

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

CAROLINE MALHEIROS

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO NA SUB-BACIA DO RIO ÁGUAS
VERMELHAS NA CIDADE DE JOINVILLE**

Joinville
2018

CAROLINE MALHEIROS

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO NA SUB-BACIA DO RIO ÁGUAS
VERMELHAS NA CIDADE DE JOINVILLE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Infraestrutura, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Profa. Dra. Renata Cavion.

Coorientadora: Profa. Me. Simone Malutta.

Joinville
2018

MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO NA SUB-BACIA DO RIO ÁGUAS VERMELHAS NA CIDADE DE JOINVILLE

CAROLINE MALHEIROS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Infraestrutura, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Joinville, 02 de Julho de 2018.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Renata Cavion
Orientadora

Profa Me. Simone Malutta
Coorientadora

Eng. Me. Dieter Klostermann
Membro 1

Eng. Dr. Leonardo Romero Monteiro
Membro 2

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e principalmente a Deus por todo o cuidado comigo até aqui, demonstrando seu amor e se fazendo presente em todos os momentos desde o início da graduação. Todas as dificuldades enfrentadas ao longo desses anos só foram possíveis de serem vencidas porque comigo Ele estava.

A minha família, meus pais Eva e Marcos e meu irmão Gabriel, por tudo que fizeram e fazem por mim. Os fardos se tornavam mais leves todas as vezes que chegava em casa e encontrava em vocês força e amor para continuar e alcançar o que eu almejava.

Ao meu namorado Gustavo Henrique Moresco, por toda paciência, companheirismo, amor e cuidado comigo ao longo desses cinco anos. Obrigada por estar presente em todos os momentos, inclusive nos tempos difíceis, me fazendo enxergar o melhor das situações e me fazendo acreditar que era possível.

As professoras Simone Malutta e Renata Cavion, muito obrigada por toda ajuda, suporte e dedicação ao longo deste trabalho. Hoje fechamos um ciclo muito importante para mim, e foi muito bom poder realizá-lo sobre o conhecimento e experiência de vocês.

Aos demais professores do curso de Engenharia de Infraestrutura, por todo conhecimento e experiência compartilhada. Em especial as professoras Helena Paula Nierwinski e Valéria Bennack que se mostraram solidárias em momentos difíceis ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A Defesa Civil de Joinville, em especial ao engenheiro Dieter Klostermann, por sempre se mostrar tão solícito todas as vezes que precisei de informações para a realização deste estudo.

A Leonardo Romero Monteiro por compartilhar comigo seu conhecimento em modelagem hidráulica e hidrológica, me ajudando em momentos difíceis e esclarecendo minhas dúvidas sempre que precisei.

A todos os amigos e colegas que estiveram presentes ao longo desses anos, vocês tornaram essa caminhada mais leve e me deram forças para chegar até aqui.

RESUMO

Inundações são fenômenos naturais que afetam a sociedade desde a formação das cidades. Os efeitos das inundações urbanas tem causado impactos sociais, físicos e econômicos em diversas cidades do mundo, configurando o fenômeno natural de maior frequência em áreas urbanas. Nesse sentido, há uma busca por ações que consigam lidar com este fenômeno, minimizando os seus impactos. Dentre as medidas mitigadoras utilizadas, destaca-se o mapeamento de áreas de risco como uma ação inicial que permite o gerenciamento de investimentos de infraestrutura, a reorganização espacial e a análise de parâmetros urbanísticos adequados aos locais afetados pelas inundações. Além disso, o mapeamento das áreas de risco tem a vantagem de apresentarem baixo custo e resultados diretos de rápida visualização. Joinville, a cidade mais populosa em Santa Catarina, possui registros consecutivos destes fenômenos desde sua fundação em 1851. Nesse contexto, este estudo teve por objetivo mapear áreas suscetíveis a inundação do bairro Morro do Meio e arredores, que encontram-se em processo de urbanização dentro da sub-bacia do rio Águas Vermelhas. Foram utilizados os softwares HEC-HMS e HEC-RAS de modelagem hidrológica e hidráulica que permitiram simulações para eventos com período de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos. Também foram avaliados os prováveis impactos sociais e de infraestrutura gerados pela mancha de inundação.

Palavras-chave: Inundações. Mapeamento. Modelagem hidrológica. Modelagem hidráulica.

