

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

FERNANDA LUÍSA TONET

MAPEAMENTO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIO ÁGUAS
VERMELHAS NO BAIRRO VILA NOVA EM JOINVILLE/SC

Joinville

2023

FERNANDA LUÍSA TONET

MAPEAMENTO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIO ÁGUAS
VERMELHAS NO BAIRRO VILA NOVA EM JOINVILLE/SC

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

Orientadora: Dra. Simone Malutta

Joinville

2023

FERNANDA LUÍSA TONET

MAPEAMENTO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIO ÁGUAS
VERMELHAS NO BAIRRO VILA NOVA EM JOINVILLE/SC

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 27 de junho de 2023.

Banca Examinadora:

Dra. Simone Malutta
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Me. Franciele Maria Vanelli
Membra
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng^a. Michele Seferino Tonolli
Membra
Elmo Engenharia e Infraestrutura

Dedico este trabalho a minha mãe, sendo a prova de que todo o seu investimento e apoio valeu a pena.

AGRADECIMENTOS

Nesta seção, gostaria de expressar o meu mais sincero agradecimento a todas as pessoas que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Primeiramente, gostaria de agradecer minha mãe e irmã, que sempre acreditaram em mim e estavam presentes para escutar quaisquer reclamações durante toda a minha jornada acadêmica. Também agradeço a família que escolhi, os meus amigos, por sempre me apoiarem e ajudarem a continuar seguindo em frente com palavras, risadas, abraços e momentos que estarão em minha memória e coração.

A minha orientadora Simone Malutta, pela sua orientação e paciência durante todo o processo de elaboração deste trabalho. A todos os meus professores, só posso agradecer pelo conhecimento e orientação que me ajudaram no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Agradeço aos meus supervisores e colegas de trabalho por todas as oportunidades e apoio, me orientando sempre com as melhores práticas profissionais.

“We can’t solve problems by using the same kind of thinking we used when we created them.”

(Albert Einstein).

RESUMO

Com o processo de urbanização pode-se perceber um aumento na ocorrência dos desastres naturais, entre eles as inundações. Esses fenômenos acabam causando impactos que vão muito além dos estragos físicos, materiais, econômicos, ambientais e humanos nos municípios, sendo necessário buscar maneiras de reduzir os efeitos do evento. Uma opção que auxilia a propor ações mitigadoras é o mapeamento das manchas de inundação. Com o mapeamento de inundações é possível determinar as áreas com possibilidade de estar em risco, permitindo assim uma melhor utilização dos investimentos destinados à infraestrutura de contenção de inundações. O município de Joinville, sendo a cidade mais populosa de Santa Catarina, experiencia frequentemente eventos que causam inundação. Visto isso, este trabalho tem como objetivo o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação no bairro Vila Nova, que se encontra dentro da região da sub-bacia do rio Águas Vermelhas. Para as modelagens hidrológicas e hidráulicas foi utilizado os softwares HEC-HMS e HEC-RAS. As manchas de inundação foram elaboradas utilizando diferentes tempos de retorno (5, 10, 25, 50 e 100 anos).

Palavras-chave: Inundações. Mapeamento. HEC-HMS. HEC-RAS.

ABSTRACT

With the process of urbanization, an increase in the occurrence of natural disasters, including floods, can be observed. These phenomena cause impacts that go far beyond physical, material, economic, environmental and human damage in municipalities, making it necessary to find ways to reduce the effects of the event. An option that helps propose mitigating actions is the mapping of flood zones. With flood mapping, it is possible to determine the areas that may be at risk, allowing for better use of investments in flood containment infrastructure. The city of Joinville, being the most populous city in Santa Catarina, frequently experiences events that cause flooding. Therefore, this work aims to map areas susceptible to flooding in the Vila Nova neighborhood, which is located within the sub-basin region of the Águas Vermelhas river. The HEC-HMS and HEC-RAS softwares were used for hydrological and hydraulic modeling. Flood zones were elaborated using different return periods (5, 10, 25, 50 and 100 years).

Keywords: Floods. Mapping. HEC-HMS. HEC-RAS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo hidrológico	19
Figura 2 - Fluxograma metodológico	21
Figura 3 - Localização do bairro Vila Nova	30
Figura 4 - Sub-bacias Águas Vermelhas	31
Figura 5 - Área em estudo	32
Figura 6 - Classificação climática de Köppen-Geiger	33
Figura 7 - Pedologia da área em estudo	34
Figura 8 - Uso e ocupação do solo	37
Figura 9 - Estações pluviométricas utilizadas	41
Figura 10 - Modelo de elevação de terreno	48
Figura 11 - Mapa da mancha de inundação - TR de 5 anos	50
Figura 12 - Mapa da mancha de inundação - TR de 10 anos	51
Figura 13 - Mapa da mancha de inundação - TR de 25 anos	52
Figura 14 - Mapa da mancha de inundação - TR de 50 anos	53
Figura 15 - Mapa da mancha de inundação - TR de 100 anos	54
Figura 16 - Acessos ao bairro Vila Nova	57
Figura 17 - Enchente na rua Bento Torquato da Rocha	58
Figura 18 - Localização da rua Bento Torquato da Rocha	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos indiretos	22
Tabela 2 - Grupos de solo	24
Tabela 3 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas	25
Tabela 4 - Valores dos números de CN da curva runoff para bacias rurais	26
Tabela 5 - Classes dos solos	34
Tabela 6 - Áreas de uso e ocupação	37
Tabela 7 - Características topográficas dos rios	39
Tabela 8 - Características das estações e microbacia	41
Tabela 9 - Coeficiente K (DNOS)	42
Tabela 10 - Valores do tempo de concentração	43
Tabela 11 - Determinação de CN no rio Águas Vermelhas	44
Tabela 12 - Determinação de CN no rio Motucas	44
Tabela 13 - Determinação de CN no rio Arataca	45
Tabela 14 - Vazões pico (m ³ /s)	49
Tabela 15 - Área urbana inundada	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D - Bidimensional

ANA - Agência Nacional de Águas

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CPRM - Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte

DNOS - Departamento Nacional de Obras e Saneamento

ECP - Estado de Calamidade Pública

EPAGRI-SC - Empresa de Pesquisa Agrícola de Santa Catarina

HEC-HMS - Hydrological Engineering Center-Hydrologic Modeling Systems

HEC-RAS - Hydrological Engineering Center-River Analysis System

IDF - Intensidade-Duração-Frequência

MDT - Modelo Digital de Terreno

PIB - Produto Interno Bruto

RHN - Rede Hidrometeorológica Nacional

SCS - Soil Conservation Service

SEPUD - Secretaria de Pesquisa e Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável

SIG - Sistema de Informação Georreferenciada

SIGSC - Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina

SIMGeo - Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas

SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

TR - Tempo de Retorno

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVOS	13
1.1.1. Objetivo Geral	13
1.1.2. Objetivos Específicos	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1. URBANIZAÇÃO	14
2.2. DESASTRES NATURAIS	15
2.3. INUNDAÇÃO URBANA	16
2.4. MODELAGEM MATEMÁTICA	17
2.4.1. Modelo HEC-HMS	18
2.4.2. Modelo HEC-RAS	19
3. METODOLOGIA	21
3.1. VAZÃO DE PROJETO	22
3.2. CHUVA-VAZÃO	23
4. ÁREA DE ESTUDO	29
4.1. BAIRRO VILA NOVA	29
4.2. RIO ÁGUAS VERMELHAS	30
4.3. CLIMA	32
4.4. GEOLOGIA	33
4.5. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	36
5. MATERIAIS E DEFINIÇÕES	39
5.1. TOPOGRAFIA DA REGIÃO	39
5.2. DADOS PLUVIOMÉTRICOS	40
5.3. MODELAGEM HEC-HMS	41
5.3.1. Tempo de Concentração	42
5.3.2. Número de Curva - SCS	43
5.4. CHUVA DE PROJETO	46

5.5. SIMULAÇÃO HEC-RAS	47
6. RESULTADOS E ANÁLISES	50
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE A - HIETOGRAMAS DE PROJETO DA BACIA DO RIO ARATACA	64
APÊNDICE B - HIETOGRAMAS DE PROJETO DA BACIA DO RIO MOTUCAS	67
APÊNDICE C - HIETOGRAMAS DE PROJETO DA BACIA DO RIO ÁGUAS VERMELHAS	70
APÊNDICE D - HIDROGRAMA DE PROJETO DA BACIA DO RIO ARATACA	73
APÊNDICE E - HIDROGRAMA DE PROJETO DA BACIA DO RIO MOTUCAS	76
APÊNDICE F - HIDROGRAMA DE PROJETO DA BACIA DO RIO ÁGUAS VERMELHAS	79

1. INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades e da urbanização, juntamente com o aumento populacional e a falta de planejamento em infraestrutura pública, podem levar a maiores demandas no consumo de bens e serviços, maior poluição e aumento dos desastres naturais. O aumento do uso e ocupação do solo tem resultado em uma maior impermeabilização do solo, o que aliado ao mau uso, pode levar ao acúmulo de água, que muitas vezes, colaboram para as inundações.

As inundações urbanas são problemas que atingem muitas cidades no Brasil, causando inúmeros prejuízos para os moradores das áreas afetadas. Segundo a BBC BRASIL (2003), “O Brasil é o país do continente americano com o maior número de pessoas afetadas por desastres naturais, segundo estudo divulgado (...) pela Federação Internacional da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho.” (p. 1). No município de Joinville, em Santa Catarina, esta realidade não é diferente. Silveira (2008) mostra que o município sofre com o prejuízo de inundações desde sua fundação.

A reportagem “Maior cidade de SC decreta emergência por causa das chuvas” do G1 (2022) apresenta informações sobre a enchente que ocorreu em novembro de 2022, quando foi registrado mais do que a média esperada para o mês em somente três dias. O G1 (2022) também informou que os bairros Morro do Meio, Vila Nova, Jardim Paraíso, Jardim Sofia e a Zona Rural estavam alagados, impedindo os moradores de voltarem a suas casas.

Uma das medidas mitigadoras é o mapeamento da mancha das áreas que recorrentemente sofrem com inundações. Esta análise leva em consideração a topografia local e a vazão local para tempos de retorno diferentes.

Visto isto, esse trabalho tem como objetivo mapear a mancha de inundação das sub-bacias do Rio Águas Vermelhas, mas especificamente no bairro Vila Nova em Joinville. Este trabalho é uma continuação da pesquisa de Malheiros (2018) que realizou o mapeamento da mancha de inundação do rio Águas Vermelhas, mas especificamente no bairro do Morro do Meio em Joinville/SC. Ambos os estudos utilizaram o modelo de Hydrological Engineering Center - Hydrologic Modeling Systems (HEC-HMS) e Hydrological Engineering Center - River Analysis System

(HEC-RAS) para realizar o mapeamento de áreas inundáveis pela bacia do rio Águas Vermelhas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Mapear a mancha de inundação do bairro Vila Nova em Joinville/SC, que é afetado pelo rio Águas Vermelhas.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Definir o banco de dados necessários para serem aplicados nos métodos e modelos hidrológicos e hidráulicos;
- Estimar as vazões de projeto para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos;
- Analisar a localização das manchas de inundação estimadas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O mapeamento das manchas de inundação proporciona compreensão sobre desastres recorrentes no Brasil e no mundo, que afetam e prejudicam a população. Ao utilizar ferramentas como o QGIS, que é um software SIG (Sistema de Informações Georreferenciadas) de código aberto para o tratamento e manipulação de dados e resultados, junto com o HEC-HMS e HEC-RAS, é possível apresentar análises consistentes sobre o problema das inundações. Para a realização da análise das manchas de inundações e seus resultados, é importante entender os conceitos ligados à problemática, entre os quais a urbanização e a inundação.

2.1. URBANIZAÇÃO

O fenômeno de urbanização é o processo que decorre da expansão urbana e pode ser ligado a acontecimentos históricos como a Revolução Industrial. Com o aumento da população nas cidades, gerado pela urbanização, os problemas decorrentes começam a ter maior visibilidade, como o crescimento da desigualdade, que acarreta em várias insuficiências ligadas ao acesso de necessidades básicas (TUCCI; BERTONI, 2003).

Segundo Tucci (2001), a população que tem um maior poder aquisitivo habita locais que são considerados sem risco, porém com o crescimento rápido e desordenado das cidades as populações mais carentes acabam ocupando áreas de alto risco, como as várzeas, acarretando em diversas consequências econômicas e sociais. Várzeas são regiões que sofrem a influência de vários fatores podendo ser baixa ou alta, a várzea baixa são áreas que permanecem inundadas durante a parte do ano e a alta é um terreno de planície mais alto que é alagado no final das enchentes (BENATTI, 2016).

Um crescimento populacional rápido e desordenado leva ao inchaço urbano e ocasiona a incapacidade de gerir os impactos causados, prejudicando a possibilidade de desenvolvimento sustentável (CABRAL; CÂNDIDO, 2019).

Tais aspectos prejudicam e inviabilizam um planejamento urbano adequado e melhorias para a qualidade de vida urbana. Sem uma construção de planejamento sustentável ou com uma expansão urbana sem

gerenciamento adequado, aumenta-se a probabilidade de crescimento desordenado - expansão -, poluição e degradação ambiental, conjuntamente aos padrões insustentáveis de consumo (CABRAL; CÂNDIDO, 2019, p. 4).

A urbanização nada mais é do que uma concentração de pessoas e atividades em determinada área, que acarreta na degradação ambiental, visto que a urbanização e o meio ambiente têm uma relação direta (JATOBÁ, 2011). As regiões mais populosas do mundo são, geralmente, os maiores consumidores de recursos, porém, atualmente as regiões em desenvolvimento, com maior taxa de urbanização, levam a maiores degradações ambientais e precariedade de infraestrutura pelo crescimento desordenado (JATOBÁ, 2011).

Cabral e Cândido (2019) ressaltam que a urbanização e a ocorrência de expansão urbana estão interligadas ao desenvolvimento sustentável, onde situações que decorrem dos processos de urbanização viram agentes vulneráveis, que podem ocasionar vulnerabilidades, riscos e danos no sistema biofísico ou econômico-social-ambiental. Ou seja, a expansão urbana de modo desordenado prejudica o homem e a natureza, porém uma expansão controlada e planejada auxilia no desenvolvimento sustentável das cidades.

2.2. DESASTRES NATURAIS

Desastres são definidos como consequência de eventos perigosos que causam danos como prejuízos econômicos e sociais, sejam naturais ou provocados, materiais ou ambientais. Segundo Kobiyama (2006), os desastres podem ser separados entre quatro classificações, quanto à intensidade, evolução, origem e duração.

A intensidade pode ser dividida em quatro níveis, os níveis I e II são desastres que chegam até 10% do Produto Interno Bruto (PIB) municipal da área afetada, de modo que o município consiga superá-los. O nível III pode variar de 10 a 30% do PIB municipal, de modo que a situação possa ser resolvida pelo município com auxílio de recursos estaduais e federais e o nível IV seria acima de 30% do PIB, onde o município, mesmo com informações e tempo de preparação, ainda não consegue superar o desastre, decretando Estado de Calamidade Pública (ECP) (CASTRO, 1999 apud KOBİYAMA, 2006).

Castro (1999) apud Kobiyama (2006) separa os desastres quanto a sua evolução, podendo ser desastres súbitos, que são caracterizados pela alta velocidade em que o processo evolui. Existem os graduais, que têm a evolução de maneira lenta e gradual e o tipo de desastre, chamado por Castro, de somação de efeitos parciais, que são a soma de várias consequências de pequenas situações que ocasionam em um desastre de proporção maior (CASTRO, 1999 apud KOBİYAMA, 2006).

Outro critério é o de origem, que são os de origem natural, humana e os mistos. Os humanos são os acidentes causados pela ação ou omissão humana, os naturais representam os que são independentes de qualquer decisão humana, que vem de fenômenos externos, e os mistos são os de origem natural que são agravados e afetados com a ação/omissão humana (CASTRO, 1999 apud KOBİYAMA, 2006).

E por fim a duração, podendo ser episódicos, são os desastres que acontecem de tempos em tempos de maneira esporádica, ou crônicos, que sem solução são desastres que causam sérios prejuízos ao longo prazo. Segundo Kobiyama (2006) apud Sidle et al (2004), os desastres crônicos podem facilitar o aumento na incidência de mais eventos episódicos, diminuindo sua esparsidade.

Ainda segundo CRED (2013b) apud Nunes (2015), "Nas últimas décadas, de cada cinco desastres naturais no mundo dois foram inundações; elas responderam por 56% dos afetados, ocupando a quarta posição em vítimas fatais e a terceira em prejuízos econômicos." (p. 22).

2.3. INUNDAÇÃO URBANA

Existem vários fatores que combinados geram as inundações, como a topografia, as características da bacia hidrográfica e o uso da terra. Pelo dinamismo dos elementos e da sociedade, esses fatores sofrem algumas mudanças durante o passar do tempo (NUNES, 2015). A impermeabilização do solo ocorre com a construção de casas, prédios e estradas, de modo que impermeabiliza o solo e impede que as águas precipitadas pelas chuvas sejam absorvidas, causando aumento da velocidade com o qual a água chega nos rios (KOBİYAMA, 2006).

Outros fatores que amplificam o escoamento da água na superfície é a erosão no solo, ocasionado pelo desmatamento, que leva ao assoreamento de

cursos hídricos (KOBİYAMA, 2006). O descarte errado de resíduos que podem entupir sistemas de drenagem pluvial, gerando alagamentos em áreas que não costumam sofrer com o ocorrido, onde os resíduos podem agir como uma represa se chegarem nos cursos d'água e também causar um aumento rápido do nível d'água (KOBİYAMA, 2006).

Um engano comum é entre inundação e enchente, que são conceitos parecidos e por vezes confundidos, porém é sempre importante pensar nos dois como acontecimentos distintos. Quando os rios estão com uma vazão maior que o normal é considerado uma enchente, mas quando os ocorre o transbordamento das águas do rio nas áreas ao redor é caracterizado como inundação (KOBİYAMA, 2006).

As inundações podem ser graduais ou bruscas. Onde as graduais acontecem de maneira previsível e devagar, porém se mantém por um período maior até haver o escoamento, já as bruscas são geradas por chuvas concentradas e muito intensas, de modo que o nível de água sobe de maneira inesperada e rápida, causando maiores danos em uma área menor (KOBİYAMA, 2006).

As mudanças causadas pelo homem na natureza afetaram de maneira negativa, de modo a contribuir para um aumento de episódios, da magnitude e dos prejuízos causados pelas inundações. E essa percepção se dá pelo fato de que muitos lugares que possuem histórico de inundações não sofreram aumentos proporcionais de precipitações pluviométricas para gerar todas essas mudanças (NUNES, 2015).

Tucci (2001) fala que as ações provocadas pelo humanidade condicionam artificialmente as bacias, visto que a cobertura vegetal existente age interceptando uma parte da precipitação que pode levar a escoamento e proteção do solo de erosão, porém com a redução dessa cobertura não ocorre a interceptação da precipitação e leva a um assoreamento dos rios acarretando no aumento a periodicidade dos eventos de inundação. Ainda para Tucci (2001) “Os resultados da urbanização sobre o escoamento são: aumento da vazão máxima e do escoamento superficial, redução do tempo de pico e diminuição do tempo de base.” (p. 623).

2.4. MODELAGEM MATEMÁTICA

Os modelos podem ser considerados como sistemas simplificados utilizados para representar a realidade, já que consideram as condições já existentes no tema em estudo. Eles podem melhorar o conhecimento em determinados aspectos e permitir a solução de diversos problemas gastando menos em soluções experimentais, sem a necessidade de um tratamento analítico complexo (PADILHA, 2017).

A modelagem hidrológica vem da importância de simular os eventos hidrológicos sob situações de extremos, de modo a conseguir prever os comportamentos das bacias. Os modelos hidrológicos podem ser diferenciados pela abordagem, sendo os modelos concentrados ou distribuídos (LIMA, 2011).

Segundo Lima (2011), os modelos concentrados obtêm resultados que representam toda a bacia a partir de médias. Já os distribuídos consideram as variáveis presentes dentro de uma mesma bacia, sendo uma opção boa para ver a interação entre o uso e cobertura do solo e ciclo hidrológico.

Os softwares utilizados neste trabalho são apresentados abaixo, eles são exemplos de tecnologias para modelagem hidrológicas e hidráulicas e conseguem fornecer bons resultados.

2.4.1. Modelo HEC-HMS

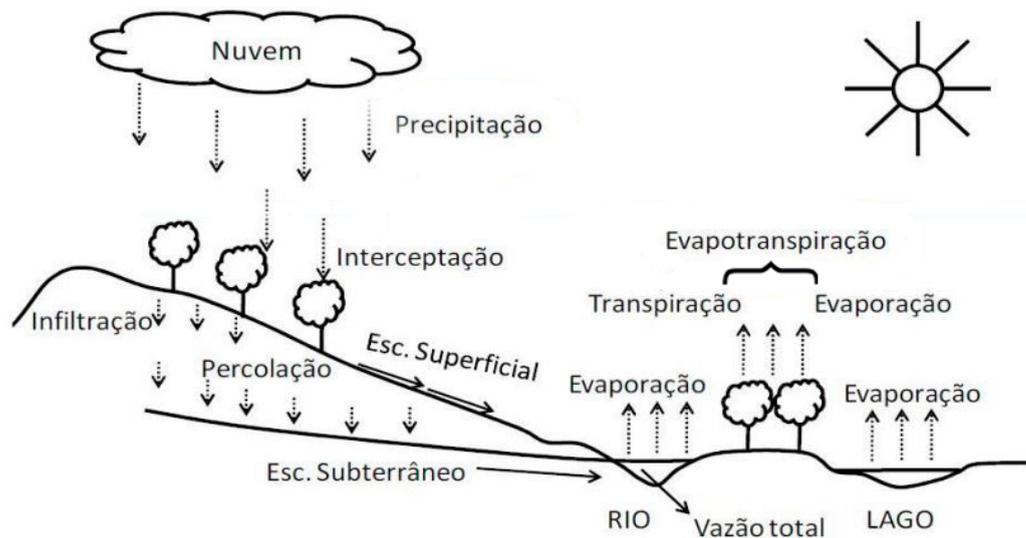
Hydrological Engineering Center - Hydrologic Modeling Systems (HEC-HMS), foi desenvolvido pelo Corpo de Engenharia do Exército dos Estados Unidos da América (U.S. Army Corps of Engineers), usado para simulações de chuva-vazão em bacias hidrográficas. O software permite a escolha e calibração de vários dados e métodos de análise de maneira gratuita.

Entre seus benefícios estão a possível escolha de especificações de precipitação pluviométrica, modelos de perdas que conseguem estimar o volume de escoamento das bacias e modelos de ocorrências de convergências e bifurcações. O programa também faz uma calibração automática que consegue estimar alguns parâmetros e condições iniciais a partir dos dados hidrometeorológicos.

