista com o conceito de escoar o volume precipitado de forma rápida, transferindo o problema para a jusante. Assim, para reduzir eventos de cheias é necessário entender as propriedades físicas do local bem como as alternativas de aplicação própria para o mesmo.

### 3.2.1 Escoamento Superficial e Hidrograma

No ciclo hidrológico parte do volume total de água precipitada pode ser interceptado pela vegetação, infiltrado ou empoçado no solo ou escoado pela superfície. Denomina-se escoamento superficial o deslocamento das águas sobre a superfície do solo. A fração da chuva ocorrida num evento que gera o escoamento é intitulada chuva efetiva e a mesma é responsável pelo crescimento rápido da vazão de um rio (TUCCI, 2004).

Dentre os fatores que influenciam o escoamento superficial temos os de natureza climática (relacionados a precipitação) e os fisiográficos (características morfométricas da bacia). Entre esses podemos citar os mais importantes (TUCCI, 2004):

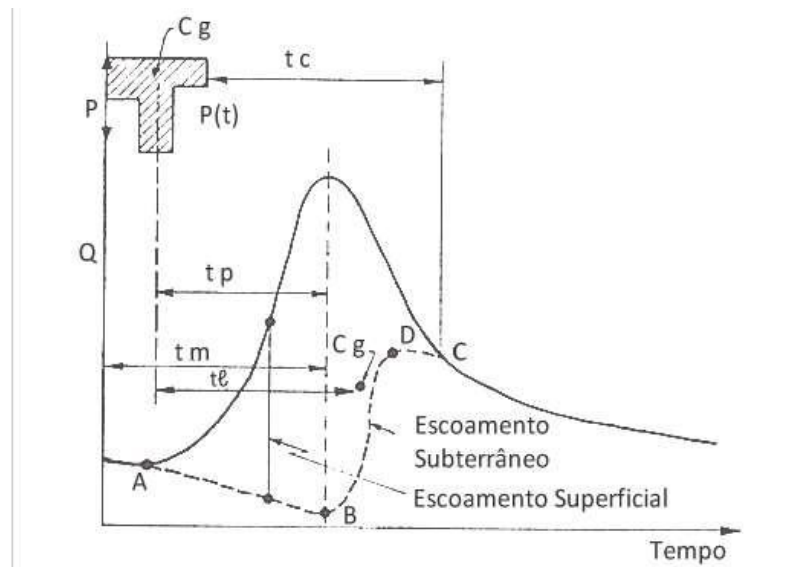
- Intensidade de Precipitação: quanto mais intenso for o evento, mais rápido o solo atinge sua capacidade de infiltração;
- Duração da Precipitação: chuvas com intensidade constante e de longa duração possuem maior contribuição ao escoamento;
- Precipitação Antecedente: a ocorrência de precipitação após uma chuva anterior facilita o escoamento superficial, uma vez que o solo se encontra úmido;
- Área da Bacia: quanto maior sua extensão, maior o volume captado, e
- Permeabilidade do Solo: solos altamente permeáveis possuem alta capacidade de absorção, reduzindo a ocorrência de escoamento.

Determinar o volume escoado superficialmente faz-se importante para a construção de obras hidráulicas eficientes bem como para a previsão de eventos como alagamentos, cheias e inundações. Entre os métodos mais utilizados tem-se a medição do nível de água (requer pontos de coleta de dados, o que torna o método oneroso, porém mais preciso); Modelo Chuva-Vazão – método do Hidrograma Unitário ou método racional (que seria uma estimativa a partir de observação e análise estatística, quando bem calibrado possui boa precisão), e Fórmulas Empíricas – Meyer, Gregory, etc. (aplicação de fórmulas determinadas para uma região. Neste caso a precisão é baixa pois o modelo considera precipitação homogênea em toda a bacia) (TUCCI, 2004).

Sherman (1932) propôs o Hidrograma Unitário (HU) como forma de representação gráfica do escoamento superficial direto, onde a área sobre a curva corresponde ao volume unitário do escoamento superficial resultante de uma chuva efetiva. O hidrograma representa a vazão em uma seção de um curso d'água em função do tempo e demonstra a resposta da bacia em função das suas características morfométricas. Está demonstrado na Figura 4 um

hidrograma combinado a um ietograma (representação da precipitação na bacia).

Figura 4 – Hidrograma típico de uma bacia hidrográfica



Fonte: Tucci, 2004.

Segundo Tucci (2004), alguns valores de tempo são fundamentais para a representação do comportamento da bacia ao longo de uma precipitação, são eles:

- Tempo de Retardo ( $t_l$ ): intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o centro de gravidade do hidrograma;
- Tempo de Pico ( $t_p$ ): intervalo entre o centro de massa da precipitação e o tempo da vazão máxima;
- Tempo de Concentração ( $t_c$ ): tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma;
- Tempo de Ascensão ( $t_m$ ): tempo entre o início da chuva e o pico do hidrograma;
- Tempo de Base ( $t_b$ ): tempo entre o início da precipitação e o tempo em que o curso d'água volta às condições anteriores à ocorrência da precipitação, e
- Tempo de recessão ( $t_e$ ): tempo necessário para acabar o escoamento superficial.

O formato do hidrograma é influenciado por uma série de fatores, Tucci (2004, 393-394) descreveu os cinco principais como:

**Relevo:** tem influência na densidade de drenagem, declividade do rio ou bacia, capacidade de armazenamento e forma. Uma bacia hidrográfica com boa drenagem e grande declividade apresenta um hidrograma íngreme, com pouco escoamento na base. A forma influencia o comportamento do hidrograma, ou seja, uma bacia do tipo radial concentra o escoamento antecipando e aumentando o pico com relação a uma bacia alongada, que tem escoamento predominante no canal principal e percurso mais longo até a seção principal, amortecendo as vazões.

**Cobertura da bacia:** a cobertura vegetal tende a retardar o escoamento superficial e aumentar as perdas por evapotranspiração. Nas bacias urbanas, onde a cobertura é alterada, tornando-se mais impermeável, com uma rede de drenagem mais eficiente, o escoamento e o pico aumentam.

**Solo:** as condições iniciais de umidade do solo podem influenciar o escoamento resultante de precipitações de pequeno volume, alta e média intensidade. Quando o estado de umidade do solo for baixo, uma parcela ponderável da precipitação é retida e o hidrograma é reduzido.

**Distribuição, duração e intensidade da precipitação:** quando a precipitação se concentra na parte inferior da bacia, o hidrograma pode ter até dois picos. Na distribuição temporal, quando a precipitação é constante, a capacidade de armazenamento e o tempo de concentração da bacia são atingidos, estabilizando o valor do pico. Após o término da precipitação, o hidrograma entra em recessão.

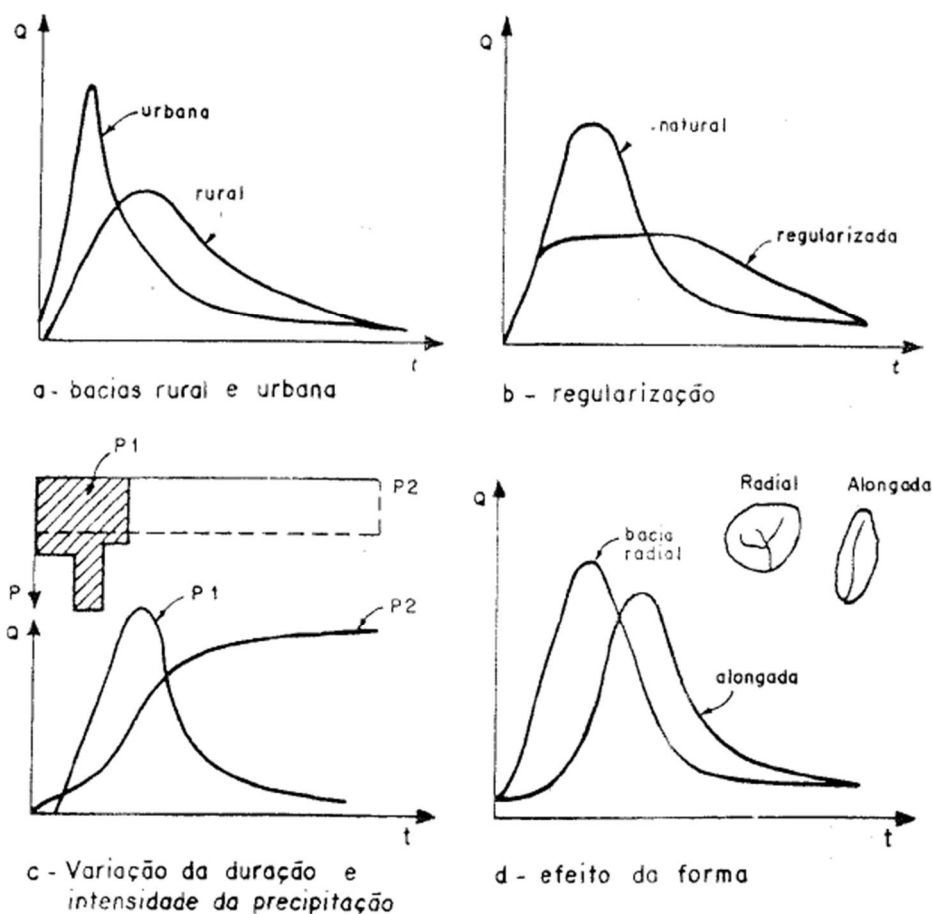
**Modificações artificiais no rio:** modificações no rio para o uso mais racional da água. Um reservatório de regularização da vazão tende a reduzir o pico e distribuir o volume, enquanto a canalização tende a aumentar o pico.

Para uma boa interpretação do hidrograma é importante dividi-lo em três partes fundamentais. São elas a ascensão, que seria a parte que indica como a intensidade da precipitação e o escoamento (em especial o superficial) ocorreram, quando menor o tempo de ocorrência maior a probabilidade de cheias; a região de pico, fica próxima ao valor máximo e é resultado da redução da precipitação e do amortecimento da bacia, neste momento o escoamento superficial acaba ficando assim, só o escoamento subterrâneo, e o período de recessão, que seria o período de contribuição do escoamento subterrâneo (TUCCI, 2004).

A Figura 5 demonstra os fatores que contribuem para a modificação do hidrograma e sua correlação. Regiões altamente urbanizadas (Figura 5.a) possuem respostas mais rápidas para o escoamento superficial, contribuindo

com eventos de enchentes, assim como bacias que sofreram intervenções artificiais são capazes de distribuir o volume lançado no afluente (Figura 5.b);

Figura 5 – Hidrogramas



Fonte: Tucci, 2004.

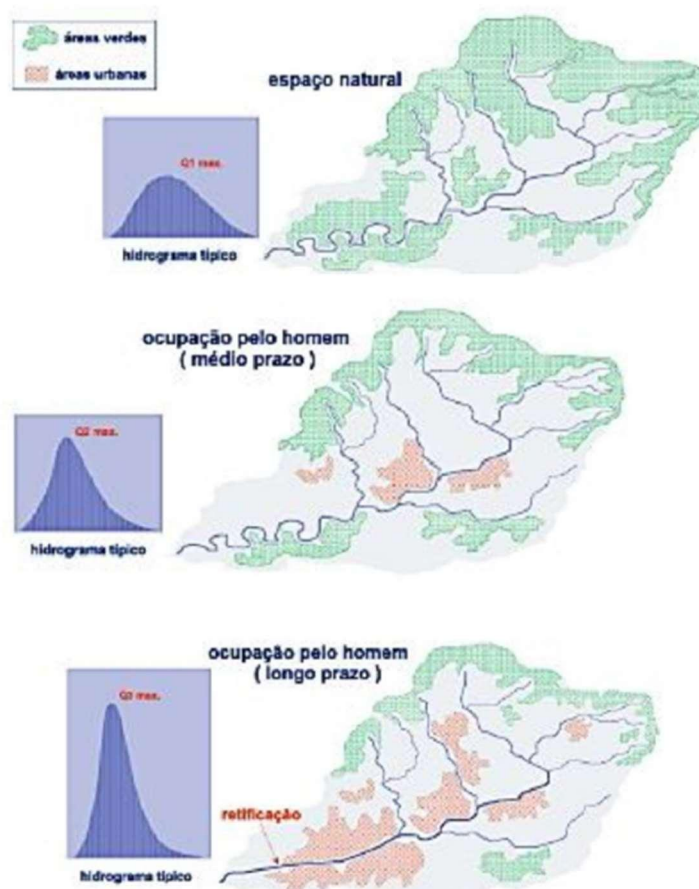
Parâmetros fisiográficos, como o formato, também influenciam no tempo de resposta (Figura 5.c) (Tucci, 2004). Ainda segundo Tucci, as duas primeiras partes de um hidrograma são caracterizadas pelo escoamento superficial e pela intensidade e duração da precipitação. Assim, faz-se necessário descrever esses dois fatores por modelos que representaram a forma como se dá o transporte e acúmulo de água nos rios.

Para se fazer um Hidrograma Unitário é necessária a presença de estações hidrométricas, porém alguns rios são desprovidos de tal estrutura. Assim, foram desenvolvidos métodos para a obtenção dos hidrogramas unitários sintéticos (HUS), que se baseiam em relações geométricas dos

hidrogramas e nas características principais das bacias hidrográficas (Pinto *et al.*, 1976). O pioneiro na elaboração do HUS foi Snyder (1938), seguido de Clark (1945) até o SCS (mais utilizado atualmente). Por se tratar de um método simples e prático, os HUS são amplamente utilizados nos estudos hidrológicos, entretanto possuem o ponto negativo de superestimar as vazões máximas (Tucci, 1998; Cunha *et al.*, 2015).

Em linhas gerais, de acordo com Canholi (2004), a maioria das bacias afetadas por enchentes e inundações tem sido ocupada pela população de forma progressiva, começando das áreas mais baixas para as mais altas. Isso significa que as regiões mais vulneráveis às cheias, como as áreas ribeirinhas, foram ocupadas primeiro, seguidas pelas áreas mais altas, consideradas mais seguras devido à menor probabilidade de inundação. Isso sugere que, em locais onde as enchentes são menos frequentes, as áreas alagáveis foram ocupadas antes das áreas mais elevadas.

Figura 6 - Influência da Urbanização no hidrograma de enchente



Fonte: Serla, 2001.

Alterações no ambiente natural, como a substituição de áreas florestadas por espaços impermeáveis, aterramento de áreas inundáveis e retificação de rios, afetam a capacidade de retenção da água da chuva. Isso pode resultar em um aumento do risco de transbordamento dos rios, como ilustrado na Figura 6.

### 3.2.2 Modelos hidrológicos

Um modelo hidrológico é a representação conceitual de um fenômeno e refere-se a alguns aspectos do mesmo. Cada modelagem pode apresentar objetivos e implementações diversas. Desta forma, modelos da mesma bacia podem apresentar resultados diferentes. Os modelos hidrológicos têm por objetivo representar matematicamente os processos físicos do ciclo hidrológico, tais como a transição da precipitação em escoamento superficial, evapotranspiração, interceptação vegetal, percolação, infiltração e o fluxo de água ao longo da rede de drenagem (PONTES *et al.* 2015).

Entre as etapas de modelagem incluem-se a caracterização do sistema, a suposição de interação entre os componentes estudados, a elaboração de equações e definição de procedimentos que simulem o fenômeno e a validação dos resultados. Seguindo procedimentos de controle pode-se fazer observações de eventos passados e predição de situações futuras com certo grau de confiança nos resultados, assim é possível criar hipóteses, combinar eventos e simular condições raras (RENNÓ; SOARES, 2007).

Os modelos hidrológicos podem ser aplicados em diversas análises, entre elas a avaliação dos impactos gerados pelas mudanças climáticas no regime hidrológico; para análise da influência do uso e ocupação do solo na contribuição de deflúvio dos afluentes; estimativa e previsão em tempo real das vazões para aporte de água (RENNÓ; SOARES, 2007).

O Quadro 1 demonstra os tipos de modelos quanto ao seu objetivo, origem, definição do espaço e período de estudo. A compreensão das tipologias dos modelos hidrológicos permite entender as abordagens,

simplificações, limitações e os pressupostos inerentes a cada modelo, bem como facilitar a seleção do tipo mais apropriado para atender os objetivos específicos do estudo. A aplicação adequada dos modelos em diferentes contextos contribuí para o aprimoramento contínuo da modelagem hidrológica.

Quadro 1 – Tipos de Modelos Hidrológicos e suas Aplicações

	<b>Tipos de Modelos Hidrológicos</b>	<b>Descrição</b>	<b>Aplicações</b>
Quanto a Gênese	Modelos Empíricos	Baseados em relações estatísticas observadas entre variáveis hidrológicas.	Previsão de vazões, análise de frequência de eventos, estimativa de volumes de cheias.
	Modelos Conceituais	Simplificam os processos hidrológicos por meio de reservatórios e fluxos entre eles	Previsão de vazões, estudos de disponibilidade hídrica, planejamento de recursos hídricos e análise de impactos.
	Modelos Baseados em Processos	Representam detalhadamente os processos físicos e as interações hidrológicas em uma bacia hidrográfica.	Análise de impactos de mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, estudo de resiliência hidrológica, modelagem de sistemas complexos.
Quanto a Discretização	Modelos Agregados	Tratam a bacia hidrográfica como uma unidade homogênea, sem considerar variações espaciais internas	Estudos de larga escala, análises preliminares, avaliação de disponibilidade hídrica regional.



	Modelos Distribuídos	Consideram a heterogeneidade espacial da bacia hidrográfica, representando-a como uma rede de células ou sub-bacias.	Estudos de impacto ambiental, análise de vazões em diferentes pontos da bacia, gestão de águas superficiais e subterrâneas análise de eventos extremos.
Quanto a Análise Temporal	Modelo de Evento Isolado	Focados em simular eventos hidrológicos específicos, como cheias ou tempestades intensas.	Avaliação de riscos, planejamento de emergência, previsão de cheias repentinas.
	Modelos com Simulação Contínua	Simulam a resposta hidrológica ao longo de um período de tempo mais longo, considerando variações sazonais e tendências climáticas.	Estudos de disponibilidade hídrica, análises de mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos de longo prazo.
Quanto as Variáveis e Parâmetros Utilizados	Modelos Determinísticos	Produzem respostas idênticas para o mesmo conjunto de entradas, mesmo quando uma variável de entrada tiver caráter aleatório.	Estudos de gestão de recursos hídricos, planejamento de infraestrutura e previsão de vazões
	Modelos Estocásticos	Consideram a incerteza inerente aos processos hidrológicos e utilizam distribuições de probabilidade para representar as variáveis de entrada	Análise de Risco hidrológico, estudos de gestão de bacias e avaliação de cenários de mudanças climáticas.

Fonte: Elaborado pelo autor. (2023).

Para a escolha do modelo deve-se considerar a disponibilidade de dados, a aplicação desejada e as limitações do modelo em questão. Tucci (1998) afirma que alguns fatores são determinantes na escolha do modelo, entre eles estão a quantidade e qualidade dos dados hidrológicos disponíveis, a heterogeneidade das características físicas da bacia, a quantidade de processos analisados bem como a simplificação dos mesmos e das variáveis utilizadas.

Para Beven (1991) os modelos hidrológicos físicos são os que melhor representam as interações entre os processos e simula os efeitos de futuras mudanças de uso da terra. Porém, a aplicação desses modelos requer uma quantidade extensa de informações para uma boa parametrização e possui como limitações o fato de não esclarecer as simplificações utilizadas na calibração de um parâmetro e considerar uma bacia como homogênea e bem controlada. Considerando-se que todo modelo hidrológico possui limitações e que existe carência de dados de campo em várias localizações, a aplicação dos modelos físicos se torna-se limitada.

A Lei nº 9.433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece a importância do gerenciamento dos recursos, e fomenta a expansão das bases de dados hidrológicos e meteorológicos. Atualmente são 11.000 estações hidrométricas, dentre as quais 4.200 são gerenciadas pela ANA (Agência Nacional de Águas). Os dados coletados são disponibilizados gratuitamente pelo Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) (CPRM, 2023).

O programa da ANA atende a muitas bacias e o sistema de dados, apesar de possuir alguns dados descontinuados, atende bem às demandas dos modelos hidrológicos. Em regiões que não possuem estações de captação de dados hidrometeorológicos é possível realizar a estimativa de dados hidrológicos por intermédio da interpolação (regionalização) de dados de estações próximas.

### 3.2.2.1 Modelo SCS Curve Number

O modelo SCS – *Soil Conservation Service* é um método utilizado para determinar a quantidade aproximada do escoamento superficial precipitado em uma bacia e foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos em 1986. Apesar desse método apresentar o hidrograma para um único evento a utilização para dimensionar valores médios anuais é comumente utilizado (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

O volume escoado na bacia será determinado pela precipitação e pelo parâmetro *Curve Number* (CN). Este parâmetro retrata as condições da camada superficial do solo, que pode variar em um solo de alta ou baixa capacidade de infiltração, apresentando uma camada superficial muito permeável a impermeável. O valor de CN é adimensional e varia de 0 a 100, onde 0 corresponde a um solo com capacidade de infiltração infinita e 100 retrata um solo totalmente impermeável (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

A Equação geral utilizada pelo método SCS para determinar o escoamento superficial excedente é:

$$V = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

V = volume superficial acumulado (mm);

P = precipitação total acumulada (mm);

I<sub>a</sub> = perdas iniciais (mm);

S = capacidade máxima de armazenamento da camada superior do solo (mm).

A Equação 1 é baseada em tendências observadas nos dados coletados, portanto é uma equação empírica, o parâmetro I<sub>a</sub> é a parcela de água precipitada que evaporou, infiltrou ou foi interceptada pela vegetação, ou seja, não foi escoada superficialmente. Para as perdas iniciais estima-se 20% da capacidade de armazenamento do solo (PORTELA, 2006).

$$Ia = 0.2S \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$Ia$  = perdas iniciais (mm);

$S$  = capacidade máxima de armazenamento da camada superior do solo (mm).

Assim, a Equação 1 pode ser simplificada da seguinte forma:

$$V = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P - 0.8S) + S} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

$V$  = volume superficial acumulado (mm);

$P$  = precipitação total acumulada (mm);

$S$  = capacidade máxima de armazenamento da camada superior do solo (mm).

Para determinar o valor da capacidade máxima de armazenamento da camada superior do solo utiliza-se a Equação 4, que relaciona o parâmetro com o número de curva (CN). Este, por sua vez, possui correlação com o tipo de solo, umidade antecedente à precipitação e ocupação do local.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

$S$  = capacidade máxima de armazenamento da camada superior do solo (mm).

CN = número de curva (*Curve Number*).

Segundo Portela (2006), o número de curva depende do tipo de solo, condições de uso e ocupação do solo e da umidade antecedente. O SCS distingue quatro grupos hidrológicos de solos e três condições de umidade antecedente do solo.

**Grupo A** – Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a uns 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas, e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.

**Grupo B** – Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superior.

**Grupo C** – Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade.

**Grupo D** – Solos argilosos (30 – 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável, ou horizonte de seixos rolados. (PORTO, 1995).

**CONDIÇÃO I** – Solos secos – As chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15 mm.

**CONDIÇÃO II** – Situação média na época das cheias – As chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm.

**CONDIÇÃO III** – Solo úmido (próximo da saturação) - As chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40mm, e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

As condições listadas por Portela (2006) são denominadas condições antecedentes de escoamento (ARC). Considera-se a condição II, que seria uma precipitação acumulada entre 36 a 53 mm em 5 dias consecutivos em estações úmidas. Essa condição é normalmente utilizada para se determinar hidrogramas de escoamento superficial quando são elaborados projetos de drenagem urbana, assim será adotada para os cálculos de hidrograma deste projeto.

Identificados o grupo hidrológico e condição à qual a bacia se encontra, pode-se obter o valor do CN de acordo com a cobertura e ocupação da bacia. Para cada tipo de cobertura o CN varia entre 4 valores conforme o grupo hidrológico. No Quadro 2 são apresentados alguns valores de CN que foram determinados em estudos e condições no Brasil.

Quadro 2 - Valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo (Condição II de umidade).

Tipos de uso do solo/ Tratamento/ Condições Hidrológicas		Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Uso Residencial					
Tamanho Médio do Lote	%Impermeável				
Até 500 m <sup>2</sup>	65	77	85	90	92
1000 m <sup>2</sup>	38	61	75	83	87
1500 m <sup>2</sup>	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados		98	98	98	98
Ruas e Estradas:					
Pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98	98
Com cascalho		76	85	89	91
De Terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos industriais (70% de impermeabilização)		81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins:					
Boas condições, cobertura de grama >75%		39	61	74	80
Condições médias, cobertura de grama >50%		49	69	79	84
Pasto	Condições ruins	68	79	86	89
	médias	49	69	79	84
	boas	39	61	74	80
Curva de nível	Condições ruins	47	67	81	88
	médias	25	59	75	83
	boas	6	35	70	79
Campos	Condições boas	30	58	71	78
Florestas	Condições ruins	45	66	77	83
	médias	36	60	73	79
	boas	25	55	70	77

Fonte: Porto (1995).

As condições hidrológicas apresentadas no Quadro 2 estão relacionadas à infiltração do solo, assim condições ruins implicam fatores que prejudicam a

infiltração e colaboram com o escoamento superficial e condições boas facilitam a infiltração do volume precipitado. Caso a bacia apresente vários tipos de uso e ocupação do solo, deve-se adotar como valor de CN o resultado da média ponderada dos CNs correspondentes às áreas homogêneas (PORTO, 1995).

### 3.2.3 Sistemas de Suporte a Decisão e ABC6

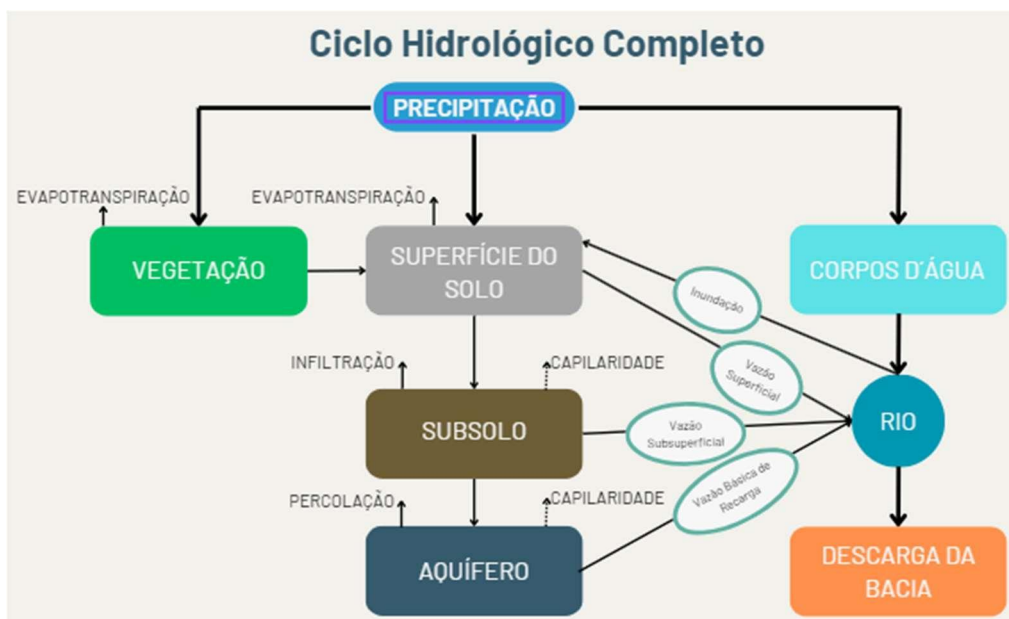
Os Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) são ferramentas computacionais destinadas a representar o comportamento de uma bacia hidrográfica e facilitar o gerenciamento dos recursos hídricos na mesma. Os sistemas utilizados são capazes de integrar modelos matemáticos a uma base de dados pré-existente utilizando-se de interface computacional. As simulações permitem a avaliação de diversos comportamentos nas mais variadas condições (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

Na categoria de dispositivos de armazenamento de dados sólidos (SSDs) para o campo dos recursos hídricos, há um destaque para o Sistema de Apoio à Tomada de Decisão para Avaliação de Inundações em Bacias Hidrográficas Complexas, também conhecido como ABC6. Este *software* brasileiro, de simulação dinâmica da transformação chuva-vazão, é oferecido gratuitamente e se destaca por disponibilizar uma variedade de modelos para calcular a precipitação efetiva e gerar o correspondente hidrograma de cheia. No entanto, é crucial que os usuários estejam cientes dos parâmetros e limites de aplicação desses modelos. O não cumprimento desses limites pode comprometer a precisão na representação da bacia hidrográfica pelo sistema, potencialmente resultando em decisões inadequadas nas fases subsequentes do estudo hidrológico (SANTOS *et al.*, 2022).