ABSTRACT

Floods are natural phenomena that affect society since the formation of cities. The effects of urban flooding have caused social, physical and economic impacts in several cities around the world, making up the most frequent natural phenomenon in urban areas. In that way, there is a search for actions that can deal with this phenomenon, minimizing its impacts. Among the mitigating measures used, it's highlight the mapping of risk areas as an initial action that allows the management of infrastructure investments, the spatial reorganization and the analysis of urban parameters appropriate to the sites affected by the floods. In addition, the mapping of risk areas has the advantage of presenting low cost and direct results of quick visualization. Joinville, the most populous city in Santa Catarina, has had consecutive records of these phenomena since its founding in 1851. In this context, this study aimed to map susceptible areas to the flood of the neighborhood of Morro do Meio and surrounding areas, which are in the process of urbanization within the Águas Vermelhas sub-basin. It was used HEC-HMS and HEC-RAS hydrological and hydraulic modeling software, which allowed simulations for events with a return period of 2, 5, 10, 50 and 100 years. The probable social and infrastructure impacts of the floodplain were also evaluated.

Keywords: Floods. Mapping. Hydrological modeling. Hydraulic modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Etapas da metodologia	13
Figura 2 – Registros da mídia sobre as inundações em Joinville	14
Figura 3 – Ilustração do processo de enchente e inundação	15
Figura 4 – Efeito da urbanização sobre a vazão máxima	16
Figura 5 – Etapas do ciclo hidrológico	19
Figura 6 – Representação do escoamento em uma bacia hidrográfica	20
Figura 7 – Propriedades da malha computacional	27
Figura 8 – Localização da área de estudo	29
Figura 9 – Classificação climática Köppen-Geiger, destacando a sub-bacia do rio Águas Vermelhas	30
Figura 10 – Uso e ocupação do solo da área de estudo	31
Figura 11 – Pedologia da área de estudo	33
Figura 12 – Relevo da área de estudo	36
Figura 13 – Mapa de localização das estações pluviométricas	38
Figura 14 – Principais etapas do trabalho	42
Figura 15 – Área estudada para a mancha de inundação	52
Figura 16 – Modelo de elevação do terreno	53
Figura 17 – Mapa mancha de inundação - Período de Retorno 2 anos	55
Figura 18 – Mapa mancha de inundação - Período de Retorno 5 anos	56
Figura 19 – Mapa mancha de inundação - Período de Retorno 10 anos	57
Figura 20 – Mapa mancha de inundação - Período de Retorno 50 anos	58
Figura 21 – Mapa mancha de inundação - Período de Retorno 100 anos	59
Figura 22 – Mapa populacional sobre a mancha de inundação	61
Figura 23 – Mapa de domicílios sobre a mancha de inundação	62
Figura 24 – Mapa de vias: destaque para a mancha de inundação	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Métodos indiretos de acordo com a área da bacia	21
Tabela 2 – Grupo de solos e suas características	23
Tabela 3 – Valores de CN para bacias rurais	24
Tabela 4 – Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas	25
Tabela 5 – Uso e ocupação do solo da área de estudo	32
Tabela 6 – Classificação dos solos	34
Tabela 7 – Microbacias e respectivas estações de monitoramento	39
Tabela 8 – Cotas registradas que caracterizaram situações de atenção, alerta e emergência para o período de abril de 2012 até novembro de 2015	40
Tabela 9 – Características topográficas da sub-bacia do rio Águas Vermelhas .	41
Tabela 10 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Aratacas	43
Tabela 11 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Jativoca	44
Tabela 12 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Lagoa Bonita	44
Tabela 13 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Lagoinha	45
Tabela 14 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Motucas	45
Tabela 15 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Piraí Novo	46
Tabela 16 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Águas Vermelhas	47
Tabela 17 – Fórmulas de tempo de concentração testadas	48
Tabela 18 – Valores de Tc (h) para as microbacias que compõem a região de estudo	48
Tabela 19 – Fluxo de base	49
Tabela 20 – Vazões de pico (m ³ /s)	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	12
1.1.1	<u>Objetivo Geral</u>	12
1.1.2	<u>Objetivos Específicos</u>	12
1.2	Método de Pesquisa	12
1.3	Justificativas	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Inundação Urbana	15
2.2	Mapa de Inundação	17
2.3	Modelagem Matemática	18
2.3.1	<u>HEC-HMS</u>	18
2.3.1.1	Métodos para estimativa de vazão de projeto	20
2.3.1.2	Chuva-Vazão	22
2.3.2	<u>HEC-RAS</u>	26
3	ÁREA DE ESTUDO	28
3.1	Localização	28
3.2	Clima	29
3.3	Uso do Solo e Cobertura Vegetal	30
3.4	Geologia e Geomorfologia	32
4	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	Materiais	37
4.1.1	<u>Registros Pluviométricos</u>	37
4.1.2	<u>Dados Topográficos</u>	40
4.1.3	<u>Programas Computacionais</u>	41
4.2	Métodos	41
4.2.1	<u>Desenvolvimento da Modelagem no HEC-HMS</u>	42
4.2.1.1	Número de Curva - Soil Conservation Service	43
4.2.1.2	Tempo de Concentração	47
4.2.1.3	Fluxo de Base	49
4.2.2	<u>Validação do Modelo</u>	49
4.2.3	<u>Chuva de Projeto</u>	50
4.2.4	<u>Desenvolvimento da Modelagem no HEC-RAS</u>	51
4.2.4.1	Modelo de Inundação 2D	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54