A Figura 1 mostra as etapas de um ciclo hidrológico, que possibilita um entendimento maior sobre o escoamento nas bacias. O ciclo inicia com a precipitação onde esse volume é dividido em três partes, uma parte que atinge o

solo, uma que sofre evapotranspiração e uma parte que é interceptada pela vegetação.

Figura 1 - Ciclo hidrológico



Fonte: Kobiyama et al. (2011).

O volume que atinge o solo pode escoar até os rios ou infiltram no solo, onde essa parcela infiltrada pode ficar armazenada ou percorrer o solo até os aquíferos. De modo que pode-se definir a vazão de um rio como o volume que precipita diretamente no canal, o volume que vem do escoamento superficial e uma parte do volume que advém do escoamento subterrâneo (KOBİYAMA, 2011).

Na modelagem hidrológica do HEC-HMS esses fatores são considerados, porém não é contabilizada a quantidade de água armazenada nas camadas do solo, visto que o modelo relata o volume, pico ou o exutório. No software é incluído os modelos de infiltração, onde há uma combinação dos fluxos das camadas de modo a calcular tudo como escoamento direto (USACE, 2000).

2.4.2. Modelo HEC-RAS

Hydrological Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS), foi desenvolvido pelo Corpo de Engenharia do Exército dos Estados Unidos da América (U.S. Army Corps of Engineers), usado para modelagem de rios e canais.

O software permite a execução de vários tipos de análise, os de fluxo constantes, os transportes de sedimentos e depósitos nos leitos dos rios e a qualidade da água. Sendo ainda possível realizar análises como as manchas de inundação e estudos de rompimentos de barragem (USACE, 2010).

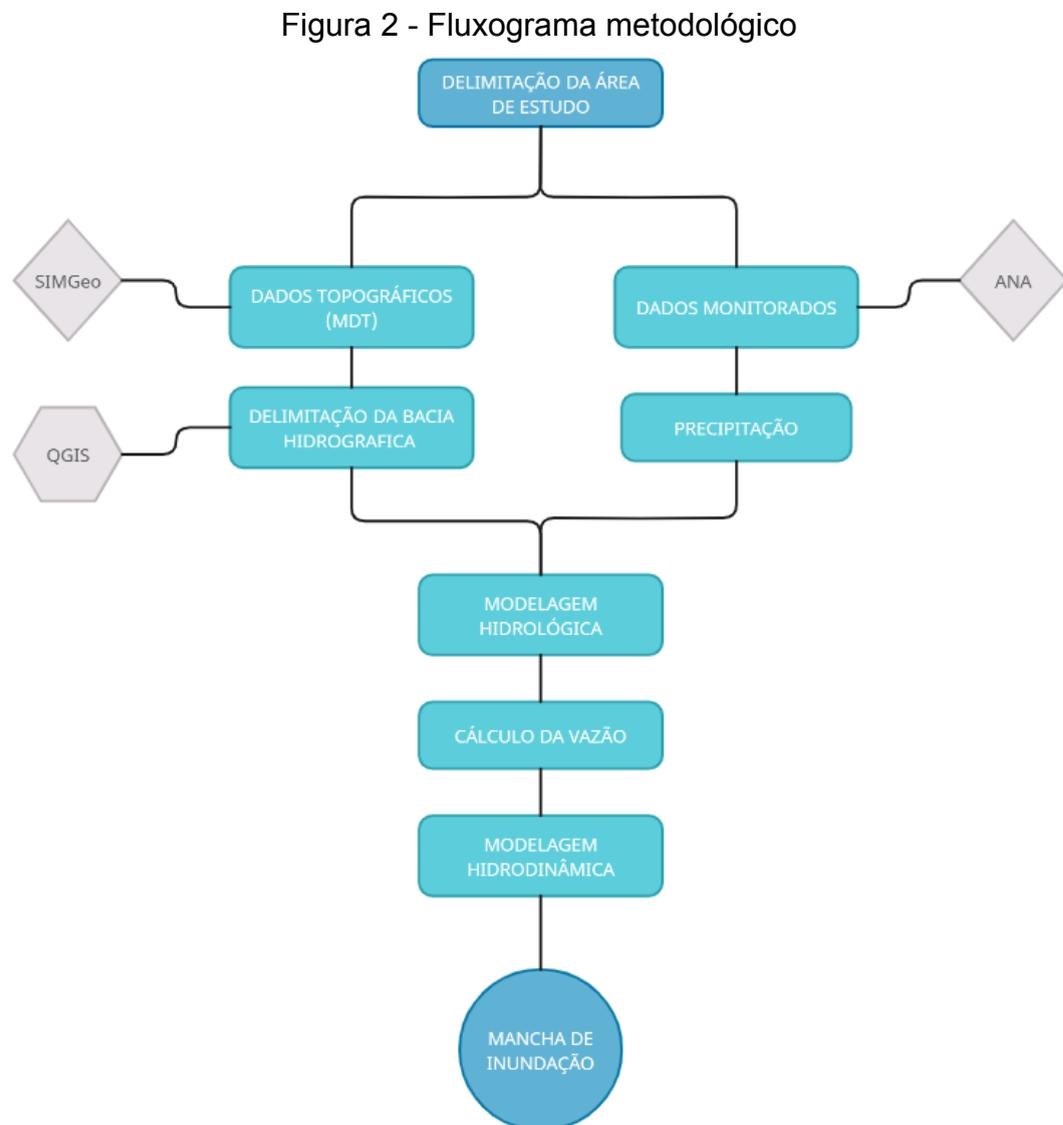
O software consegue simular o escoamento no canal, determinando um perfil d'água que é utilizado para a delimitação dos locais que sofrem inundação. Isso é possível com a delimitação de uma área de fluxo 2D, onde então é inserido uma malha computacional que permite o cálculo de modo bidimensional.

O HEC-RAS possui a interface chamada de RAS Mapper, que é a sua interface SIG, onde é criada a geometria e malha computacional. São inseridas as informações hidrológicas e hidráulicas, onde então será processada as relações entre a elevação do terreno e os volumes para as células da malha computacional para ser possível a geração das manchas de inundação.

3. METODOLOGIA

Segundo Gil (1991) as pesquisas explicativas ou experimentais aprofundam o conhecimento em fatos reais, de modo a contribuir ao identificar os fatores que levam a ocorrência dos fenômenos. Essa delimitação do método explicativo leva a um trabalho com graus elevados de clareza, precisão e uma maior assertividade nos resultados.

A Figura 2 mostra o fluxograma com as etapas para a realização deste trabalho.



Fonte: Autora (2023).

3.1. VAZÃO DE PROJETO

Segundo Gontijo (2007) a vazão de projeto é a vazão ou hidrograma utilizado para o dimensionamento de dispositivos hidráulicos, tendo o termo de pré-determinação de enchentes o cálculo para condições raras e críticas. Os métodos para determinação da vazão de projeto podem ser divididos entre os diretos e os indiretos.

Os métodos diretos utilizam dados que foram obtidos na região onde a bacia hidrográfica está, sendo estimado as vazões através de distribuições de probabilidade. Já os indiretos transformam dados de precipitação em vazão e é utilizado em regiões com registros de vazão inexistentes, utilizando informações como área da bacia, comprimento do talvegue principal e declividade média (GONTIJO, 2007).

Segundo Gontijo (2007) os métodos indiretos apresentados na Tabela 1 são os recomendados de acordo com a área de bacia:

Tabela 1 - Métodos indiretos

Área da Bacia (km ²)	Método Aplicado
< 2,6	Método Racional
2,6 - 260	Método Racional, Hidrograma Unitário, Métodos Estatísticos
260 - 5200	Hidrograma Unitário, Métodos Estatísticos
> 5200	Métodos Estatísticos, Simulação de Vazões

Fonte: Adaptado de Gray (1972) apud Gontijo (2007, p. 13)

Com a limitação sendo os modelos existentes no software HEC-HMS e sendo levado em consideração as informações da Tabela 1 foi escolhido o método do hidrograma unitário para determinar a vazão da bacia. Que segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2005) uma das metodologias mais indicadas é o método do hidrograma unitário, que tem as suas

características baseadas em condições da média do escoamento e estudos com os dados fluviométricos sendo mais um motivo para a escolha do método.

Segundo Collischonn e Dornelles (2013) o hidrograma unitário é um gráfico que demonstra o escoamento superficial resultante de uma chuva efetiva do exutório de uma bacia. Para regiões sem dados históricos é utilizado o hidrograma unitário sintético que possui variáveis que podem ser encontradas a partir de dados referentes ao relevo da área da bacia.

A área da bacia em estudo não possui estações de medições fluviométricas para obtenção de dados de vazão, desse modo se faz necessário a conversão dos dados existentes de precipitação das estações pluviométricas mais próximas para a utilização do método.

3.2. CHUVA-VAZÃO

O software HEC-HMS possui alguns métodos para a simulação de chuva-vazão, calculando as perdas pelo escoamento de base e direto nas precipitações. O método escolhido para este trabalho é o *Curve Number* (CN) do *Soil Conservation Service* (SCS).

Foi escolhido esse método pois, segundo Sartori (2004) esse método consegue estimar a precipitação excedente de uma determinada chuva de uma área que já é conhecida de drenagem. É um método simples por depender de apenas três variáveis, sendo elas a precipitação, umidade antecedente do solo e do complexo hidrológico solo-cobertura.

A determinação da capacidade de retenção, conhecida como S, tem como variável o valor de CN (Curva Número) que é classificado conforme o tipo e utilização do solo, tendo uma variação de 0 a 100 (SCHAFER; NOGUEIRA; SLUTER, 2011).

“Teoricamente, os valores de CN podem variar de 0 a 10, (...). Para superfícies impermeáveis, inicialmente foi atribuído um CN=100 (SCS, 1972), que foi em seguida substituído por um CN=98. Sob as mesmas condições de precipitação, baixos valores de CN significam que a superfície tem um alto potencial de retenção de água. Valores de CN mais altos significam potencial de retenção mais baixo.” (SCHAFER; NOGUEIRA; SLUTER, 2011, p. 3).

A equação que relaciona os valores de S e CN em unidades métricas é a Equação 1.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{Equação 1})$$

Os fatores que influenciam diretamente na escolha do valor CN são os tipos de solo, apresentados na Tabela 2, de cobertura vegetal e de utilização do solo e as condições de umidade antecedente.

Tabela 2 - Grupos de Solos

Grupo	Característica
A	Solos dando origem a baixo escoamento superficial potencial e elevada infiltração, mesmo quando totalmente encharcados. Inclui os solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos que apresentam taxas de infiltração moderadas quando totalmente encharcados.
C	Solos com baixas taxas de infiltração quando totalmente encharcados, consistindo principalmente em solos em que existem camadas que impedem o movimento descendente da água e em solos com textura moderadamente fina a fina, com percentagem elevada de argila.
D	Solos com elevado escoamento superficial potencial. Apresentam, quando totalmente encharcados, taxas de infiltração muito reduzidas e são fundamentalmente constituídos por solos argilosos, solos em zonas em que o nível freático é constantemente elevado, solos em que, à superfície ou próximo deste, ocorrem camadas argilosas ou ainda solos finos sobre camadas impermeáveis.

Fonte: Portela (2006, p. 70 e 71).

O número CN é um valor que apresenta combinação do tipo de solo junto com a sua ocupação e condições, sendo então apresentado na Tabela 3 e 4 os valores para as bacias rurais e urbanas (TOMAZ, 2011).

Tabela 3 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

Utilização ou cobertura do solo	Grupo de Solos			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim	45	66	77	83
Floresta: cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições				
Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais				
Lotes de (m ²)	% média impermeável			
<500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas				
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Paralelepipedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

Fonte: Adaptado de Tucci et al. (1993) apud Tomaz (2011, p. 7).

Tabela 4 - Valores dos números CN da curva runoff para bacias rurais

Uso do Solo	Superfície do Solo	Grupo do Solo			
		A	B	C	D
Solo Lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras Estradas de terra	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69

Uso do Solo	Superfície do Solo	Grupo do Solo			
		A	B	C	D
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Adaptado de Tucci et al. (1993) apud Tomaz (2011).

Após estimar a capacidade de retenção da bacia é então determinada a quantidade de precipitação que compõe o escoamento superficial, conhecido como precipitação de chuva excedente, mostrado na Equação 2:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Q = Chuva excedente (mm);

P = Precipitação (mm);

Ia = Abstração inicial (mm);

S = Capacidade de retenção (mm).

Sendo que segundo TOMAZ (2006), a abstração inicial (Ia) representa as perdas que podem ocorrer com água perdida em variações da superfície ou interceptada por vegetação. Nos Estados Unidos, a SCS determinou que a abstração equivale a aproximadamente a Equação 3:

$$Ia = 0,2 * S \quad (\text{Equação 3})$$

Desse modo, podemos substituir a Equação 3 na Equação 2, chegando na Equação 4 resultante:

$$Q = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{(P + 0,8 * S)} \quad (\text{Equação 4})$$

Essa equivalência usada para a abstração foi obtida com dados obtidos em bacias localizadas em regiões agrícolas, de modo que em áreas urbanas pode

ocorrer um aumento ou diminuição das perdas de água que não serão consideradas com esse índice. Também é importante utilizar o método com CN com cuidado, visto que não é recomendado quando CN menor que 40, porque não considera a intensidade e nem o tempo de chuva (TOMAZ, 2006).

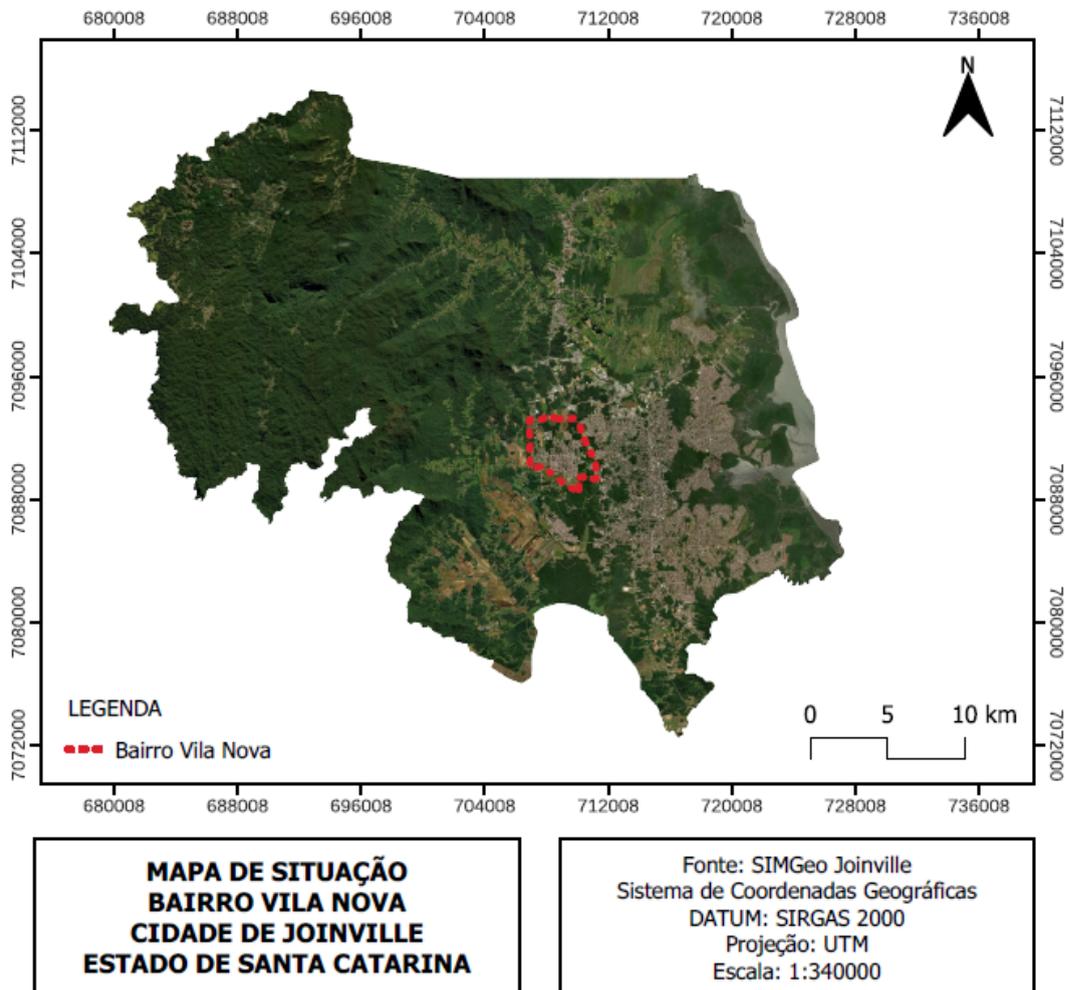
4. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Pirai possui uma importância muito grande para o município de Joinville, visto que é o responsável pelo fornecimento de água de uma parte da cidade. A bacia conta com uma área de 451,67 km² dividida em 23 sub-bacias que envolvem os bairros Vila Nova, Nova Brasília, Morro do Meio, Glória e Santa Catarina, tendo uma de suas principais a sub-bacia Águas Vermelhas (MAIA et al., 2014).

4.1. BAIRRO VILA NOVA

O bairro Vila Nova (Figura 3) no início da sua implantação tinha a sua população voltada a atividades agropastoris e atualmente é mais conhecida pelo uso territorial na rizicultura. O bairro fica localizado fora do perímetro urbano da cidade de Joinville, tendo uma área de 14,43 km² (SECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE - SEPUD, 2017).

Figura 3 - Localização do bairro Vila Nova

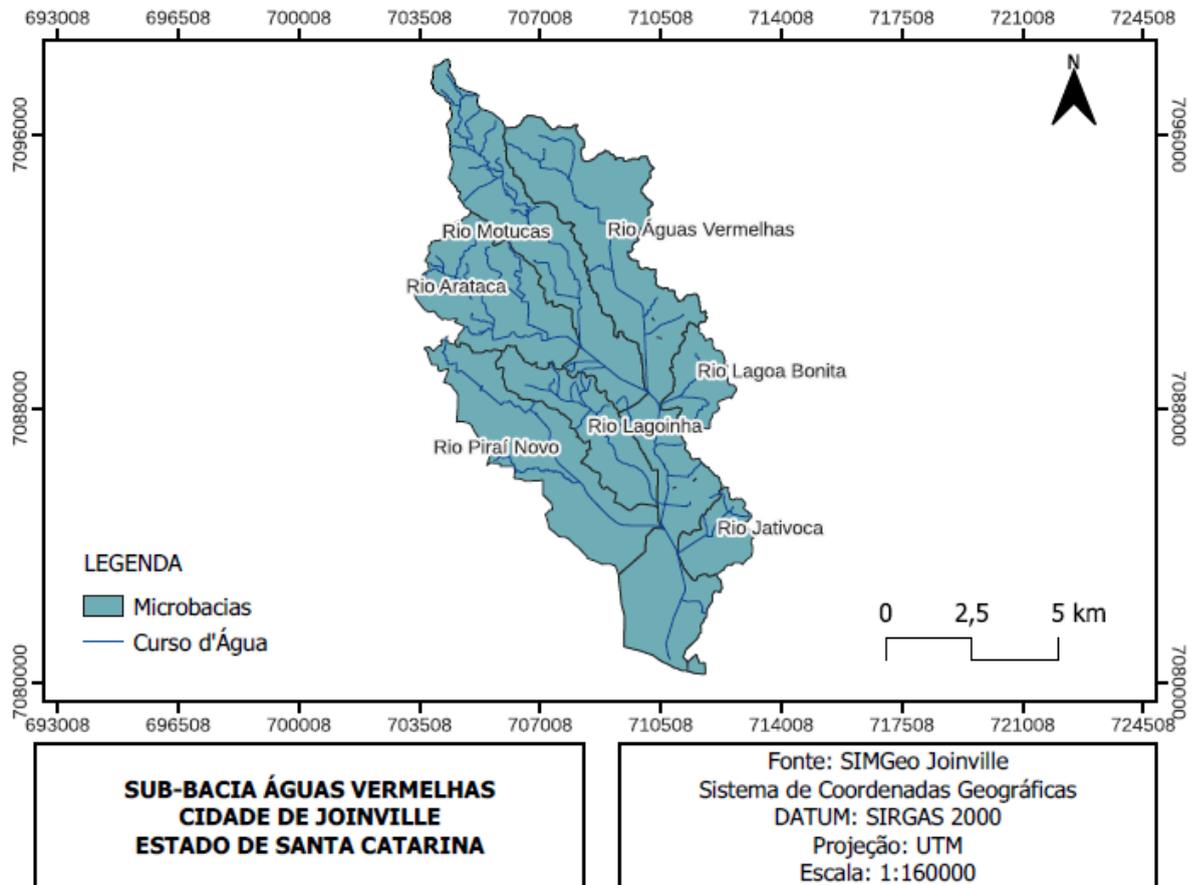


Fonte: Autora (2023).

4.2. RIO ÁGUAS VERMELHAS

A sub-bacia Águas Vermelhas conta com aproximadamente 85,32 km² de área, tendo como microbacias o Rio Motucas, Rio Arataca, Rio Lagoinha, Rio Pirafí Novo, Rio Jativoca, Rio Lagoa Bonita e Rio Águas Vermelhas, como mostrado na Figura 4. Só a microbacia do Rio Águas Vermelhas possui uma área de 30,25 km².