O sistema teve origem a partir da necessidade didática de demonstrar o comportamento de bacias de forma simples, intuitiva e efetiva para alunos de graduação e pós-graduação, mas vêm sendo utilizado cada vez mais por profissionais. Como abordagem principal, utiliza-se métodos sintéticos para estimar as vazões máximas em pequenas bacias carentes de dados, especialmente em áreas urbanas e bacias rurais de pequena escala. Isso

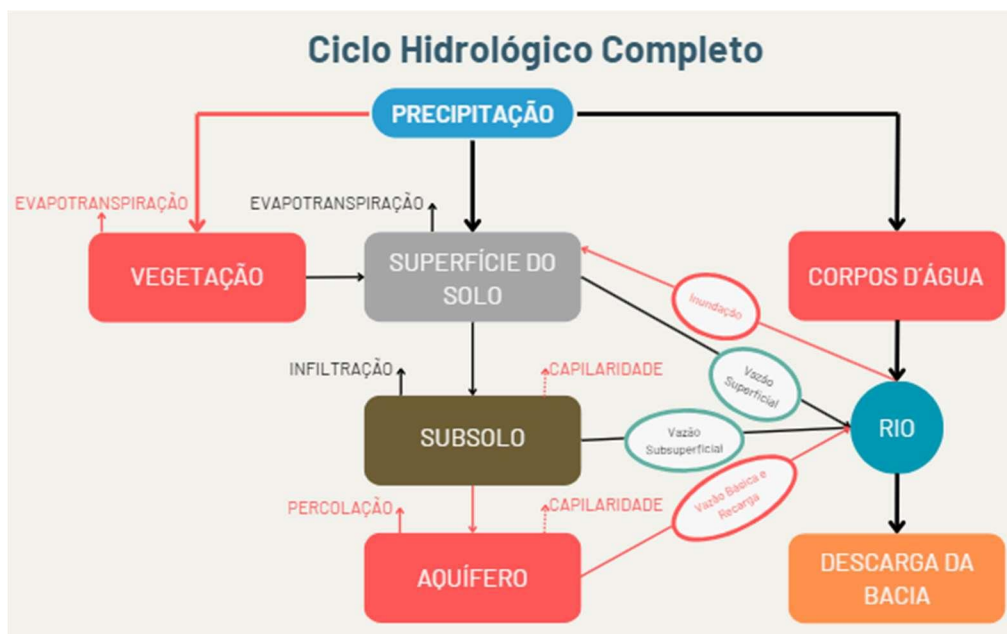
simplifica significativamente o processo de planejamento em situações de escassez de informações ou falta de dados específicos da região. Além disso, essa abordagem pode ser empregada para fornecer suporte em estudos preliminares de dimensionamento (LABSID, 2021).

Figura 7 – Representação do Ciclo Hidrológico Completo



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Figura 8 – Representação do Ciclo Hidrológico Parcial utilizado pelo ABC6



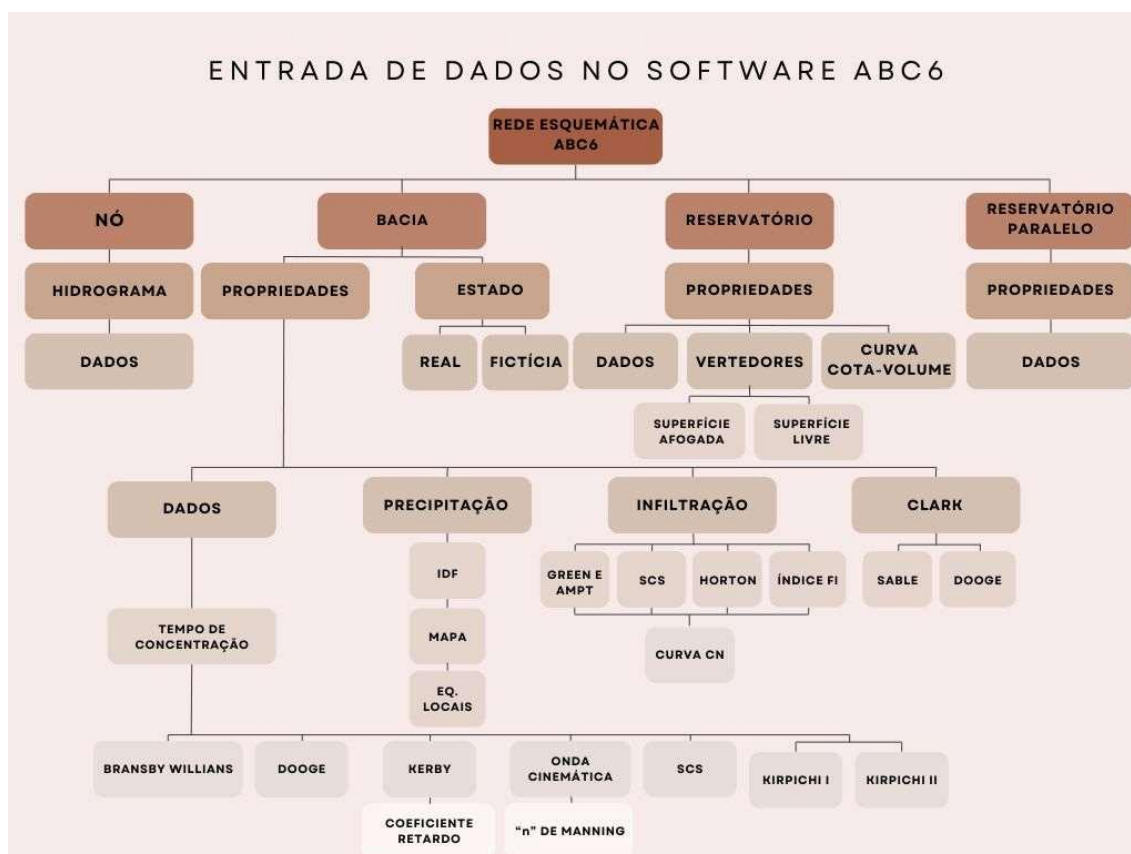
Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).



O programa ABC6 Calcula a descarga na bacia através da simplificação do ciclo hidrológico. Assim, a Figura 7 e 8 demonstram a simplificação que o programa faz para facilitar as estimativas das etapas do ciclo. No primeiro fluxograma constam todas as etapas do ciclo hidrológico e os fenômenos inerentes a ele; no segundo fluxograma, representado em vermelho, são as etapas desconsideradas nos cálculos do software. O programa considera a infiltração no solo, a recarga do aquífero, a precipitação e as vazões superficiais e subsuperficiais.

A Figura 9, elaborada por Gomes (2017), demonstra os dados de entrada no software para a confecção dos hidrograma. É possível escolher os modelos de cálculos e conseqüentemente adaptar os dados utilizados em cada um deles.

Figura 9 – Rede Esquemática de Dados de Entrada no software ABC6



Fonte: Adaptado de Gomes. (2017).

O software está disponível para download gratuito no endereço eletrônico: <https://labsid.poli.usp.br/software/abc/> (acesso em 22/03/2024). Até

o presente momento, o Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (Labsid) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental desenvolveu as versões: ABCx (1985), ABC4 (1990), ABC5 (1996), ABC6 (2000) e a versão comercial desenvolvida pela FCHT (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica) CABC (LABSID, 2021).

### 3.2.4 Uso e Ocupação do Solo

O uso e ocupação do solo refere-se à forma como a terra é utilizada. O estudo dessa questão é extremamente importante para o planejamento urbano, ordenamento territorial e gestão ambiental, pois determina a distribuição do espaço de forma que atenda às necessidades das comunidades em equilíbrio com o desenvolvimento econômico, social e ambiental. A Lei nº 6.766/1979 define alguns conceitos-chave, a saber:

- **Uso do Solo:** refere-se à finalidade específica para a qual uma determinada parcela de terra está sendo utilizada. Isso pode incluir áreas residenciais, comerciais, industriais, agrícolas, recreacionais, de preservação ambiental, entre outras. Cada uso do solo tem suas próprias características e requerimentos;
- **Ocupação do Solo:** é a situação atual da terra, ou seja, como ela está sendo efetivamente utilizada no momento. Isso pode incluir edifícios, estradas, plantações, áreas verdes, etc.;
- **Zoneamento:** os governos locais geralmente estabelecem regulamentações de zoneamento que especificam quais tipos de uso do solo são permitidos em diferentes áreas geográficas. Por exemplo, uma área pode ser zoneada como residencial, o que significa que apenas construções residenciais são permitidas nesse local;
- **Planejamento Urbano:** envolve a tomada de decisões sobre como a terra deve ser usada e desenvolvida em uma área urbana ou rural. O objetivo é promover um desenvolvimento sustentável, equilibrando as necessidades da população com a conservação do meio ambiente;

- **Impacto Ambiental:** a forma como o solo é utilizado pode ter um grande impacto no meio ambiente. Por exemplo, o desmatamento, a urbanização desordenada e a poluição podem afetar negativamente ecossistemas locais, e
- **Ordenamento Territorial:** refere-se à organização e gestão do uso e ocupação do solo em uma escala mais ampla, muitas vezes envolvendo planejamento regional e políticas governamentais para garantir o desenvolvimento sustentável e a preservação dos recursos naturais.

No Brasil, o uso e ocupação do solo são regulamentados por diversas leis, as mais importantes são a Constituição Federal (que prevê os princípios de política urbana); O estatuto da Cidade - Lei federal nº 10.257/2001 (Lei do Plano Diretor que diretrizes gerais para o planejamento urbano e a gestão do uso do solo nas cidades brasileiras); Código Florestal – Lei federal nº 12.651/2012 (que estabelece regras para a conservação de áreas de preservação permanente e reserva legal); Código de Zoneamento Urbano Municipal (distinto para cada município) e Legislação Ambiental Estadual e Municipal (regulamentações específicas para o uso e ocupação do solo em suas jurisdições, incluindo regras relacionadas à proteção ambiental e conservação de recursos naturais).

A Lei nº 10.257/2001, em consonância com os arts. 182 e 183 da CRFB /88, no parágrafo único do seu art. 1º, determina: “Para todos os efeitos, esta Lei, denominada Estatuto da Cidade, estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental.” (BRASIL, 1988).

Segundo Custódio & Oliveira (2017), as legislações que regulam o uso e ocupação territorial são importantes para garantir o ordenamento territorial, sustentabilidade, qualidade de vida, segurança jurídica, redução de conflitos, proteção do patrimônio cultural e natural, eficiência urbana, controle de riscos naturais e promover a equidade.

O plano diretor de um município orienta o desenvolvimento do ambiente urbano e o planejamento de uso e ocupação do solo. Nele são estabelecidas

políticas e diretrizes que consideram o crescimento populacional e a infraestrutura necessária para atender à comunidade. Para elaboração do mesmo é necessário o estudo de zoneamento (definição de zonas ou áreas específicas como áreas residenciais, comerciais, industriais, de preservação ambiental ou agrícolas). Após estabelecido o zoneamento, são definidas as regulamentações, que incluem densidade máxima de construção, altura de edifícios, recuos obrigatórios, uso específico do solo e requisitos de estacionamento, entre outros (BRASIL, 1979).

#### *3.2.4.1 Legislação que regulamenta o uso e ocupação do solo em Juiz de Fora*

O município de Juiz de Fora tem sua legislação específica atualizada em 1997 e contém as Leis n.ºs 6.908, 6.909 e 6.910, de 1986. A legislação urbana de Juiz de Fora prevê que todos os profissionais devem seguir as regulamentações para que seus projetos sejam aceitos na Prefeitura. Martins (2018) faz o detalhamento das Leis acima citadas da seguinte forma:

##### **1 Lei 6908 de 10 de maio de 1986**

(...) esta lei trás instrumentos referentes ao parcelamento do solo na cidade, e busca evitar o adensamento excessivo e desproporcional. Traz também critérios a serem seguidos por qualquer modalidade de loteamento na cidade. Norteia sobre a morfologia das ruas a serem feitas pelo loteador e especifica os itens para aprovação de projetos na prefeitura. Limita a quadra com medida máxima de 350m e estabelece regras para os desmembramentos, onde é proibido o mesmo criar novas vias, sendo assim estabelece o uso e a não modificação das vias oficiais criadas pelo loteamento.

##### **2 Lei 6909 de 10 de maio de 1986**

orienta sobre alinhamentos e nivelamentos (...). Iluminação e ventilação onde os afastamentos mínimos e a criação de prismas (de ventilação) são demonstrados em cálculos e exemplos, exigindo-se que todo ambiente deverá ser dotado de pelo menos um vão aberto para garantir circulação de ar e iluminação natural.

##### **3 Lei 6910 de 10 de maio de 1986**

A terceira e maior lei dispõe sobre o ordenamento do uso e ocupação do solo no Município de Juiz de Fora. Ela dispõe de tabelas, mapas e anexos que permitem e norteiam a ocupação do solo urbano e rural da cidade. A lei trata primeiramente que os interesses coletivos sobressaiam aos interesses particulares, mas busca também evitar o

adensamento populacional excessivo, desproporcional ou superior a capacidade de atendimento dos equipamentos urbanos; ordenar o crescimento da cidade para evitar desperdícios ou a improdutiva aplicação de recursos financeiros públicos em áreas não prioritárias, e facilitar o acesso da população aos equipamentos urbanos e comunitários assegurando a todos condições dignas de habitação, trabalho, lazer e circulação no espaço público. (Lei nº 6910, de 31 de maio de 1986).

Após essa legislação a Cidade realizou vários estudos, incluindo a implantação de Planos Diretores que regularizam o uso e ocupação do solo bem como identificam pontos conflitantes, regiões de fragilidade e propostas de intervenção. São eles:

### **Plano Diretor de 1969**

Este foi o primeiro Plano Diretor oficial de Juiz de Fora, elaborado em um momento de rápido crescimento urbano no Brasil. Aprovado em 1969 o foco principal estava na organização básica do uso do solo, no controle do crescimento da Cidade e no início da regulamentação da expansão das áreas urbanas. As preocupações ambientais eram limitadas na época, e o foco maior era em aspectos de infraestrutura, como estradas e saneamento básico.

### **Plano Diretor de 1983**

Atualizou o planejamento urbano da cidade, considerando o crescimento populacional e a expansão das áreas periféricas. Foi o primeiro a abordar a necessidade de preservação de áreas verdes e a propor melhorias no transporte público. Além disso, houve um foco na promoção da habitação social, incluindo a regulamentação de áreas de ocupação irregular e favelas.

### **Plano Diretor de 1996**

Foi mais detalhado e ampliado em relação ao anterior, levando em consideração os problemas urbanos que surgiram com o crescimento desordenado. Ele estabeleceu regras mais claras para o uso e ocupação do solo, incentivando a densificação de áreas centrais e a contenção da expansão urbana descontrolada nas áreas periféricas. Além disso, introduziu conceitos mais amplos de planejamento ambiental e a necessidade de preservação de APPs (Áreas de Preservação Permanente).

### **Plano Diretor de 2000**

Este plano foi parte de uma série de revisões que buscavam alinhar o planejamento de Juiz de Fora com as novas diretrizes federais, estabelecidas pelo Estatuto da Cidade (Lei federal nº 10.257/2001). O Plano trouxe pela primeira vez uma integração mais direta entre planejamento urbano e as questões ambientais, com a criação de áreas de proteção ambiental e zoneamento mais detalhado. Houve também foco na mobilidade urbana e na expansão de áreas industriais.

### **Plano Diretor de 2007**

Este Plano Diretor foi elaborado com o conceito de planejamento participativo, onde a população teve um papel ativo em sua formulação. As preocupações com a sustentabilidade urbana tornaram-se mais centrais. O Plano criou o conceito de Macrozoneamento, dividindo o Município em diferentes zonas, como urbana, rural, de expansão e áreas de preservação ambiental. O desenvolvimento econômico da Cidade foi incentivado, com a criação de polos comerciais e industriais, e a expansão de infraestrutura foi planejada para acomodar o crescimento.

### **Plano Diretor de 2018**

O Plano Diretor de 2018 – Plano Diretor Participativo, Lei Complementar 082/2018 é o mais recente e tem como foco principal o desenvolvimento sustentável da Cidade. Ele mantém a ideia de macrozoneamento, mas aprofunda as diretrizes relacionadas à proteção ambiental e ao controle de enchentes, destacando a necessidade de criar áreas de retenção de águas pluviais. A mobilidade urbana também foi um ponto central, com propostas para melhorar o transporte público e aumentar a rede de ciclovias. A participação cidadã foi novamente um pilar importante, com diversas consultas públicas realizadas. Além disso, o plano introduz conceitos modernos de cidade inteligente e promove o uso de tecnologias para otimizar os serviços urbanos.

### **Planos Regionais de Estruturação Urbana (PEUs)**

Os PEUs são instrumentos de planejamento que atuam em uma escala mais local, dentro da Cidade. Esses planos servem para detalhar e regulamentar o Plano Diretor em áreas específicas de Juiz de Fora. Eles são divididos em regiões e elaborados para cada setor da Cidade, de acordo com as particularidades regionais, como densidade populacional, infraestrutura existente, e áreas de preservação. Esses Planos possibilitam uma visão mais clara sobre como cada região da Cidade pode se desenvolver, com um planejamento que dialoga diretamente com as necessidades locais, como mobilidade, expansão urbana e distribuição de equipamentos públicos.

### **LC 217/2023 - Bacias de Detenção nas APPs**

A Lei Complementar nº 217/2023 trata da criação de bacias de detenção nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) em Juiz de Fora. Essas bacias são estruturas que ajudam a conter a água da chuva, controlando enchentes e diminuindo o impacto de inundações em áreas urbanas e rurais. A Lei visa também conciliar a preservação ambiental com a gestão das águas pluviais, garantindo que áreas sensíveis, como as APPs, tenham um uso adequado para proteção e manejo hídrico.

### **Tentativa da PLEIC 12/2024 - Bacias nas áreas destinadas a equipamentos comunitários (15%) - Vetada pela Prefeita Margarida Salomão**


A PLEIC 12/2024 (Projeto de Lei de Iniciativa Comunitária) é uma proposta que prevê que 15% das áreas destinadas a equipamentos comunitários (espaços reservados para escolas, postos de saúde, parques, etc.) sejam utilizadas para a construção de bacias de detenção de águas pluviais. Essas bacias ajudariam a melhorar o controle de enchentes em áreas urbanas e garantir a utilização eficiente dos espaços urbanos para funções ambientais e sociais.

### 3.3 HISTÓRICO DE CHEIAS EM JUIZ DE FORA

Antes da retificação, o Rio Paraibuna apresentava um curso sinuoso, com margens ladeadas por vegetação da Mata Atlântica. A área em que se encontrava foi caracterizada por brejos, pântanos e atoleiros, que em razão de sua baixa declividade era constantemente inundada. Após a implementação da União & Indústria e dos trilhos da Central do Brasil, as cheias do Paraibuna tornaram-se inconvenientes para o crescimento urbano de Juiz de Fora. Assim o afluente, que antes era estreito, volumoso e meândrico, foi adaptado em um canal retificado (com seu curso natural reduzido em 16,4%), profundo e com velocidade de escoamento superior a original (MACHADO; CUNHA, 2011).

Ao longo da história de Juiz de Fora o afluente principal passou por várias inundações, entre elas algumas foram decisivas para a implementação dos planos de saneamento e expansão da cidade. O Quadro 3 representa os principais eventos de inundação e enchentes que mais afetaram a população no Município e fotos de registros históricos.

Quadro 3 – Principais Eventos de Inundação em Juiz de Fora

Ano de Ocorrência e Características	Registros Fotográficos
<p><b>1906</b></p> <p>As águas do Paraibuna atingiram a cota 675,7m, causando um prejuízo aos cofres públicos de cerca de mil contos de réis. Um terço da área da cidade foi inundada.</p> <p>“Várias ruas e casas ficaram inundadas, atingindo a água mais</p>	 <p>Enchente de 16 de janeiro de 1906 - Largo do Riachuelo e Mercado, Rua da Gratidão atualmente Avenida dos Andradas. SIC: Revista Kosmos, edição de 1906</p>



de um metro de altura; o tráfego da E. F. Central ficou interrompido por passar a água acima dos trilhos” (ESTEVES & LAGE, 2008:198).



Enchente de 16 de janeiro de 1906 - Tecelagem Bernardo Mascarenhas, Avenida Quinze de Novembro atual Avenida Presidente Getúlio Vargas  
Foto extraída do livro Industrialização de Juiz de Fora 1850/1930. Autor Domingos Giroletti

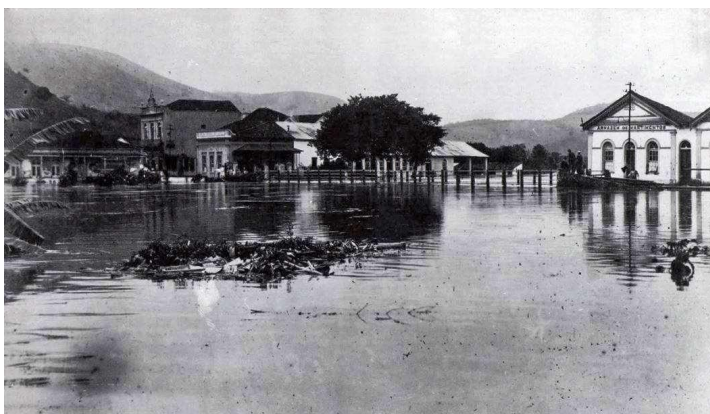
**1919**

Uma das maiores enchentes ocorridas até então (CIRIGLIANO, 1940:36) e que causou “prejuízos avaliados em 500.000\$000, tendo sido carregada pelas águas a ponte da Rua da Harmonia” (OLIVEIRA, 1975:61)



Enchente de 1919 - Rua 15 de Novembro atual Avenida Presidente Getúlio Vargas, esquina com a Rua do Comercio atual Rua Batista de Oliveira.

Acervo Elton Belo Reis



Enchente do Rio Paraibuna - As águas do Rio

	<p>cobrindo a Ponte da Rua Halfeld em 05 de julho de 1919</p> <p>Fotografia Emanuel Santos. Fonte Fundação Casa Rui Barbosa. Acervo Daniel Moratori</p>
<p><b>1940</b></p> <p>A enchente teve duração de 91 horas e 30 minutos e deixou 6.800 desabrigados. A descarga máxima de água, segundo Hildebrando de Araújo Góis, diretor do Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), foi de 245 metros cúbicos por segundo, ou seja, muito superior à capacidade da calha do Rio Paraibuna, na época estimada em 120 metros cúbicos por segundo.</p>	<div data-bbox="635 427 1326 936" data-label="Image"> </div> <p>Avenida Presidente Getúlio Vargas - Largo 13 de Maio</p> <p>Enchente de 24 de Dezembro 1940. Acervo Simón Eugénio Sáenz Arévalo</p> <div data-bbox="667 1178 1294 1664" data-label="Image"> </div> <p>Rua Marechal Deodoro com Francisco Bernardino</p> <p>Enchente de 24 de dezembro de 1940</p>

**1966**

Em fevereiro de 1966 uma enchente atingiu Juiz de Fora, causando danos extensos em várias áreas urbanas e rurais, afetando negativamente a infraestrutura da cidade.



Enchente de 1966 - Acervo Marcelo Lemos

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

As retificações realizadas no rio Paraibuna estenderam-se para os córregos que compõe a bacia, contemplando alguns bairros, inclusive os córregos Humaitá, São Pedro e Carlos Chagas. Após a enchente de 1940 o rio Paraibuna foi retificado e teve sua seção alterada para uma seção trapezoidal com dimensões de: 33m de fundo; 52m de base maior; altura de 4,10m; gradiente de 57cm/km e capacidade de 340m<sup>3</sup>/s. Essas obras foram iniciadas em 23/02/1942, terminadas e inauguradas em 17/10/1950, no Governo do Prefeito Dilermano Cruz Filho. Essas ações antrópicas contribuíram para o aumento de casos de enchentes e inundações em vários bairros do Município.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

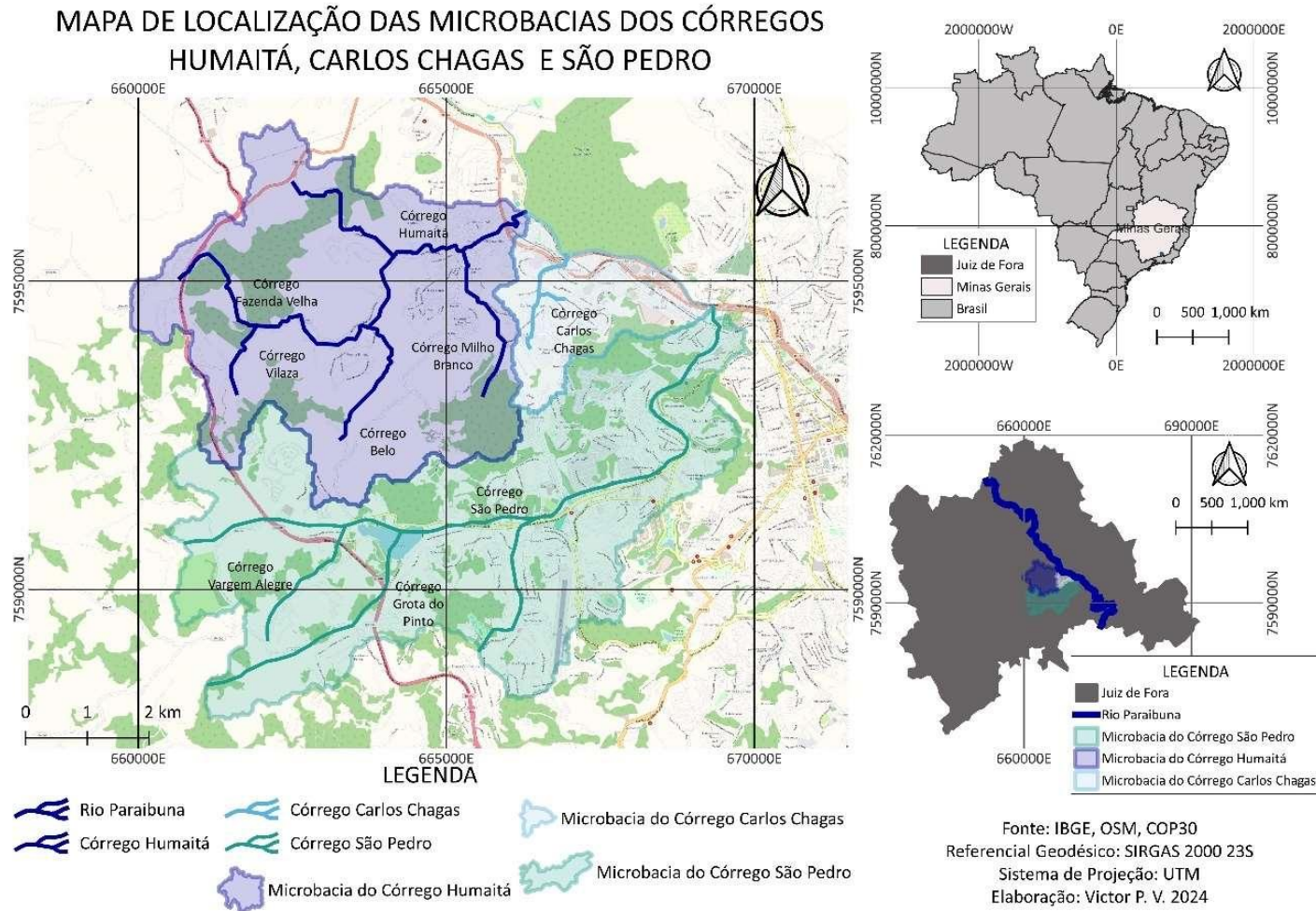
Este tópico apresenta os dados necessários para o cumprimento dos objetivos. Para tal foram estabelecidas as seguintes etapas de pesquisa: definição da área de estudo; estabelecimento das características fisiográficas e hidrológicas da região e identificação dos parâmetros utilizados no modelo hidrológico; estabelecimento dos hidrogramas e estudo do comportamento da bacia entre os anos de estudo.