5.1	Resultados	54
5.2	Análise dos Resultados	60
5.3	Análise dos impactos sobre a área urbana	60
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
	REFERÊNCIAS	65
	ANEXO A – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO ARATACA	69
	ANEXO B – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO JATIVOCA	71
	ANEXO C – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO LAGOA BONITA	73
	ANEXO D – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO LAGOINHA	75
	ANEXO E – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO MOTUCAS	77
	ANEXO F – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO PIRAÍ NOVO	79
	ANEXO G – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO ÁGUAS VERMELHAS	81
	ANEXO H – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO ARATACA	83
	ANEXO I – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO JATIVOCA	86
	ANEXO J – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO LAGOA BONITA	89
	ANEXO K – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO LAGOINHA	92
	ANEXO L – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO MOTUCAS	95
	ANEXO M – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO PIRAÍ NOVO	98

ANEXO N – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO ÁGUAS VERMELHAS	101
ANEXO O – HIDROGRAMA DE PROJETO: EXULTÓRIO	104

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de inundações em áreas urbanas tem se intensificado com o passar dos anos. Devido à dificuldade que as cidades tem de lidar com os desafios trazidos pelas inundações, as consequências decorrentes destes eventos implicam em impactos sociais e econômicos cada vez maiores.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), entre 2008 e 2012, as inundações deixaram 1,4 milhões de desabrigados ou desalojados. Esta pesquisa mostrou que 48% dos 5.568 municípios brasileiros afetados não possuem nenhum instrumento para enfrentar esta situação, não possuindo gestão de riscos e desastres (OLIVEIRA, 2014).

De acordo com Tucci (2001), a falta total de planejamento voltado para as inundações e a adoção de soluções inadequadas produz prejuízo para a população, pois as medidas de controle adotadas são mais caras que as medidas alternativas de controle na fonte.

Atualmente, com o desenvolvimento e crescimento descontrolado das grandes cidades, as construções, alguns materiais de pavimentação de vias e outras estruturas contribuem para a impermeabilização do solo, visto que a água que precipitava e infiltrava no terreno, passa a fluir pela superfície, aumentando assim o escoamento superficial.

Com o aumento do escoamento superficial, acontece também o aumento da vazão máxima nos rios e a antecipação do pico. Conforme Peiter e Poletto (2012), a presença de picos de vazão tem resultado em aumento na frequência e gravidade de inundações, além da intensificação de processos erosivos com aumento da produção, transporte e deposição de sedimentos.

A cidade de Joinville, em Santa Catarina, possui um histórico de cheias que relata ocorrência de inundações desde sua colonização em 1850, quando apenas áreas ribeirinhas eram ocupadas. No panorama atual, tais eventos continuam presentes, o que levou a cidade a declarar situação de emergência em fevereiro de 2017, após intensas chuvas acumularem 143 mm em 24 horas, o correspondente a 60% do que era previsto para o mês pela média histórica (JOINVILLE, 2017).

Tendo em vista o crescimento da urbanização dos bairros em Joinville, o estudo hidrológico das áreas de risco de inundações constitui uma ferramenta importante para o gerenciamento das ações preventivas, de monitoramento e de planejamento urbano.