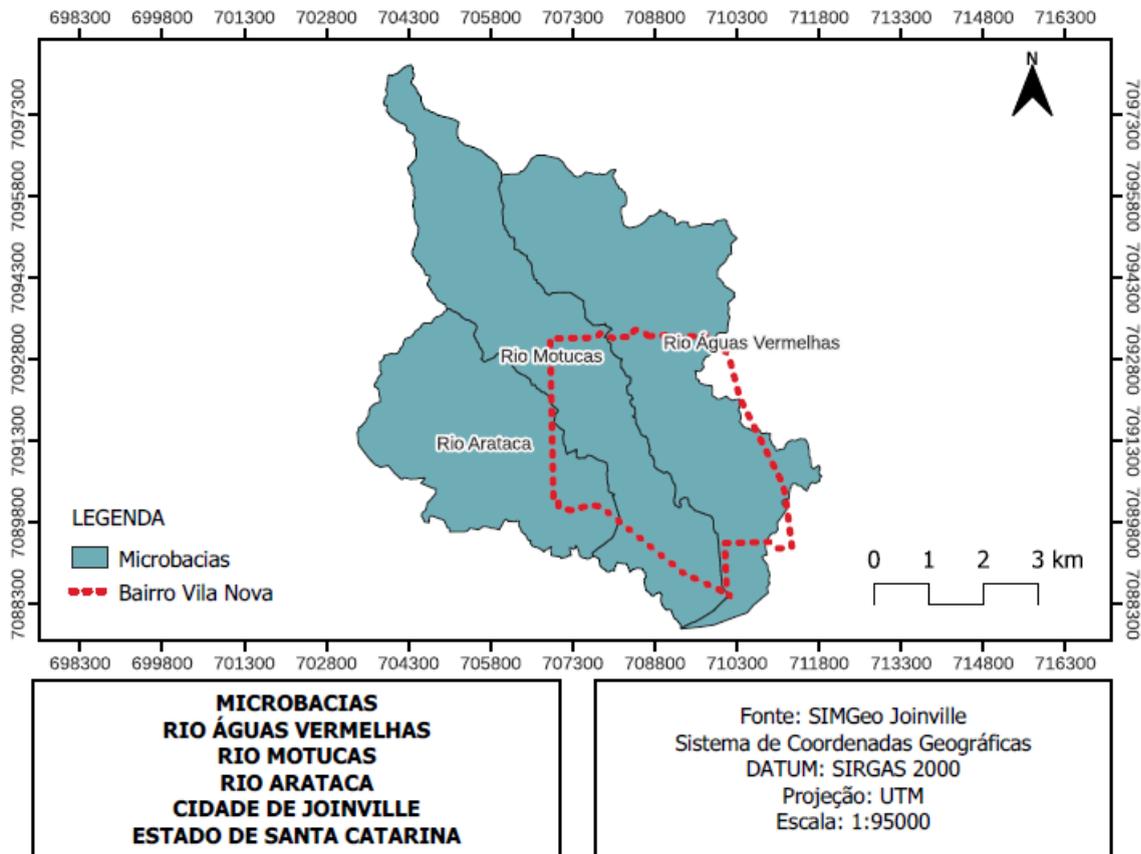
Figura 4 - Sub-bacia Águas Vermelhas



Fonte: Autora (2023).

Como o bairro analisado está localizado no norte da sub-bacia, esse trabalho apresenta a análise de um pedaço da sub-bacia, contendo uma parte do Rio Águas Vermelhas, o Rio Motucas e o Rio Arataka nas simulações, conforme indicado na Figura 5.

Figura 5 - Área em estudo



Fonte: Autora (2023).

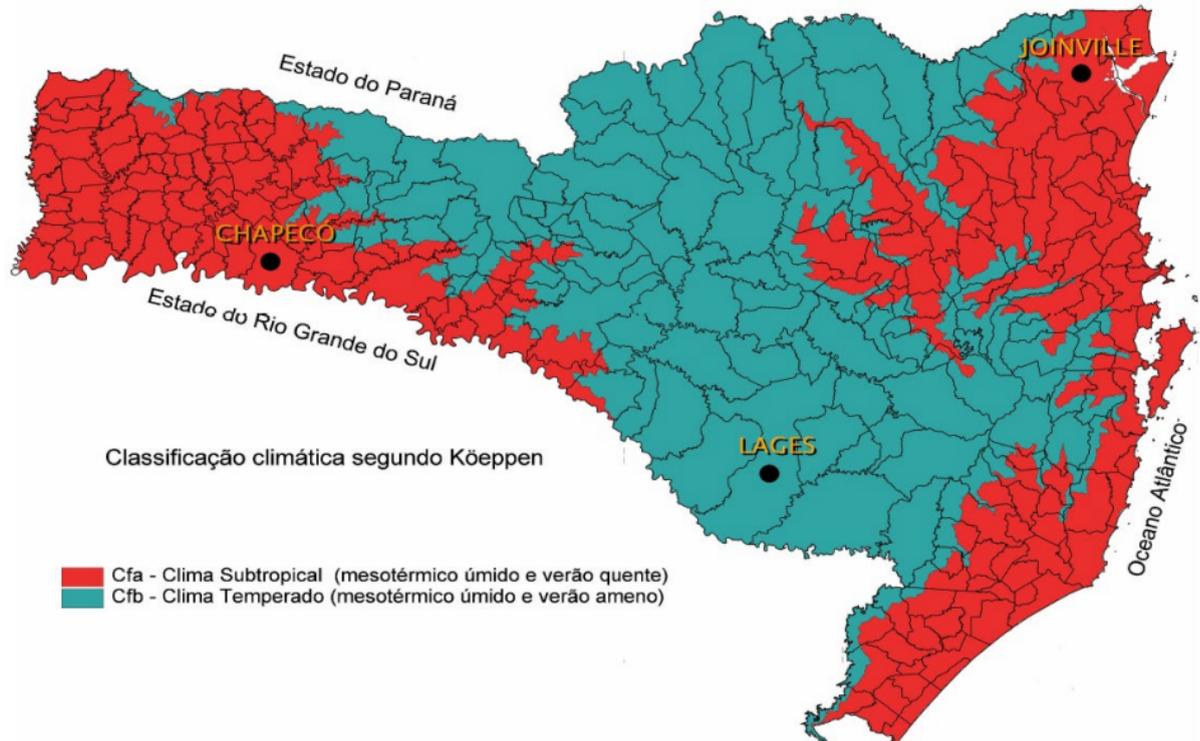
4.3. CLIMA

Um dos métodos de classificação climática mais utilizados é a classificação de Köppen-Geiger, sendo um modelo que utiliza a abordagem empírica. Nesse modelo existem 5 grupos climáticos principais que depois são subdivididos com base nas precipitações, gerando um total de 24 possíveis combinações e tipos climáticos (AYOADE, 1996).

Conforme o apresentado na Figura 6, a área em estudo é classificada predominantemente como Clima Subtropical com Verão Quente (Cfa) pelo método de Köppen-Geiger. Segundo Ayoade (1996), essa classificação é definida como:

- C = Climas temperados Chuvosos e Quentes;
- f = nenhuma estação seca, úmido o ano todo;
- a = verão quente, o mês mais quente tem temperatura média maior do que 22°C.

Figura 6 - Classificação climática de Köppen-Geiger.



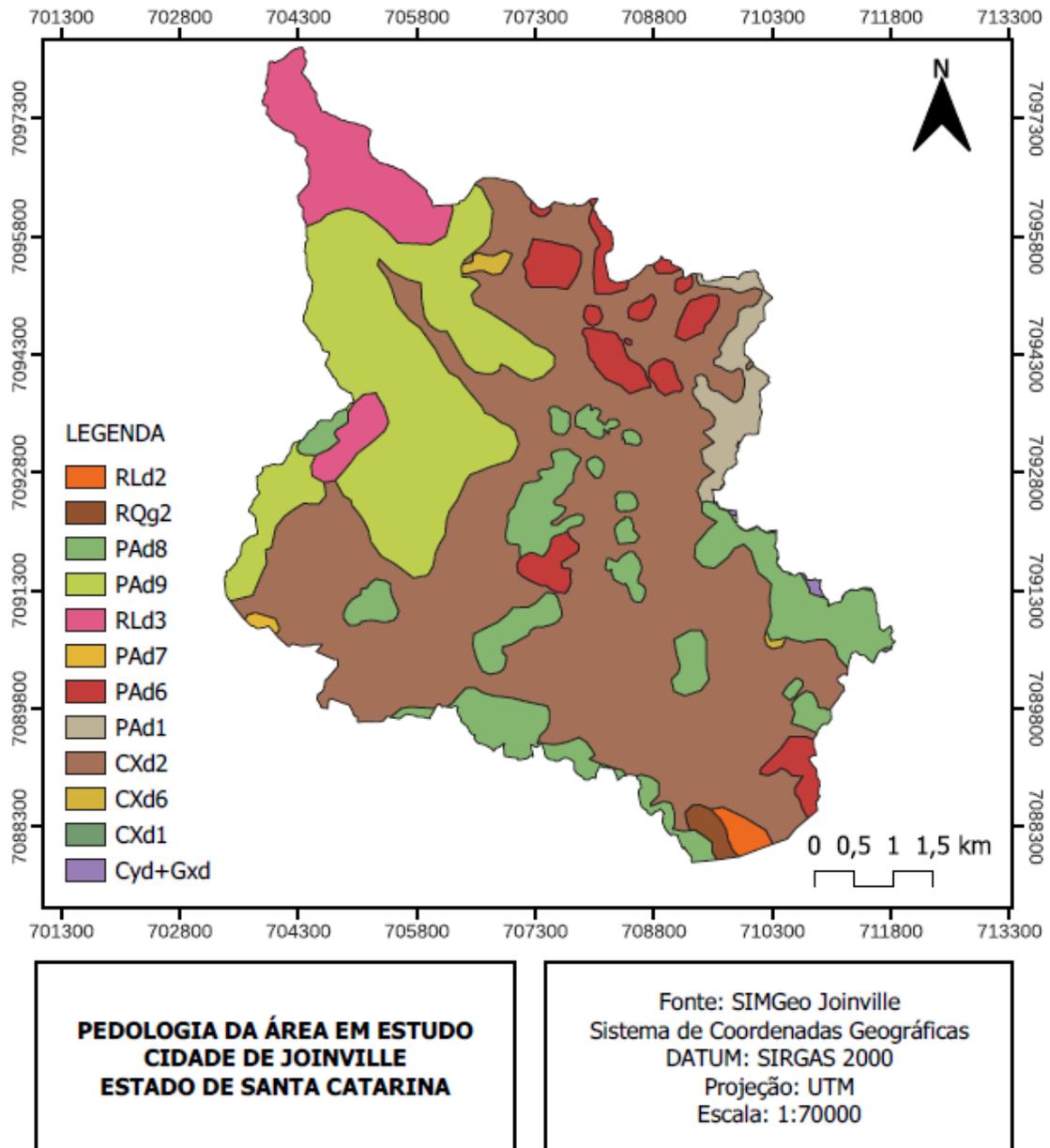
Fonte: Provias Engenharia (2019).

4.4. GEOLOGIA

A cobertura geológica existente de Joinville é importante para a identificação da origem do solo, podendo ser autóctone ou alóctone, o primeiro está relacionado com materiais de rochas matriz e o segundo são os solos formados a partir da sedimentação recente. A diferenciação entre o relevo da cidade também indica a origem do solo, onde as Terras Altas são autóctones de rochas cristalinas e as Terras Baixas são alóctones de materiais sedimentares do Período Quaternário predominantemente (SEPUD, 2017).

O Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville (SIMGeo) disponibiliza dados referentes à pedologia do solo da cidade, com suas diferentes classes existentes e informações. Com base nessas informações foi elaborada a Figura 7, demonstrando os solos encontrados dentro da área de estudo.

Figura 7 - Pedologia da área em estudo



Fonte: Autora (2023).

A área mostrada pela Figura 7 contém doze classes diferentes de solo e as informações referentes a esses solos estão na Tabela 5.

Tabela 5 - Classes dos solos

Nome	Descrição	Teor de Argila (%)	Área (km ²)
CXd1	Cambissolo Háplico Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo ondulado,	46,85	0,01

Nome	Descrição	Teor de Argila (%)	Área (km ²)
	substrato gnaisse.		
CXd2	Cambissolo Háptico Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo plano / suavemente ondulado, substrato sedimentos recentes do período Quaternário.	48,72	24,46
CXd6	Cambissolo Háptico Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo ondulado, substrato gnaisse.	39,60	0,16
CYd+ GXd	Cambissolo Flúvico Distrófico gleissólico, horizonte A proeminente, textura argilosa + Gleissolo Háptico Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo plano, substrato sedimentos do período Quaternário.	16,63	0,05
PAd1	Argissolo Amarelo Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo fortemente ondulado, substrato gnaisse.	62,80	1,14
PAd6	Argissolo Amarelo Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo fortemente ondulado, substrato gnaisse.	47,42	2,15
PAd7	Argissolo Amarelo Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo montanhoso, substrato gnaisse.	38,98	0,06
PAd8	Argissolo Amarelo Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo ondulado, substrato gnaisse.	49,55	5,52
PAd9	Argissolo Amarelo Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa/muito argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo montanhoso, substrato gnaisse.	47,42	8,50
RLd2	Neossolo Litólico Distrófico típico, horizonte A fraco, textura média, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo plano, substrato	16,20	0,23

Nome	Descrição	Teor de Argila (%)	Área (km ²)
	sedimentos arenosos do período Quaternário.		
RLd3	Neossolo Litólico Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo escarpado, substrato gnaisse.	31,00	2,76
RQg2	Neossolo Quartzarênico Hidromórfico típico, horizonte A moderado, textura arenosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo plano, substrato sedimentos arenosos do período Quaternário.	8,63	0,22

Fonte: Adaptado do SIMGeo (2012).

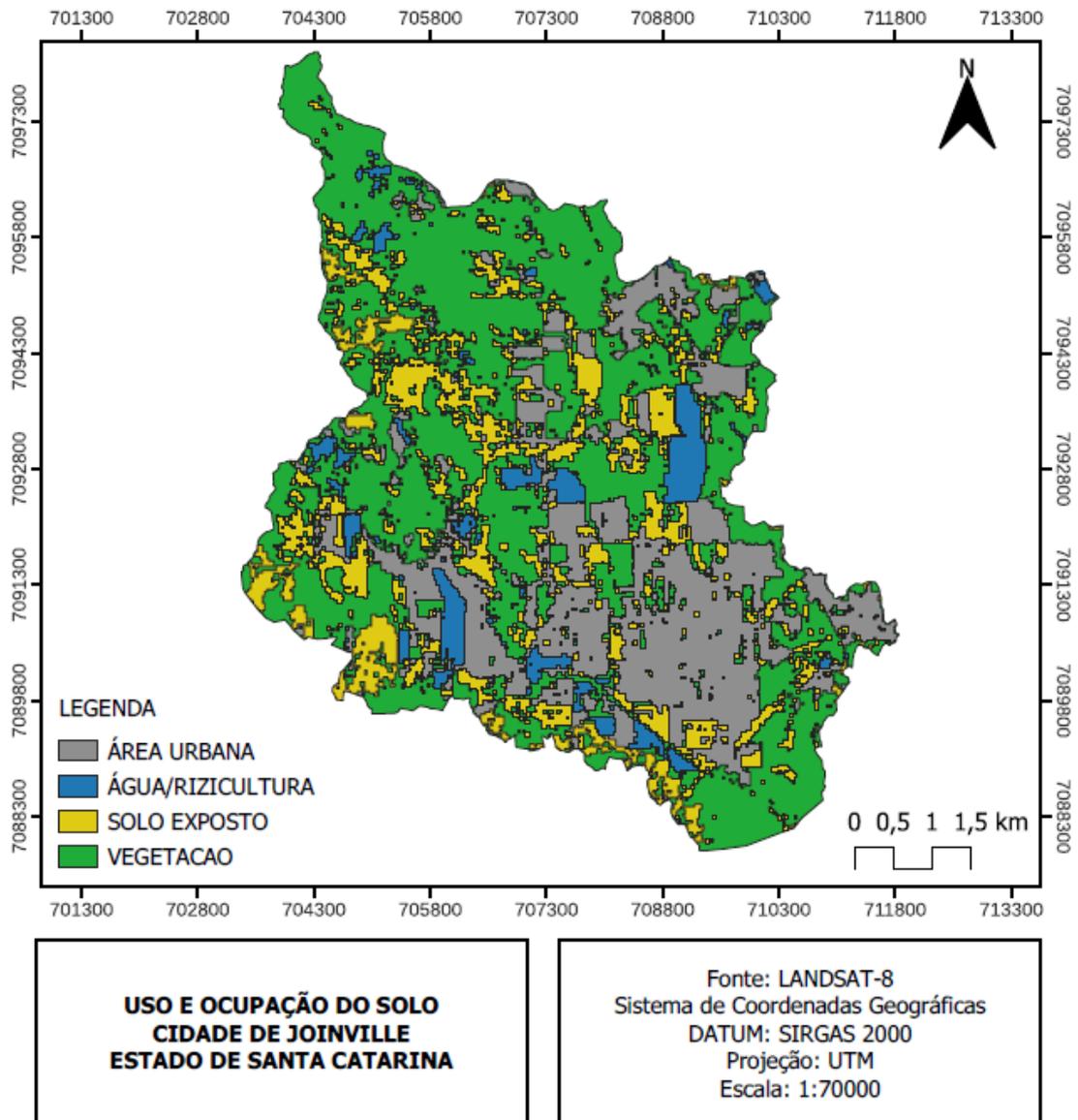
Pode-se observar uma grande presença do solo CXd2 na área de estudo, com 24,46 km² de área ocupada. Analisando a Tabela 5 é possível perceber que os relevos existentes são o plano, ondulado, montanhoso e escarpado, sendo o ondulado o mais predominante.

4.5. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Como é observado na Tabela 5, toda a área em estudo é classificada com o ecossistema de Floresta Ombrófila Densa, esse ecossistema é encontrado em quase 60% da região da cidade de Joinville. Esse tipo de floresta tem como característica uma vegetação densa, onde as copas das árvores estão mais próximas umas das outras, gerando um ambiente mais úmido e com pouca luminosidade (SEPUD, 2017).

Para a determinação do valor de CN no método SCS é necessário determinar não só o solo e tipo de vegetação, mas também a ocupação do solo (Figura 8). Dessa forma, com base nas imagens do satélite Landsat 8 foi classificada a ocupação do solo em quatro categorias: área urbana, água / rizicultura, solo exposto e vegetação.

Figura 8 - Uso e Ocupação do Solo



Fonte: Autora (2023).

Com esse mapeamento foi possível encontrar as informações apresentadas na Tabela 6, levando a conclusão que o uso e ocupação do solo predominante em mais de 50% da área em estudo é o de vegetação.

Tabela 6 - Áreas de Uso e Ocupação

Uso	Área (km ²)	%
Área Urbana	11,55	25,52
Água / Rizicultura	2,44	5,39

Uso	Área (km²)	%
Solo Exposto	8,40	18,56
Vegetação	22,87	50,53
Total	45,26	100

Fonte: Autora (2023).

5. MATERIAIS E DEFINIÇÕES

A coleta de dados foi realizada em sites governamentais, como o site Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC) e o SIMGeo de Joinville, onde são disponibilizados os dados de monitoramento pluviométricos e fluviométricos. Com o banco de dados prontos é possível analisar cenários e com o auxílio de programas computacionais simular situações nas microbacias do Águas Vermelhas.

5.1. TOPOGRAFIA DA REGIÃO

A topografia da região é muito importante para as simulações das manchas de inundação, de modo que quanto mais confiáveis forem os dados fornecidos, mais fiéis à realidade a simulação pode ser. Ou seja, é necessário que as condições que serão colocadas nos testes estejam condizentes com as condições existentes em campo.

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é um mapa que contém as informações de altimetria da superfície e são gerados pelo processamento de imagens realizadas por mapeamento aerofotogramétrico. O MDT utilizado foi disponibilizado pelo SIMGeo da Joinville e teve as informações retiradas com o uso do software QGIS (Tabela 7).

Tabela 7 - Características topográficas dos rios

Microbacia	Perímetro (km)	Área (km²)	Comprimento principal do rio (km)	Declividade média principal do rio (m/m)
Rio Águas Vermelhas	31,33	17,40	10,17	0,003
Rio Arataca	18,30	12,08	7,79	0,027
Rio Motucas	31,30	15,78	13,77	0,053

Fonte: Autora (2023).

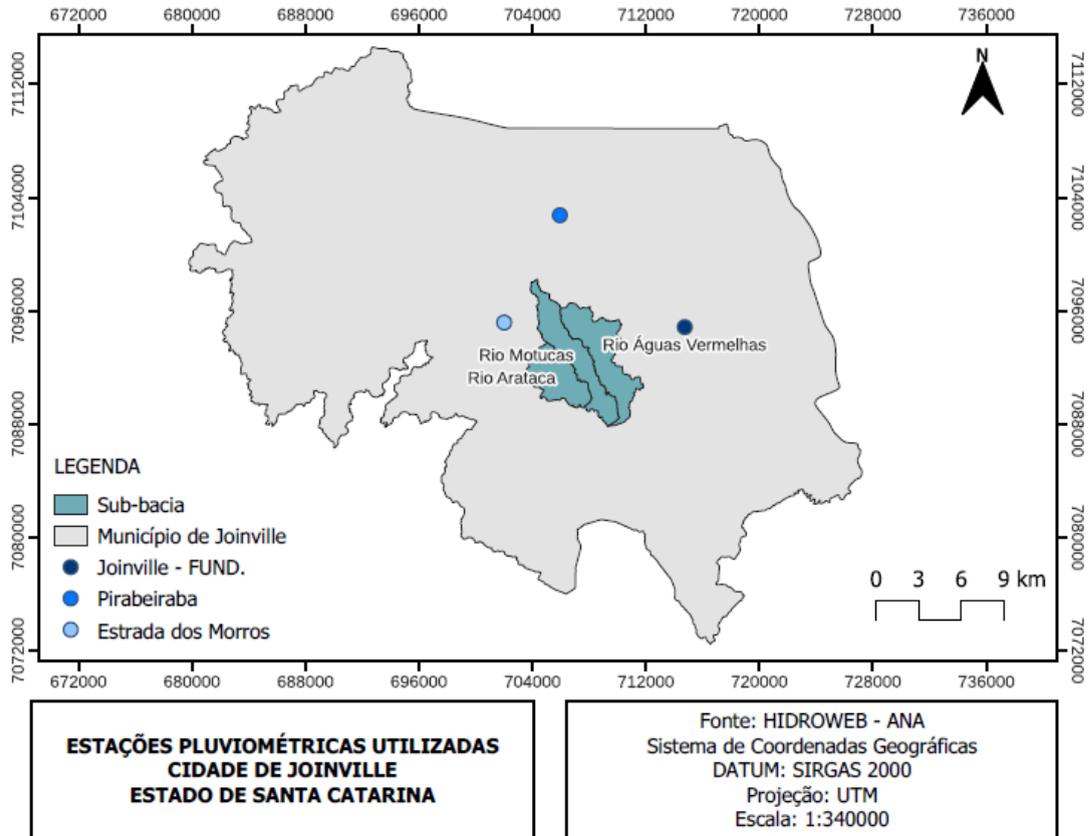
5.2. DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A Agência Nacional das Águas (ANA) criou o portal HidroWeb para ser uma ferramenta do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) oferecendo as informações pluviométricas e fluviométricas como vazões, chuvas, climatologia e qualidade da água, obtidas pela coleta de dados das estações. A Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), coordenada pela ANA, possui (na data de 03/04/2018) 4.641 pontos de monitoramento distribuídos pelo país (ANA, 2018).

A ANA é a responsável pela normatização, fiscalização e publicação dos dados coletados, porém as estações são operadas por entidades parceiras ou contratadas pela Agência (ANA, 2018). Em Joinville as estações podem ser operadas pela Secretaria de Proteção Civil e Segurança Pública / Defesa Civil, Empresa de Pesquisa Agrícola de Santa Catarina (EPAGRI-SC), Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e outros.

Foram escolhidas 3 estações diferentes para a utilização no software HEC-HMS, sendo todas operadas pela EPAGRI-SC. A estação Pirabeiraba localizada no distrito de Pirabeiraba, a estação Joinville - FUND., localizada na Zona Industrial e a estação Estrada dos Morros localizada na área rural de Joinville, estão apresentadas na Figura 9.