### 4.1. A ÁREA ESTUDADA

O Município de Juiz de Fora, de acordo com o IBGE (2022), possui um contingente populacional de 540.756 habitantes. Localizado no Sudeste de Minas Gerais, o mesmo é drenado por 156 sub-bacias de diversas dimensões (CESAMA, 2011). Entre as bacias encontram-se a MBHCSP (Microbacia Hidrográfica do Córrego São Pedro), a MBCH (Microbacia Hidrográfica do Córrego Humaitá) e a MBCCC (Microbacia Hidrográfica do Córrego Carlos Chagas), todas com o processo de histórico de ocupação acelerado e com várias alterações ao longo dos anos de ocupação.

Os Córregos São Pedro, Humaitá e Carlos Chagas são afluentes da margem esquerda do Rio Paraibuna, que por sua vez é afluente do Rio Paraíba do Sul em sua margem esquerda. As Microbacias encontram-se entre os paralelos 21°44'36" e 21°48'07" de Latitude Sul e entre os meridianos de 43°26'51" e 43°21'25" de Longitude a Oeste de Greenwich para a MBHCSP; para MBHCH entre os paralelos 21°42'36" e 21°46'12" de Latitude Sul e entre os meridianos de 43°27'00" e 43°23'24" de Longitude a Oeste de Greenwich; e para MBHCCC entre os paralelos 21°43'52" e 21°46'40" de Latitude Sul e entre os meridianos de 43°23'49" e 43°21'46" de Longitude a Oeste de Greenwich. suas localidades encontram-se integralmente no Município de Juiz de Fora, região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, conforme Figura 10.

Figura 10 – Caracterização da Área de Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Essa área apresenta duas estações distintas ao longo do ano. De outubro a abril, é marcada por temperaturas mais altas e chuvas abundantes, enquanto de maio a setembro é mais fria e com menos precipitações. De acordo com a classificação de W. Köppen, o clima é mesotérmico, caracterizado por verões quentes e úmidos. Também pode ser descrito de forma geral como Tropical de Altitude, devido à influência da altitude, que varia entre 700 e 900 metros em média na região (PJF, 2004). Segundo Oliveira (2016), a região de recorte é predominantemente urbana e possui “topografia mamelonizada em morros de dissecação heterogênea, com topos e vertentes predominantemente convexos”.

O córrego São Pedro recebe a drenagem dos bairros São Pedro, Vale do Ipê, Borboleta, Aeroporto, Cruzeiro de Santo Antônio, Martelos e parte de outros bairros ao redor. O Córrego Humaitá recebe a drenagem dos bairros Pedra Bonita, Fontes Ville, Recanto dos Bruggers, Jardim Natal, Francisco Bernardino, Industrial e parte de outros bairros como Milho Branco. E o Córrego Carlos Chagas, que possui a menor bacia, recebe a drenagem dos bairros Carlos Chagas, Parque das Águas, Monte Castelo, Cerâmica, Esplanada e Fábrica.

#### **4.1.1. Microbacia Hidrográfica do Córrego Humaitá**

A Microbacia hidrográfica do córrego Humaitá (MBHCH) encontra-se na região Norte do Município, especificamente no bairro Industrial, entre a linha férrea e o curso d'água. O bairro Industrial é conhecido por ser historicamente afetado por inundações, com o primeiro registro datando de 1997, embora os eventos sejam ainda mais antigos (há pelo menos 50 anos atrás) e ocorram com frequência até os dias atuais. Vallejo *et al.* (2022) apontam em seus estudos que, em 2022, foram registrados pelo menos três eventos de inundação. Durante uma visita técnica realizada em março de 2022, os autores identificaram que o nível das águas do córrego Humaitá atingiu até 1,6 metros em eventos hidrológicos anteriores.

Segundo o IBGE (2010), a população do bairro Francisco Bernardino e Industrial (os dois bairros da microbacia com maior crescimento populacional

durante os últimos anos) é de aproximadamente 17.351 habitantes no ano em que foi realizado o censo, um crescimento de aproximadamente 28% entre os Censos de 2003 e 2010.

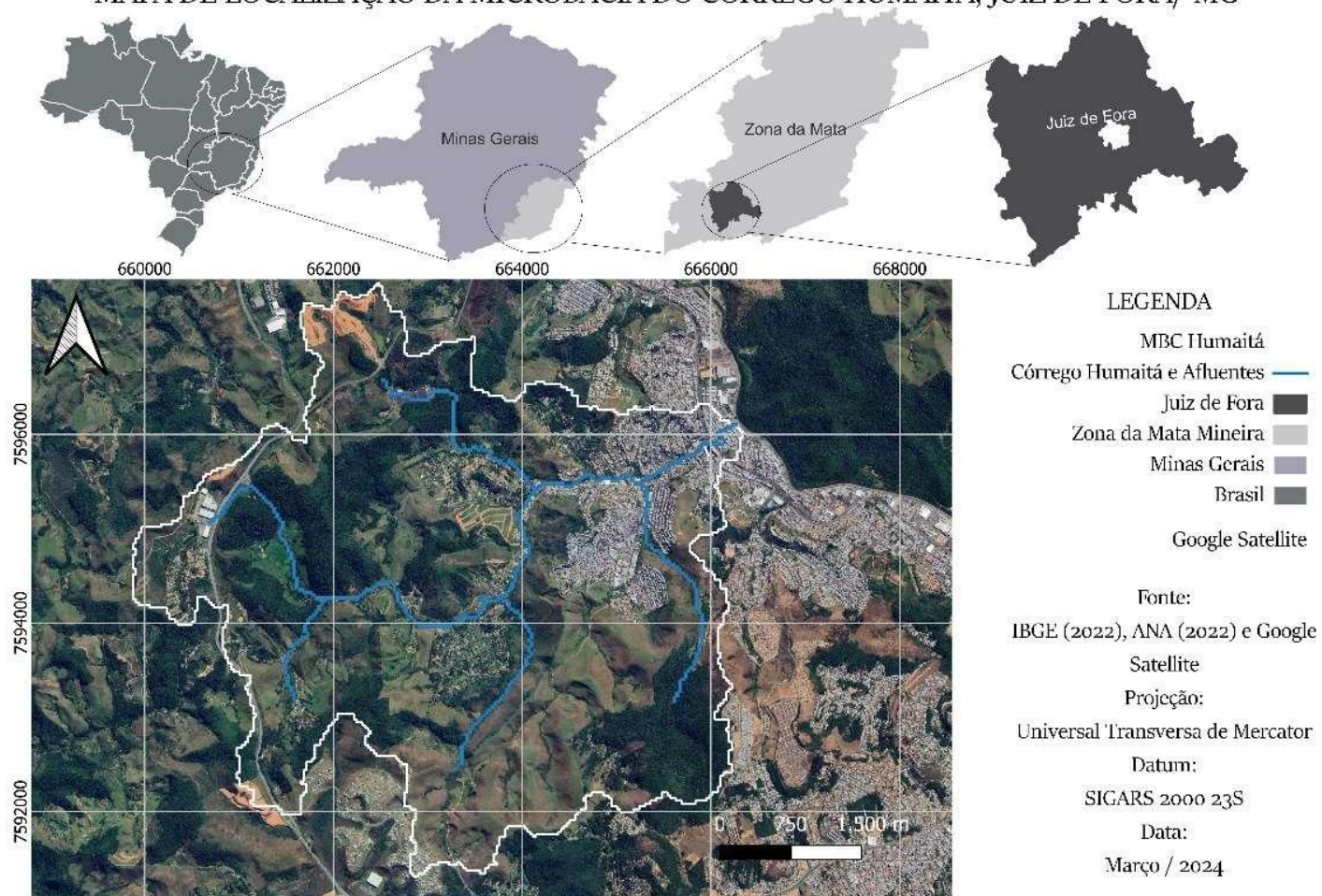
Carvalho e Neto (2012), em seus estudos, identificaram que a MBHCH possui amplitude altimétrica de 298 metros, e o índice de relação de relevo é 0,04, indicando propensão ao acúmulo de água. O índice de sinuosidade do canal principal do córrego Humaitá é 1,59, sugerindo um padrão naturalmente meândrico, apesar das modificações no baixo curso. As vertentes encontram-se impermeabilizadas, o que diminui a infiltração e aumenta o escoamento superficial, favorecendo o acúmulo de água na bacia. A retificação do canal contribui para a erosão regressiva no médio e alto curso, causando assoreamento e inundações no baixo curso. A ocupação da planície de inundação e a construção de diques marginais inadequados contribuem para transbordamentos durante eventos de chuva intensa.

Devido à frequência das inundações no bairro Industrial, localizado em uma área naturalmente propensa a alagamentos devido ao remanso e transbordamento do córrego Humaitá pelo rio Paraibuna, várias intervenções foram realizadas ao longo dos anos. Isso inclui a contenção do córrego Humaitá com gabiões e a complementação da canalização nas décadas de 1980 (PJF, 2011).

A Figura 11 demonstra os limites da microbacia do córrego Humaitá e sua localização geográfica em relação ao Município. A mesma indica o córrego, seus efluentes e o ponto de exultório no Rio Paraibuna; a bacia encontra-se ao lado da microbacia do córrego São Pedro e ambas compartilham de algumas estações pluviométricas. Diferente da MBHCSP, a mesma possui um processo de urbanização mais recente e menos intenso, porém os problemas decorrentes de enchentes e inundações são recorrentes no bairro Industrial.

Figura 11 – Caracterização da Microbacia Hidrográfica do Córrego Humaitá

## MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA MICROBACIA DO CÓRREGO HUMAITÁ, JUIZ DE FORA/ MG



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).



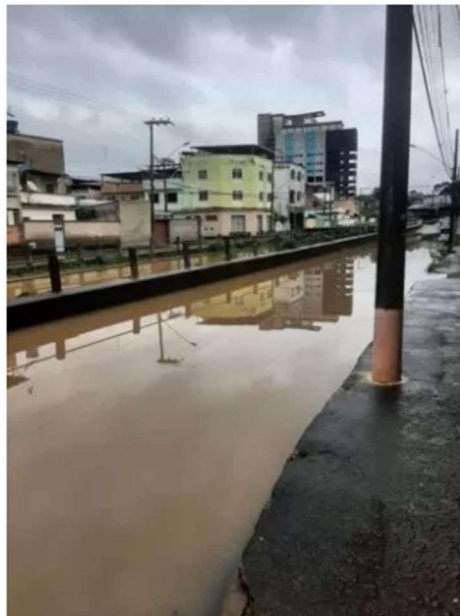
A Figura 12 foi retirada do jornal Tribuna de Minas (2022) em fevereiro de 2022. A região mais afetada segundo o jornal seria a rua Lúcio Bitencourt, via principal de acesso ao bairro Industrial. A Figura 13, também retirada do mesmo jornal, porém em 2023, demonstra a recorrência dos eventos de alagamento na região (Tribuna de Minas, 2023).

Figura 12 – Rua Lúcio Bitencourt após temporal em 2022



Fonte: Gabriel Silva. (2023).

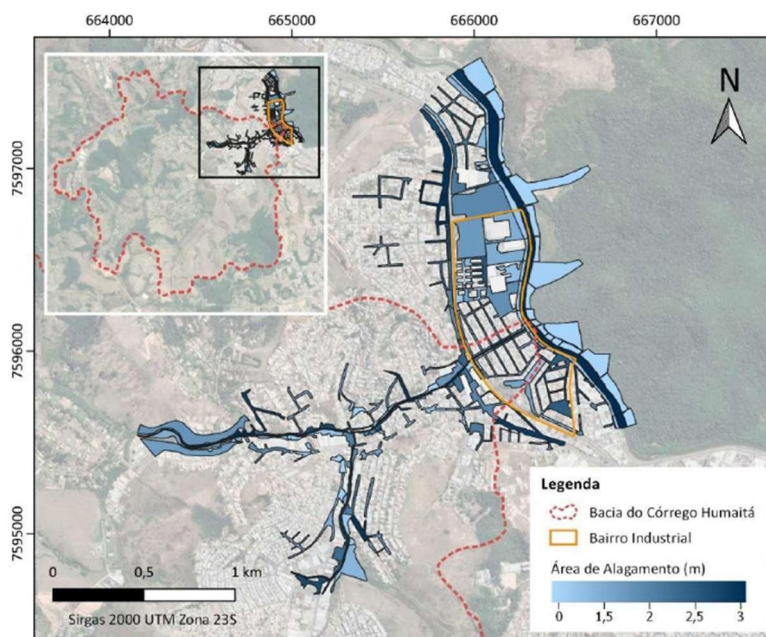
Figura 13 – Rua Lúcio Bitencourt após temporal em 2023



Fonte: Erick Wagner Ferreira. (2023).

A Figura 14 foi elaborada por Vallejo *et al.* (2022) e detalha a mancha de inundação no ano de 2022. Os autores indicam que o principal fator causador dos eventos na região é a cheia do rio Paraibuna, e demonstram que as edificações encontram-se em uma região naturalmente inundável; os mesmos alertam para o controle da urbanização em regiões de planícies alagadiças.

Figura 14 – Mancha de inundação para 2022



Fonte: Vallejo *et al.* (2022).

#### 4.1.2. Microbacia Hidrográfica do Córrego Carlos Chagas

A Microbacia hidrográfica do córrego Carlos Chagas (MBHCCC) encontra-se na região Norte do Município, no bairro homônimo ao córrego. Segundo Machado (2011) o tributário escoar maior quantidade de efluentes do que a própria vazão natural. Assim, quanto maior o adensamento populacional na região maior o volume de efluentes. Por ser um bairro menor poucos são os estudos sobre ele.

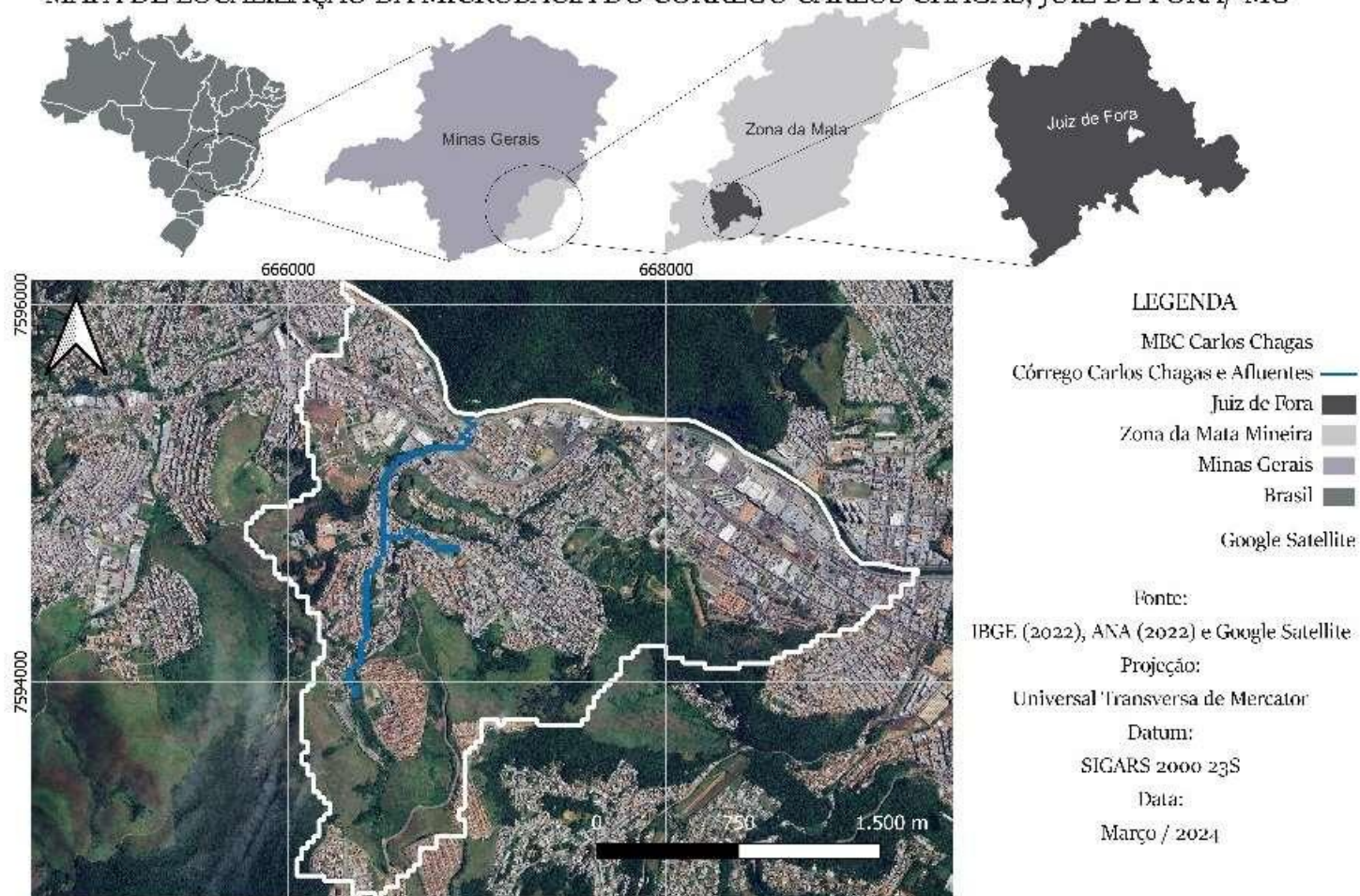
No plano de saneamento básico de Juiz de Fora (2022) a PJF reconhece a necessidade de implantar bacia de retenção entre os bairros Monte Castelo e Cerâmica. O documento identifica pontos de enxurrada nas ruas Expedicionário Antônio Novais e Nazira Mattar de Freitas. Segundo o

IBGE (2010), a população do bairro Carlos Chagas é de aproximadamente 1.861 habitantes no ano em que foi realizado o Censo, um crescimento de aproximadamente 11% entre os Censos de 2003 e 2010.

A Figura 15 demonstra os limites da microbacia do córrego Carlos Chagas e sua localização geográfica em relação ao Município. A mesma indica o córrego, seus efluentes e o ponto de exultório no Rio Paraibuna; a bacia encontra-se entre a microbacia do córrego São Pedro e a do Córrego Humaitá, é a menor entre elas, porém sua urbanização é bem densificada.

Figura 15 – Caracterização da Microbacia Hidrográfica do Córrego Carlos Chagas

## MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA MICROBACIA DO CÓRREGO CARLOS CHAGAS, JUIZ DE FORA/ MG



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

A Figura 16 foi retirada do jornal G1 da Zona da Mata (2021) em janeiro de 2021, nesta matéria são apresentados vários pontos do bairro que foram afetados por focos de alagamento. Em 2010 a PJF concluiu a construção de uma galeria para captação de águas pluviais, a mesma possui 310 metros de extensão e foi construída com tubos pré-moldados 2mx2m, devido a frequentes casos de alagamento e recorrentes situações de locais ilhados e sem acesso devido o comprometimento da rede de drenagem. No mesmo ano a Cesama iniciou obras de intervenção da rede de esgoto (PJF, 2010).

Figura 16 – Bairro Jardim Cachoeira registrou alagamento durante forte chuva em 2021



Fonte: Leandro Augusto. (2021).

#### 4.1.3. Microbacia Hidrográfica do Córrego São Pedro

A Microbacia hidrográfica do córrego São Pedro (MBHCSP) encontra-se na região Oeste do Município e possui relevo acentuado com amplitude topográfica elevada em relação aos demais bairros. A microbacia possui elevada importância por conter um dos principais mananciais de abastecimento do Município, a Represa do São Pedro. A mesma contribui com 8% do abastecimento urbano, os principais afluentes da microbacia são os Córregos São Pedro e o Grota do Pinto (ROCHA *et al.*, 2018).

Segundo o IBGE (2010), a população do bairro São Pedro é de aproximadamente 14.640 habitantes no ano em que foi realizado o Censo, em

1996. A população estimada para toda a região Oeste era de 21.175 habitantes. Entre os anos de 1996 e 2000 o crescimento já alcançava a marca de 14,9% para o bairro em questão e a região teve um crescimento significativo na década de 60 com a implantação da Universidade Federal de Juiz de Fora (ALBERTONI, 2014).

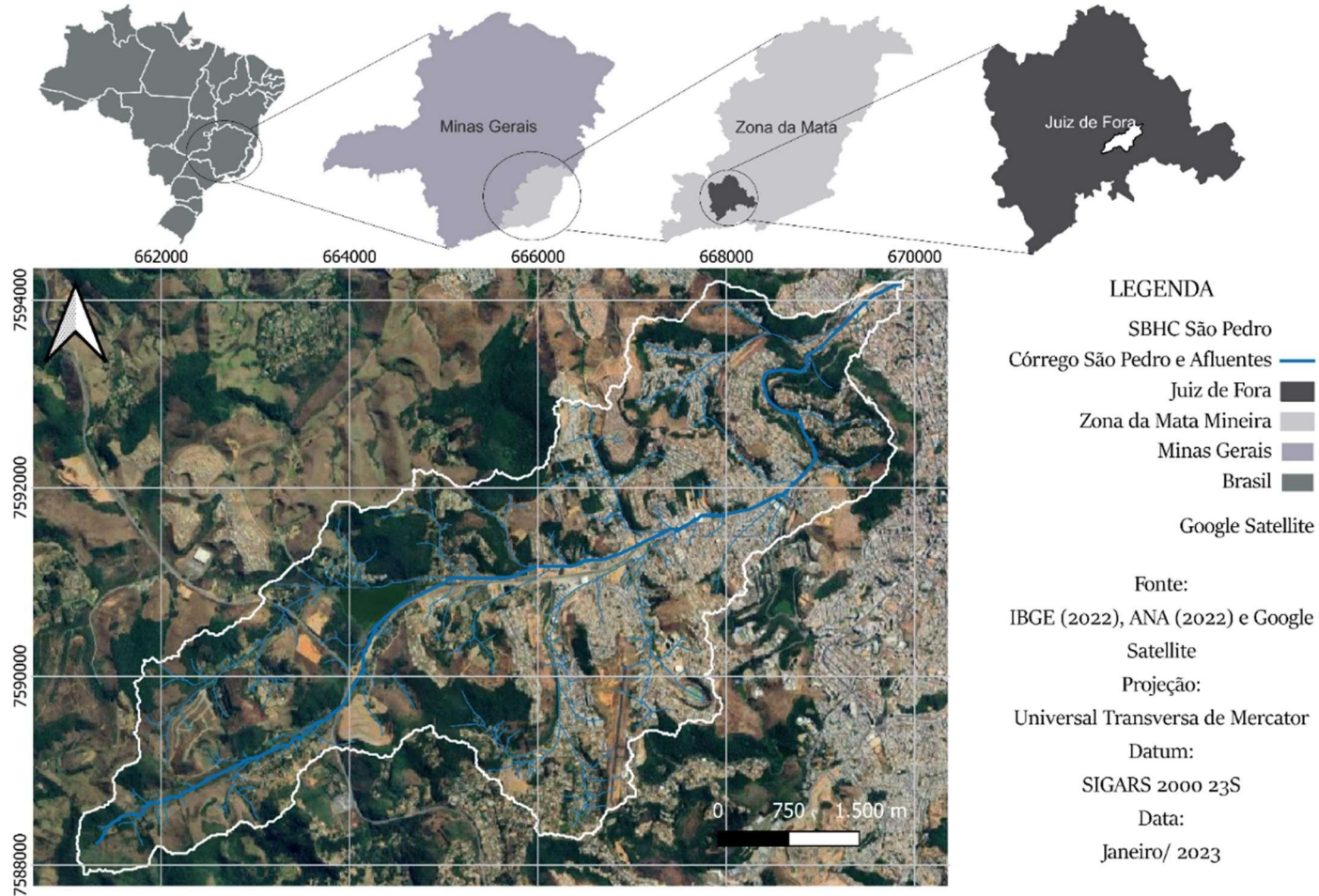
A MBHCSP possui área aproximada de 30,1 km<sup>2</sup>, amplitude altimétrica variando entre 1,077m no Pico da Grota até 680m no exultório (MACHADO, 2010). O curso hídrico sofreu uma série de intervenções motivadas pela implementação da BR-440. Segundo Gerheim (2016) apud Prefeitura de Juiz de Fora (2011:20) o córrego São Pedro sofreu as seguintes alterações:

**1994** - Do German Village até o bairro Itatiaia retificação (correção de curso) em canal aberto em gabião, taludamento de margens. Da estrada do Jardim Casablanca até a ponte de transposição sob via no Serro Azul foi feito quebramento de rochas para aumento do canal de escoamento e galeria fechada sob estrada (transposição/ponte);

**2011** - Do German para cima (via São Pedro) até a rotatória do loteamento Viña del Mar correção de curso, taludamento e canalização em gabião entre pistas. Na rotatória onde há uma transposição foi executado canal fechado em concreto de 115 m.