Figura 9 - Estações pluviométricas utilizadas



Fonte: Autora (2023).

Não foram encontradas estações dentro do perímetro da sub-bacia, desse modo foram utilizadas as estações que se encontravam mais próximas. Para cada microbacia foi usada uma estação diferente, conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Características das estações e microbacia

Estação	Operadora	Código	Microbacia
Joinville - FUND.	EPAGRI-SC	2648035	Rio Águas Vermelhas
Pirabeiraba	EPAGRI-SC	2648033	Rio Motucas
Estrada dos Morros	EPAGRI-SC	2648034	Rio Arataka

Fonte: Autora (2023).

5.3. MODELAGEM HEC-HMS

O software do HEC-HMS, versão 4.9, será utilizado para a obtenção dos hidrogramas de projeto, irá proporcionar as informações das vazões de pico para

cada período de retorno e que então será utilizado no software HEC-RAS para as simulações das manchas de inundação. Os dados de entrada que são obtidos a seguir são: o número de curva (CN), o tempo de concentração e o fluxo base.

5.3.1. Tempo de Concentração

Segundo o DNIT (2005), o tempo de concentração pode ser definido como o tempo de percurso que a água demora para ir do ponto mais distante da bacia até o curso principal, ou seja, ele é dependente do comprimento do curso d'água e da declividade. Em um hidrograma, ele é definido como o intervalo de tempo entre o início da chuva e a vazão de pico.

Para a determinação do valor de entrada no software do HEC-HMS foi utilizado a fórmula do DNOS (Departamento Nacional de Obras e Saneamento) mostrada na Equação 5. Essa fórmula usa apenas duas variáveis e apresenta um erro médio de apenas 8% em áreas rurais (SILVEIRA, 2005).

$$T_c = \frac{10}{K} * \frac{A^{0,3} * L^{0,2}}{I^{0,4}} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

Tc = tempo de concentração (min);

A = área da bacia (ha);

L = comprimento do curso d'água (m);

I = declividade (%);

K = coeficiente dependente das características da bacia, determinado pela Tabela 9.

Tabela 9 - Coeficiente K (DNOS)

Características do terreno da bacia	K
Terreno areno-argiloso, coberto de vegetação intensa, elevada absorção	2
Terreno comum, coberto de vegetação, absorção apreciável	3

Características do terreno da bacia	K
Terreno argiloso, coberto de vegetação, absorção média	4
Terreno argiloso de vegetação média, pouca absorção	4,5
Terreno com rocha, escassa vegetação, baixa absorção	5
Terreno rochoso, vegetação rala, reduzida absorção	5,5

Fonte: Adaptado do DNIT (2005).

A partir desse método foi encontrado um tempo de concentração para cada microbacia, esses valores estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores do tempo de concentração

Microbacia	K	Área (ha)	Comprimento (m)	Declividade (%)	Tc (min)	Tc (h)
Rio Águas Vermelhas	3	1.740	10.170	0,3	320,37	5,34
Rio Motucas	4,5	1.578	13.770	5,3	69,87	1,16
Rio Arataca	4	1.208	7.790	2,7	84,78	1,41

Fonte: Autora (2023).

5.3.2. Número de Curva - SCS

Para transformar os valores de precipitação em vazão, o software HEC-HMS usa o método do Número de Curva do SCS, que leva em consideração os diferentes tipos de solo e sua ocupação. Utilizando as figuras de já apresentadas de pedologia e uso e ocupação do solo foi possível determinar os valores de CN para cada uma das três microbacias em estudo, apresentadas nas Tabelas 11, 12 e 13.

Tabela 11 - Determinação de CN no rio Águas Vermelhas

Solo	Área (km ²)	%	Grupo
CXd1	0,01	0,06	D
CXd2	10,40	59,77	D
CXd6	0,16	0,92	D
CYd+GXd	0,05	0,29	D
PAd1	1,14	6,55	C
PAd6	1,82	10,46	C
PAd8	2,34	13,45	C
PAd9	1,21	6,95	C
RLd2	0,13	0,75	D
RLd3	0,10	0,57	D
RQg2	0,04	0,23	B
Grupo dominante = D (62,36%)			
Uso e Ocupação	Área (km ²)	%	CN
Área Urbana	7,35	42,24	92
Água/Rizicultura	0,74	4,25	98
Solo Exposto	2,11	12,13	89
Vegetação	7,20	41,38	77
CN = 85,68			

Fonte: Autora (2023).

Tabela 12 - Determinação de CN no rio Motucas

Solo	Área (km ²)	%	Grupo
CXd2	6,66	42,20	D
PAd6	0,33	2,09	C
PAd8	1,50	9,51	C
PAd9	4,79	30,35	C

Solo	Área (km ²)	%	Grupo
RLd2	0,10	0,64	D
RLd3	2,22	14,07	D
RQg2	0,18	1,14	B
Grupo dominante = D (56,91%)			
Uso e Ocupação	Área (km ²)	%	CN
Área Urbana	4,53	28,71	92
Água/Rizicultura	0,94	5,96	98
Solo Exposto	2,39	15,14	89
Vegetação	7,92	50,19	77
CN = 84,37			

Fonte: Autora (2023).

Tabela 13 - Determinação de CN no rio Arataca

Solo	Área (km ²)	%	Grupo
CXd2	7,39	61,18	D
PAd6	0,01	0,08	C
PAd7	0,06	0,50	C
PAd8	1,68	13,91	C
PAd9	2,50	20,70	C
RLd3	0,44	3,63	D
Grupo dominante = D (64,81%)			
Uso e Ocupação	Área (km ²)	%	CN
Área Urbana	3,68	30,46	92
Água/Rizicultura	1,07	8,86	98
Solo Exposto	1,95	16,14	89
Vegetação	5,38	44,54	77
CN = 85,37			

Fonte: Autora (2023).

5.4. CHUVA DE PROJETO

Para realizar as simulações no software do HEC-HMS e obter os hidrogramas de projeto é necessário definir as chuvas de projeto, ou hietogramas de projeto. As chuvas de projeto representam a distribuição da precipitação durante o tempo de duração, conhecer essa distribuição da precipitação condiciona e gera o hidrograma de escoamento e os hietogramas são a representação das chuvas de projeto em forma de gráfico, demonstrando sua intensidade em relação ao tempo (BEMFICA; GOLDENFUM; SILVEIRA, 2000).

Existem diversos métodos para se obter os valores de chuva de projeto e nesse trabalho foi escolhido o método dos blocos alternados. É um método simples onde se calcula o hietograma a ser calculado pelo uso de uma equação IDF (Intensidade, Duração e Frequência) de modo a centralizar a precipitação de pico no período de duração (TOMAZ, 2010).

Intensidade, duração e frequência são elementos que determinam características das chuvas, e segundo Garcez e Alvarez (1988), podem ser definidos como:

- Duração (t): intervalo de tempo decorrido entre o instante em que se iniciou a precipitação e seu término, medido usualmente em min;
- Intensidade (i): velocidade de precipitação, sendo a divisão da altura pluviométrica pelo tempo de duração, geralmente em mm/min;
- Frequência: número de ocorrências de uma determinada precipitação no decorrer de um intervalo de tempo fixo. Na engenharia, a frequência provável é expressa em termos de tempo de retorno (T), medido em anos.

No estudo foi utilizada a equação de IDF fornecida pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) no Atlas Pluviométrico do Brasil (2014) para o município de Joinville/SC. No atlas foram apresentadas duas possíveis equações e foi escolhida a segunda (Equação 6), visto que os parâmetros da equação são um tempo de duração entre 5 min e 24 horas e tempos de retorno até 100 anos.

$$i = \frac{1218,2 * T^{0,1997}}{(t + 33,7)^{0,7948}} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

i = intensidade de chuva (mm/h);

T = tempo de retorno (anos);

t = tempo de duração da precipitação (min).

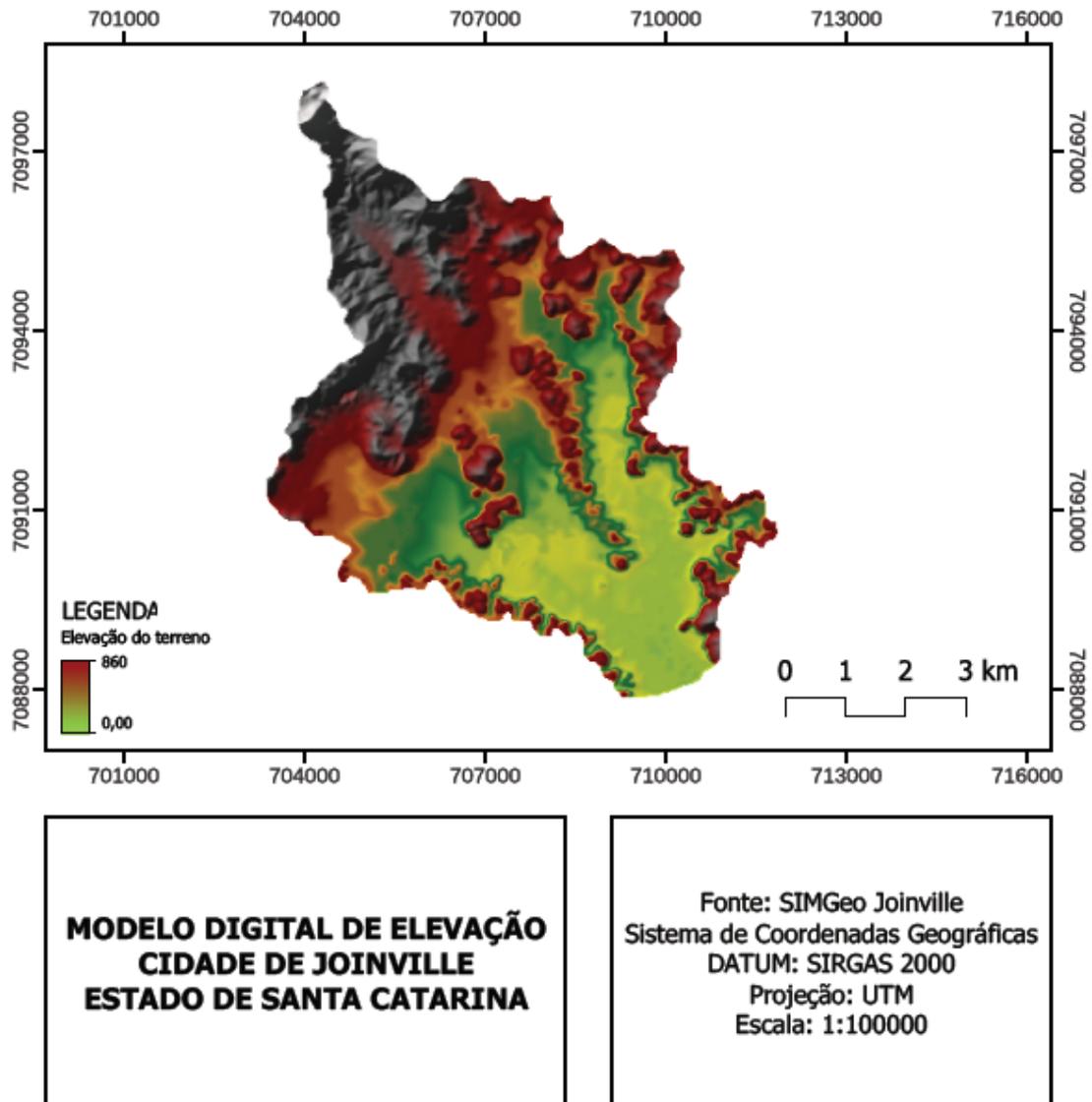
Com os valores encontrados pela Equação 6, foi possível gerar os hietogramas de projeto para os tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos para as três microbacias que estão inseridas na área em estudo. Os hietogramas estão apresentados nos Apêndices A até C.

Os hietogramas foram inseridos no software do HEC-HMS para obter as vazões de pico dos hidrogramas de projeto para cada tempo de retorno já mencionado acima. Os hidrogramas estão presentes nos Apêndices D até F.

5.5. SIMULAÇÃO HEC-RAS

O software HEC-RAS, versão 6.2, permite a criação de uma modelagem que consegue distribuir a vazão proveniente do hidrograma de projeto em um terreno. O modelo digital de terreno (Figura 10) foi inserido no software para fornecer as características topográficas do local em estudo, onde então foi simulado a mancha de inundação com as vazões inseridas.

Figura 10 - Modelo de elevação de terreno



Fonte: Autora (2023).

Dentro do programa foi escolhido o método 2D Flood Modelling, que é o modelo de inundação bidimensional (2D) utilizado em toda a área do bairro Vila Nova. Após a inserção do MDT foi definido os rios e as condições de contorno da simulação, também foram inseridos os dados da vazão para os tempos de retorno selecionados.

6. RESULTADOS E ANÁLISES

A simulação no HEC-HMS simulou vazões de pico para cada uma das microbacias utilizadas, sendo essas a do rio Arataca, rio Motucas e a montante do rio Águas Vermelhas (Tabela 14). Essas vazões foram inseridas como dado de entrada no HEC-RAS para o uso no modelo 2D de inundação, de modo a mapear as áreas inundáveis.

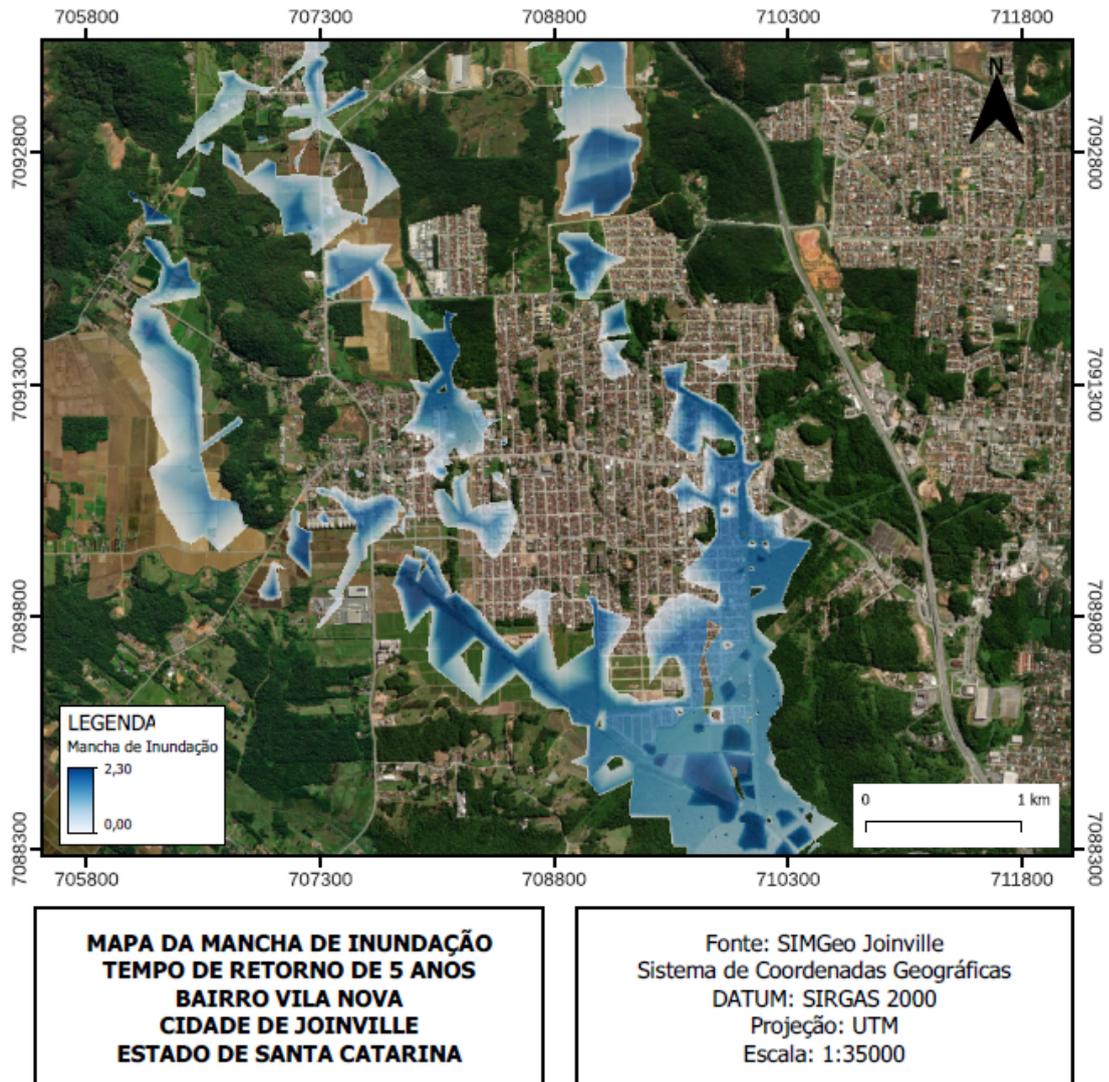
Tabela 14 - Vazões de pico (m³/s)

Microbacia	Tempo de Retorno				
	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Rio Arataca	56,5	71,6	96,3	119,0	145,8
Rio Motucas	71,9	99,5	126,6	158,1	195,3
Rio Águas Vermelhas	48,8	59,8	77,4	93,4	111,9

Fonte: Autora (2023).

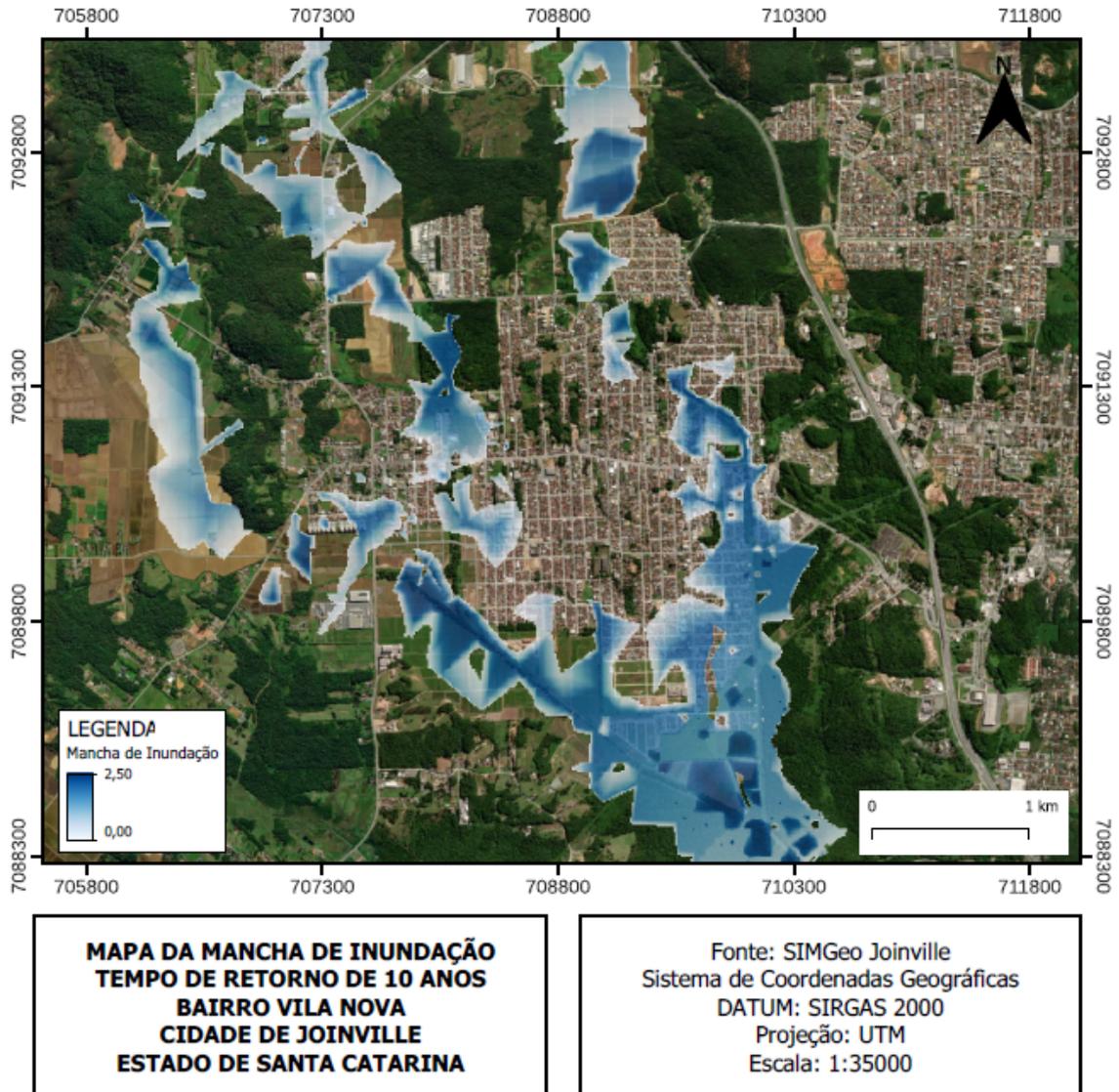
As Figuras de 11 a 15 representam as manchas de inundação para tempo de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Figura 11 - Mapa da mancha de inundação - TR de 5 anos



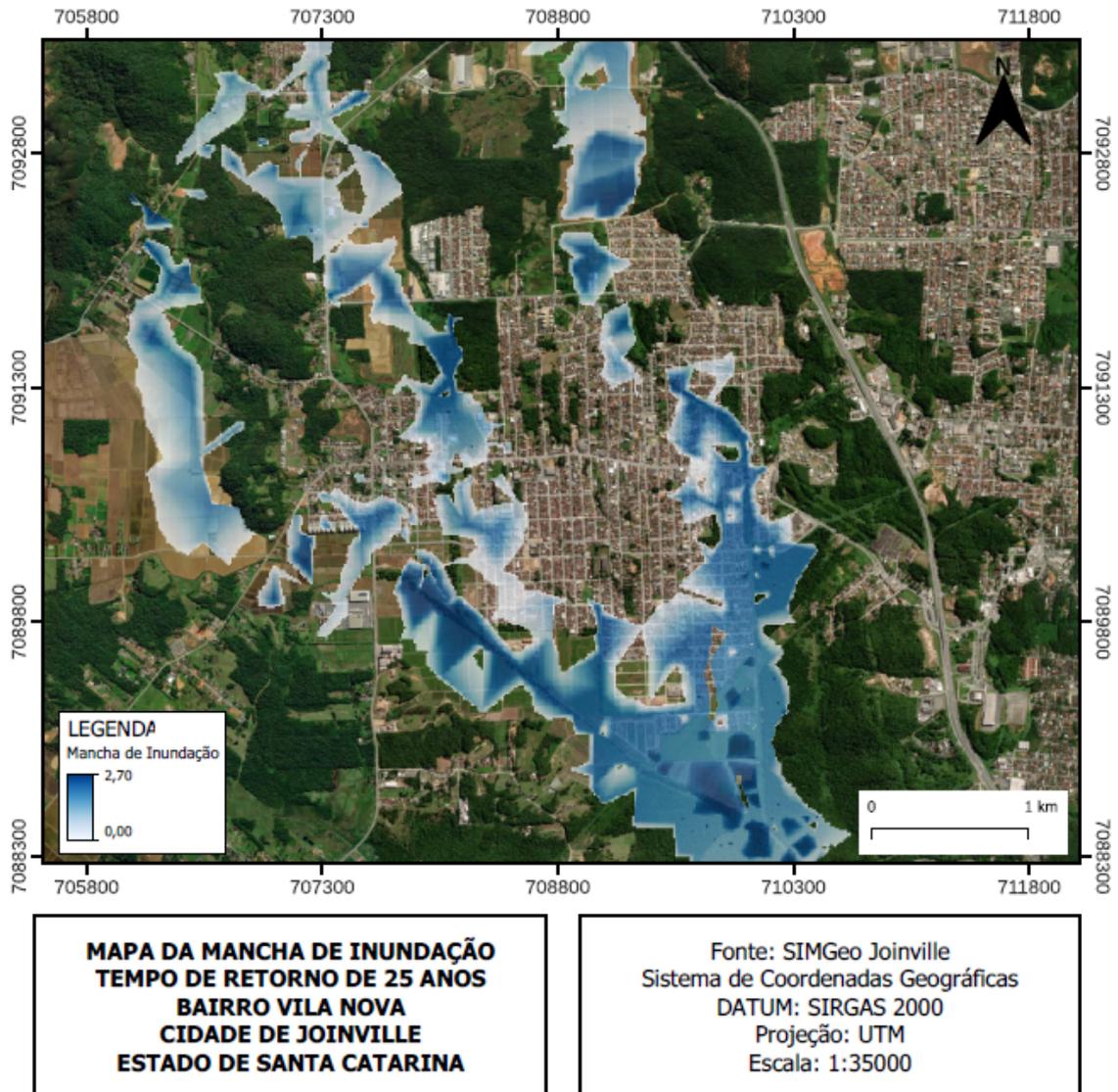
Fonte: Autora (2023).

Figura 12 - Mapa da mancha de inundação - TR de 10 anos



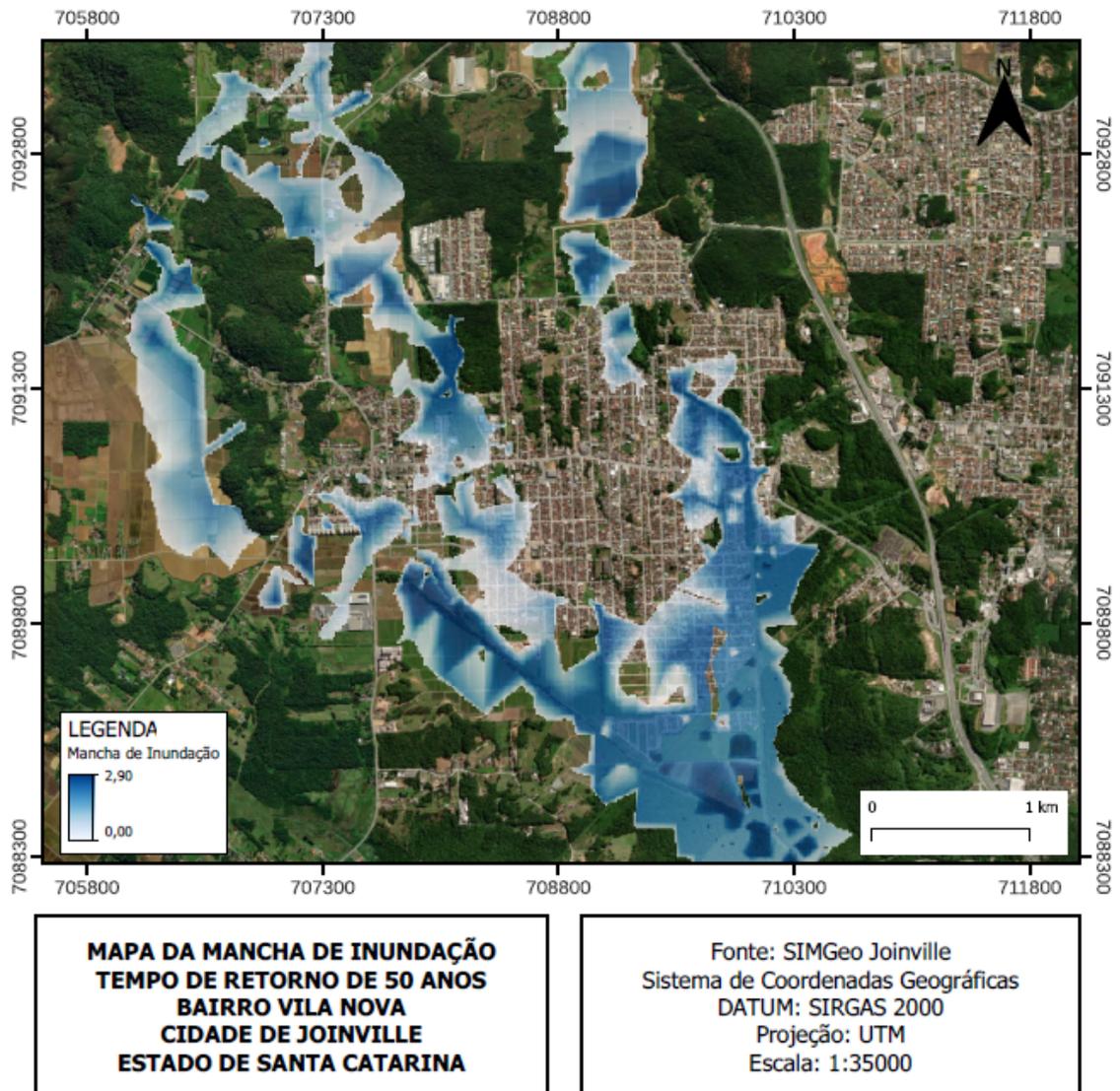
Fonte: Autora (2023).

Figura 13 - Mapa da mancha de inundação - TR de 25 anos



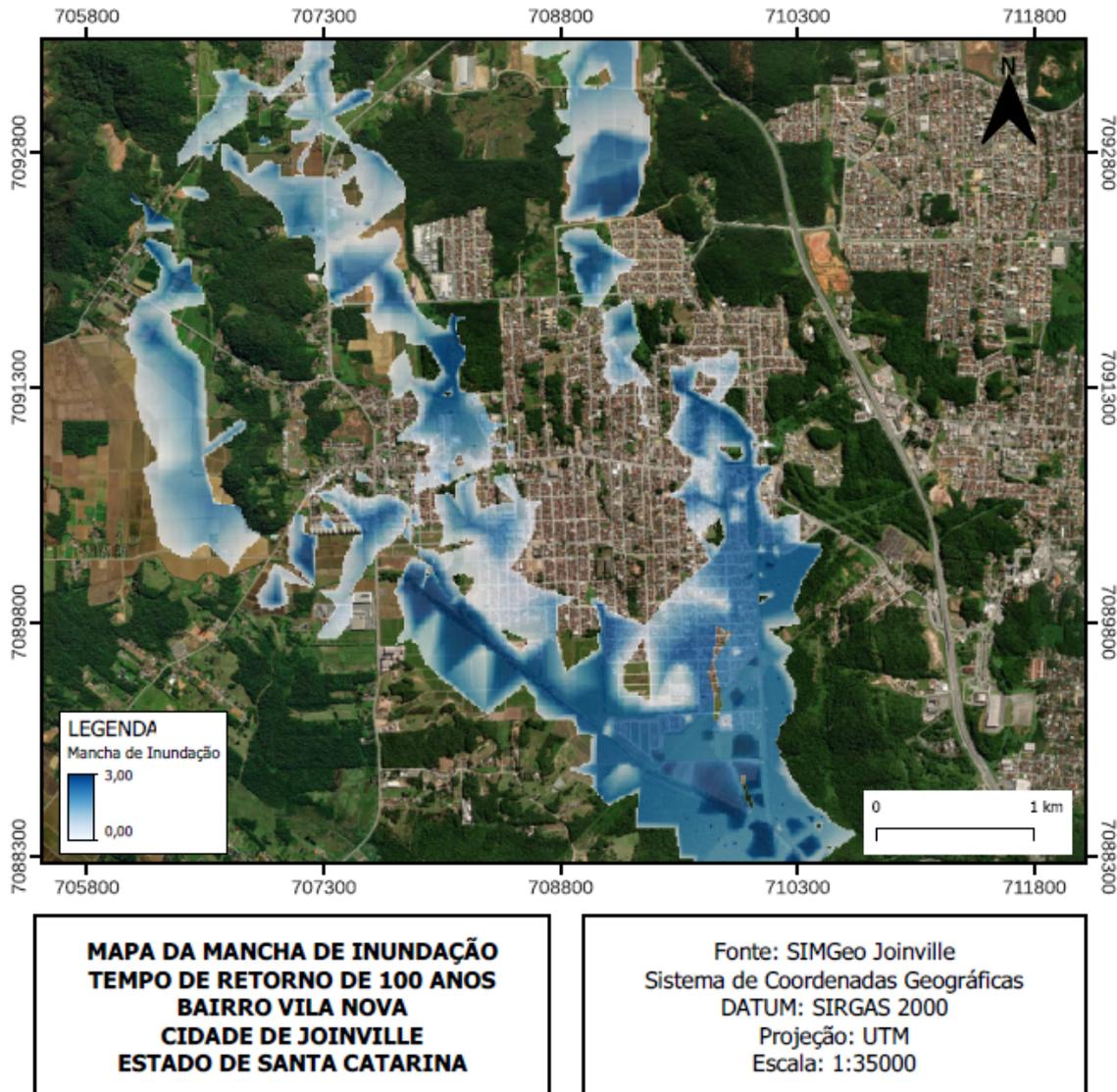
Fonte: Autora (2023).

Figura 14 - Mapa da mancha de inundação - TR de 50 anos



Fonte: Autora (2023).

Figura 15 - Mapa da mancha de inundação - TR de 100 anos



Fonte: Autora (2023).

Pelos mapas simulados das manchas de inundação é possível perceber que as áreas mais afetadas são as que estão nas margens dos rios, já a área mais crítica está nos pontos de encontro dos rios. Além do encontro dos rios Motucas e Arataca com o rio Águas Vermelhas, também ocorre que a área mais ao sul do bairro Vila Nova é topograficamente mais plano.

Tabela 15 - Área urbana inundada

Tempo de Retorno	% de Área Urbana Inundada
5 anos	21,04%

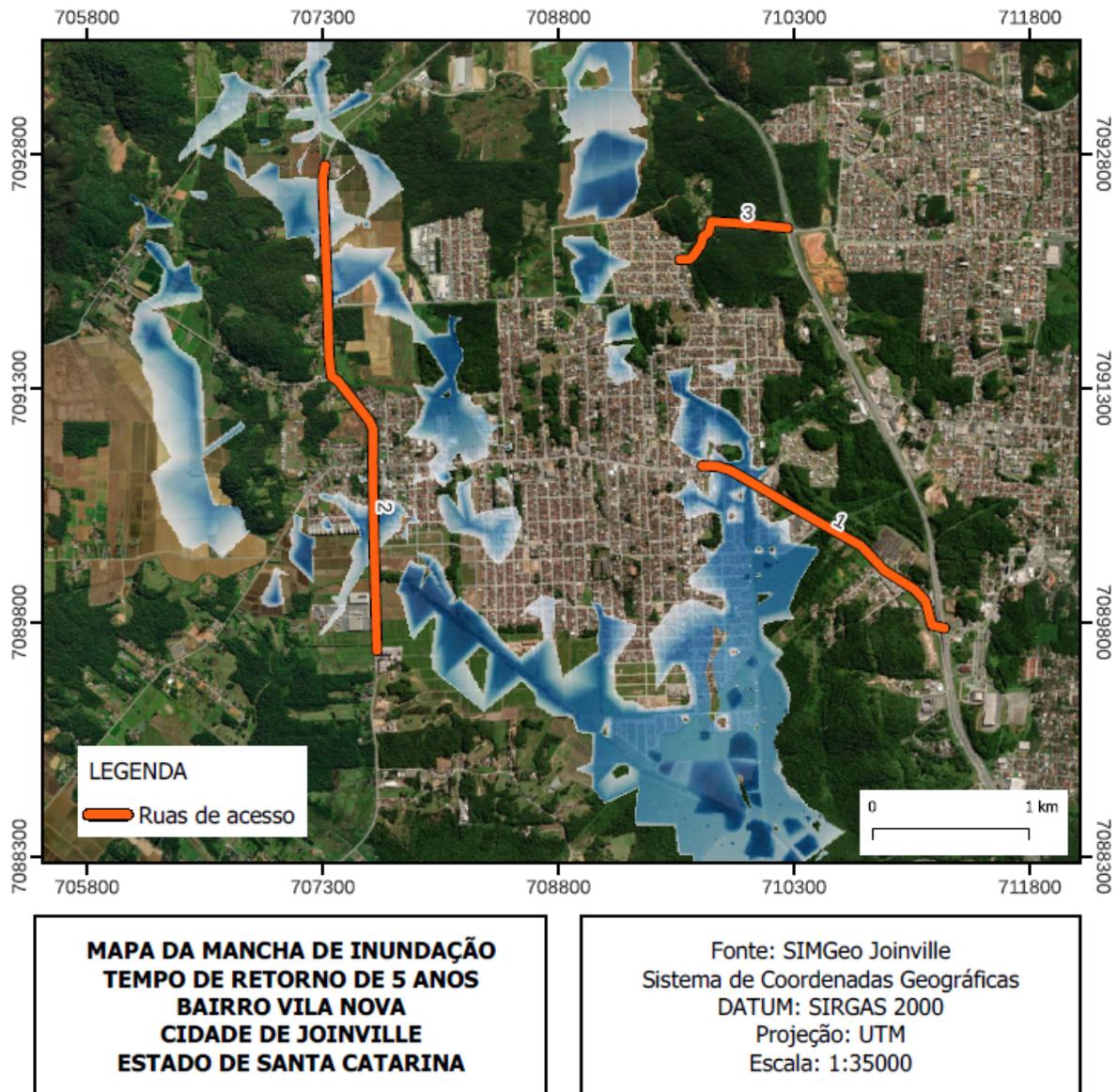
Tempo de Retorno	% de Área Urbana Inundada
10 anos	23,03%
25 anos	25,80%
50 anos	27,88%
100 anos	29,70%

Fonte: Autora (2023).

A Tabela 15 informa a porcentagem de área urbana que fica inundada em cada tempo de retorno, onde percebe-se que com o aumento do tempo de retorno a área alagada também aumenta. Na região mais ao sul do bairro se tem uma área mais plana fazendo com que a água seja mais distribuída causando uma maior área alagada, outro fator que influencia nessa região é o encontro dos rios.

Já sobre a área mais central do bairro, que é a mais urbanizada, não é tão afetada pelas cheias. Um fator importante a ser mencionado é que nas simulações dos tempos de retorno, os locais de acesso e saída do bairro acabam sendo afetados pelas inundações, afetando a mobilidade e os serviços essenciais, conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Acessos ao bairro Vila Nova



Fonte: Autora (2023).

A rua de acesso número 1 representa a rua XV de novembro, que liga o bairro Vila Nova com a rodovia BR-101 e o bairro Glória, já a número 2 é a rodovia Rodolfo Jahn, popularmente conhecida como rodovia do Arroz e a rua de acesso 3 é a rua dos Suíços, que liga o bairro Vila Nova ao bairro Costa e Silva. Com as condições de inundação do menor tempo de retorno, os dois principais acessos e saídas do bairro ficam comprometidos, já o último acesso pode ficar inviável para uma parte da população do bairro.

A Redação ND fez uma reportagem em agosto de 2022 sobre a enchente que aconteceu no bairro do Vila Nova, onde menciona que uma das ruas que foi afetada pela inundação foi a Rua Bento Torquato da Rocha (Figura 17). Ao observar

o mapa de inundação com a indicação da localização da rua é possível observar que ela é afetada e em alguns pedaços está dentro da mancha, como mostrado na Figura 18.

Figura 17 - Registro de enchente na rua Bento Torquato da Rocha em 2022



Fonte: Redação ND (2022).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia do rio Piraí, onde está situada a sub-bacia do rio Águas Vermelhas, é uma das principais bacias de Joinville. É uma bacia grande e de alta importância para a região, visto que possui um volume alto de população na mesma e ainda contribui para o abastecimento público de água potável.

Apesar da importância da bacia é uma região com poucas informações hidrológicas, de modo que foi necessário buscar alternativas em metodologias a serem aplicadas de uso teórico. Com os dados obtidos e os softwares utilizados foi possível estimar as vazões de projeto para gerar as manchas de inundação.

A prefeitura de Joinville tem disponibilizado em seu site mapas de suscetibilidade de inundação referente a bacia do Rio Cachoeira elaborados em 2011. Este trabalho tem sua relevância por trazer o mapeamento das manchas de inundação de mais uma bacia hidrográfica da cidade, para tempos de retorno diferentes gerando mais dados.

Sugere-se como melhoria para este trabalho o mapeamento inteiro da sub-bacia do rio Águas Vermelhas, visto que seria interessante observar o comportamento da mancha em bairros diferentes presentes dentro da sub-bacia. Ou o mapeamento de outra sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Piraí, gerando mais dados para a região.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Hidroweb**. 2005. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 20 mai. 2023.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

BEMFICA, D. da C.; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. da. Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 4, p. 5–16, 2000.

BENATTI, J. H. **Várzea e as populações tradicionais**: a tentativa de implementar políticas públicas em uma região ecologicamente instável. In: ALVES, Fábio (org.). A função socioambiental do patrimônio da União na Amazônia. Brasília: IPEA, 2016. cap. 1, p. 17-29. Disponível em: <http://livroaberto.ufpa.br/jspui/handle/prefix/343>. Acesso em: 15 abr. 2023.

Brasil é o país das Américas mais afetado por desastres. **BBC BRASIL**. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/noticias/story/2003/07/printable/030717_cruzvermla. Acesso em: 23 jul. 2022.

CABRAL, L. N.; CÂNDIDO, G. A. Urbanização, vulnerabilidade, resiliência: relações conceituais e compreensões de causa e efeito. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, n. e20180063, p. 1-13, 2019.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABRH, 2013.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CRPM. **Atlas Pluviométrico do Brasil**: Equações Intensidade-Duração-Frequência. Porto Alegre: CRPM, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf. Acesso em: 7 abr. 2023.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 1988.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 1991.

GONTIJO, N. T. **Avaliação das relações de frequência entre precipitações e enchentes raras por meio de séries sintéticas e simulação hidrológica**. 2007. 156 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

JATOBÁ, S. U. S. Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, n. 5, p. 141-148, jun. 2011.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais**: conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 2006.

LIMA, L. S. de. **Implementação de um modelo hidrológico distribuído na plataforma de modelagem dinâmica EGO**. 2011.95 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. Belo Horizonte, 2011.

MAIA, B. G. de O. et al. Bacias hidrográficas da região de Joinville. 2014. Disponível em:
https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/Comite%20Rio%20Cubatao%20Norte/Publicacoes/bacias-hidrograficas-da-regiao-de-joinville.pdf. Acesso em: 10 fev. 2023.

Maior cidade de SC decreta emergência por causa das chuvas. **G1 SC**. 2022. Disponível em:
<https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2022/11/28/maior-cidade-de-sc-decreta-emergencia-por-cao-das-chuvas.ghtml>. Acesso em: 14 jun. 2023.

MALHEIROS, C. **Mapeamento das Áreas de Inundação na sub-bacia do rio Águas Vermelhas na cidade de Joinville**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

MICHELS, B. **Caracterização de níveis hidrométricos de alerta e emergência de inundações dentro do contexto da política nacional de proteção da Defesa Civil - Aplicação da bacia hidrográfica do rio Águas Vermelhas, Joinville, SC**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2015.

NUNES, L. H. **Urbanização e desastres naturais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

PADILHA, V. L. **Modelagem hidrológica orientada por eventos de inundação em Lages/SC**. 2017.170 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

PORTELA, M. M. **Modelação hidrológica**. 2006. Disponível em:
http://www.civil.ist.utl.pt/mps/Mod_hid/Teoria/teoria%202007%20para%20jpg.pdf. Acesso em: 10 mar. 2023.

Fotos: Destruição e drama de moradores do Vila Nova, em Joinville. **REDAÇÃO ND**. 2022. Disponível em:
<https://ndmais.com.br/tempo/fotos-destruicao-e-drama-de-moradores-do-vila-nova-e-m-joinville/>. Acesso em: 05 jun. 2023.

SARTORI, A. **Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do**

Solo dos Estados Unidos. 2004. 161 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SCHAFER, A. G.; NOGUEIRA, R. E.; SLUTER, C. R. Desenvolvimento de um banco de dados geográficos para a estimativa do potencial de retenção em áreas de drenagem. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Curitiba, 30 abr a 05 mai. **Anais...** p. 8709–8716, 2011.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Joinville cidade em dados 2017**. p. 1–73, 2017. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2016/01/Joinville-Cidade-em-Dados-2017.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2023.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Joinville bairro a bairro 2017**. 2017, 188 p. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2017/01/Joinville-Bairro-a-Bairro-2017.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2023.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, Porto Alegre, RS, v. 10, n. 1, p. 5-23, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305304627_Desempenho_de_Formulas_de_Tempo_de_Concentracao_em_Bacias_Urbanas_e_Rurais. Acesso em: 26 mai. 2023.

TOMAZ, P. **Hietograma pelo método dos blocos alternados**. 2010. Disponível em: https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_6dfba4c4d51349aaa4913f70ab7f062c.pdf?index=true. Acesso em: 23 mai. 2023.

TOMAZ, P. Infiltração usando o método do número da curva CN do SCS. 2011. Disponível em: <https://engenhariacivilfisp.files.wordpress.com/2014/05/infiltrac3a7c3a3o-usando-o-mc3a9todo-do-nc3bamero-da-curva.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

TUCCI, C. E. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2009.