A Figura 17 demonstra os limites da microbacia do córrego São Pedro e sua localização geográfica em relação ao Município. A mesma indica o córrego São Pedro, seus efluentes e o ponto de exultório no Rio Paraibuna.

Figura 17 – Caracterização da Microbacia Hidrográfica do Córrego São Pedro  
 MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA MICROBACIA DO CÓRREGO SÃO PEDRO, JUIZ DE FORA/ MG

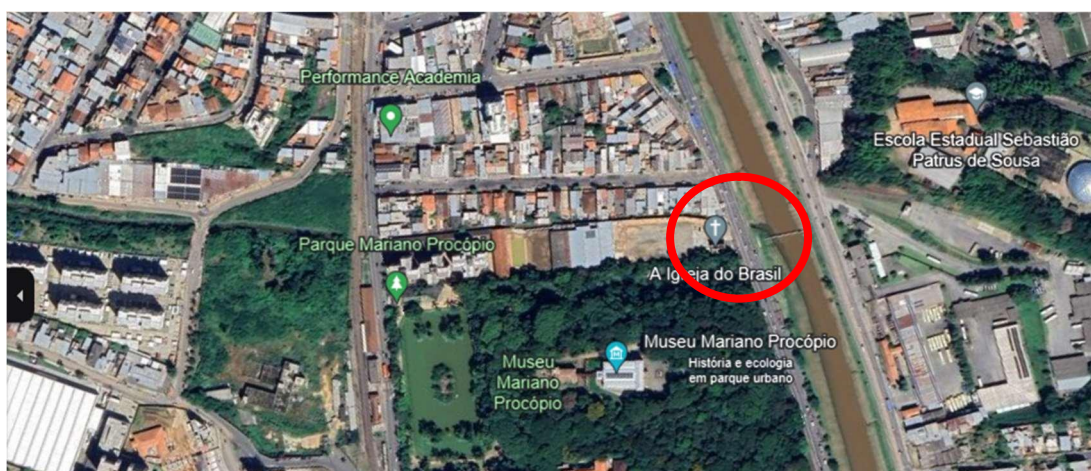


Fonte: Elaborado pelo autor. (2023).

Segundo Rocha e Paiva (2010), o córrego passou por obras de alargamento, retificação e canalização para evitar inundações, resultando em uma seção tripla. Porém, os autores observam que a seção transversal do canal deveria ser maior que  $35\text{m}^2$ , mas foi dimensionada com  $3\text{m} \times 3\text{m}$  em cada célula, totalizando  $27\text{m}^2$ , o que não atende aos padrões de segurança. Também apontam problemas como impermeabilização da bacia hidrográfica e relação entre o nível da água do córrego e uma rodovia, devido a projetos inadequados de redes de esgoto e captação de água pluvial, que podem causar inundações devido ao desnível das ruas.

Atualmente, os principais problemas decorrentes das alterações no leito do córrego estão concentrados no exutório próximo ao museu Mariano Procópio. Nesse local, são frequentemente registradas ocorrências de inundações. Embora não atinjam proporções catastróficas, ainda assim causam prejuízos econômicos. Também ao longo das margens do canal, o volume de água ocasionalmente retorna devido à canalização inadequada de esgoto e de drenagem de vias e residências. Além disso, pontos elevados sofrem com alagamentos frequentes devido à deficiência da drenagem e ao dimensionamento inadequado mencionado anteriormente. A Figura 18 mostra o ponto de exutório da bacia que é paralelo à rua Senador Feliciano Pena no bairro Mariano Procópio (Google Earth, 2024).

Figura 18 – Exutório da MBHCSP



Fonte: Google Earth. (2024)



O portal de internet G1 (2023) publicou a respeito de uma ocorrência em 22 de janeiro de 2023 onde houve transbordamento na rua Feliciano Pena. O mesmo alega que a principal causa da ocorrência foi o grande volume proveniente de uma chuva intensa no bairro São Pedro.

A Figura 19 demonstra a ocorrência noticiada pelo jornal. Em 2021 e 2020 o mesmo jornal noticiou o alagamento da Avenida Senhor dos Passos, via principal do bairro São Pedro, demonstrando a regularidade de ocorrências de alagamentos e inundações na MBHCSP.

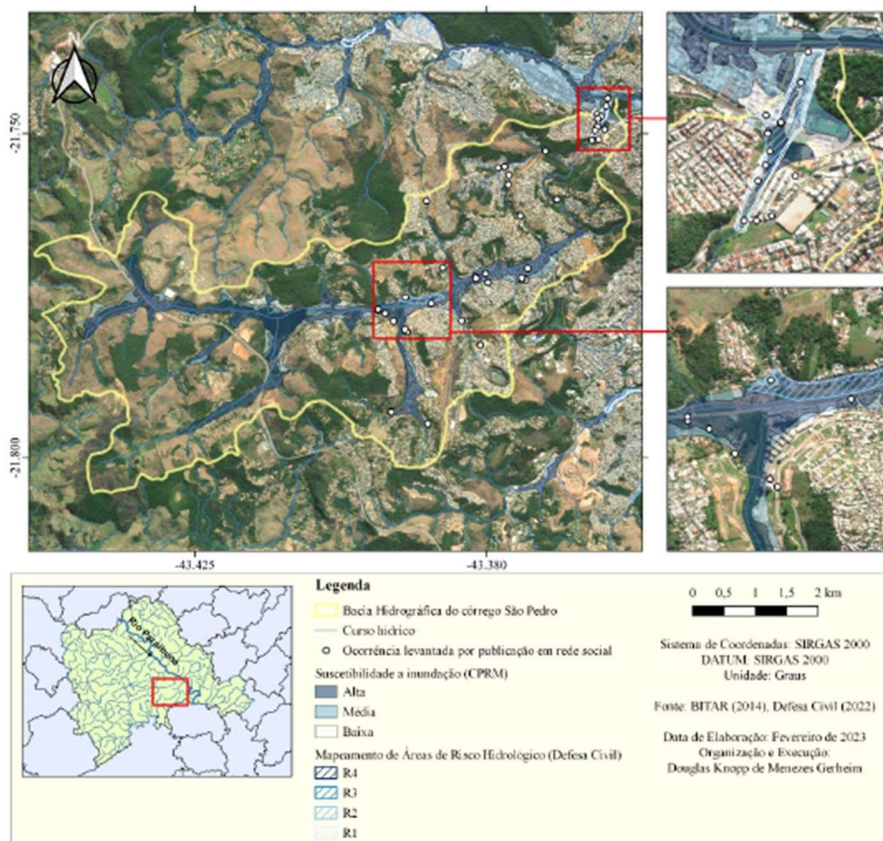
Figura 19 – Bairro Democrata alagado após chuvas



Fonte: Marcus Pena/TV Integração. (2023).

Segundo Gerheim e Felipe (2023), no ano de 2023 foram registradas 62 publicações no Instagram com ocorrências de inundações e alagamentos na MBHCSP. Entre as ocorrências estudadas pelos autores, as mesmas representam cerca de 10,5% das publicações referentes a riscos hidrológicos em toda a cidade de Juiz de Fora. A Figura 20 foi elaborada por Gerheim e Felipe (2023) e representa as áreas de suscetibilidade a riscos hidrológicos da bacia objeto de estudo.

Figura 20 – Sobreposição de pontos de alagamentos e inundações levantados, as áreas de suscetibilidade à inundações em Juiz de Fora pelo CPRM e as áreas de risco à inundações pela Defesa Civil.



Fonte: Gerheim e Felipe. (2023).

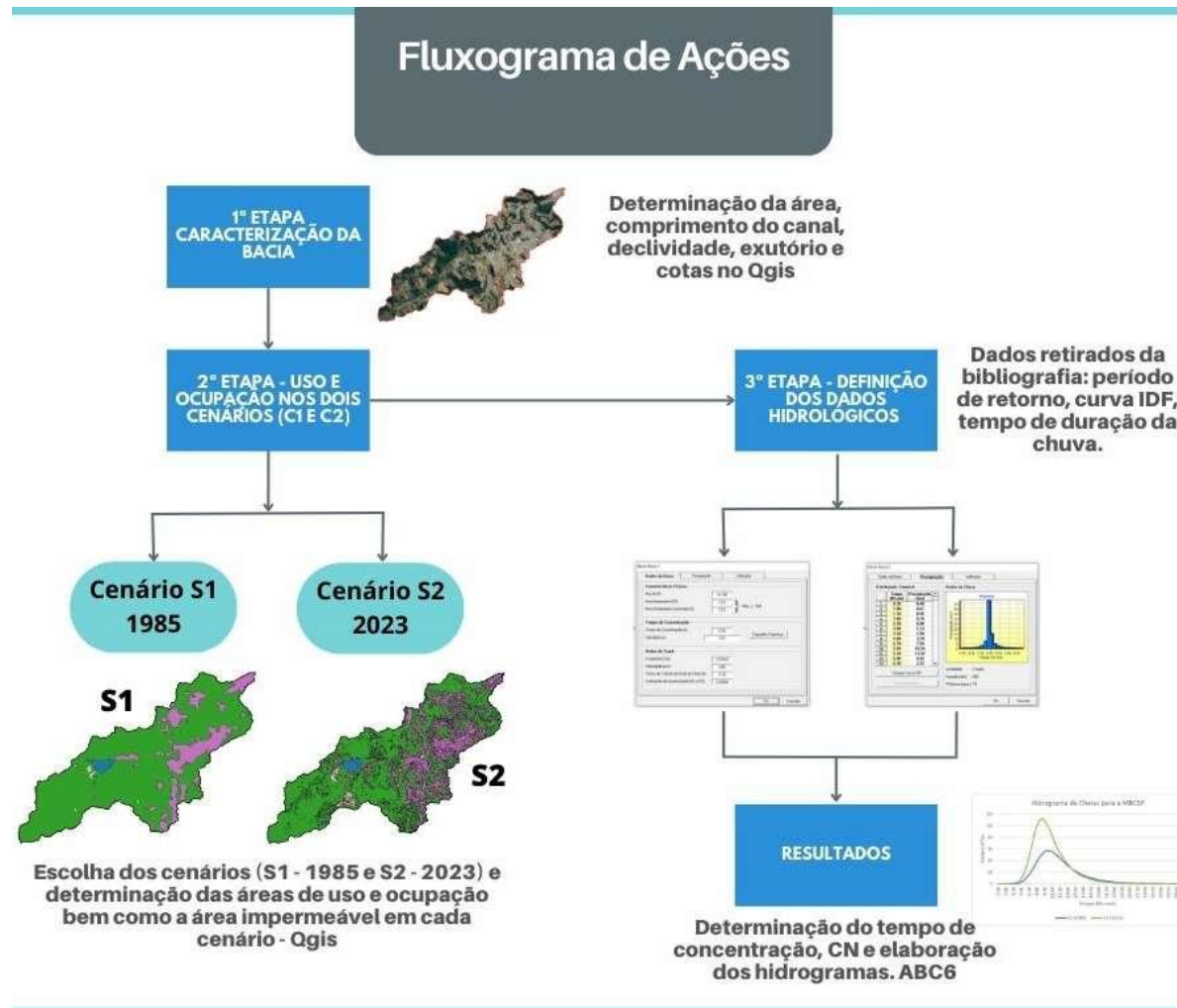
## 4.2. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA E HIDROLÓGICA

A Figura 21 representa o fluxograma das etapas desenvolvidas durante a pesquisa, são elas:

- Etapa 1 - Caracterização fisiográfica das bacias de estudo (feito com o Modelo Digital de Elevação no Qgis), foi determinada a área impermeabilizada em cada cenário utilizando-se de imagens de satélites;
- Etapa 2 - Análise do Uso e Ocupação do solo em dois cenários diferentes: o primeiro em um período pré-urbanização intensa e o segundo após as alterações da paisagem em cada microbacia;

- Etapa 3 - Modelagem hidrológica. Nesta etapa foram feitos tratamentos estatísticos para desenvolvimento de distribuição temporal pluviométrica na região de estudo e resultados. Nesta etapa empregou-se o software ABC6 na confecção de hidrogramas das microbacias, possibilitando a análise da influência da impermeabilização do solo nos eventos recorrentes de inundação.

Figura 21 - Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor. (2023).

## Etapa 1 - Caracterização Fisiográfica

Nesta etapa inicial foram desenvolvidas as seguintes ações:

- Delimitação dos limites, das áreas, dos exultórios e dos comprimentos dos afluentes principais de cada microbacia estudada;
- Cálculo dos desníveis dos afluentes principais;
- Definição da área diretamente conectada a microdrenagem.

### *4.2.1.1 Delimitação dos limites, das áreas, dos exultórios e dos comprimentos dos afluentes principais*

Para delimitação das bacias foi preciso utilizar o MDE gerado a partir de curvas de nível, obtidas pelo mapeamento digital realizado pelo município de Juiz de Fora. A cobertura aerofotogramétrica foi realizada entre 08/06/2007 e 19/06/2007 e abrangeu completamente o município de Juiz de Fora, totalizando aproximadamente 300 km<sup>2</sup> na área urbana. As imagens foram obtidas com o sensor digital LEICA ADS40, com resolução dos imageamentos de 20 cm na área urbana (PJF, 2024). O arquivo de curvas de nível foi cedido pelo Núcleo de Análise Geo Ambiental da UFJF (NAGEA) e foi manipulado com o recurso `v.to.rast` e `r.serf.contour`.

As bacias foram delimitadas utilizando-se o recurso `r.watershed` do Grass, os parâmetros determinados foram: 0,5% da área total de Juiz de Fora (MDE com área de 1898x1807 pixels) e para a rede de drenagem o valor encontrado 17.148 foi dividido por 20. Assim, foi possível aproximar os traçados encontrados com os shapefile disponíveis no site de Metadados da ANA. Com isso, tem-se o traçado dos córregos segundo a topografia, a delimitação das bacias e seu ponto de exultório.

### *4.2.1.2 Cálculo dos desníveis dos afluentes principais.*

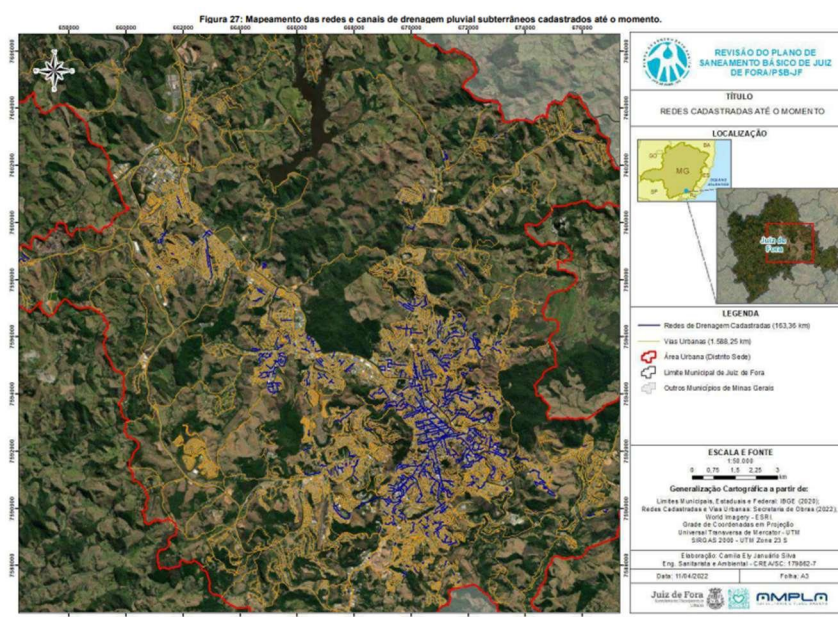
Para a definição do desnível da bacia, do desnível do afluente principal e seu comprimento foi utilizado o plug-in Profile Tool essa ferramenta permite

plotar linhas de perfil a partir de uma camada raster ou de uma camada vetorial (utilizado nos dois casos) a mesma permite plotar um perfil longitudinal com o campo de elevação e oferece o comprimento total do córrego em estudo (QGIS, 2024).

#### 4.2.1.3 Área diretamente conectada ao Sistema de Microdrenagem Urbano

Para o cálculo de área diretamente conectada ao sistema de drenagem, o estudo considerou toda a área impermeabilizada, uma vez que os bairros não possuem uma rede de drenagem consolidada e o plano de drenagem de Juiz de Fora demonstra que a rede de drenagem não é conhecida em sua totalidade. A maior parte do volume precipitado nessas regiões segue para o sistema de macrodrenagem via escoamento superficial. A Figura 22 foi retirada do Plano de Saneamento Básico de Juiz de Fora que foi revisado em 2022, e demonstra em azul as canalizações pertencentes à rede de drenagem urbana de Juiz de Fora que foram cadastradas até o momento.

Figura 22 – Mapeamento das redes e canais de microdrenagem pluvial subterrâneos cadastrados até o momento.



Fonte: SEPUR (2022).

Figura 23 – Rede de drenagem com foco nas áreas estudadas



Fonte: Adaptado de SEPUR (2022).

A Figura 23 seria a mesma imagem, porém com foco na região de estudo. Na mesma pode-se avaliar que parte da rede de drenagem não tem cadastro ou é inexistente, o que dificulta o cálculo da área conectada ao sistema. Assim, supõe-se que uma vez que a área foi impermeabilizada pelo processo de urbanização, a mesma descarrega todo o volume precipitado na rede, reduzindo a infiltração natural no solo.

#### 4.2.1. Etapa 2 - Análise do Uso e Ocupação do solo

##### 4.2.1.4 Obtenção de imagens de Satélite para Identificação do Uso e Ocupação do Solo

Para avaliar a evolução no Uso e Ocupação da região de estudo, a pesquisa considerou dois cenários urbanísticos. O primeiro S1 decorreu no ano de 1985 (ano de início das avaliações do instituto MapBiomias em relação ao estudo de Uso e Ocupação do território nacional) e o segundo S2 no ano de 2023. Assim, com tratamento e utilização de plugins, tais como o MapBiomias e *Profile Tool*, foi possível determinar a área impermeável do cenário S1 e do cenário S2, definir o Uso e Ocupação da sub-bacia.

Foram utilizados Rasters produtos do projeto MapBiomas coleção 8 e 9, que seriam os mapeamentos anuais da expansão e modificação do Uso e Ocupação do Solo, e imagens do Google Satellite.

#### 4.2.2. Etapa 3 - Caracterização Hidrológica

Na conjuntura da Bacia dos Córregos São Pedro, Humaitá e Carlos Chagas, o software ABC6 faz-se aplicável para a realização do modelo SCS, pois pela classificação de tributários proposta por Horton (1945) e Straler (1964) as mesmas são caracterizadas como bacias de ordem 2. Essa configuração influencia nos eventos de inundação, pois à medida que a ordem associada à bacia aumenta, aumenta também o número de afluentes contribuintes, resultando em uma extensão maior.

A etapa inicial consistiu na definição dos modelos de cálculo do software, bem como na configuração de parâmetros predefinidos, alinhados à natureza da análise a ser realizada. Um dos parâmetros é o intervalo de tempo de discretização, que seria o menor intervalo de tempo que o algoritmo vai utilizar para fazer o cálculo. O mesmo define que uma melhor precisão dos cálculos é dada quando o intervalo de discretização está na ordem de 1/10 do tempo médio de concentração na bacia, no caso foi considerado o valor de 5 minutos.

O Período de Retorno (T) representa o tempo médio para eventos de uma certa probabilidade ocorrerem, calculado a partir de séries históricas. Em projetos urbanos, o risco considerado geralmente relaciona-se à precipitação, influenciada pelas mudanças na bacia hidrográfica. Tucci (2005) estipulou valores para o T de acordo com os sistemas analisados e suas características. No caso em estudo o T considerado será de 10 anos uma vez que o mesmo considera a microdrenagem e a macrodrenagem em avenidas e há heterogeneidade no escoamento urbano. A Tabela 1 representa os valores determinados pelo autor.



Tabela 1 – Tempo de Retorno para Sistemas Urbanos

Sistema	Características	Intervalo	Valor Frequente
Microdrenagem	Residencial	2-5	2
	Comercial	2-5	5
	Áreas de prédios públicos	2-5	5
	Aeroporto	5-10	5
	Áreas comerciais e Avenidas	5-10	10
Macrodrenagem		10-25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5-100	100*
* limite da área de regulamentação			

Fonte: Tucci. (2005).

Para a confecção dos hidrogramas também foi preciso determinar os modelos utilizados para os cálculos. Assim, para o cálculo da Chuva Excedente e do Tempo de Concentração foi utilizado o método SCS assim como o modelo de cálculo da Infiltração, em que se utilizou o método triangular do SCS.

Definido o modelo hidrológico que mais se adequa às condições das microbacias estudadas (microbacia urbana, com CN próximo de 100, L de até 10km, com áreas de até 30km<sup>2</sup>), determinam-se os parâmetros essenciais para o cálculo do Hidrograma Unitário. são eles:

- Curvas CN (determinado pelo estudo de uso e ocupação do local juntamente com parâmetros determinados pela ANA);
- Distribuição Temporal de Precipitação (equação IDF calculada pelo GAN-IDF e distribuição temporal calculada manualmente pelo método dos blocos alternados);
- Tempo de Concentração (calculado pelo software), Vazão e Velocidade dos cursos d'água (calculado pelo software), Tempo de Trânsito de Onda de Cheia (calculado pelo software), e
- Cálculo da Taxa de Infiltração.

#### 4.2.2.1. Curve Number

O parâmetro CN varia de 0 a 100 e depende da classe hidrológica do solo e do tipo de uso e cobertura do mesmo. Segundo a ANA (2018, apud Sartori *et al*, 2005), “os solos são classificados em 4 grupos (A, B, C e D) de acordo com o grau de resistência à erosão”. As características desses grupos, conforme indicado pela ANA e apresentadas pelo SCS, são:

**Grupo A:** Compreende os solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados, consistindo principalmente de areias ou cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados. Taxa mínima de infiltração: > 7,62 mm/h;

**Grupo B:** Compreende os solos contendo moderada taxa de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa. Taxa mínima de infiltração: 3,81-7,62 mm/h;

**Grupo C:** Compreende os solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração. Taxa mínima de infiltração: 1,27-3,81 mm/h;

**Grupo D:** Compreende os solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão. Pertencem a este grupo, solos com grande permanência de lençol freático elevado, solos com argila dura ou camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície. Taxa mínima de infiltração: < 1,27 mm/h.

De acordo com essas definições e tendo em vista as características dos solos brasileiros, a classificação hidrológica de solos para as condições brasileiras são (Sartori, 2005):

**Grupo Hidrológico A:**

LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.

**Grupo Hidrológico B:**

LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.

**Grupo Hidrológico C:**

ARGISSOLO pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura média e CAMBIS-SOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.

**Grupo Hidrológico D:**

NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Tabela 2 - Classes de Uso da Terra e Ocupação do Solo

Classe de Uso da Terra e Ocupação do Solo	Classe Hidrológica do Solo			
	C	B	C	D
Área Artificial	93	93	93	93
Área Agrícola	64	76	84	88
Pastagem com Manejo	6	35	70	79
Mosaico de Área Agrícola com Remanescentes Florestais	60	76	85	90
Silvicultura	26	52	62	69
Vegetação Florestal	36	60	70	76
Mosaico de Vegetação Florestal com Atividade Agrícola	55	72	81	86



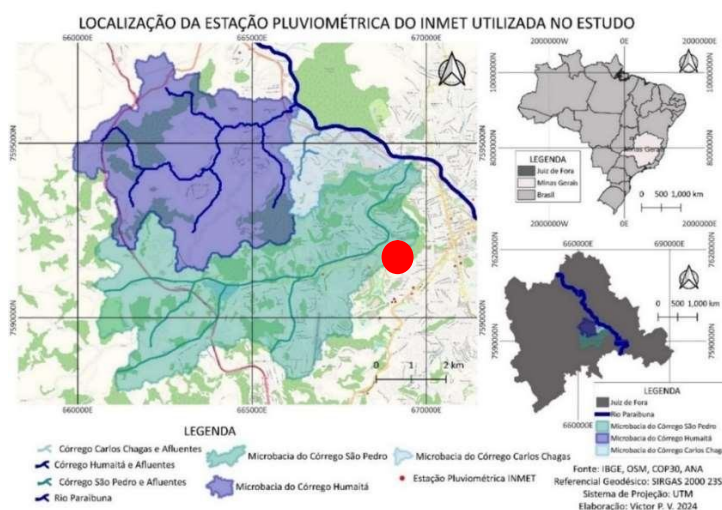
#### 4.2.2.2. Distribuição Temporal de Precipitação

Para determinar a distribuição temporal da precipitação que foi inserida nos dados de entradas do ABC6 foi utilizado o método dos blocos alternados. O mesmo reorganiza dados de precipitação para simular eventos extremos, como chuvas intensas, e avaliar seus impactos em sistemas de drenagem e bacias hidrográficas. Os passos principais para se determinar a distribuição temporal da precipitação foram:

**Coleta de dados:** Foi utilizada a série histórica da Estação Pluviométrica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) disponível no livro Clima de Juiz de Fora 50 anos de dados Meteorológicos (FERREIRA *et al.* 2023). O posto selecionado para o estudo fica localizado no campus da UFJF. Os dados serão majorados para as outras sub-bacias.

A Figura 25 demonstra a localização da estação pluviométrica gerenciadas pelo INMET na região de estudo. O período de dados consistidos encontra-se entre os anos de 1967 a 2014 perfazendo 39 anos de dados. O critério adotado para a seleção da estação considera que a mesma tenha dados consistidos e que esteja próximo geograficamente das bacias. A mesma atende o pré-requisito de forma parcial, pois não possui série completa de dados consistidos entre os anos estudados.

Figura 25 – Estação Pluviométrica utilizada na modelagem



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

**Análise estatística:** Os dados coletados são analisados estatisticamente para determinar a distribuição de frequência e intensidade das precipitações.

A equação da Curva Intensidade-Duração-Frequência IDF para a Estação de estudo foi calculada utilizando a ferramenta *Genetic Algorithm Methodology for IDF* (GAM-IDF), cujo principal objetivo segundo o Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas é “disponibilizar aos usuários uma ferramenta com boa usabilidade e fundamentada em metodologias do estado-da-arte para o ajuste de equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF)”, a ferramenta foi desenvolvida por pesquisadores da Universidade Federal de Pelotas (UFPeL, 2024).

No programa é necessário inserir um arquivo de entrada no Excel com os anos e as precipitações máximas diárias anuais. Também é necessário escolher um limiar de falhas no caso foi estipulado 31 dias; Escolher uma Distribuição de Probabilidade (podendo ser os métodos Exponencial, Gamma, Generalizada de Valores Extremos, Gumbel, Logística Generalizada, Normal Generalizada, Pareto Generalizada, Kappa, Lognormal 3P, Pearson Tipo III, Wakeby ou Weibull) ou permitir que o mesmo encontre o melhor ajuste (opção utilizada no estudo); Escolher o Período de Retorno (escolhido o mesmo utilizado no ABC6, T=10 anos) e a constante de desagregação (utilizada a da CETESB, default do programa).

Com todos os parâmetros ajustados a ferramenta oferece a curva IDF com todos os parâmetros específicos para a estação em estudo, assim como a chuva de projeto a ser utilizada.