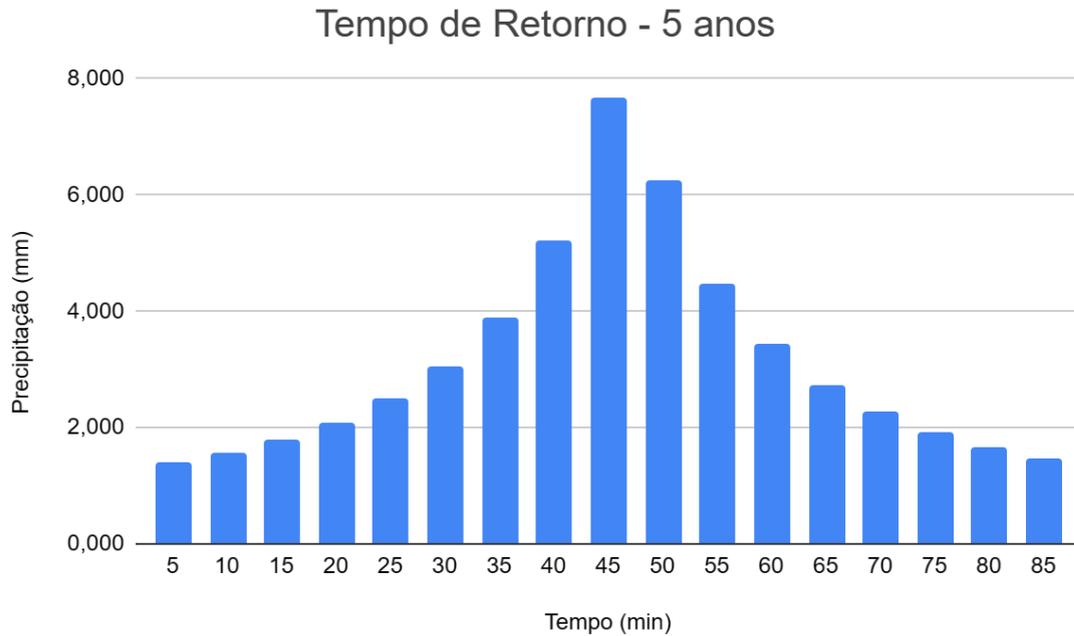
TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2003.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Hydrologic modeling system HEC-HMS: technical reference manual**. p. 1–145, 2000. Disponível em: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.aspx>. Acesso em: 11 jul. 2022.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS. **River analysis system HEC-RAS: hydraulic reference manual**. p. 1–411, 2010. Disponível em: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation.aspx>. Acesso em: 11 jul. 2022.

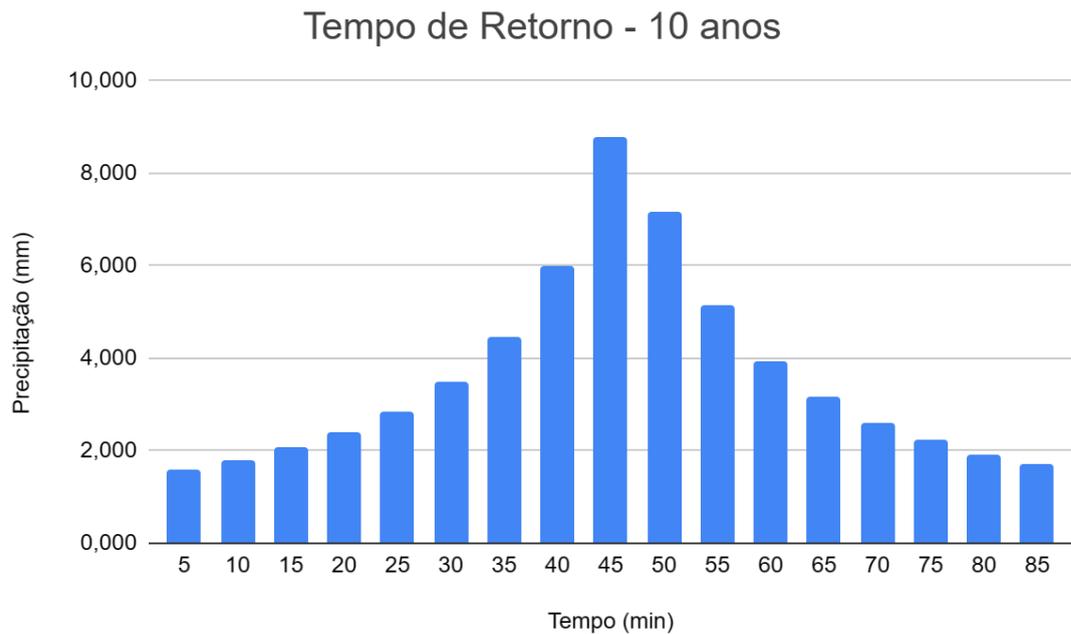
APÊNDICE A - HIETOGRAMAS DE PROJETO DA BACIA DO RIO ARATACA

Figura 17 - Hietograma com TR de 5 anos



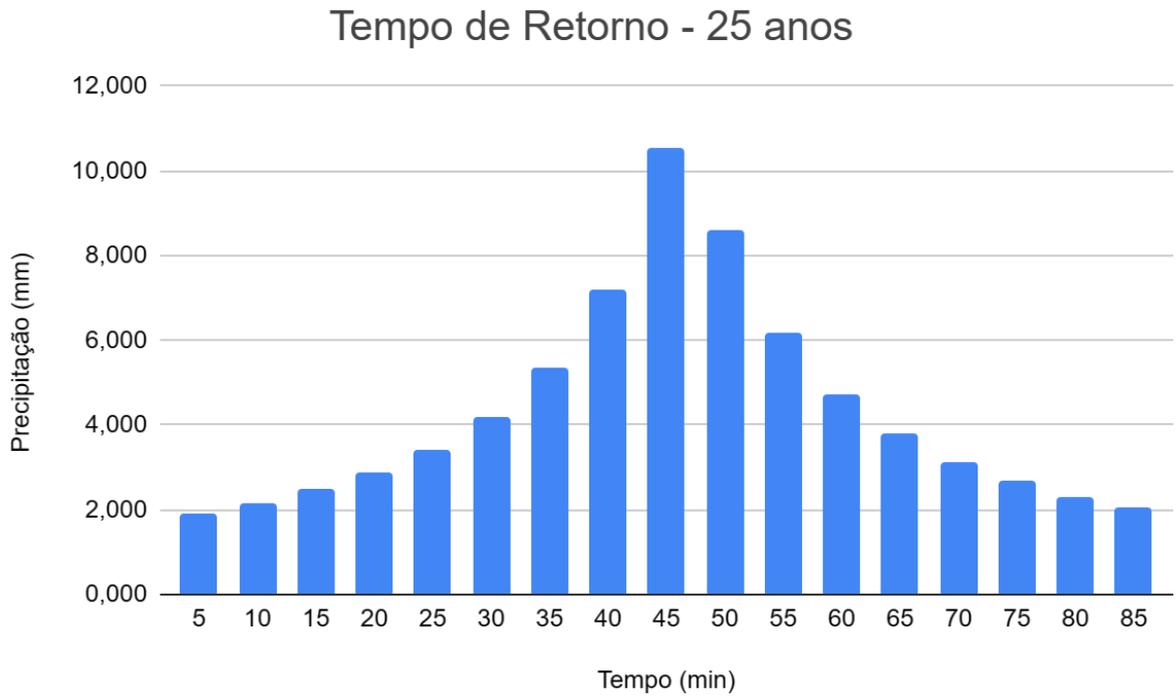
Fonte: Autora (2023).

Figura 18 - Hietograma com TR de 10 anos



Fonte: Autora (2023).

Figura 19 - Hietograma com TR de 25 anos



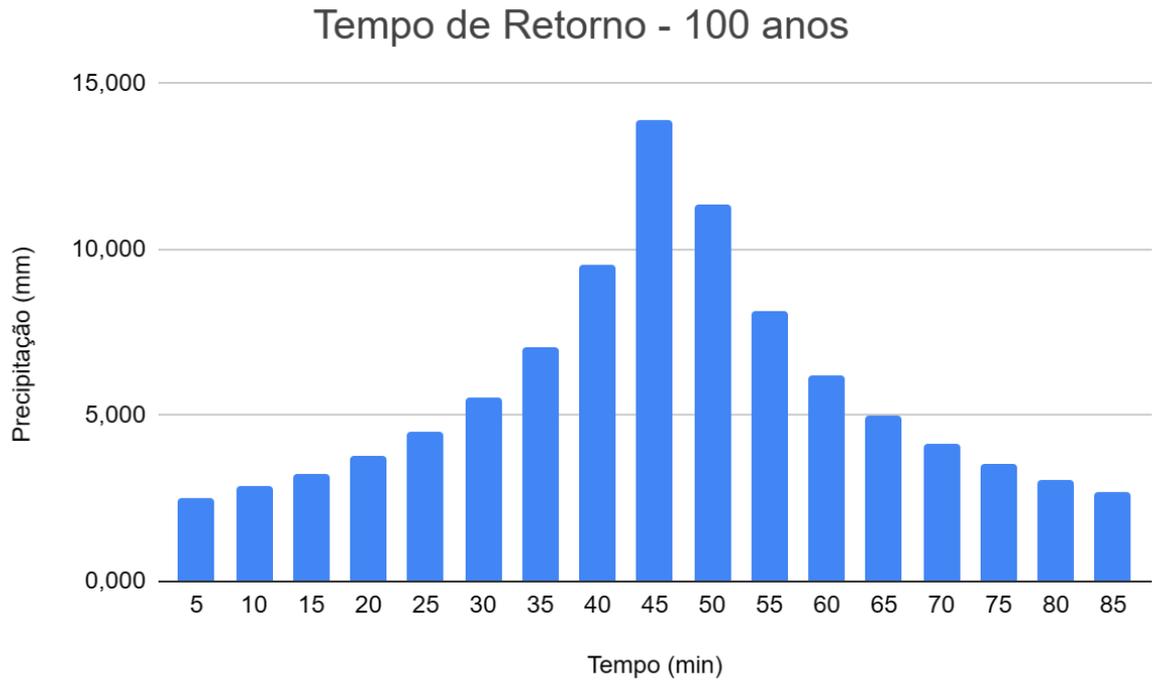
Fonte: Autora (2023).

Figura 20 - Hietograma com TR de 50 anos



Fonte: Autora (2023).

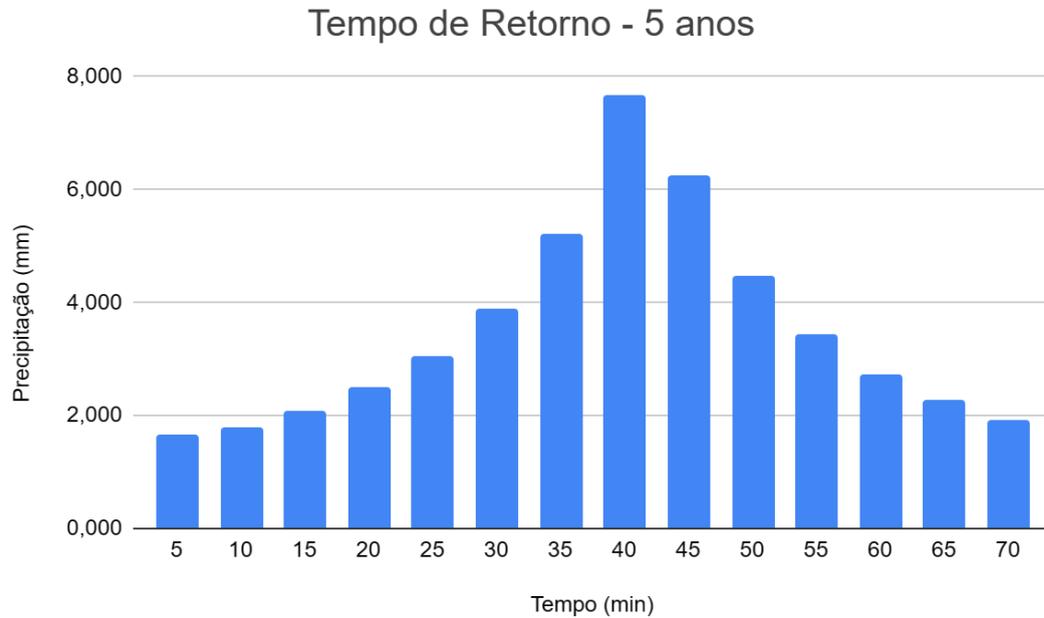
Figura 21 - Hietograma com TR de 100 anos



Fonte: Autora (2023).

APÊNDICE B - HIETOGRAMAS DE PROJETO DA BACIA DO RIO MOTUCAS

Figura 22 - Hietograma com TR de 5 anos



Fonte: Autora (2023).

Figura 23 - Hietograma com TR de 10 anos



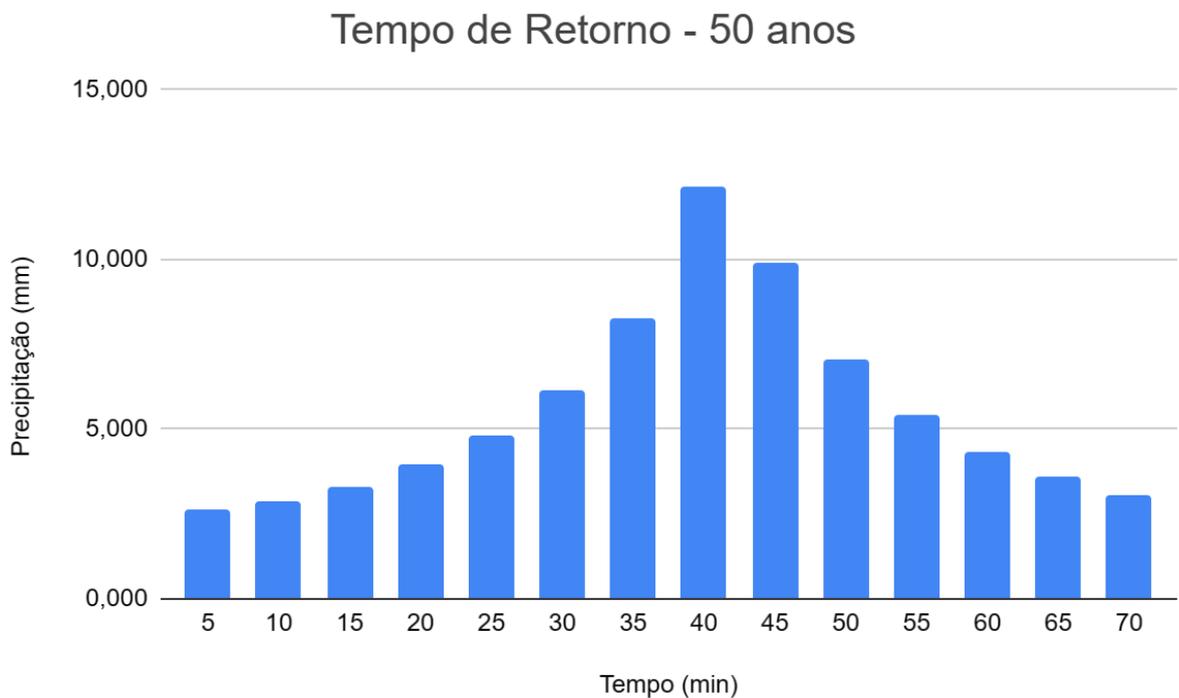
Fonte: Autora (2023).

Figura 24 - Hietograma com TR de 25 anos



Fonte: Autora (2023).

Figura 25 - Hietograma com TR de 50 anos



Fonte: Autora (2023).

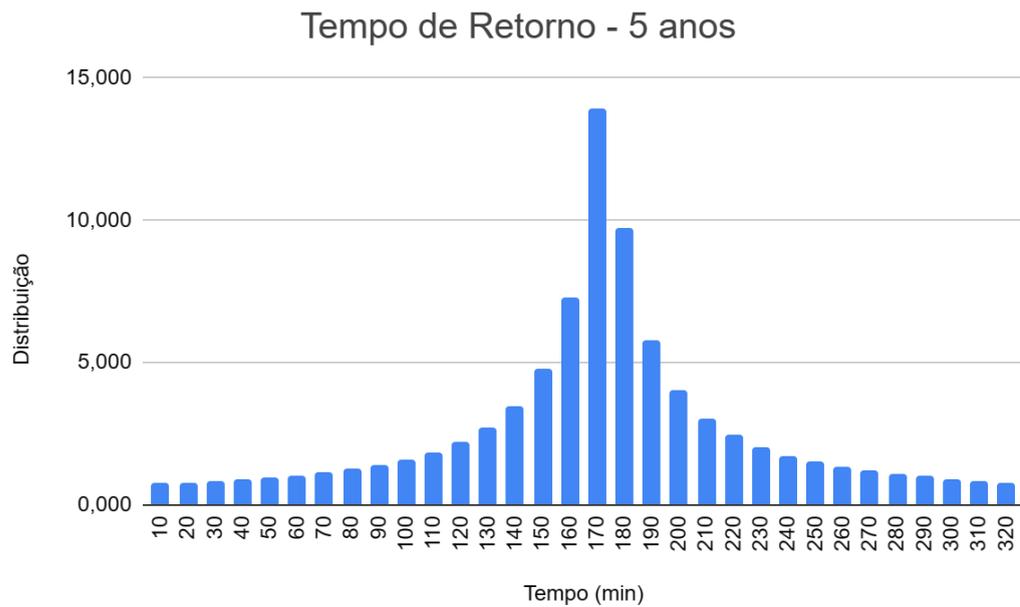
Figura 26 - Hietograma com TR de 100 anos



Fonte: Autora (2023).

APÊNDICE C - HIETOGRAMAS DE PROJETO DA BACIA DO RIO ÁGUAS VERMELHAS

Figura 27 - Hietograma com TR de 5 anos



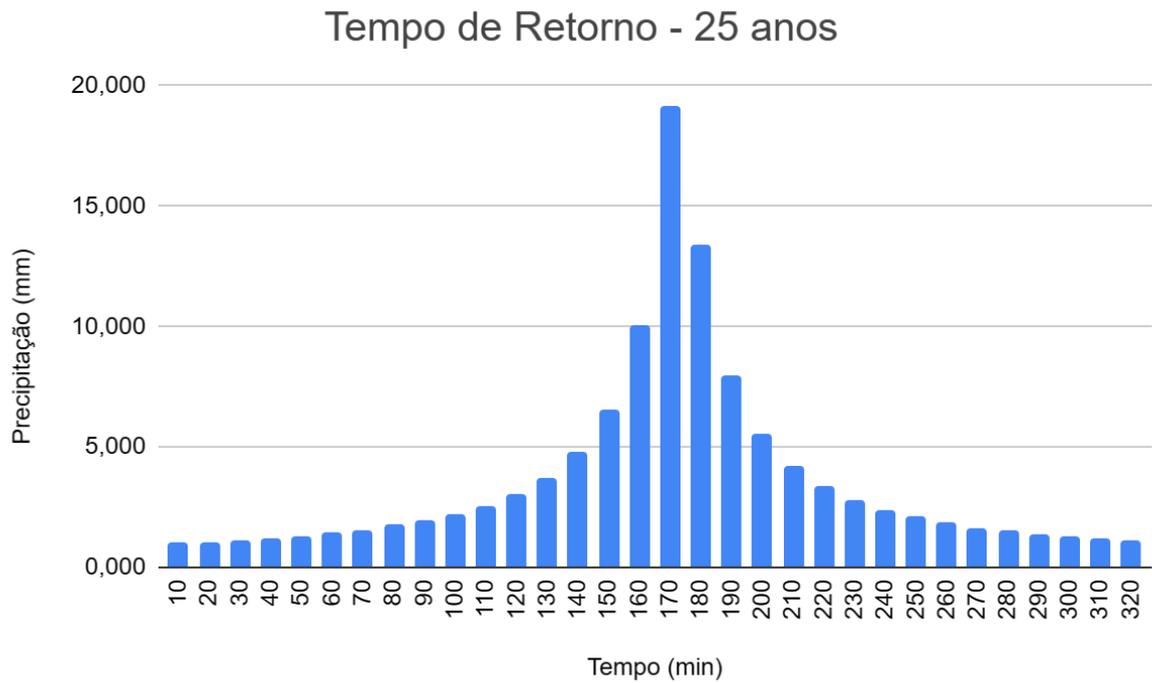
Fonte: Autora (2023).

Figura 28 - Hietograma com TR de 10 anos



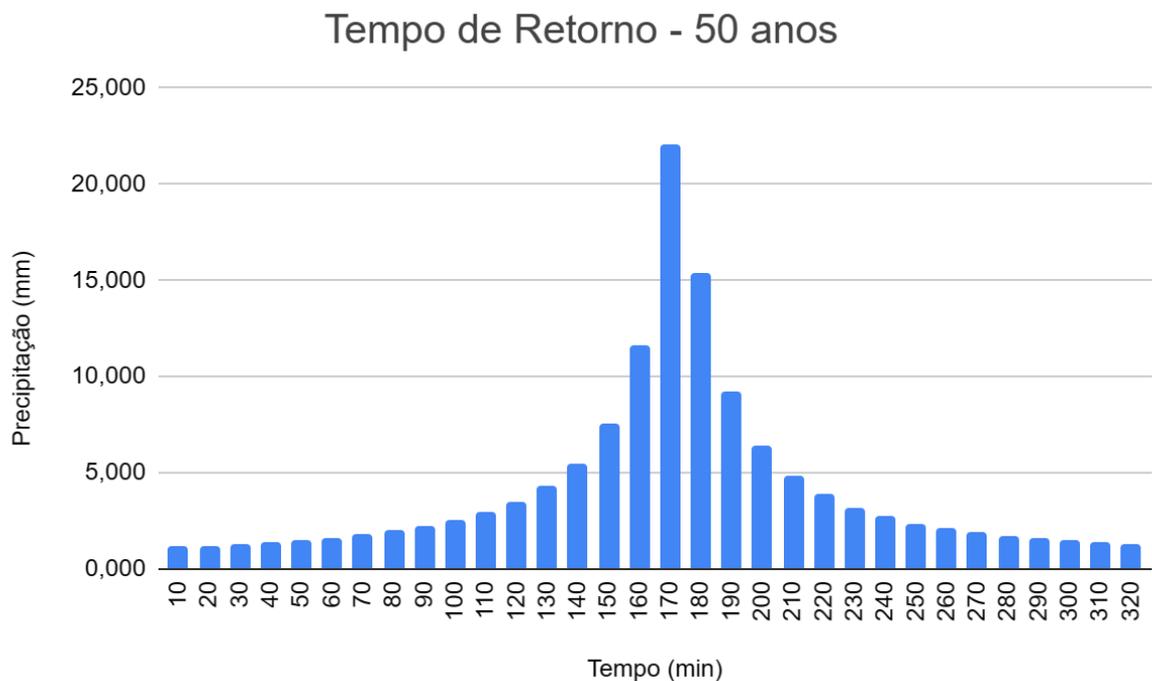
Fonte: Autora (2023).

Figura 29 - Hietograma com TR de 25 anos



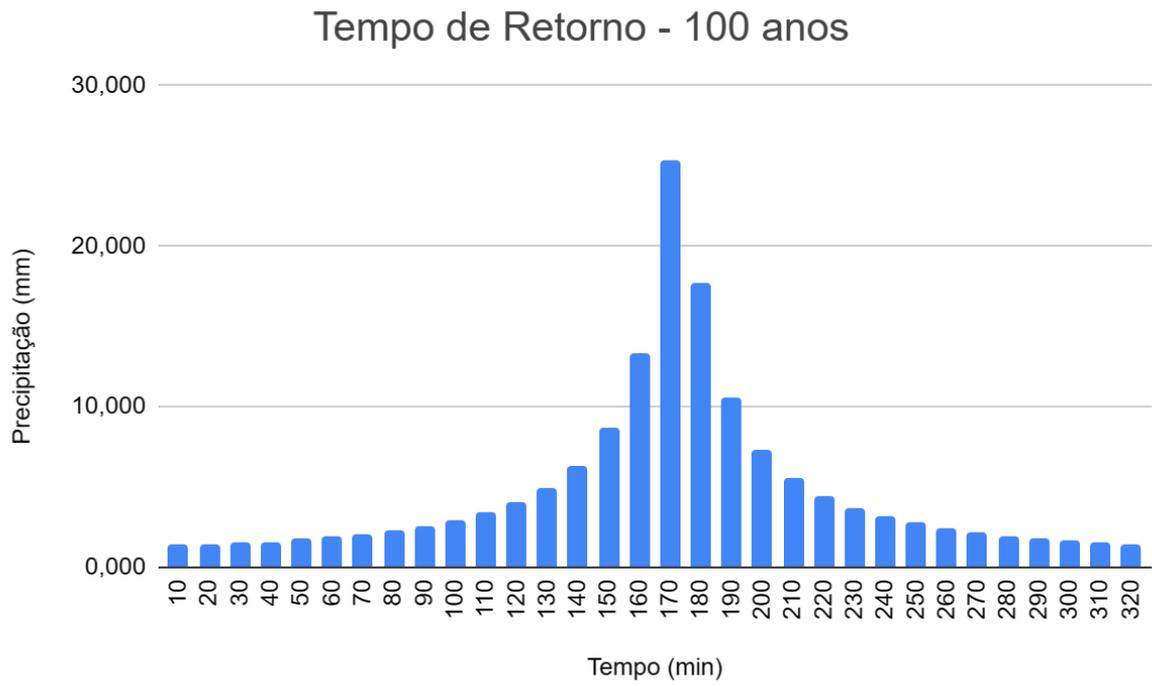
Fonte: Autora (2023).

Figura 30 - Hietograma com TR de 50 anos



Fonte: Autora (2023).

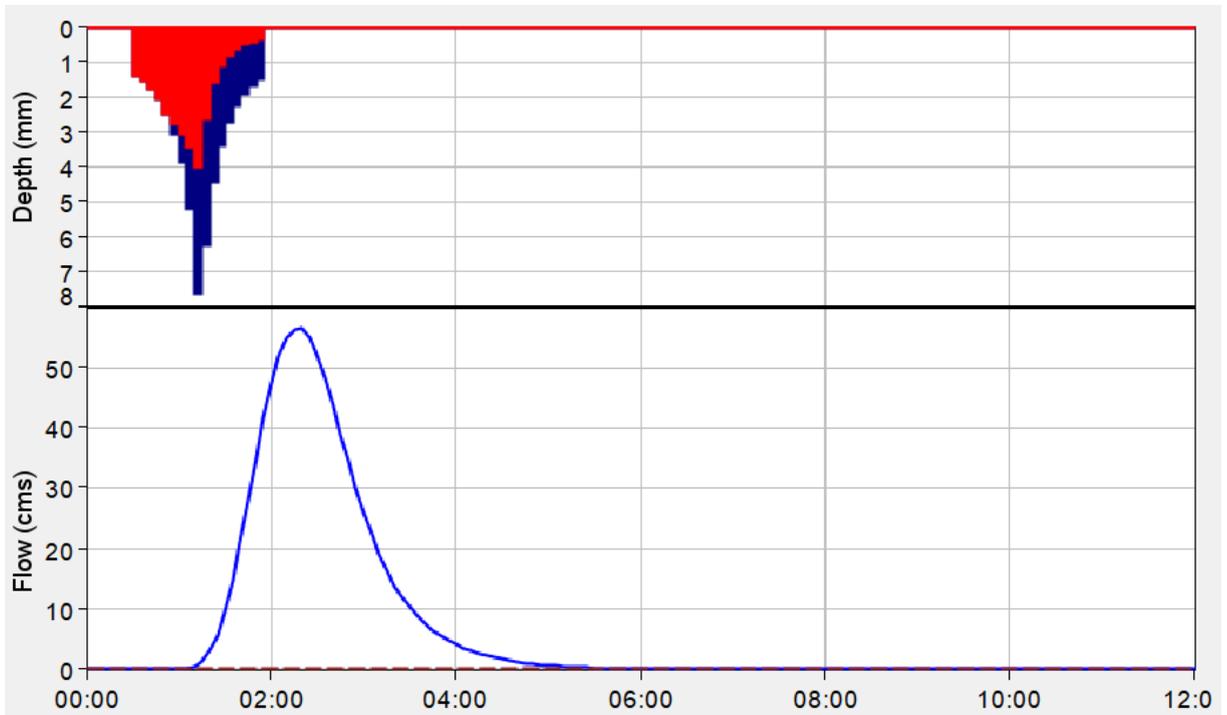
Figura 31 - Hietograma com TR de 100 anos



Fonte: Autora (2023).

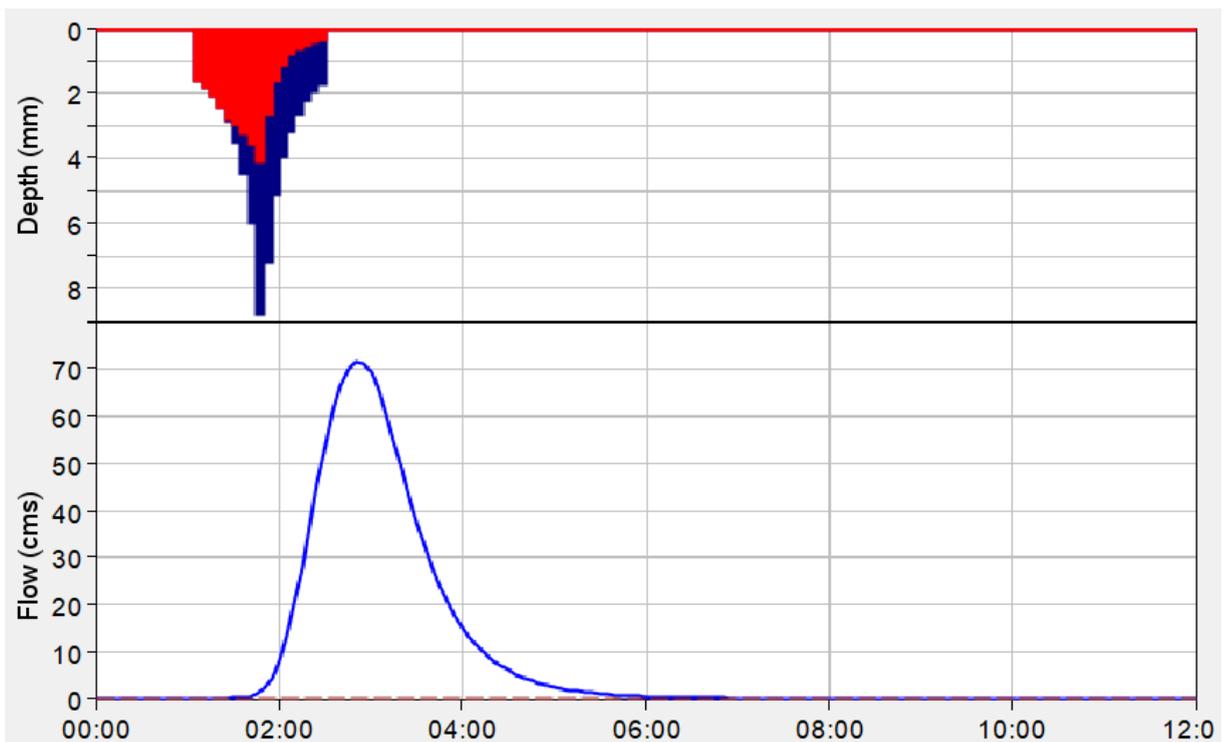
APÊNDICE D - HIDROGRAMA DE PROJETO DA BACIA DO RIO ARATACA

Figura 32 - Hidrograma com TR de 5 anos



Fonte: Autora (2023).

Figura 33 - Hidrograma com TR de 10 anos



Fonte: Autora (2023).

Figura 34 - Hidrograma com TR de 25 anos

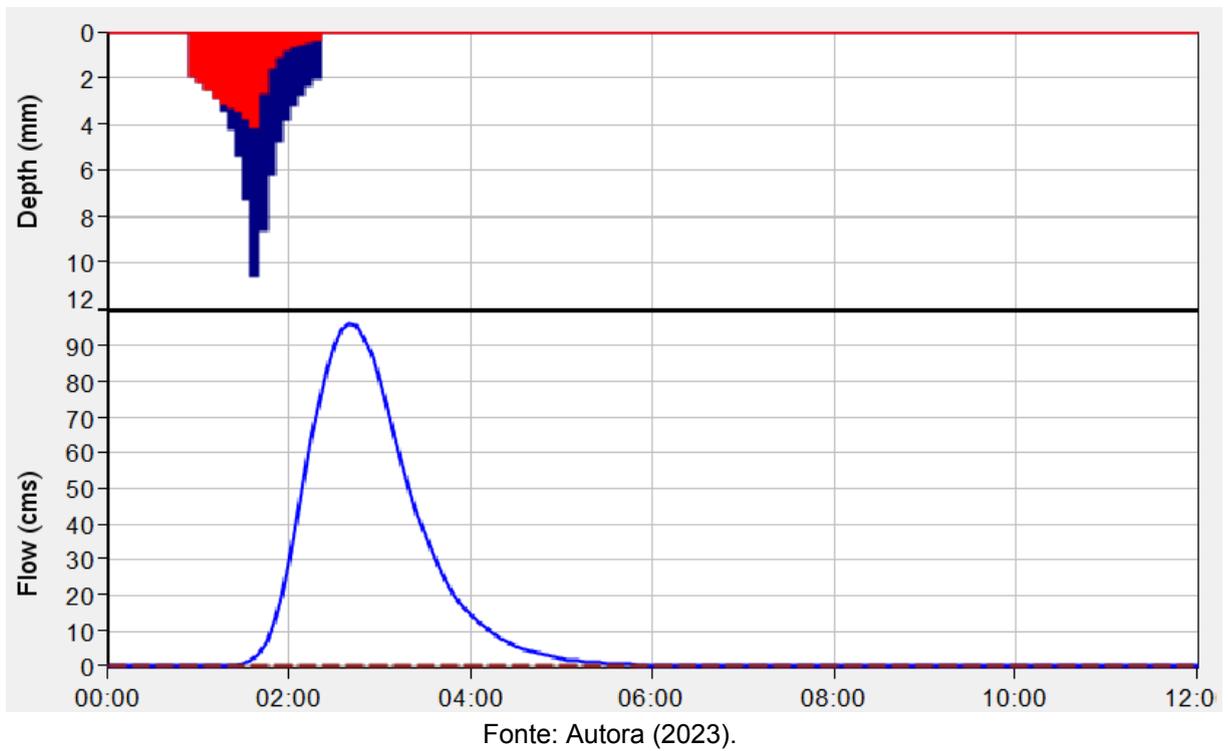


Figura 35 - Hidrograma com TR de 50 anos

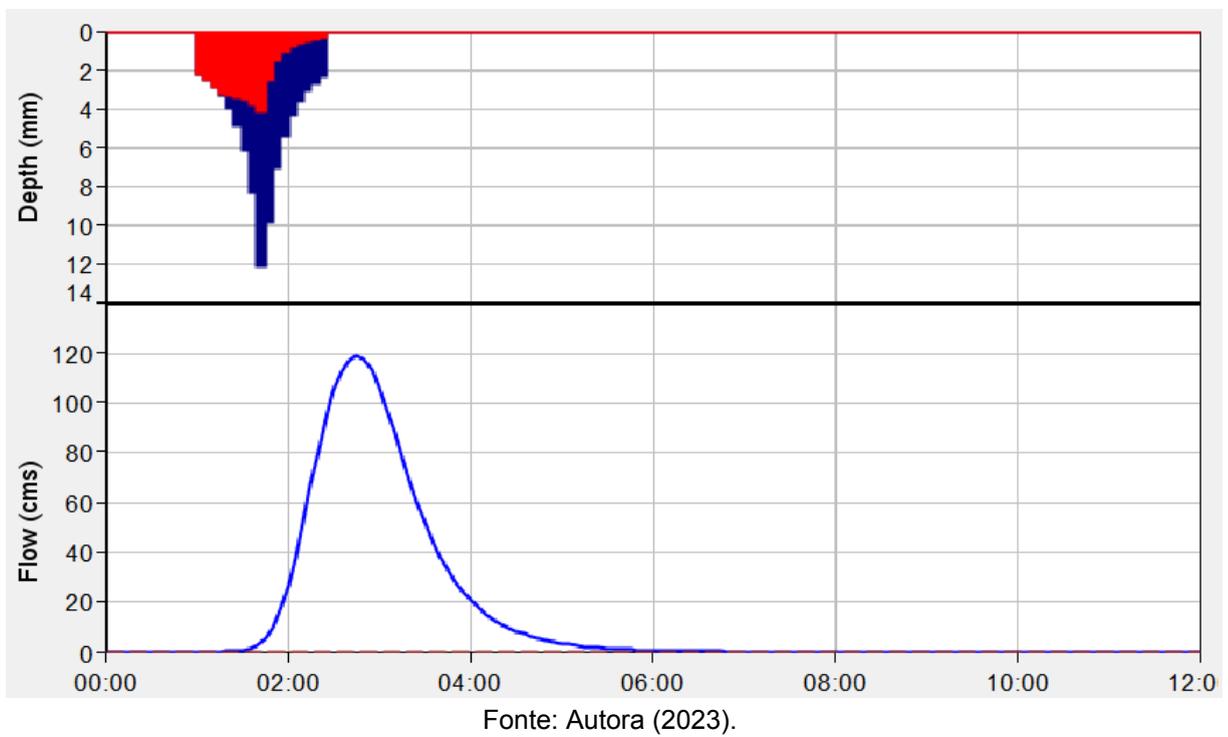
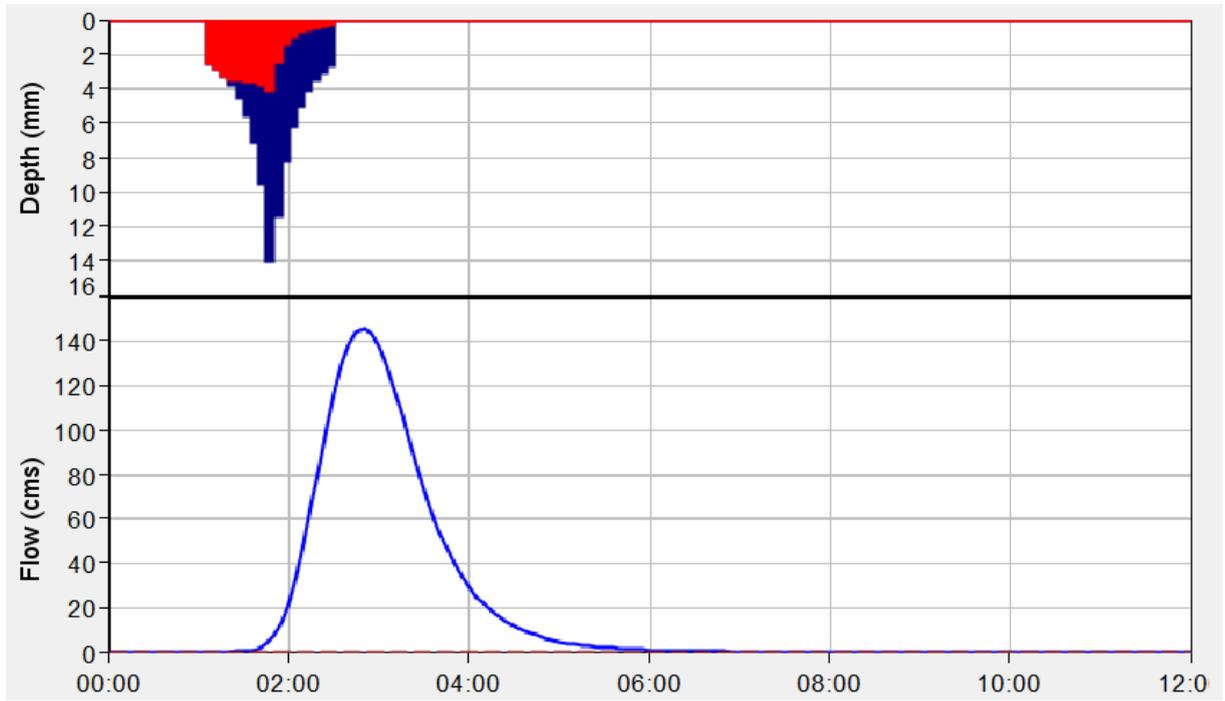


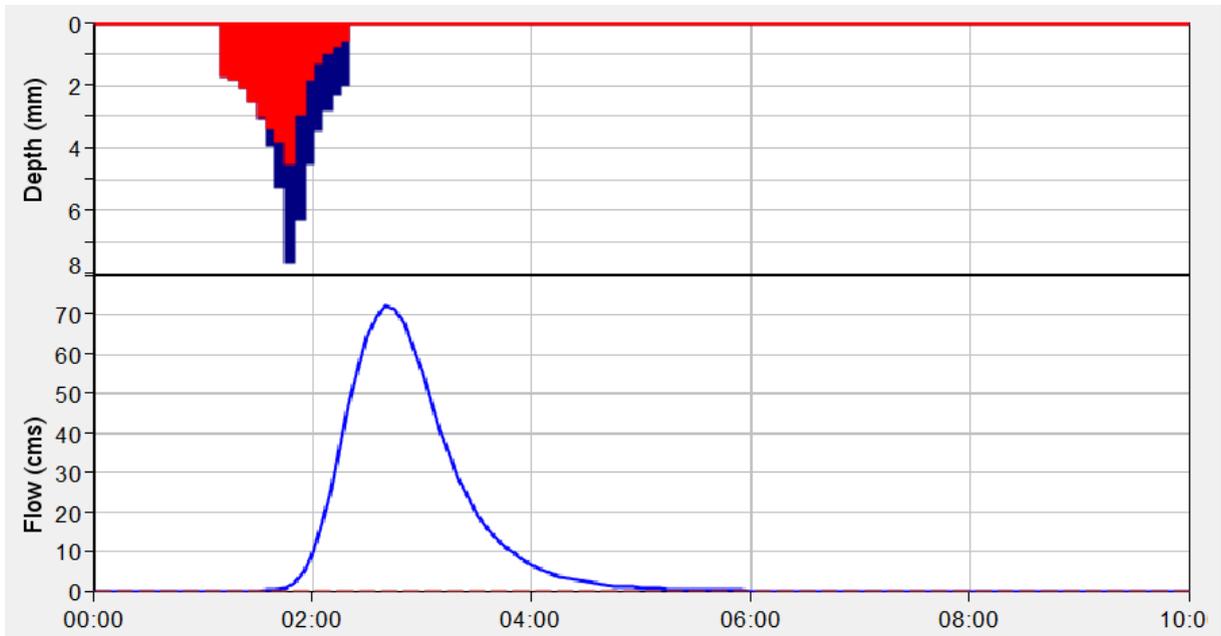
Figura 36 - Hidrograma com TR de 100 anos



Fonte: Autora (2023).

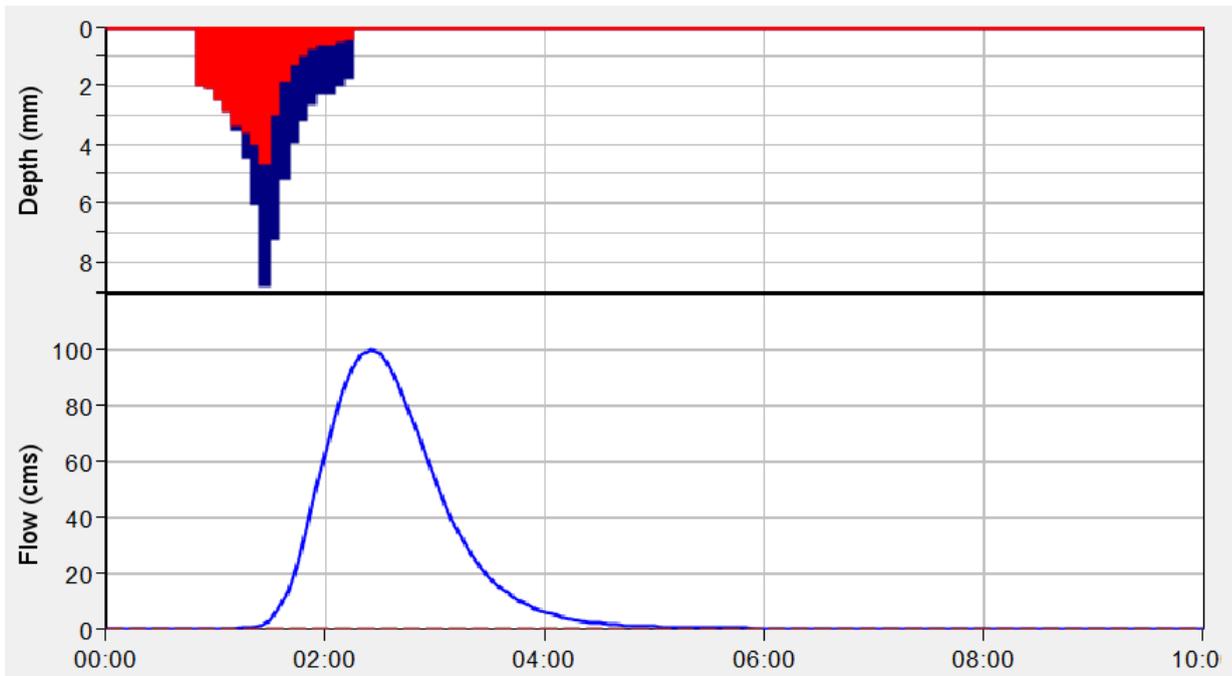
APÊNDICE E - HIDROGRAMA DE PROJETO DA BACIA DO RIO MOTUCAS

Figura 37 - Hidrograma com TR de 5 anos



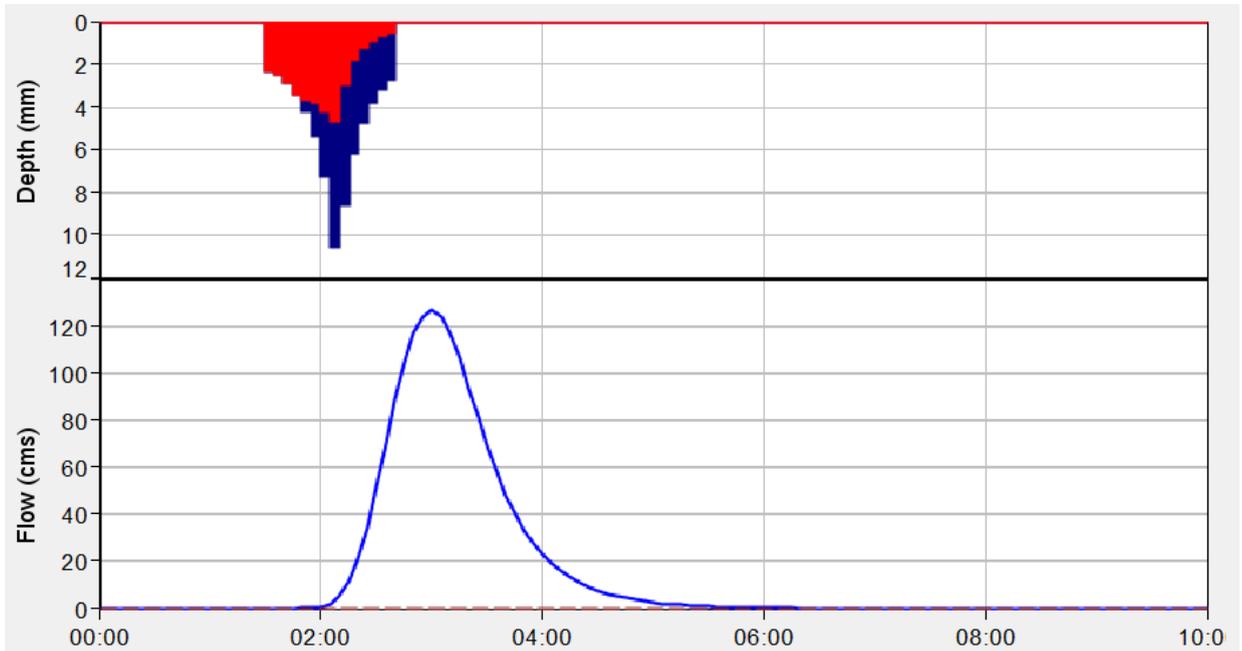
Fonte: Autora (2023).