**Modelagem temporal:** Com base nos dados estatísticos, o próximo passo é modelar a distribuição temporal da precipitação. A partir de um hietograma, os volumes de chuva foram divididos em blocos de intensidades diferentes, com o maior bloco no centro e os demais alternados simetricamente à esquerda e à direita. Esse arranjo concentra a precipitação no meio do evento, criando uma distribuição temporal que facilita análises de escoamento superficial, dimensionamento de reservatórios e controle de cheias.

#### 4.2.2.3. Tempo de Concentração (calculado pelo software);

Para este parâmetro usou-se o Método *Soil Conservation Service* – SCS para o cálculo do tempo de concentração na bacia ( $t_c$ ) pois há heterogeneidade no escoamento urbano (TUCCI, 2005).

As equações utilizadas para estimar o tempo de concentração, conforme incluídas no ABC6 e aplicadas neste estudo, estão apresentadas na Tabela 3 (FERNANDES *et al.*, 2017).

Tabela 3 - Valores do tempo de concentração ( $t_c$ ) e equações utilizadas.

Equação	$t_c$		Equação
	min.	Hora	
Bransby-Willians	449	7,5	$t_c = 306 \cdot \frac{L}{5280} \left( \frac{1}{A^{0,1} \cdot S_i^{0,2}} \right)$
Dooge	291	4,9	$t_c = 70,8 \cdot \left( \frac{A^{0,41}}{S_i^{0,17}} \right)$
Kerby	68	1,1	$t_c = 7,23 \cdot \left( \frac{L \cdot c}{S_i^{0,5}} \right)^{0,467}$
Kirpich I	262	4,4	$t_c = 0,0196 \cdot \left( \frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$
Onda Cinemática	1.166	19,4	$t_c = 55 \cdot \left( \frac{n^{0,6} \cdot L^{0,6}}{I^{0,4} \cdot S_i^{0,3}} \right)$
SCS	1.435 – 602	23,9 – 10,0	$t_c = 0,43 \cdot \frac{L^{0,8}}{S_i^{0,5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$
Padrão ABC6	234,9	3,9	$t_c = \frac{\sqrt{A}}{2}$

Fonte: Fernandes *et al.* (2017).

Em que: L é o comprimento do talvegue (m); A é a área da bacia (km<sup>2</sup>); Si é a declividade equivalente (m/km); c é a rugosidade de retardo (depende da superfície e é adimensional);  $\Delta h$  é a diferença de cotas (m); n é a rugosidade de Manning (adimensional); I é a intensidade da chuva associada ao período de retorno (mm/h) e CN é o número da curva número do método SCS.

Detalhes da formulação das equações apresentadas na Tabela 3 e recomendações de uso podem ser encontrado em Mata-Lima *et al.* (2007),

Porto *et al.* (2004) e Porto (1995). A fórmula utilizada foi a relativa ao método SCS. Para este cálculo foram necessários os dados:

- Comprimento do Talvegue L (m) (definido QGIS);
- Área da Bacia (km<sup>2</sup>) (definido QGIS);
- Declividade S (m/km) (definido QGIS);
- Diferença de Cotas h (m) (definido QGIS);
- Intensidade de Precipitação (mm/h) (determinado anteriormente)
- e
- Rugosidade de Retardo c (Tabelado);

A Tabela 4 foi retirada do *software* utilizado (esta metodologia foi proposta por Izzard e citada por Freitas em 1984) e estipula intervalos para o parâmetro c de acordo com o material utilizado para revestimento do canal principal. A equação de Izzard é recomendada para pequenas bacias, onde o escoamento é laminar e não há canais definidos. Portanto, é utilizada no projeto de obras de urbanização, loteamentos, etc. Para o estudo foi considerado concreto = 0,0120.

Tabela 4 – Valores do Coeficiente c para áreas urbanas no ABC6

Asfalto Muito Liso	0,0070
Pavimento de Piche e Areia	0,0075
Concreto	0,0120
Pavimento de Piche e Cascalho	0,0170
Grama Rigorosamente Aparada	0,0460
Cobertura Densa de Capim	0,0600

Fonte: Freitas. (1984).

- Rugosidade de Manning Composto (n)

A Figura 26 demonstra os dados de entrada necessários para o cálculo da rugosidade de Manning Composto (n). Esses dados são estipulados de acordo com as características do canal tais como: material do canal, taxa de irregularidade, efeito das obstruções, tamanho da vegetação e interferências no percurso). O valor utilizado para n foi de 0,035 para todas as microbacias.



Figura 26 – Dados de Entrada para cálculo da Rugosidade de Manning Composto (n) no ABC6

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

- *Vazão e Velocidade dos cursos d'água*

O ABC6 calcula a velocidade do canal utilizando a fórmula de Manning, uma das mais utilizadas para determinar a velocidade em canais abertos. A equação utilizada:

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{2/3} * S^{1/2} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

V = é a velocidade média da água (m/s);

n = é o coeficiente de rugosidade de Manning, que depende do tipo de material do leito do canal (estipulado anteriormente);

Rh = é o raio hidráulico (m), definido como a área da seção transversal do fluxo (A) dividida pelo perímetro molhado (P):  $R = A/P$ , e

S = é a declividade (ou inclinação) do canal, expressa como a perda de altura por unidade de comprimento do canal (m/m).

- *Tempo de Trânsito da Onda de Cheia (h)*

Este parâmetro serve para simular o tempo médio de trânsito da onda que se propaga de montante para jusante, utiliza-se o método de Muskingum para sua determinação. Este método avalia a propagação de ondas de cheias, atenuação da vazão e translação da onda, utilizando a equação da continuidade.

- Coeficiente de amortecimento ( $0 < x < 0,5$ ):

Proporção entre volume de entrada e o volume de saída no trecho do canal, é recomendado adotar valores próximos de 0,1 a 0,3. Foi adotado o valor de 0,25 para o caso em estudo.

#### 4.2.2.4. Cálculo da Taxa de Infiltração

A taxa de infiltração foi calculada pelo método triangular SCS, onde a Precipitação Acumulada é encontrada por intermédio da equação:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad \text{Eq. 6}$$

Para  $P \geq 0,2 * S$

Em que:

$P_e$  = precipitação excedente acumulada (mm);

$P$  = precipitação Acumulada (mm);

$S$  = capacidade potencial de infiltração no solo (mm), e

$CN$  = número de Curva de infiltração do SCS.

Para determinar o valor de  $S$  (Capacidade potencial de infiltração no solo) utiliza-se a fórmula:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Eq. 7}$$

Em que:

$S$  = capacidade potencial de infiltração no solo (mm), e

$CN$  = número de curva de infiltração do SCS.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. ETAPA 1 - ANÁLISE FISIAGRÁFICA DAS MICROBACIAS

- Delimitação dos limites, das áreas, dos exultórios de cada microbacia estudada, determinação do comprimento do afluente principal e cálculo dos desníveis dos afluentes principais.

A Figura 27 demonstra a altimetria das microbacias estudadas. Com o Modelo Digital de Elevação foi possível especificar os limites, as áreas, os comprimentos dos afluentes e os pontos de exultório de cada uma delas. Também está presente na figura o mapa de declividade que fornece o desnível dos córregos estudados.

Após a identificação de todos os parâmetros foi possível elaborar a Tabela 5, na qual consta as características fisiográficas de cada microbacia.

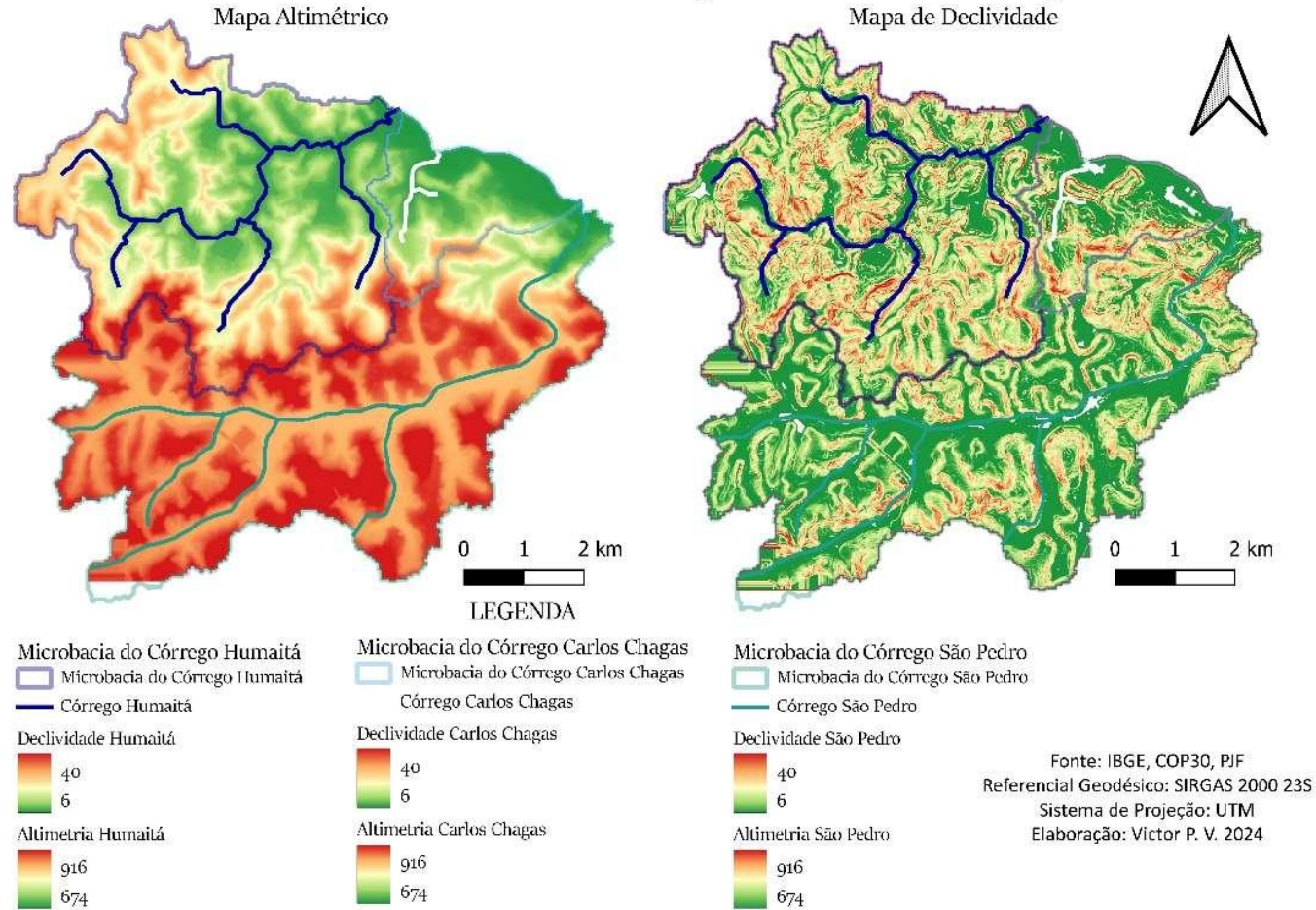
Tabela 5 - Características das Microbacias

	<b>MBHCH</b>	<b>MBHCCC</b>	<b>MBHCSP</b>
Área (km)	25,123	5,120	30,105
Comprimento do Córrego (m)	10008,0	1932,3	13404,90
$\Delta H$ do Córrego Principal (m)	192,3	48,0	138,5
Declividade do Córrego (m/km)	19,215	24,841	15,293

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Figura 27 – Características Fisiográficas das Microbacias

Altimetria e Declividade das Microbacias dos Córregos Humaitá, Carlos Chagas e São Pedro



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

- Definição da área diretamente conectada a microdrenagem.

Para determinar a área diretamente conectada a microdrenagem foram considerados 90% do valor total da área urbana, uma vez que parte do volume precipitado pode ficar retido ou até mesmo infiltrar em locais específicos. A Tabela 6 demonstra a porcentagem de área impermeabilizada considerada nos cálculos.

Tabela 6 – Área Impermeabilizada e porcentagem utilizada nos cálculos para elaboração do Hidrograma Unitário

	<b>MBHC Humaitá</b>	<b>MBHC Carlos Chagas</b>	<b>MBHC São Pedro</b>
<b>Ano de 1985</b>			
Área da Bacia (km <sup>2</sup> )	25,123	5,120	30,105
Área Urbana (km <sup>2</sup> )	1,45	2,86	4,38
Porcentagem	5,77	54,90	14,50
Porcentagem adotada como área Impermeável conectada (90%)	5,19	49,41	13,05
<b>Ano de 2023</b>			
Área Urbana (km <sup>2</sup> )	3,79	3,69	12,12
Porcentagem	15,08	72,07	40,26
Porcentagem adotada como área Impermeável conectada (90%)	13,57	64,86	36,23

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

## 5.2. ETAPA 2 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

### **Microbacia Hidrográfica do Córrego Humaitá**

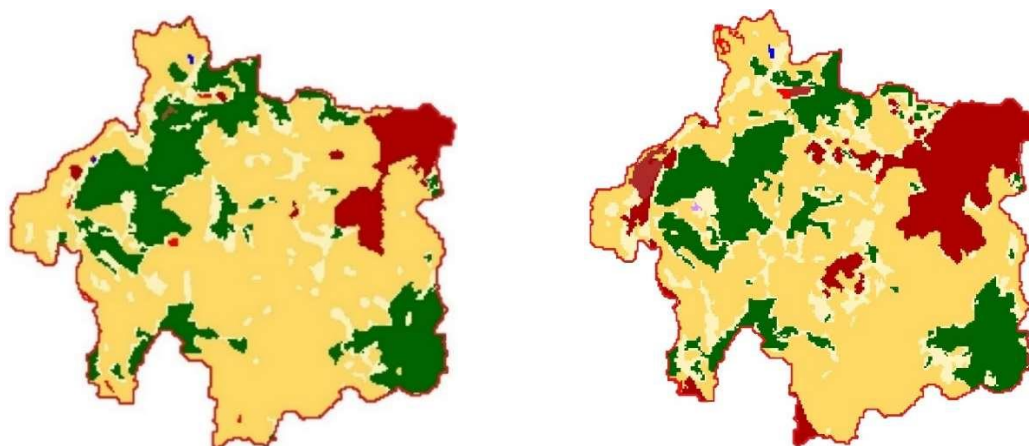
A Figura 28 permite verificar a mudança nas taxas de Uso e Ocupação do Solo entre os anos de 1985 e 2023 da MBHC Humaitá. Com os mapas desenvolvidos foi possível elaborar a Tabela 7. Com a mesma pode-se

identificar que, entre os anos de 1985 e 2024, a bacia passou por mudanças significativas em seu uso e ocupação. A área de vegetação reduziu 7,97%, a área de pastagem e solo exposto também diminuiu de 17,70 km<sup>2</sup> para 15,83 km<sup>2</sup>, representando uma redução de 10,56%. Em contraste, a área urbana expandiu-se, de 1,45 km<sup>2</sup> para 3,79 km<sup>2</sup>, um aumento de 161,38%. Essas mudanças sugerem uma intensificação da urbanização, com a consequente redução das áreas naturais e rurais. A Figura 29 resume todas as informações obtidas na análise em um gráfico comparativo.

Figura 28 – Uso e Ocupação do Solo para a MBHC Humaitá

**Uso e Ocupação de 1985**

**Uso e Ocupação de 2023**



**LEGENDA**

**CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO SEGUNDO MAPBIOMAS**

- 3 - Formação Florestal
- 13 - Outras Formações não Florestais
- 15 - Pastagem
- 21 - Mosaico de Agricultura e Pastagem
- 24 - Infraestrutura Urbana
- 25 - Outras Áreas não Vegetadas
- 33 - Rio, Lago e Oceano

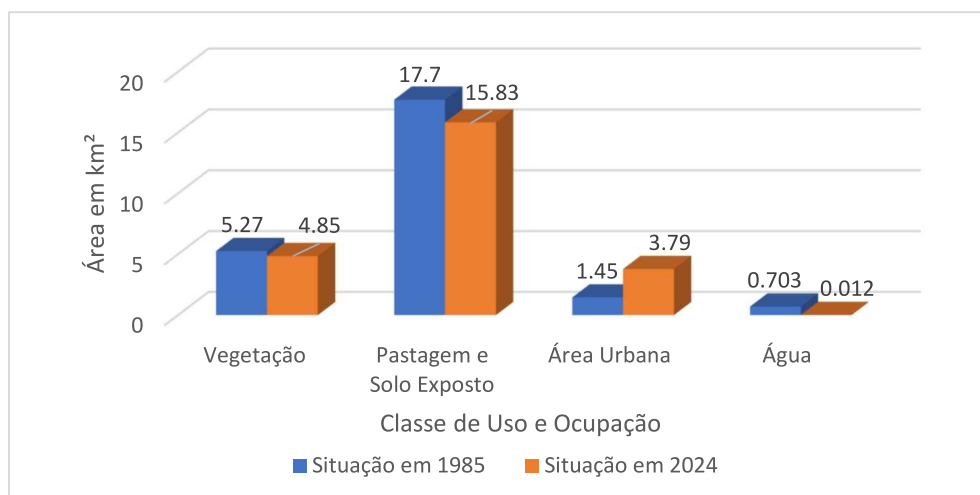
Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Tabela 7 - Áreas de Uso e Ocupação entre os anos de 1985 a 2023 da MBHCH

	<b>Situação em 1985</b>	<b>Situação em 2023</b>
Vegetação	5,27km <sup>2</sup>	4,85km <sup>2</sup>
Pastagem e Solo Exposto	17,70km <sup>2</sup>	15,83km <sup>2</sup>
Área Urbana	1,45km <sup>2</sup>	3,79km <sup>2</sup>
Água	0,703km <sup>2</sup>	0,012km <sup>2</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Figura 29 – Comparação de Uso e Ocupação da MBHCH (1985 e 2024)



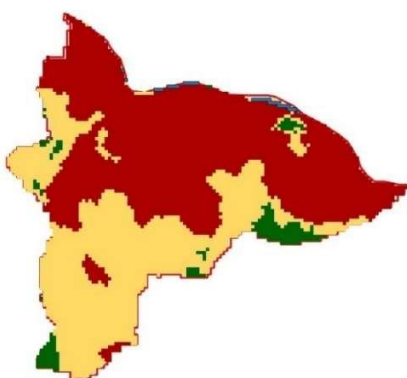
Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

### Microbacia Hidrográfica do Córrego Carlos Chagas

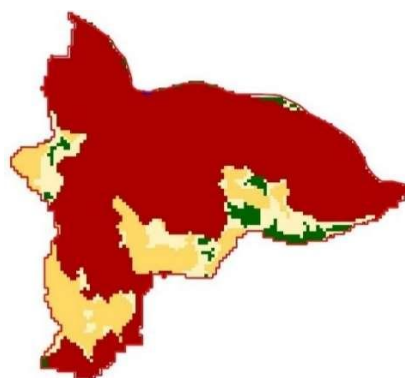
A Figura 30 demonstra as taxas de Uso e Ocupação do Solo entre os anos de 1985 e 2023 da MBHC Carlos Chagas. A Tabela 8 discrimina as áreas de cada classe nos anos de 1985 e 2023. Nota-se que a área de vegetação sofreu aumento, de 0,21 km<sup>2</sup> para 1,25 km<sup>2</sup> (-38,73%). A área de pastagem e solo exposto reduziu de 2,04 km<sup>2</sup> para 1,88 km<sup>2</sup> (-7,84%). Enquanto, a área urbana aumentou de 2,86 km<sup>2</sup> para 3,69 km<sup>2</sup> (+29,02%) seguindo a previsão de expansão urbana. A Figura 31 é o gráfico comparativo das mudanças no uso do espaço ao longo do recorte temporal escolhido para a pesquisa.

Figura 30 – Mapa Comparativo do Uso e Ocupação do Solo entre os anos de 1985 e 2023 para a MBHC Carlos Chagas

#### Uso e Ocupação de 1985



#### Uso e Ocupação de 2023



## LEGENDA

CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO SEGUNDO MAPBIOMAS

- 3 - Formação Florestal
- 13 - Outras Formações não Florestais
- 15 - Pastagem
- 21 - Mosaico de Agricultura e Pastagem
- 24 - Infraestrutura Urbana
- 25 - Outras Áreas não Vegetadas
- 33 - Rio, Lago e Oceano

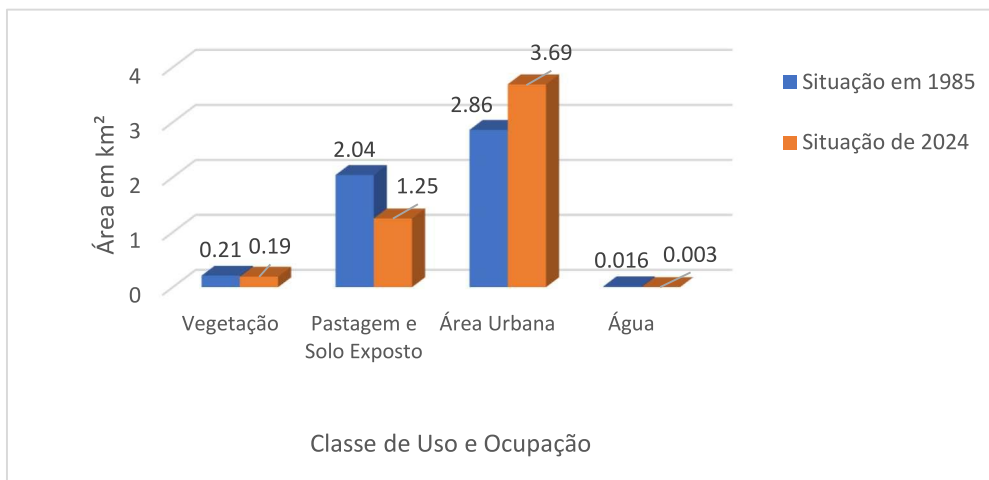
Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Tabela 8 - Áreas de Uso e Ocupação entre os anos de 1985 a 2023 da MBHCCC

	Situação em 1985	Situação de 2023
Vegetação	0,21km <sup>2</sup>	0,19km <sup>2</sup>
Pastagem e Solo Exposto	2,04 km <sup>2</sup>	1,25 km <sup>2</sup>
Área Urbana	2,86 km <sup>2</sup>	3,69 km <sup>2</sup>
Água	0,016 km <sup>2</sup>	0,003 km <sup>2</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Figura 31 – Comparação de Uso e Ocupação da MBHCCC (1985 e 2023)



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

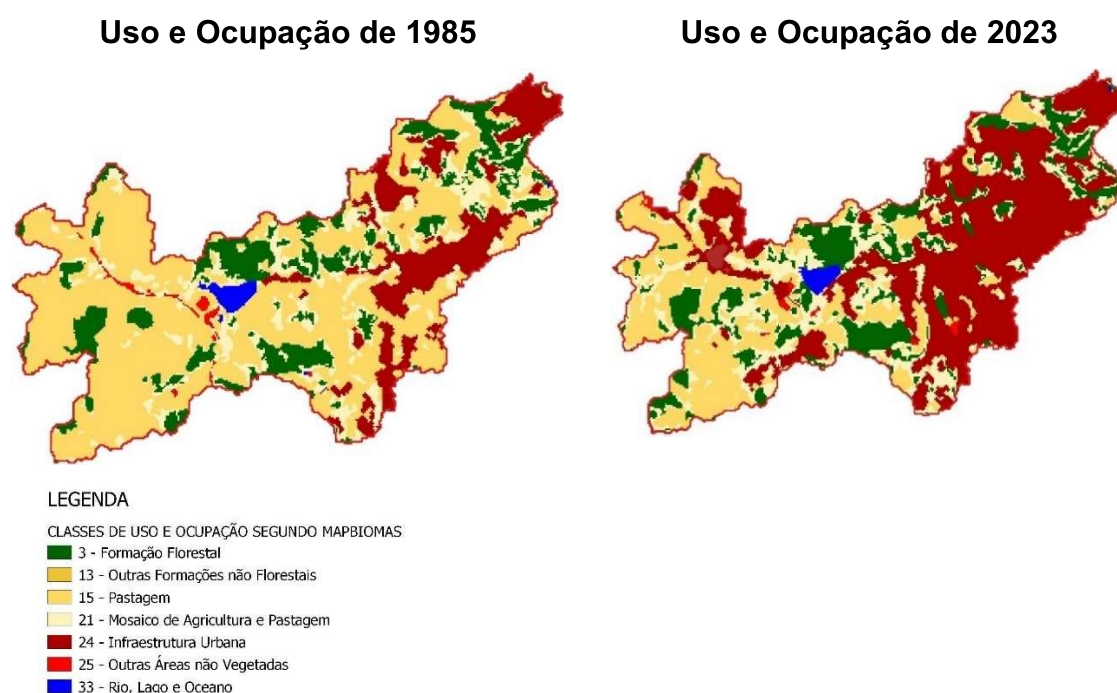
### Microbacia Hidrográfica do Córrego São Pedro

A Figura 32 demonstra as taxas de Uso e Ocupação do Solo entre os anos de 1985 e 2023 da MBHC São Pedro. A Tabela 9 discrimina as áreas de cada classe entre esses anos. Nota-se que, a área de vegetação aumentou de



4,52 km<sup>2</sup> para 4,77 km<sup>2</sup> (+5,53%), o que indica um processo tímido de recuperação ou reflorestamento. Em contrapartida, a área de pastagem e solo exposto diminuiu de 20,88 km<sup>2</sup> para 12,93 km<sup>2</sup> (-38,07%), sugerindo uma possível regeneração da cobertura vegetal. A área urbana cresceu significativamente de 4,38 km<sup>2</sup> para 12,12 km<sup>2</sup> (+176,71%), mostrando uma urbanização crescente. A Figura 33 é o gráfico comparativo para a Região do córrego São Pedro.

Figura 32 – Mapa Comparativo do Uso e Ocupação do Solo entre os anos de 1985 e 2023 para a MBHC São Pedro



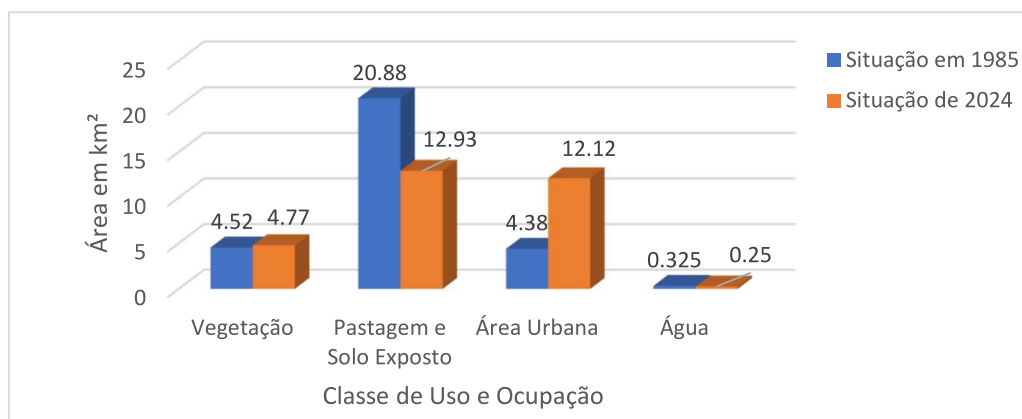
Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Tabela 9 - Áreas de Uso e Ocupação entre os anos de 1985 a 2023 da MBHC São Pedro

	<b>Situação em 1985</b>	<b>Situação de 2023</b>
Vegetação	4,52km <sup>2</sup>	4,77km <sup>2</sup>
Pastagem e Solo Exposto	20,88km <sup>2</sup>	12,93km <sup>2</sup>
Área Urbana	4,38km <sup>2</sup>	12,12km <sup>2</sup>
Água	0,325km <sup>2</sup>	0,250km <sup>2</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Figura 33 – Comparação de Uso e Ocupação da MBHCSP (1985 e 2023)



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

### 5.3. ETAPA 2 - RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

#### 5.3.1. *Curve Number (CN)*

Os valores de CN de acordo com o Uso de Terra e Ocupação de Solo que foram utilizados no cálculo são:

- Vegetação Densa (Vegetação Florestal) – CN = 36
- Solos Expostos e Pastagem (Área Descoberta) – CN = 74
- Área Urbana (Área Artificial) – CN = 93

Com esses valores foi possível determinar o CN médio de cada microbacia. A Tabela 10 contém todos os dados encontrados na análise fisiográfica e os cálculos que determinaram o valor do CN médio.

Tabela 10 - CN Médio de Cada Bacia no Intervalo de Tempo de Estudo

MBHC Humaitá							
Dados de 1985				Dados de 2023			
USO DO SOLO	ÁREA (m²)	CN	A*CN	USO DO SOLO	ÁREA (m²)	CN	A*CN
Vegetação densa	5270	36	189720	Vegetação densa	4850	36	174600
Solos expostos	17700	74	1309800	Solos expostos	15830	74	1171420
Área Urbana	1450	93	134850	Área Urbana	3790	93	352470
Total	24420		1634370	Total	24470		1698490
	CN Médio		67		CN Médio		69

MBHC Carlos Chagas							
Dados de 1985				Dados de 2024			
USO DO SOLO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CN	A*CN	USO DO SOLO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CN	A*CN
Vegetação densa	210	36	7560	Vegetação densa	190	36	6840
Solos expostos	2040	74	150960	Solos expostos	1250	74	92500
Área Urbana	2860	93	265980	Área Urbana	3690	93	343170
Total	5110		424500	Total	5130		442510
	CN Médio		83		CN Médio		86

MBHC São Pedro							
Dados de 1985				Dados de 2024			
USO DO SOLO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CN	A*CN	USO DO SOLO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CN	A*CN
Vegetação densa	4520	36	162720	Vegetação densa	4770	36	171720
Solos expostos	20880	74	1545120	Solos expostos	12930	74	956820
Área Urbana	4380	93	407340	Área Urbana	12120	93	1127160
Total	29780		2115180	Total	29820		2255700
	CN Médio		71		CN Médio		76

Com os resultados dos CNs das microbacias estudadas, pode-se identificar que todas sofreram um processo de expansão urbana, a que mais se destacou foi a MBHCSP que além do aumento na área urbana também apresentou recuperação da área vegetal. A MBHCH foi a que apresentou maior redução de área com vegetação densa, fato justificado pela implantação de condomínios populares.

### 5.3.2. Distribuição Temporal de Precipitação

Com a planilha de máximas diárias foi possível, por intermédio do programa GAM-IDF, conforme disposto no Anexo – A, elaborar a equação IDF da região de estudo, a equação encontrada foi:

$$i = \frac{671,104 \times T_R^{0,199}}{(t + 9,218)^{0,707}} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

i = intensidade (mm/h);

$T_R$  = tempo de Retorno (ano), e  
 $t$  = duração da Chuva (min).

A Tabela 11 demonstra os cálculos realizados para a obtenção da Distribuição Temporal das microbacias estudadas. A primeira coluna indica o tempo em minutos (alternando a cada 5 minutos) ao longo de um evento de três horas de duração. A segunda coluna é a aplicação da Equação 5, onde o  $T_R$  é 10 anos e o  $t$  é o valor da 1ª coluna. A terceira e quarta colunas demonstram a parcela precipitada no momento  $t$ .

Tabela 11 – Distribuição Temporal pelo Método dos Blocos Alternados

Equação IDF		Cálculo da Precipitação		Blocos Alternados
td (min)	i (mm/h)	P=i*td (mm)	$\Delta P$ (mm)	i (mm)
5	162.45	13.54	13.54	0.72
10	131.28	21.88	8.34	0.73
15	111.48	27.87	5.99	0.77
20	97.63	32.54	4.67	0.81
25	87.31	36.38	3.84	0.85
30	79.29	39.64	3.26	0.90
35	72.84	42.49	2.85	0.96
40	67.52	45.02	2.53	1.03
45	63.06	47.29	2.28	1.11
50	59.25	49.37	2.08	1.20
55	55.95	51.28	1.91	1.32
60	53.06	53.06	1.77	1.47
65	50.51	54.71	1.66	1.66
70	48.23	56.27	1.55	1.91
75	46.19	57.73	1.47	2.28
80	44.34	59.12	1.39	2.85
85	42.67	60.44	1.32	3.84
90	41.13	61.70	1.26	5.99
95	39.73	62.90	1.20	13.54
100	38.43	64.06	1.15	8.34
105	37.24	65.16	1.11	4.67
110	36.13	66.23	1.07	3.26
115	35.09	67.26	1.03	2.53
120	34.13	68.25	0.99	2.08
125	33.22	69.21	0.96	1.77
130	32.37	70.14	0.93	1.55

135	31.58	71.05	0.90	1.39
140	30.82	71.92	0.88	1.26
145	30.11	72.78	0.85	1.15
150	29.44	73.61	0.83	1.07
155	28.81	74.42	0.81	0.99
160	28.20	75.21	0.79	0.93
165	27.63	75.97	0.77	0.88
170	27.08	76.73	0.75	0.83
175	26.56	77.46	0.73	0.79
180	26.06	78.18	0.72	0.75

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

A coluna que indica os valores encontrados no método dos blocos alternados foi incluída no memorial de cálculo do ABC6. A mesma foi desenvolvida de acordo com a indicação do método escolhido. Esses valores foram utilizados para todas as microbacias estudadas, o software adequou o valor de precipitação para cada uma de acordo com a área de contribuição, comprimento do afluente principal e declividade do mesmo.

### 5.3.3. Tempo de Concentração, Tempo de Trânsito da Onda de Cheia e Velocidade dos Cursos D'água

O Tempo de Concentração foi calculado pelo programa, a Tabela 12 demonstra os parâmetros utilizados para o cálculo e o valor do Tempo de Concentração encontrado em cada microbacia.

Tabela 12 – Dados de Entrada no ABC6 e resultados parciais

<b>Microbacia Hidrográfica do Córrego Humaitá</b>		
Área	25,123 km <sup>2</sup>	
Comprimento do Córrego (L)	10008,0 m	
Diferença de Cotas	192,30 m	
Declividade (S)	19,215 m/km	
Coefficiente de amortecimento	0,25	
C (rugosidade de retardo)	0,0120	
N (rugosidade de Manning)	0,564	
I (intensidade de precipitação)	31,90 mm/h	
<b>Valores Encontrados pelo ABC6</b>		
	<b>Situação em</b>	<b>Situação em</b>

	<b>1985</b>	<b>2024</b>
Área Impermeável	5,77%	15,08%
Área Ligada a Microdrenagem (90%AI)	5,19%	13,57%
CN	67	69
Tempo de Concentração Método do SCS	9,02h	8,55h
Tempo de Trânsito da Onda de Cheia	1,67h	1,67h
Velocidade dos cursos d'água	2m/s	2m/s

<b>Microbacia Hidrográfica do Carlos Chagas</b>		
Área	5,120 km <sup>2</sup>	
Comprimento do Córrego (L)	1932,35 m	
Diferença de Cotas	48 m	
Declividade (S)	24,841 m/km	
Coeficiente de amortecimento	0,25	
C (rugosidade de retardo)	0,0120	
N (rugosidade de Manning)	0,564	
I (intensidade de precipitação)	31,90 mm/h	
<b>Valores Encontrados pelo ABC6</b>		
	<b>Situação em 1985</b>	<b>Situação em 2024</b>
Área Impermeável	54,90%	72,07%
Área Ligada a Microdrenagem (90%AI)	49,41%	64,86%
CN	83	86
Tempo de Concentração Método do SCS	5,82h	5,82h
Tempo de Trânsito da Onda de Cheia	0,75h	3,33h
Velocidade dos cursos d'água	1,71m/s	1,25m/s

<b>Microbacia Hidrográfica do São Pedro</b>		
Área	30,105 km <sup>2</sup>	
Comprimento do Córrego (L)	13404,9 m	
Diferença de Cotas	205 m	
Declividade (S)	15,293 m/km	
Coeficiente de amortecimento	0,25	
C (rugosidade de retardo)	0,0120	
N (rugosidade de Manning)	0,564	
I (intensidade de precipitação)	31,90 mm/h	
<b>Valores Encontrados pelo ABC6</b>		
	<b>Situação em 1985</b>	<b>Situação em 2024</b>
Área Impermeável	14,50%	40,26%
Área Ligada a Microdrenagem (90%AI)	13,05%	36,23%
CN	71	76

Tempo de Concentração Método do SCS	11,47h	9,95h
Tempo de Trânsito da Onda de Cheia	1,83h	1,83h
Velocidade dos cursos d'água	2,04m/s	2,04m/s

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

**Urbanização e Tempo de Concentração:** O aumento da área urbana em todas as três microbacias reduziu os tempos de concentração, conforme esperado. Superfícies impermeáveis aceleram o escoamento, diminuindo o tempo necessário para que a água da chuva alcance os cursos d'água. A maior variação foi observada na MBHCSP, onde a urbanização foi mais intensa.

**Tempo de Trânsito da Onda de Cheia:** A MBHCCC apresentou a maior mudança no tempo de trânsito da onda de cheia, com um aumento significativo. Nas outras duas microbacias, o tempo permaneceu constante, nestes casos o escoamento ao longo dos cursos d'água principais não sofreu grandes alterações. As velocidades dos cursos d'água se mantiveram constantes em Humaitá e São Pedro, mas reduziram-se em Carlos Chagas.

#### 5.3.4. Taxa de Infiltração e Escoamento Superficial

##### 5.3.4.1. MBHC Humaitá

O cálculo da taxa de infiltração permite identificar o comportamento do solo em relação ao aumento ou recessão da urbanização, a Tabela 13 representa os valores encontrados com a modelagem hidrológica. No caso da MBHCH o volume máximo infiltrado diminuiu 14,15% entre 1985 e 2023, ao passo que o volume máximo excedente aumentou 52,61%. O aumento no volume excedente e a redução da capacidade de infiltração indicam que, embora o volume total de precipitação seja o mesmo, a infraestrutura ou as características do solo em 2023 não conseguem absorver tanto a água quanto em 1985. Este fator está relacionado às mudanças no uso da terra (mais áreas urbanizadas, asfaltadas, etc.).

Tabela 13 – Valores de Lâmina Infiltrada e Excedente para MBHC Humaitá

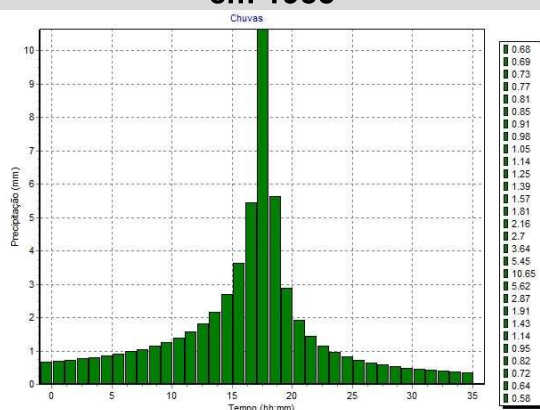
	Situação em 1985	Situação em 2023
Lâmina máx infiltrada (mm)	10,67	9,16
Lâmina máx excedente (mm)	2,87	4,38
Volume Total de Pico Precipitado (mm)	13,54	13,54
Tempo de Pico da Precipitação (H:mm)	1:35	1:35

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

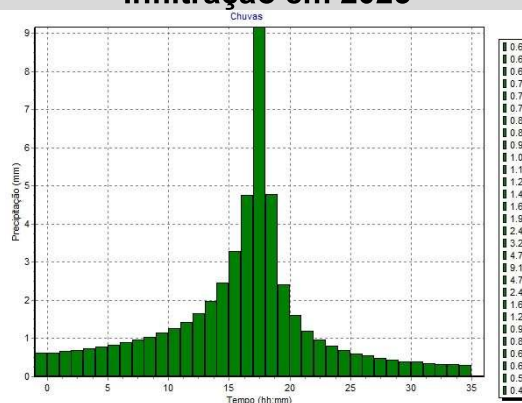
A Figura 34 ilustra as lâminas infiltradas e excedentes da MBHCH. Na mesma é possível identificar que a parcela de precipitação que infiltra é maior em 1985, quando a área impermeável é 5,77% da área total. Conseqüentemente, a lâmina escoada é menor no mesmo período, o que não ocorre em 2023, quando a área impermeável tem um acréscimo e salta para 15,08% da área total da bacia. Na Figura 34e e 34f pode-se visualizar que, nos primeiros momentos do evento, todo o volume precipitado é absorvido pelo solo, ao passo que em 2023 o escoamento superficial acontece já no início da precipitação, indicando a impermeabilização do solo. Tal fator justifica a ocorrência de alagamentos e enchentes na região.

Figura 34 – Gráficos de Lâmina Infiltrada e Excedente para a MBHCH

34a - Gráfico de Taxa de Infiltração em 1985

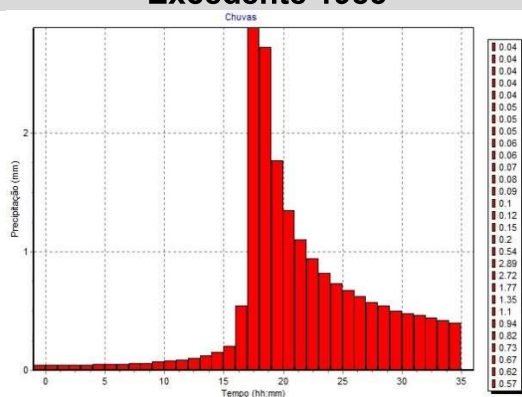


34b - Gráfico de Taxa de Infiltração em 2023

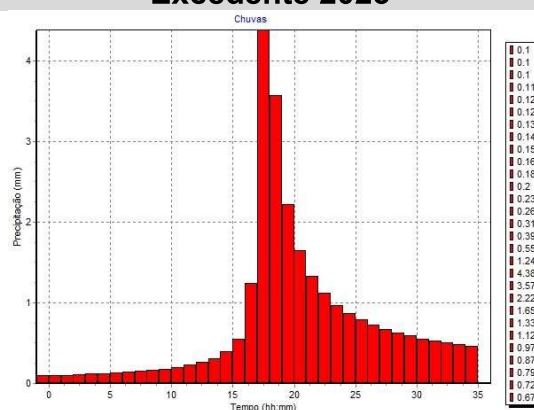




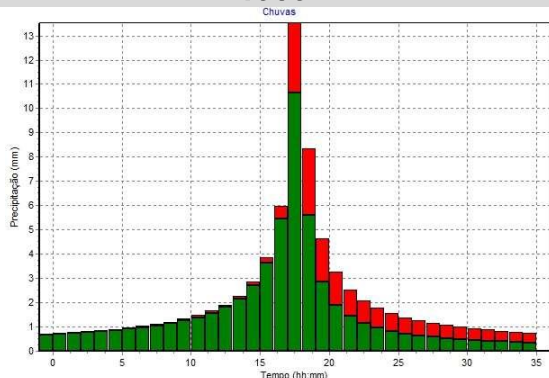
**34c - Gráfico de Taxa de Volume Excedente 1985**



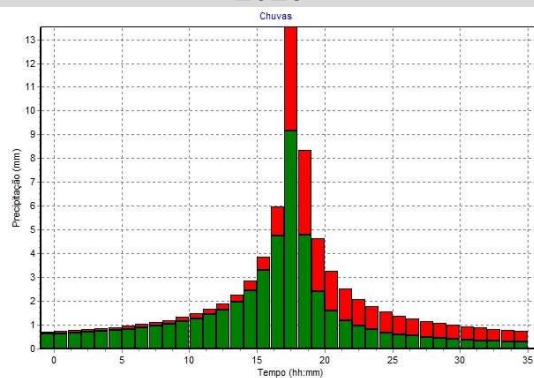
**34d - Gráfico de Taxa de Volume Excedente 2023**



**34e - Gráfico Comparativo entre Taxa de Infiltração e Excedente 1985**



**34f - Gráfico Comparativo entre Taxa de Infiltração e Excedente 2023**



Onde, em verde, lê-se lâmina infiltrada e, em vermelho, lê-se lâmina excedente.

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

#### 5.3.4.2. MBHC Carlos Chagas

A Tabela 14 representa os valores encontrados para a Microbacia Hidrográfica do Córrego Carlos Chagas. No caso da MBHCCC a lâmina máxima infiltrada reduziu significativamente em 50,76% entre 1985 e 2023, ao passo que a lâmina máxima excedente aumentou 12,18%. Essas porcentagens indicam que o solo dessa microbacia teve uma significativa perda de capacidade de infiltração, encontrando-se agora fortemente impermeabilizado.

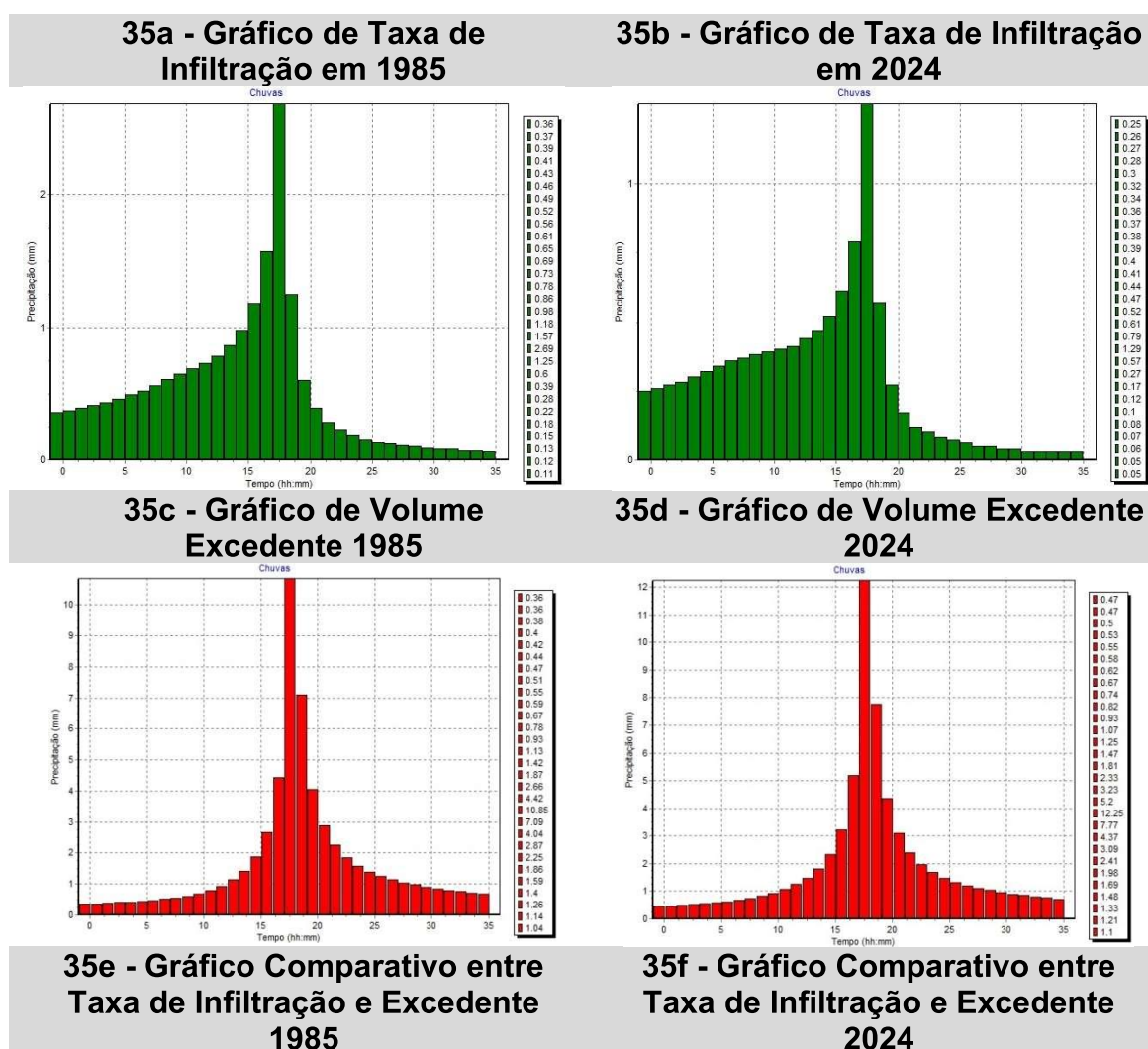
Tabela 14 – Valores de Lâmina Infiltrada e Excedente para MBHC Carlos Chagas

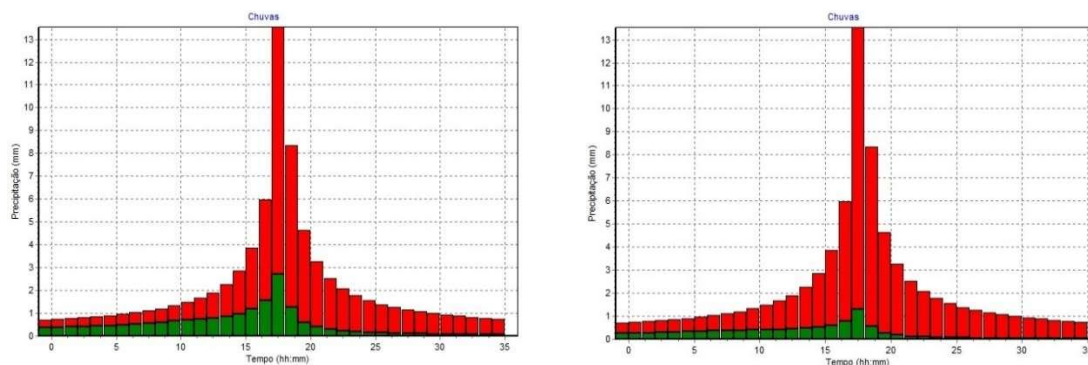
	Situação em 1985	Situação em 2023
Lâmina máx infiltrada (mm)	2,69	1,29
Lâmina máx excedente (mm)	10,85	12,25
Volume Total de Pico Precipitado (mm)	13,54	13,54
Tempo de Pico da Precipitação (H:mm)	1:35	1:35

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

As Lâminas infiltradas e excedentes da MBHCCC estão dispostos na Figura 35.

Figura 35 – Gráficos de Lâmina Infiltrada e Excedente para a MBHCCC





Onde, em verde, lê-se lâmina infiltrada e, em vermelho, lê-se lâmina excedente.

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

#### 5.3.4.3. MBHC São Pedro

A Tabela 15 representa os valores encontrados para a Microbacia Hidrográfica do Córrego São Pedro. Houve uma redução na lâmina máxima infiltrada de 8,77 mm em 1985 para 5,17 mm em 2024. A diminuição de 41,05% indica que a área está absorvendo menos água de chuva, devido a urbanização e as mudanças na cobertura do solo, prejudicando a capacidade de retenção de água. A Lâmina máxima excedente, que representa a quantidade de água que não é infiltrada ou retida e escoada superficialmente, aumentou de 4,77 mm para 8,37 mm, um acréscimo de 75,48%. Isso indica que mais água está escoando pela superfície, resultando em um maior risco de inundações.

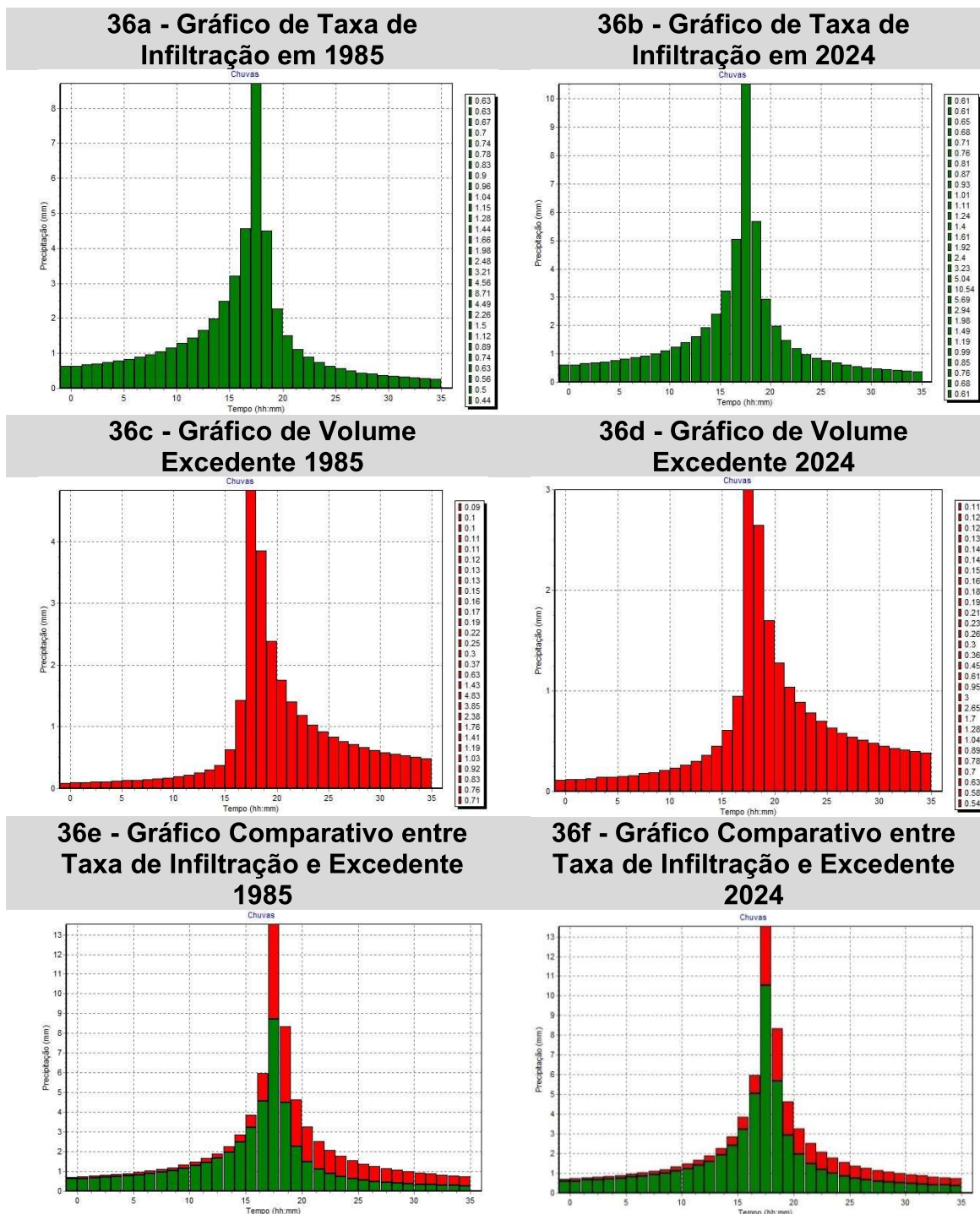
Tabela 15 – Valores de Lâmina Infiltrada e Excedente para MBHC São Pedro

	<b>Situação em 1985</b>	<b>Situação em 2024</b>
Lâmina máx infiltrada (mm)	8,77	5,17
Lâmina máx excedente (mm)	4,77	8,37
Volume Total de Pico Precipitado (mm)	13,54	13,54
Tempo de Pico da Precipitação (H:mm)	1:35	1:35

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

As Lâminas infiltradas e excedentes da MBHCSP estão ilustrados na Figura 36.