Figura 38 - Hidrograma com TR de 10 anos



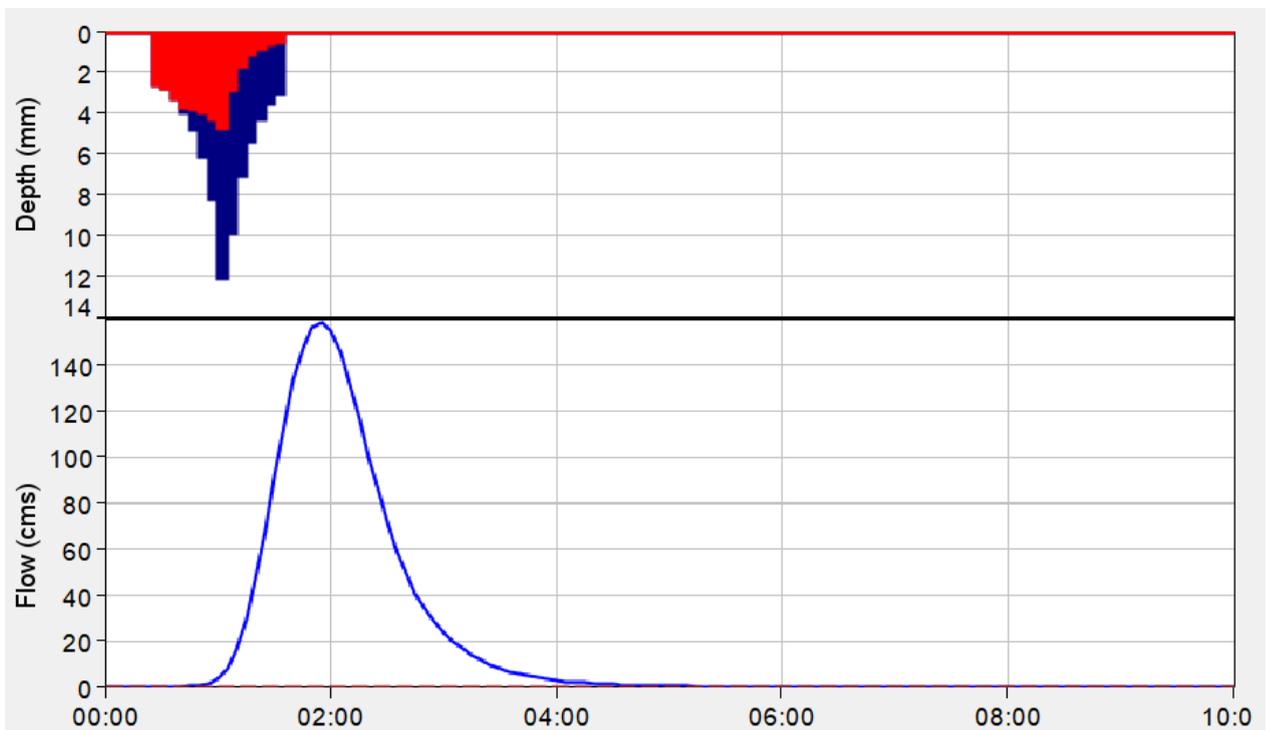
Fonte: Autora (2023).

Figura 39 - Hidrograma com TR de 25 anos



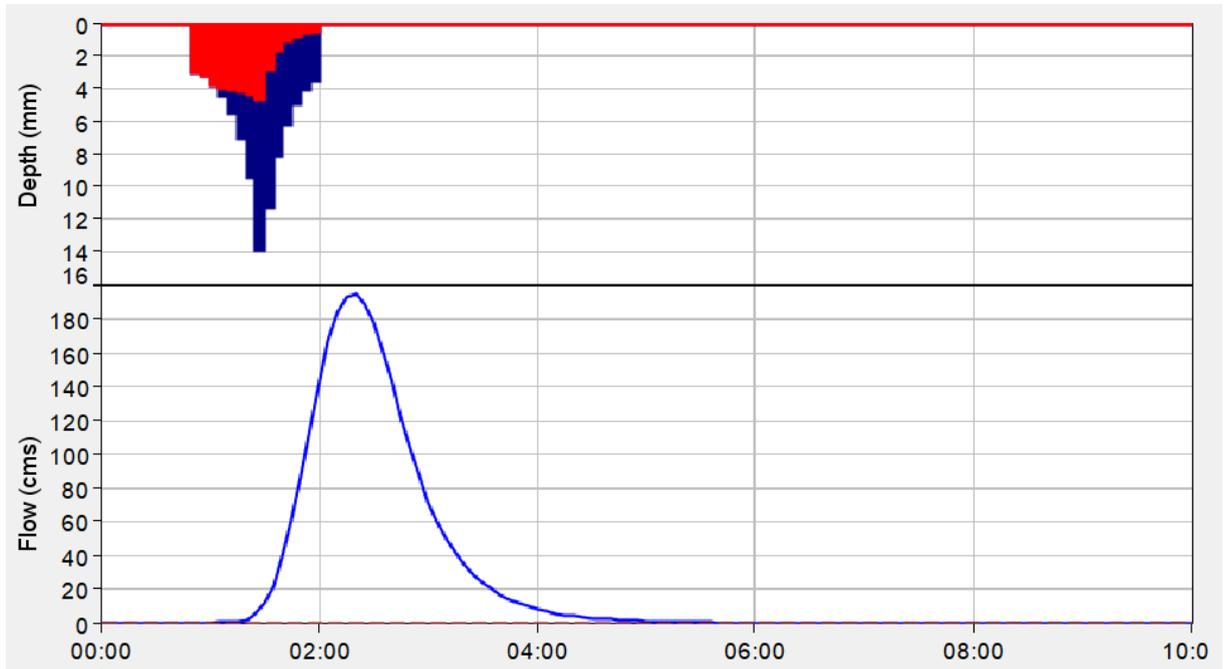
Fonte: Autora (2023).

Figura 40 - Hidrograma com TR de 50 anos



Fonte: Autora (2023).

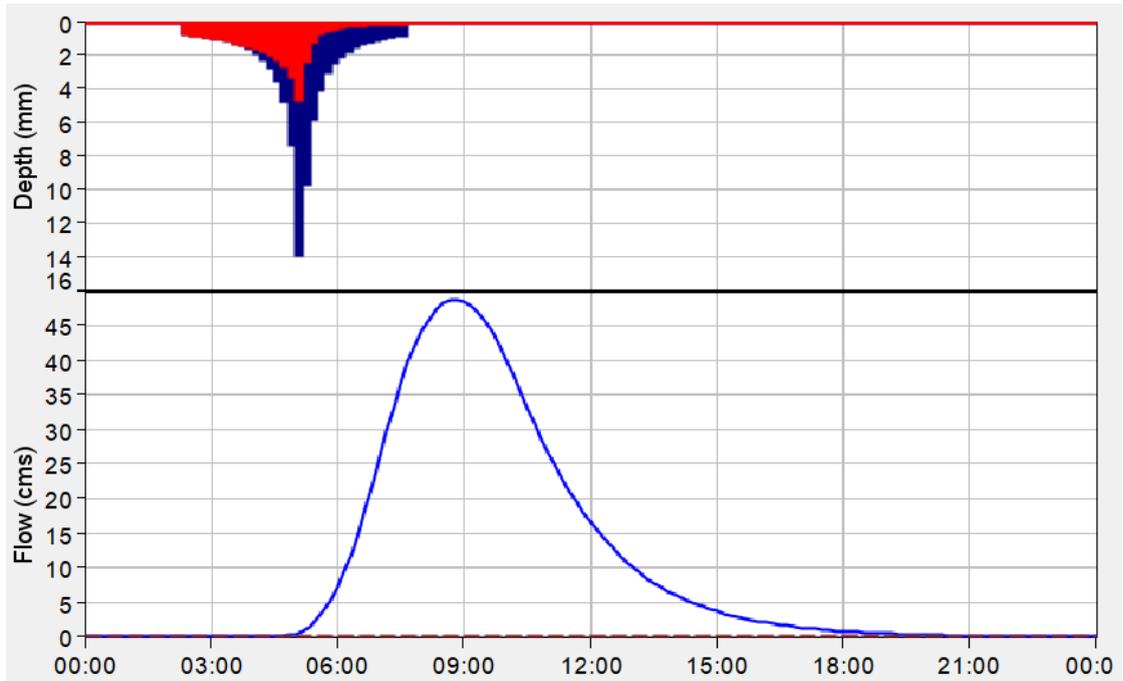
Figura 41 - Hidrograma com TR de 100 anos



Fonte: Autora (2023).

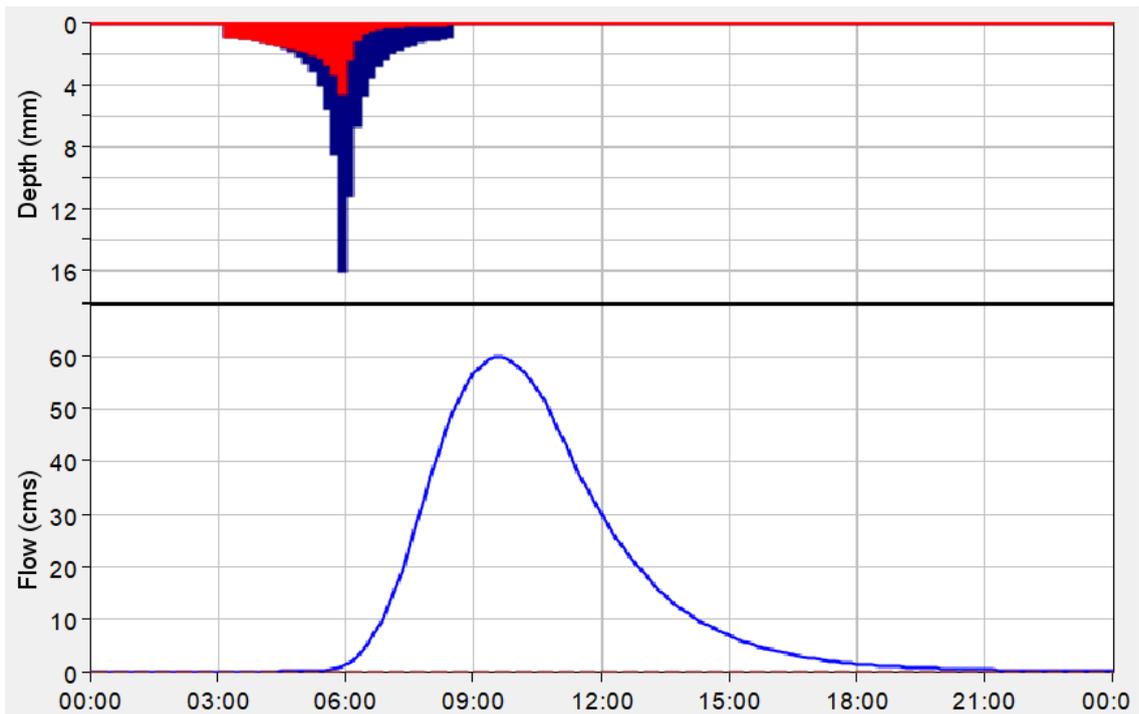
APÊNDICE F - HIDROGRAMA DE PROJETO DA BACIA DO RIO ÁGUAS VERMELHAS

Figura 42 - Hidrograma com TR de 5 anos



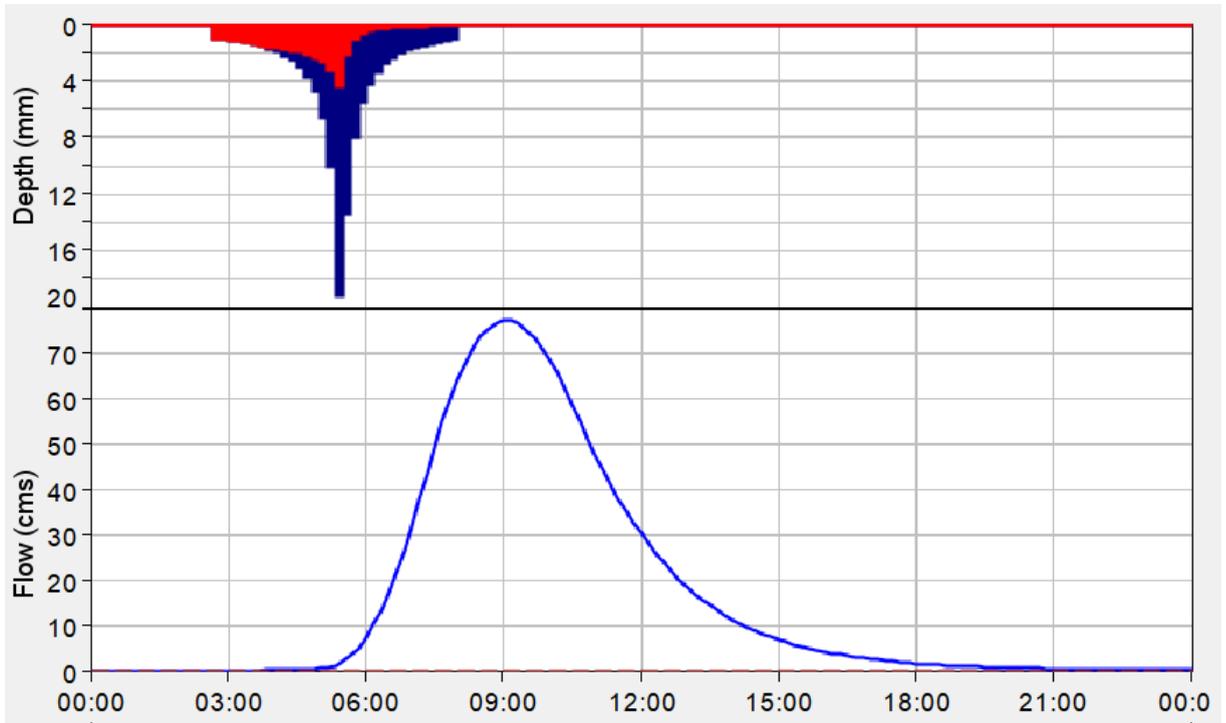
Fonte: Autora (2023).

Figura 43 - Hidrograma com TR de 10 anos



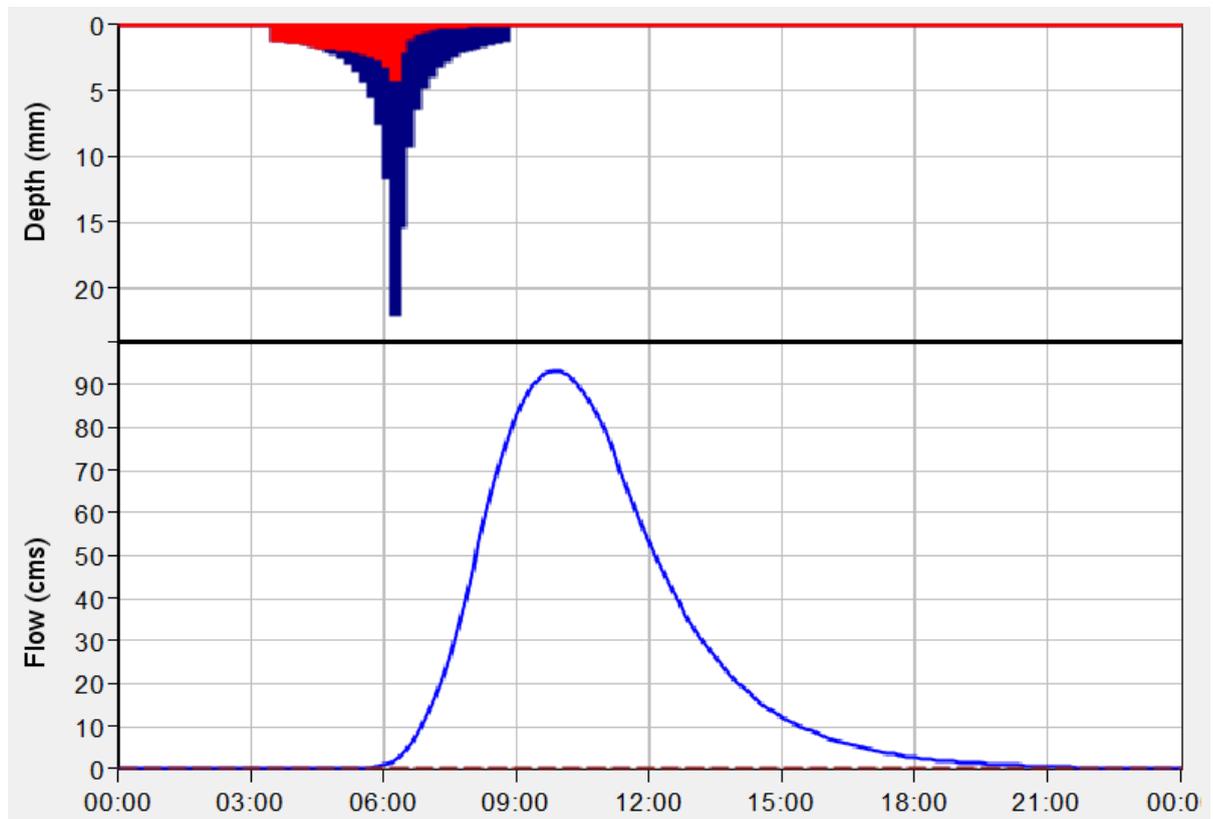
Fonte: Autora (2023).

Figura 44 - Hidrograma com TR de 25 anos



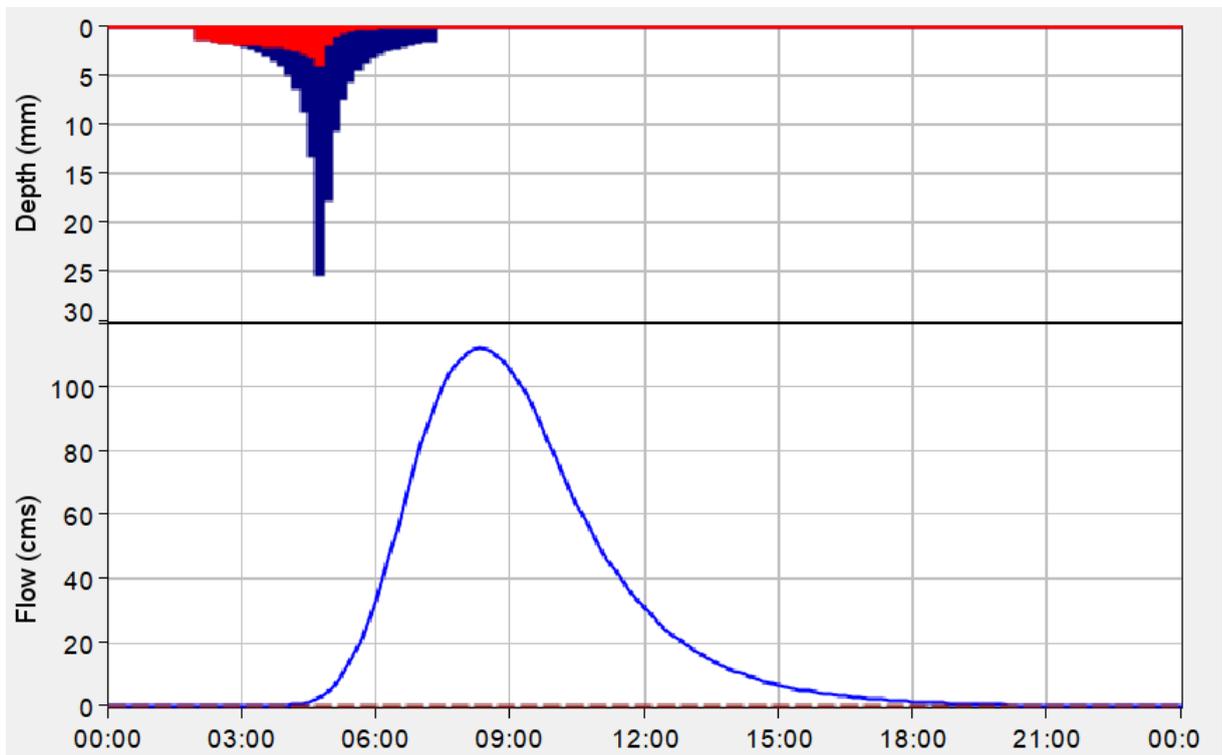
Fonte: Autora (2023).

Figura 45 - Hidrograma com TR de 50 anos



Fonte: Autora (2023).

Figura 46 - Hidrograma com TR de 100 anos



Fonte: Autora (2023).