Figura 36 – Gráficos de Lâmina Infiltrada e Excedente para a MBHCSP



Onde, em verde, lê-se lâmina infiltrada e, em vermelho, lê-se lâmina excedente.

Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

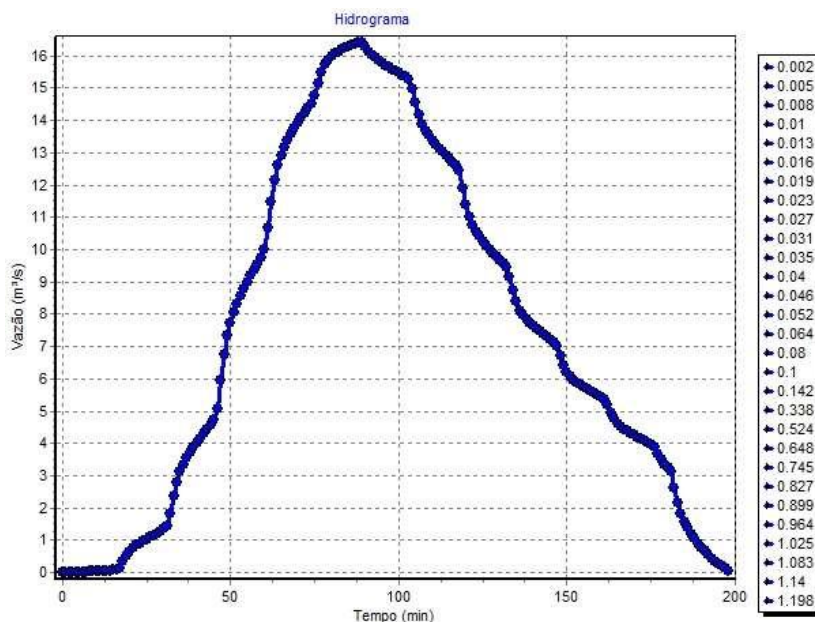
#### 5.4. HIDROGRAMAS

#### 5.4.1. Hidrograma da Microbacia Hidrográfica do Córrego Humaitá

A Figura 37 é o produto de todas as análises anteriores para o ano de 1985 e seu resultado indica o comportamento da microbacia ao longo do tempo. O eixo horizontal (X) indica o tempo, cobrindo um período de aproximadamente 200 horas. Esse tempo inclui o início, o pico e o final do escoamento resultante do evento de precipitação. Já o eixo vertical (Y) mostra a vazão. A vazão máxima observada no gráfico é em torno de 16 m<sup>3</sup>/s, o que corresponde ao pico do hidrograma.

O pico do hidrograma, onde a vazão atinge seu valor máximo, ocorre em torno de 7 horas e 30 minutos. Este pico reflete o momento de maior intensidade do escoamento superficial, geralmente relacionado ao momento de maior precipitação ou à chegada do escoamento acumulado nas partes mais altas da bacia. O fato de a vazão não cair imediatamente após o pico indica que há reservas de água em subsuperfície alimentando o fluxo por um longo período, próprio de uma bacia que combina áreas urbanizadas e áreas vegetadas.

Figura 37 – Hidrograma Unitário da MBHCH em 1985



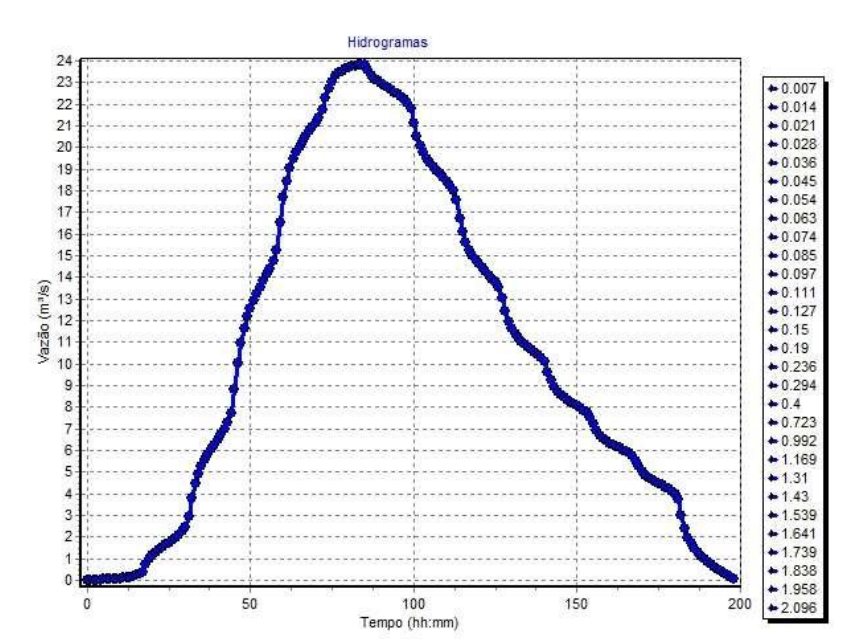
Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Já a Figura 38 demonstra a mudança ao longo de 38 anos na MBHCH, o

HU do córrego Humaitá em 2023. O valor máximo de vazão neste hidrograma é maior, alcançando cerca de 24 m<sup>3</sup>/s, um escoamento maior em comparação ao hidrograma de 1985 (com pico de 16 m<sup>3</sup>/s).

A parte descendente da curva é novamente mais gradual, porém, em comparação com o gráfico anterior, a vazão reduz-se de maneira mais acentuada após o pico, o que indica a redução na capacidade de infiltração da bacia. O pico de vazão ocorre em torno de 7 horas e 05 minutos, um pouco antes que o pico do hidrograma anterior.

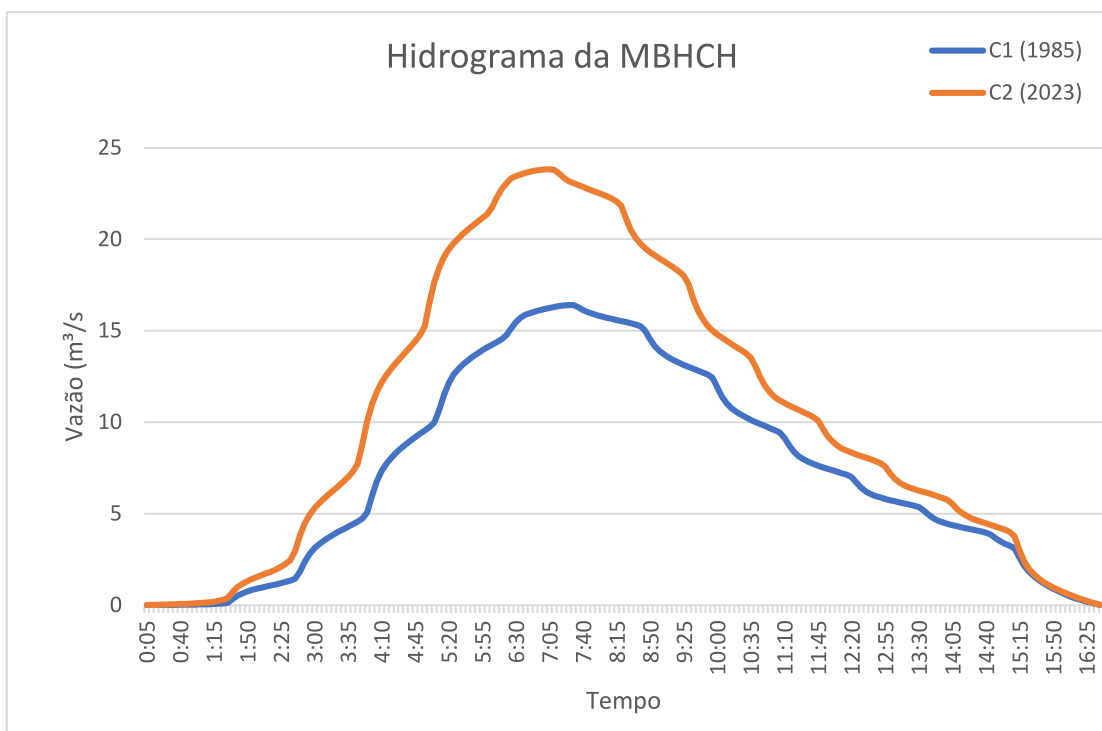
Figura 38 – Hidrograma Unitário da MBHCH em 2023



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

A Figura 39 representa os dois Hidrogramas anteriores sobrepostos, a mesma permite comparar os volumes nos dois períodos estudados e demonstra que embora o volume tenha aumentado a resposta da bacia permanece com a característica de uma bacia com regiões urbanas e rurais concomitantemente. O tempo de pico reduziu, indicando a diminuição de volume infiltrado, porém os degraus de infiltração presentes na mesma demonstra que ainda há capacidade de infiltração.

Figura 39 – Hidrograma Comparativo da MBHCH



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

A Tabela 16 expõe todos os resultados encontrados no estudo de forma resumida, e resume todos os dados do Hidrograma Unitário da Bacia. Em 2023, observou-se uma maior intensidade de escoamento e uma resposta mais rápida da bacia aos eventos de chuva, o que se deve ao aumento das áreas impermeáveis e às alterações no uso do solo. O incremento na vazão máxima também sugere transformações físicas na bacia. O HU indica uma maior vulnerabilidade a enchentes atualmente, uma vez que o escoamento superficial aumentou, acompanhado de uma redução na capacidade de infiltração.

Tabela 16 – Resultados Finais para a MBHC Humaitá

	<b>1985</b>	<b>2023</b>
Área Impermeável (%)	5,77	15,08
CN	67	69
Tempo de Concentração Método do SCS (h)	9,02	8,55
Lâmina máx infiltrado (mm)	10,67	9,16
Lâmina máx excedente (mm)	2,87	4,38

Volume Total de Pico Precipitado (mm)	13,54	13,54
Tempo de Pico da Precipitação (H:mm)	1:35	1:35
Vazão de Pico (m <sup>3</sup> /s)	16,278	23,823
Tempo de Vazão de pico (H:mm)	7:30	7:05

#### **Resumo das Porcentagens:**

- **Área Impermeável:** +161,34% (aumentou);
- **CN:** +2,99% (aumentou);
- **Tempo de Concentração:** -5,21% (diminuiu);
- **Volume Infiltrado:** -14,15% (diminuiu);
- **Volume Excedente:** +52,61% (aumentou);
- **Vazão de Pico:** +46,43% (aumentou), e
- **Tempo de Vazão de Pico:** -5,56% (diminuiu).

#### **5.4.2. Hidrograma da Microbacia Hidrográfica do Córrego Carlos Chagas**

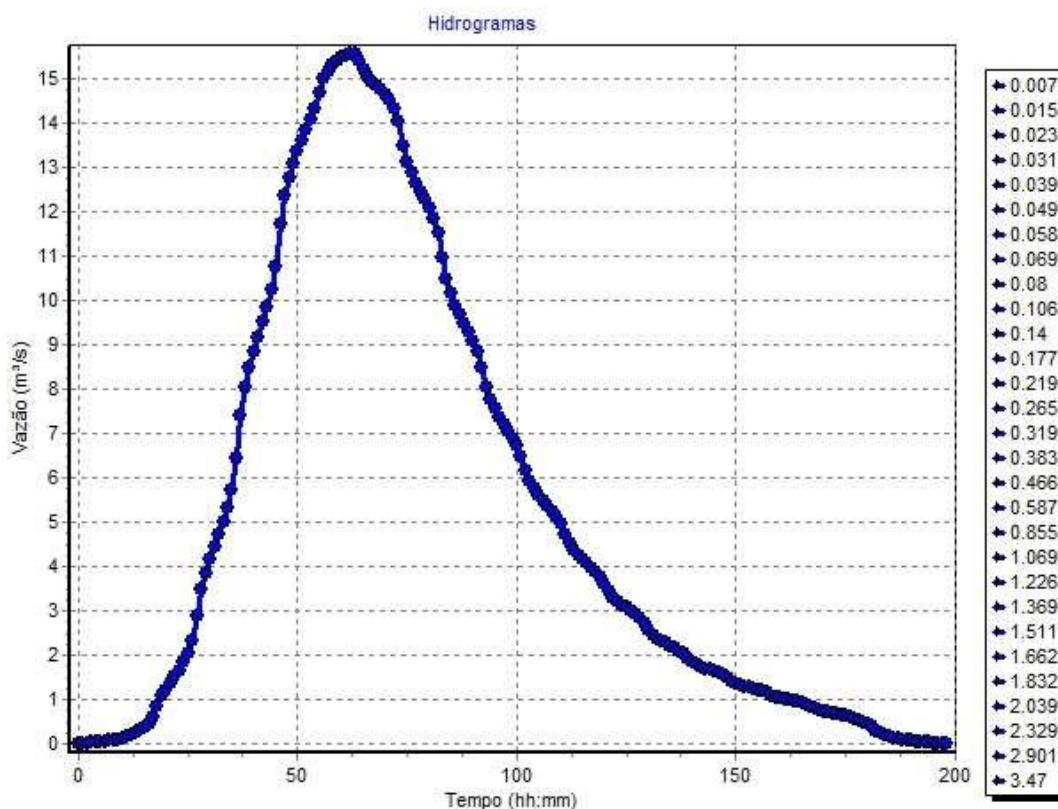
A Figura 40 é o hidrograma unitário do ano de 1985 para o córrego Carlos Chagas. Este hidrograma cobre um período de 90 minutos. Intervalo relativamente curto, indicando um escoamento de curta duração que ocorreu de maneira rápida. A vazão máxima alcança 15,567 m<sup>3</sup>/s, valor elevado para a região.

Apresenta uma subida muito íngreme seguida de uma descida igualmente acentuada. Houve um rápido aumento no escoamento logo após o início da precipitação, atingindo o pico de vazão em torno de 20 minutos, seguido por uma queda brusca na vazão. A curva simétrica e o comportamento de rápida ascensão e declínio expõem o fato de a bacia responder de forma quase imediata ao evento de chuva, sem muita retenção ou infiltração de água.

O formato do gráfico sugere que grande parte da precipitação se transforma diretamente em escoamento superficial, indicando que a bacia possui alta concentração de áreas impermeáveis, como ruas, estacionamentos ou construções.



Figura 40 – Hidrograma Unitário da MBHCCC em 1985

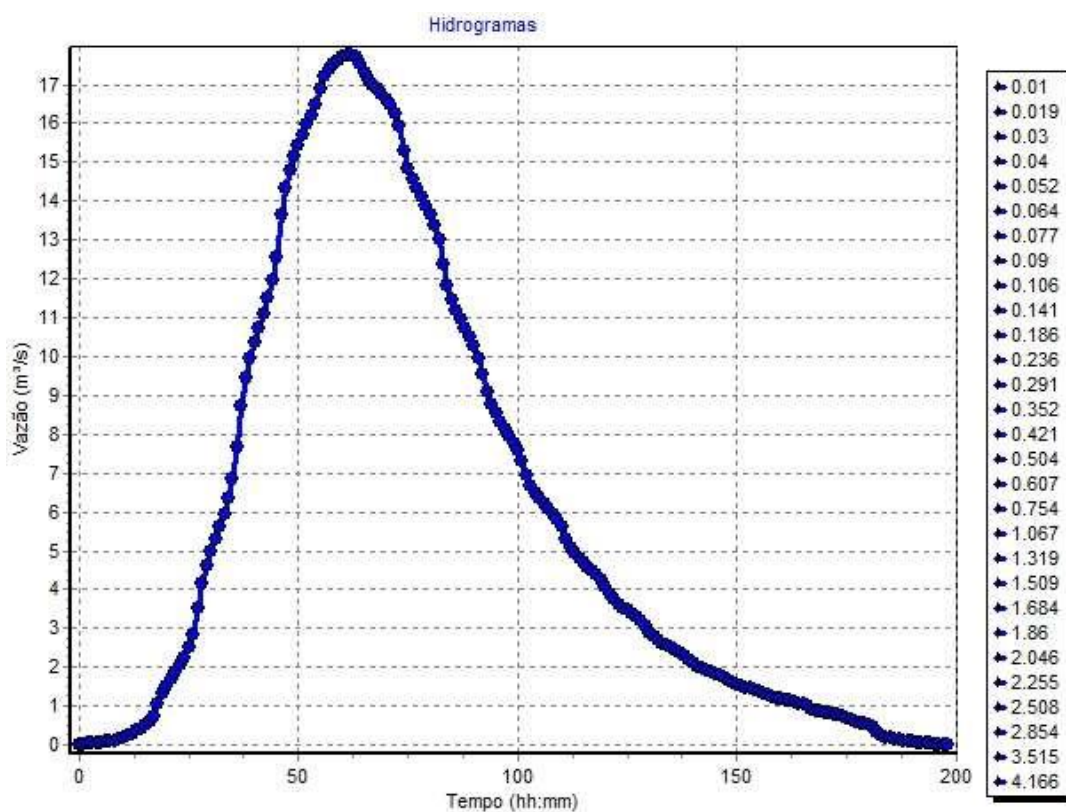


Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Em 2023, Figura 41, houve a aumento do pico de vazão de  $15,5\text{m}^3/\text{s}$  para  $17,7\text{m}^3/\text{s}$  seguindo as tendências de urbanização. O método para Calcular o Tempo de Concentração na MBHCCC foi diferente das outras bacias, tal fato se deve pois o Método do SCS não se adequou corretamente a região, a área de contribuição pequena e o formato de uso e ocupação extremamente urbanizados influenciaram nos resultados finais, elevando consideravelmente o volume de pico. Assim, o método utilizado neste caso foi o da Onda Cinemática que leva em consideração bacias urbanizadas e se adequa melhor a áreas menores.

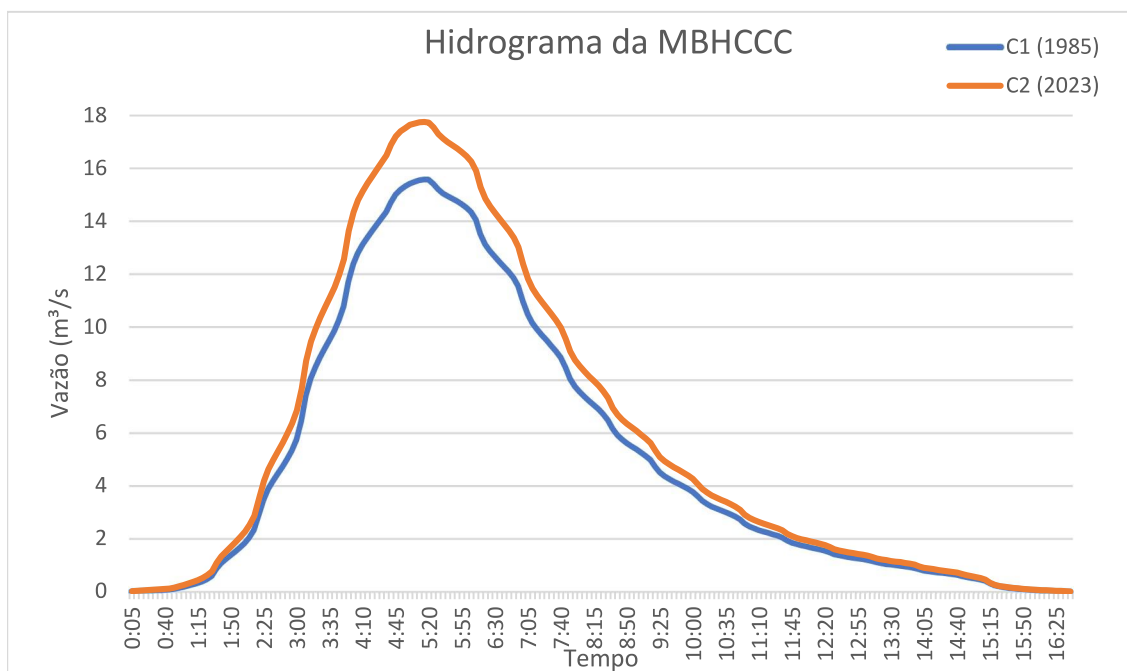
Neste caso, o Hidrograma Unitário cujo comparativo se encontra na Figura 42, sofreu pouca alteração. O volume aumentou, mas o tempo de resposta não sofreu alterações significativas, uma vez que a mesma já possuía urbanização intensa e pouca vegetação.

Figura 41 – Hidrograma Unitário da MBHCCC em 2023



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Figura 42 - Hidrograma Comparativo da MBHCCC



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Todos os resultados para esta microbacia se encontram na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados Finais para a MBHC Carlos Chagas

	<b>1985</b>	<b>2023</b>
Área Impermeável (%)	54,9	72,1
CN	83	86
Tempo de Concentração Método do SCS (h)	5,82	5,82
Lâmina máx infiltrado (mm)	2,69	1,29
Lâmina máx excedente (mm)	10,85	12,25
Volume Total de Pico Precipitado (mm)	13,54	13,54
Tempo de Pico da Precipitação (H:mm)	1:35	1:35
Vazão de Pico (m <sup>3</sup> /s)	15,567	17,756
Tempo de Vazão de pico (H:mm)	5:15	5:15

#### Resumo das Porcentagens:

- **Área Impermeável:** +31,29% (aumentou);
- **CN:** +3,61% (aumentou);
- **Tempo de Concentração:** 0%;
- **Volume Infiltrado:** -52,04% (diminuiu);
- **Volume Excedente:** +12,90% (aumentou);
- **Vazão de Pico:** +14,06% (aumentou), e
- **Tempo de Vazão de Pico:** 0%.

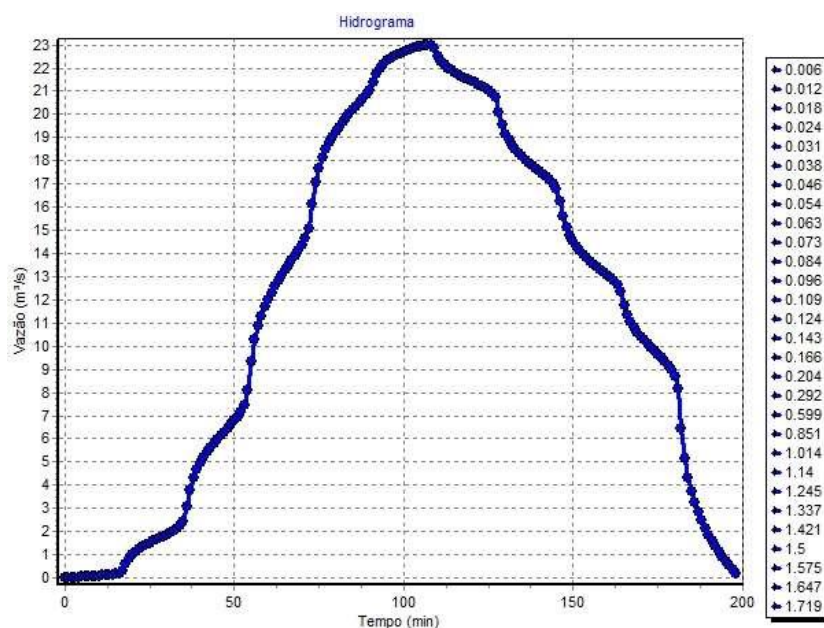
#### 5.4.3. Hidrograma da Microbacia Hidrográfica do Córrego São Pedro

A Figura 43 é o hidrograma unitário do ano de 1985 para o córrego São Pedro. O HU tem uma subida relativamente suave até atingir o pico, seguida por uma descida mais rápida. Isso indica um tempo de resposta moderado com uma elevação gradual na vazão, mas com uma diminuição mais acentuada após o pico.

A ascensão até o pico ocorre por volta dos 90 minutos, sugerindo que o escoamento superficial começou lentamente e foi acumulando até atingir o valor máximo. A vazão de pico (máxima) atinge cerca de 22 m<sup>3</sup>/s. O pico ocorre por volta de 9 horas, indicando o momento em que a bacia atingiu a sua capacidade máxima de escoamento. Nos primeiros 30-50 minutos, a vazão é baixa, indicando um período de infiltração e acumulação de água antes do escoamento superficial significativo começar.

O hidrograma representa uma bacia hidrográfica com resposta moderada e com escoamento significativo. A bacia possui capacidade de infiltração, mas a vazão de pico relativamente alta demonstra que a área impermeável é significativa, contribuindo para o rápido acúmulo de água no ponto de drenagem. A rápida queda após o pico indica uma drenagem eficiente do sistema.

Figura 43 – Hidrograma Unitário da MBHCSP em 1985

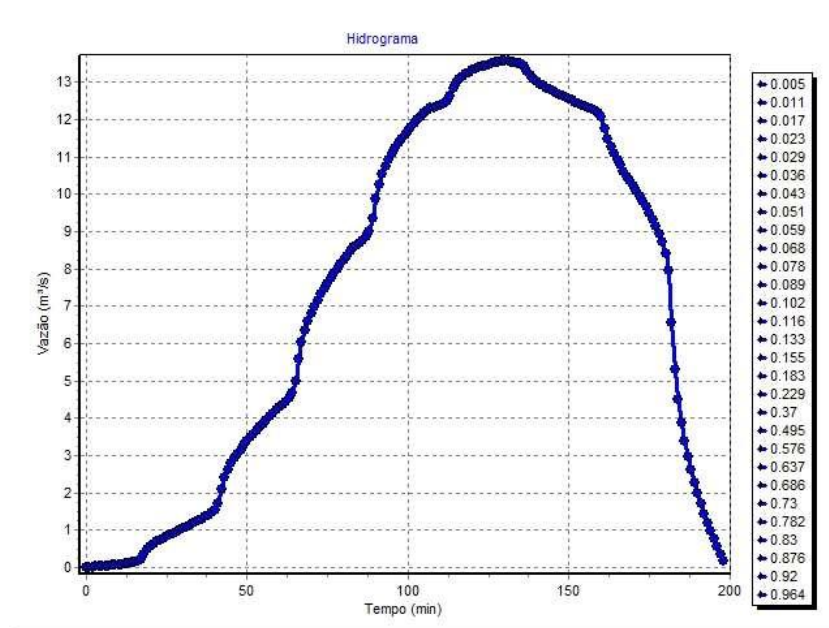


Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Em 2023, Figura 44, o tempo de subida da curva é mais longo, atingindo o pico de vazão próximo de 13 m<sup>3</sup>/s em torno dos 110-120 minutos. Neste hidrograma é possível identificar, menores volumes de escoamento superficial durante eventos de precipitação, resposta hidrológica mais lenta e recessão mais lenta. O aumento no tempo até o pico de vazão e a forma mais suave do

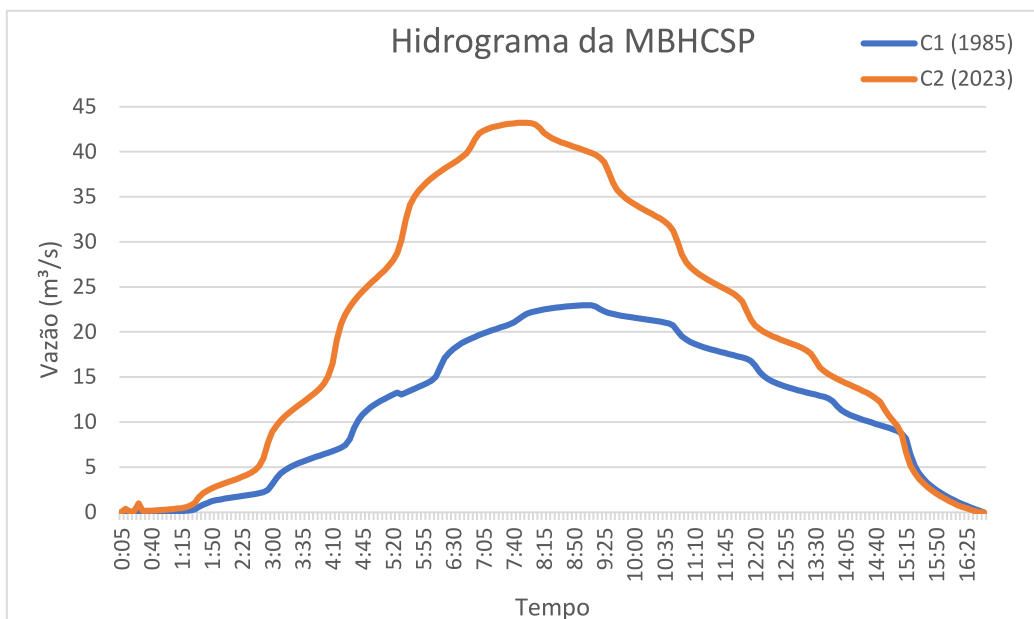
hidrograma indicam que a bacia está retardando o escoamento de maneira mais eficiente. A fase de recessão mais prolongada implica que a água está sendo liberada de forma mais gradual, o que é positivo para reduzir riscos de enchentes e danos causados por picos abruptos de vazão.

Figura 44 – Hidrograma Unitário da MBHCSP em 2023



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

Figura 45 - Hidrograma Comparativo da MBHCSP



Fonte: Elaborado pelo autor. (2024).

A Figura 45 demonstra o comparativo entre os dois Hidrogramas, A MBHCSP foi a que mais sofreu alterações tanto no tempo de resposta como no formato da mesma, a bacia que antes tinha características predominantes de bacia rural, atualmente possui resposta e hidrograma de bacia mista.

Todos os resultados para esta microbacia encontram-se na Tabela 18. O Hidrograma de 2023 apresenta um pico de vazão significativamente maior (40,26 m<sup>3</sup>/s) em comparação ao de 1985, que tem um pico de apenas 14,5 m<sup>3</sup>/s. Indicando que a bacia está mais suscetível a gerar volumes maiores de escoamento. O tempo de pico diminuiu em comparação com o de 1985 devido às mudanças nas características de uso do solo.

Tabela 18 – Resultados Finais para a MBHC São Pedro

	<b>1985</b>	<b>2023</b>
Área Impermeável (%)	14,5	40,26
CN	71	76
Tempo de Concentração Método do SCS (h)	11,47	9,95
Lâmina máx infiltrado (mm)	8,77	5,17
Lâmina máx excedente (mm)	4,77	8,37
Volume Total de Pico Precipitado (mm)	13,54	13,54
Tempo de Pico da Precipitação (H:mm)	1:35	1:35
Vazão de Pico (m <sup>3</sup> /s)	22,61	43,23
Tempo de Vazão de pico (H:mm)	9:00	7:55

#### Resumo das Porcentagens:

- **Área Impermeável:** +177,66% (aumentou);
- **CN:** +7,04% (aumentou);
- **Tempo de Concentração:** -13,25% (diminuiu);
- **Volume Infiltrado:** -41,05% (diminuiu);
- **Volume Excedente:** +75,48% (aumentou);
- **Vazão de Pico:** +91,18% (aumentou significativamente), e
- **Tempo de Vazão de Pico:** -11,11% (diminuiu).

Anjos (2023), em sua pesquisa, demonstrou que as áreas susceptíveis a inundações mudaram ao longo dos anos na região de Juiz de Fora. A autora demonstrou que o processo de urbanização foi fator principal na mudança de localização e no aumento da mancha de suscetibilidade. Em 1990, as áreas de alta suscetibilidade estavam concentradas no centro e próximas às represas, enquanto as áreas de baixa suscetibilidade situavam-se no sul e leste da sub-bacia. Em 2020, a expansão urbana aumentou a suscetibilidade a inundações, especialmente em áreas anteriormente classificadas como medianas, como o "cinturão da BR 040". Para 2030, a mesma projetou pouca mudança na suscetibilidade, pois o crescimento populacional irá desacelerar, indicando uma estabilidade nas áreas de risco. Tal pesquisa entra em consonância com os resultados desse estudo, uma vez que foi identificado um aumento substancial nas áreas de vegetação na microbacia hidrográfica do córrego São Pedro, bem como uma pequena alteração no CN em todas as microbacias estudadas. O estudo de Anjos (2023) também confirma a influência relevante do aumento urbano face aos eventos de inundação, a autora afirma que

Conforme observado, a mancha urbana de Juiz de Fora, em sua grande maioria, enquadra-se como áreas com suscetibilidade a inundações mediana, alta e muito alta pelo mapeamento AHP e, quanto aos pontos de ocorrência de inundações e alagamentos, estes mostraram-se exatamente nas áreas em que a suscetibilidade foi dada como alta no município. Assim, o local de inserção da mancha urbana de Juiz de Fora é naturalmente propenso a inundações pelas características físicas e mais ainda pelas influências do processo de urbanização.

Para Gerheim (2016), a expansão urbana, impermeabilização do solo, intervenções em cursos d'água e desmatamento contribuíram substancialmente para os eventos de inundação em Juiz de Fora. O autor buscou entender as causas de alagamentos e inundações nas bacias dos córregos São Pedro e Ipiranga entre 2000 e 2014. O mesmo constatou que, além da impermeabilização gerada pela urbanização o processo de erosão das bacias e assoreamento dos cursos d'água contribuem com a ocorrência de inundações, tais processos são consequência na mudança do uso e ocupação do solo. Gerheim também ressalta que parte dos eventos no baixo curso do córrego São Pedro são decorrentes da rede de drenagem que não foi projetada

adequadamente. Este estudo confirma os resultados encontrados nesta pesquisa, reafirmando a relevância do processo urbanístico na recorrência de inundações e enchentes.



## 6 CONCLUSÃO

Por todos esses aspectos, percebe-se que as microbacias hidrográficas de Humaitá, Carlos Chagas e São Pedro evidenciam o impacto da urbanização sobre os processos hidrológicos, especialmente a relação entre a impermeabilização do solo e o escoamento superficial.

A MBHCH apresentou um aumento significativo na área impermeabilizada, de 5,77% em 1985 para 15,08% em 2023. Esse incremento, associado ao aumento do CN de 67 para 69, demonstra uma menor capacidade de infiltração do solo, o que é evidenciado pela redução de 14,15% no volume máximo infiltrado e pelo aumento de 52,61% no volume máximo excedente. A vazão de pico aumentou expressivamente em 46,43%. Esses resultados estão de acordo com Tucci (2003), que indica uma correlação direta entre o aumento da impermeabilização e a intensificação do escoamento superficial, além da redução do tempo de concentração.

Na MBHCCC, o impacto da urbanização foi ainda mais acentuado, com a área impermeabilizada crescendo de 54,9% em 1985 para 72,1% em 2023. O volume máximo infiltrado reduziu-se drasticamente em 50,76%. Já na MBHCSP mostrou uma transformação significativa, com a área impermeabilizada saltando de 14,5% para 40,26%. A redução no volume infiltrado foi de 41,05%, enquanto o volume excedente aumentou 75,48%. A vazão de pico mais que dobrou, de 22,61 m<sup>3</sup>/s para 43,23 m<sup>3</sup>/s, um crescimento de 91,18%, com uma redução de 13,25% no tempo de concentração. O aumento das vazões de pico, junto à redução no tempo de concentração, reflete a mesma tendência observada na MBHCH.

Em suma, a comparação entre os resultados das três microbacias reforça a conclusão de que o aumento da impermeabilização, decorrente da urbanização, provoca alterações significativas no comportamento hidrológico das bacias. O escoamento superficial se intensifica, o tempo de concentração diminui, e a vazão de pico aumenta, amplificando os riscos associados a enchentes e à gestão de recursos hídricos em áreas urbanizadas. Isso ressalta a importância de políticas de manejo sustentável e intervenções para mitigar os efeitos da urbanização sobre os recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS

- ALBERTONI, Fúlvio Piccinini. **A ação dos sujeitos sociais na urbanização da região de São Pedro em Juiz de Fora/MG**. 2014. 95 f. Dissertação (Mestrado em Serviço Social) – Faculdade de Serviço Social, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.
- ALMEIDA, L.; SERRA, J. **Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas**. Revista da FAE, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 129-137, 2017.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. **Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.
- ANJOS, J. M. M. **Análise multicritério para estudo da influência do uso e ocupação do solo em processos de inundação: aplicação e comparação de cenários em Juiz de Fora (MG)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Urbana) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2023
- BAUM, A.; FLEMING, R.; DAVIDSON, L. **Natural Disaster and Technological Catastrophe**. Environment and Behavior, Thousand Oaks, v. 15, n. 3, p. 333-354, 1983.
- BEVEN, K. **Infiltration, soil moisture, and unsaturated flow**. In: BOWLES, D. S.; O'CONNELL, P. E. (ed.). Recent advances in the modeling of hydrologic systems. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. Cap. 7, p. 137-151. (Series C: Mathematical and Physical Sciences, 345).
- BEVEN, K. **Environmental Modelling: An Uncertain Future**. London: Routledge, 2009.
- BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 dez. 1979. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6766.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm). Acesso em: 21 set. 2023.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/publicue///Apresentacao/Programa-Nacional-de-Hidrologia-293.html>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jul. 2001.
- CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

CARDOSO, C. A. *et al.* **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ.** *Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CARVALHO, Kelvin Ferreira; NETO, Roberto Marques. **Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Humaitá (Juiz de Fora, MG) como subsídio à investigação de riscos a inundações: resultados preliminares.** *Revista Geonorte*, v. 3, n. 5, p. 138-149, 2012.

CARVALHO, D. **Material de Apoio para a disciplina de Manejo e Conservação do Solo e da Água.** 2023. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/daniel/Downloads/Material/Pos-graduacao/Manejo%20e%20conservacao%20do%20solo%20e%20da%20agua/manejo%20e%20conservacao%20-%20parte%203.pdf>. Acesso em: 21 set. 2023.

CASTRO, L. A. **Manual de Planejamento em Defesa Civil – Volume I.** Brasília, 1999.

CEMADEN. **Municípios monitorados.** 2018. Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br/municipios-monitorados-2/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

CHOW, Ven Te. **Handbook of Applied Hydrology.** New York: McGraw-Hill, 1964.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia.** São Paulo: Editora Blucher, 1974.

CIRIGLIANO, Raphael. **Relatório apresentado ao senhor Governador do Estado pelo Prefeito Raphael Cirigliano – exercício de 1940.** Juiz de Fora: Companhia Dias Cardoso, 1940.

CNM - Confederação Nacional de Municípios. **Danos e Prejuízos causados por desastres (2013 a 2022).** Disponível em: <https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/Danos%20e%20Preju%C3%ADzos%20causados%20por%20desastres%202013%20a%202022%20atualizado%20em%20abril.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais.** Porto Alegre: UFRGS, 2013.

CORREA, M. **Resgatando o Passado - a história de Juiz de Fora.** 2023. Disponível em: <https://mauricioresgatandoopassado.blogspot.com/2016/02/enchentes-0-fotos.html>. Acesso em: 05 mar. 2024.

CORREIA, E. **Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de risco de inundação.** 2011. Dissertação (Mestrado em

Engenharia de Computação) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

CUNHA, S. F.; OLIVEIRA e SILVA, F. E.; MOTA, T. U.; PINHEIRO, M. C. **Avaliação da Acurácia dos Métodos do SCS para Cálculo da Precipitação Efetiva e Hidrogramas de Cheia**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 837-848, 2015.

CUSTÓDIO, M. M.; OLIVEIRA, E. R. **A legislação brasileira de uso e ocupação do solo e sua dissonância sistêmica com fatores redutores da refletância da energia solar**. Revista de Direito da Cidade, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 867-892, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/rdc.2017.27045>. Acesso em: 23 mai. 2023.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. **Water in environmental planning**. San Francisco, CA: W. H. Freeman and Company, 1978. 818 p.

EDUARDO, João Pedro de Andrade. **Análise espaço-temporal dos eventos de inundação no município de Petrópolis (RJ)**. 2022. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

EM-DAT: The Emergency Events Database. **Brasil (2020)**. Disponível em: [https://www.emdat.be/emdat\\_atlas/sub\\_html\\_pages/sub\\_html\\_BRA.html](https://www.emdat.be/emdat_atlas/sub_html_pages/sub_html_BRA.html). Acesso em: 10 mai. 2023.

ESTEVES, Albino; LAGE, Oscar Vidal Barbosa. **Álbum do Município de Juiz de Fora**. Juiz de Fora: FUNALFA, 2008.

FERNANDES, R. O.; COSTA, C. T. F.; STUDART, T. M. C. **Análise de sensibilidade em hidrogramas de cheias máximas obtidos pelo método do SCS em uma bacia urbana**. 2017.

FERREIRA, C. C. M. *et al.* **Clima de Juiz de Fora: 50 anos de dados meteorológicos**. Juiz de Fora: UFJF, 2023. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/labcaa/2023/10/13/lancamento-do-livro-clima-de-juiz-de-fora-50-anos-de-dados-meteorologicos/>. Acesso em: 19 jun. 2024.

FRAGA, M. S. *et al.* **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil**. Nativa, Cuiabá, v. 2, n. 4, p. 214-218, 2014. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1785>. Acesso em: 23 mai. 2023.

FRANÇA, L. **Open Topography para o QGIS**. 2023. Disponível em: <https://geoone.com.br/opentopography-qgis/>. Acesso em: 25 mar. 2024.

G1 ZONA DA MATA. **Após chuvas, córrego São Pedro transborda e bairros de Juiz de Fora amanhecem cheios de lama**. G1, Juiz de Fora, 23 jan. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2023/01/23/apos->

[chuvas-corrego-sao-pedro-transborda-e-bairros-de-juiz-de-fora-amanhecem-cheios-de-lama.ghtml](#). Acesso em: 05 mar. 2024.

G1 ZONA DA MATA. **Defesa Civil registra mais de 40 ocorrências durante chuvas do fim de semana em Juiz de Fora**. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2021/01/04/defesa-civil-registra-mais-de-40-ocorrencias-durante-chuvas-do-fim-de-semana-em-juiz-de-fora.ghtml>. Acesso em: 18 abr. 2024.

GANEM, Roseli Senna. **Gestão de desastres no Brasil: estudo**. Consultoria Legislativa. Brasília: Câmara dos Deputados, 2012.

HORTON, Robert E. **The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle**. Transactions of the American Geophysical Union, v. 14, p. 446-460, 1933.

HUBBERT, M. King. **Nuclear Energy and the Fossil Fuels**. In: American Petroleum Institute, Drilling and Production Practice, v. 9, p. 7-23, 1956.

HUFF, F. A. **Introduction to Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1957.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do censo demográfico: 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011b. 256 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama de Juiz de Fora**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/juiz-de-fora/panorama>. Acesso em: 04 mar. 2024.

LABSID - LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÕES. **ABC6**. Disponível em: <http://www.labsid.eng.br/software.aspx?id=8>. Acesso em: 21 mar. 2024.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986. 242 p.

MACHADO, P. J. O. (org.). **Diagnóstico Físico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro: Um exercício acadêmico de Gestão de Recursos Hídricos**. Geographica, 2010.

MACHADO, P. J. O.; CUNHA, S. B. **Juiz de Fora: inundações, saneamento e ordenamento territorial**. Revista Geográfica de América Central, v. 2, p. 1-15, 2011.

MACHADO, P. J. O. **Qualidade das águas urbanas em Juiz de Fora**. Revista de Geografia-PPGEO-UFJF, v. 1, n. 1, 2011. Acesso em: 18 abr. 2024.

MARTINS, M. C. **Revisão teórica e discussões sobre o uso e ocupação do solo no clima urbano de Juiz de Fora**. 2018. Monografia (Especialização em

Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

MATOSO, R. O. C. **Perspectiva hidrológica e morfológica no contexto das inundações urbanas em Espera Feliz – MG**. 2023. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2023.

Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Defesa Civil. **Manual de Planejamento em Defesa Civil - Volume III: Resposta aos Desastres**. 2. ed. Brasília: Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Defesa Civil, 2012. Disponível em:

<http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/Manual-PLANEJAMENTO-1.pdf>. Acesso em: 04 mai. 2023.

MIRANDA, R. **O Natal mais triste da história de Juiz de Fora**. Jornal O Pharol, 24 dez. 2021. Disponível em: <https://jornalopharol.com.br/2021/12/o-natal-mais-triste-da-historia-de-juiz-de-fora/>. Acesso em: 05 mar. 2024.

OLIVEIRA, A. **Fragilidade Ambiental no setor Norte do município de Juiz de Fora – Minas Gerais: Subsídios da Geomorfologia ao planejamento Urbano**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf/1850/1/AlexsanderDeoliveira.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2024.

OLIVEIRA, P. **Efemérides Juiz Foranas (1698-1965)**. Juiz de Fora: UFJF, 1975.

ONU - Organização das Nações Unidas. **68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN**. 2018. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>. Acesso em: 24 abr. 2023.

ONU - Organização das Nações Unidas. **População Mundial atinge 8 milhões de pessoas**. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342>. Acesso em: 24 abr. 2023.

PAULA, R. T.; GERHEIM, D. K. M. **Ecodinâmica e Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro, Juiz de Fora – MG**. Encontro Nacional de Geógrafos, João Pessoa-PB, 2018.

PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1976.

PJF - PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano**. Juiz de Fora: Funalfa Edições, 2004. Acesso em: 04 mar. 2024.

PJF - PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA. **Plano de drenagem de Juiz de Fora - vol. 1**. Juiz de Fora, 2011. Disponível em:

[https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/sepur/planos\\_programas/arquivos/diagnostico.pdf](https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/sepur/planos_programas/arquivos/diagnostico.pdf). Acesso em: 04 mar. 2024.

PONTES, P. R. M. *et al.* **Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões**. Rbrh: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 888-904, 2015.

PORTELA, M. M. **Modelação Hidrológica**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Conceitos básicos de modelagem hidrológica**. In: MEIRELLES, M. S. P. *et al.* (ed.). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

ROCHA, C. H. B.; PAIVA, L. E. D. **Das enchentes agravadas devido à canalização do Córrego do São Pedro, do Nível da Água e da BR440**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2010. Disponível em: <https://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2010/12/2-Enchentes-agravadas-pela-BR440.pdf>. Acesso em: jan. 2023.

SANTOS, A. L. R. S. *et al.* **Modelagem Hidráulico-Hidrológica Com O Uso De Técnicas Compensatórias: Estudo De Caso Para A Bacia Córrego Itaituba, Município De Belo Horizonte. XIV Encontro Nacional de Águas Urbanas, 2022**.

SANTOS, R. F. (org.). **Vulnerabilidade Ambiental**. 2. ed. Brasília: MMA, 2007.

SHERMAN, L.K. **Streamflow from rainfall by unit-graph method**. Engineering News-Record, v. 108, p. 501-505, 1932.

SILVA, A. R.; SILVA, M. F.; SANTOS, L. C. A. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Cacau (MA)**. Revista Percurso – Nemo, Maringá, v. 6, n. 2, p. 141-153, 2014. Disponível em: <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/Percurso/article/view/24262>. Acesso em: 23 mai. 2023.

SILVA, A. K. **Cidades inteligentes e sua relação com a mobilidade inteligente**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1918002/mod\\_folder/content/0/Artigo%20-%20Mobilidade%20Inteligente.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1918002/mod_folder/content/0/Artigo%20-%20Mobilidade%20Inteligente.pdf?forcedownload=1). Acesso em: 24 abr. 2023.

STRAHLER, A. N. **Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks**. In: CHOW, Ven Te (ed.). **Handbook of Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1964. p. 4.394-4.476.

TASCA, L. **As Contradições e Complementaridades Nas Leis Urbanas De Juiz De Fora**. 2010. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

TEODORO, V. I. I.; DENILSON, T.; DANIEL J. L. C.; BEATRIZ B. F. **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiente local.** Revista Uniara, n.20, 2007.

TONELO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Ghuanhães, MG.** 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TRIBUNA DE MINAS (2023). **Chuvas voltam a causar transtornos no Mariano Procópio e no Democrata.** Publicado em 20 de janeiro de 2023. Disponível em: [https://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/23-01-2023/chuvas-voltam-a-causar-transtornos-no-mariano-procopio-e-no-democrata.html#goog\\_rewarded](https://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/23-01-2023/chuvas-voltam-a-causar-transtornos-no-mariano-procopio-e-no-democrata.html#goog_rewarded). Acesso em: 25 abr. 2023.

TRIBUNA DE MINAS (2022). **Córrego Humaitá transborda e ruas do Bairro Industrial ficam alagadas.** Tribuna de Minas [website]. Publicado em 15 de fevereiro de 2022. Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/15-02-2022/corrego-humaita-transborda-e-ruas-do-bairro-industrial-ficam-alagadas.html>. Acesso em: 07 mar. 2024.

TRIBUNA DE MINAS (2023). **Córrego Humaitá transborda no Bairro Industrial.** Tribuna de Minas [website]. Publicado em 10 de janeiro de 2023. Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/10-01-2023/corrego-humaita-transborda-no-bairro-industrial.html>. Acesso em: 07 mar. 2024.

TUCCI, C.E.M. Água no meio urbano. **Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**, v. 2, p. 475-508, 1997.

TUCCI, C.E.M. (1998). Modelos Hidrológicos. Porto Alegre: UFRGS/ABRH.

TUCCI, C.E.M. **Aspectos institucionais do controle das inundações urbanas.** In: Avaliação e controle da Drenagem Urbana, v. 2, 2001.

TUCCI, C.E.M. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil.** Rega/Global Water Partner ship South América, v. 1, n. 1, p. 59-73, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas.** Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, C. E. M. *et al.* Inundações urbanas. **Porto Alegre: ABRH/Rhama**, v. 11, 2007.

UFPEL. **Genetic Algorithm Methodology for IDF (GAM-IDF).** Versão 1.0. Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas. Disponível em:



<https://wp.ufpel.edu.br/hidrologiaemodelagemhidrologica/gam-idf/>. Acesso em: 19 jun. 2024.

VALLEJOS, B.A. *et al.* **Diagnóstico das inundações na bacia hidrográfica do córrego Humaitá - Juiz de Fora e possíveis impactos de mudanças climáticas.** I Simpósio Nacional de Mecânica dos Fluídos e Hidráulica, Ouro Preto. Anais ABRHidro. <https://anais.abrhidro.org.br/job.php>, 2022. Acesso em: 25 abr. 2023.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: Mc GRAW Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WARD, Roy. **Floods: a Geographical Perspective.** 1. ed. New York: John Wiley & Sons. 1978.244p.

XAVIER, A. C., SCANLON, B. R., KING, C. W., & Alves, A. I. (2022). New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, 42 (16), 8390– 8404. <https://doi.org/10.1002/joc.7731>

## ANEXO A – Equação IDF Resumo dos Resultados para a Região de Estudo



### Relatório | INMET CERTO.csv

#### Resumo dos Resultados

Teste de Mann-Kendall ao nível de significância de 5%	Não há tendência
Função densidade de probabilidade (FDP)	Generalizada de Valores Extremos
Parâmetros da FDP	$\xi$ : 70.7162, $\alpha$ : 17.4979, $k$ : -0.1136
Teste de Anderson Darling ao nível de significância de 5%	Estadística: 0.2729 p-valor: 0.9568 Resultado do teste: FDP se ajusta
Parâmetros da IDF	$a$ : 671.104, $b$ : 0.199, $c$ : 9.218, $d$ : 0.707
Nash e Sutcliffe (NS)	0.9984
RMSE (mm/h)	2.5509

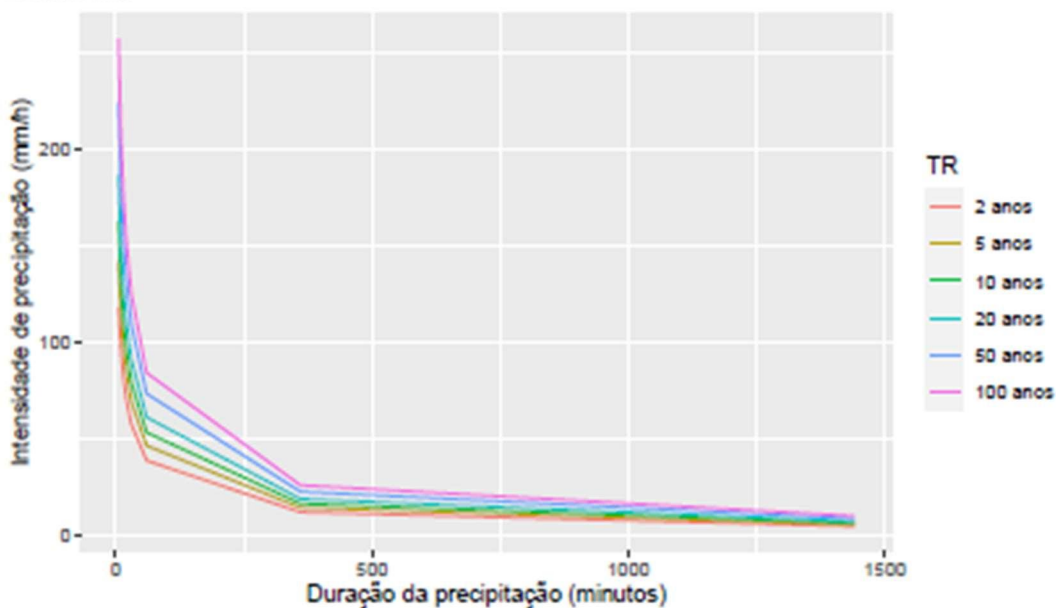
#### Função Densidade de Probabilidade - FDP

$$F = e^{\left[ - \left( \frac{1 - 0.1136(x - 70.7162)}{17.4979} \right)^{-0.1136} \right]}$$

#### Modelo Matemático IDF

$$I = \frac{671.104 \cdot TR^{0.199}}{(9.218 + t)^{0.707}}$$

#### Curvas IDF



Fonte: GAN-IDF. (2024).