De acordo com Silveira (2008), a sub-bacia do rio Águas Vermelhas, que tem sua extensão presente em cinco bairros da cidade, possui históricos de cheias

desde 1958. Esses bairros encontram-se em constante expansão no que diz respeito ao processo de urbanização, e desta forma torna-se uma importante região a ser estudada.

Deste modo, este trabalho busca apontar possíveis áreas de inundação analisando tempos de retorno e intensidades de precipitações diferentes, além de avaliar os impactos sociais e de infraestrutura gerados pela mancha de inundação.

1.1 Objetivos

Neste tópico serão apresentados os objetivos geral e específicos que o trabalho visa alcançar.

1.1.1 Objetivo Geral

Mapear a mancha de inundação em uma área que encontra-se em processo de urbanização na sub-bacia do rio Águas Vermelhas no município de Joinville.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos apresentados a seguir serão utilizados para se atingir o objetivo geral:

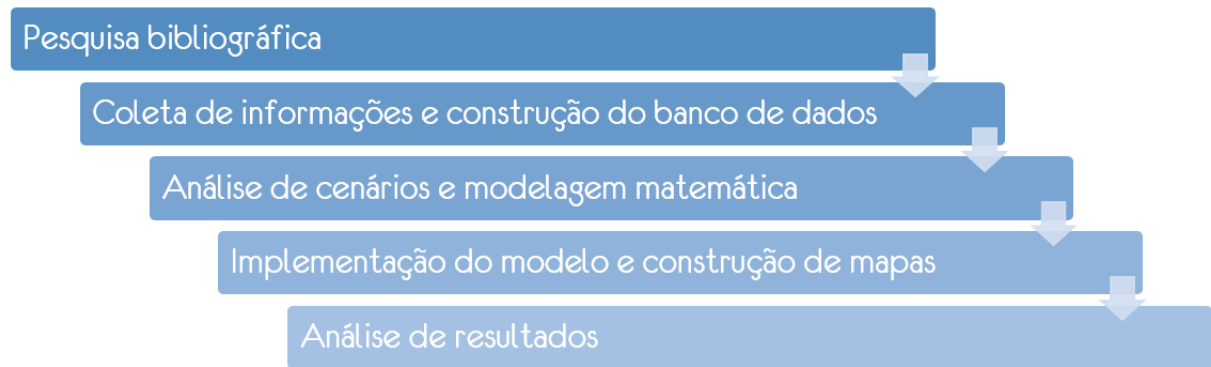
- Aplicar metodologias para a construção de banco de dados da sub-bacia do rio Águas Vermelhas;
- Estimar as vazões para períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos por meio do modelo SCS;
- Verificar os prováveis impactos gerados a partir da mancha de inundação.

1.2 Método de Pesquisa

O presente trabalho relaciona-se com a pesquisa experimental, que consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

De modo a alcançar os propósitos deste estudo, a pesquisa anteriormente citada é utilizada para construir a metodologia do trabalho. A Figura 1 apresenta as etapas realizadas para cumprimento do objetivo geral.

Figura 1 – Etapas da metodologia



Fonte: Autora (2017).

Conforme mostra a Figura 1, a primeira etapa refere-se à pesquisa bibliográfica, onde foram constatados diversos livros que tratam do assunto, e artigos por meio virtual, além de teses e dissertações.

A coleta de informações para a construção do banco de dados foi realizada com base em plataformas virtuais de entidades governamentais, que disponibilizam em seus endereços eletrônicos informações à respeito de levantamentos e monitoramentos das variáveis de estudo.

A próxima etapa refere-se à geração de cenários e à modelagem matemática, a fim de simular as condições existentes no rio Águas Vermelhas, e compreender melhor os fenômenos existentes na bacia.

Após implementar o modelo e obter informações suficientes para o mapeamento das áreas de risco a inundação, os resultados obtidos são apresentados e avaliados, assim como as considerações finais.

1.3 Justificativas

As inundações configuram uma preocupação para as cidades. Elas envolvem desafios sociais, de gestão do espaço urbano e políticos.

Segundo a Organização das Nações Unidas (2013), as inundações atingem 250 milhões de pessoas por ano no mundo e devem ser foco na forma de como governos enxergam e respondem aos desastres climáticos extremos.

Morais (2013), em uma reportagem especial para a rádio Câmara, complementa dizendo que o Brasil é o sexto país do mundo que mais sofre com catástrofes climáticas, sendo as inundações as mais devastadoras, trazendo em 2011 prejuízos que somaram R\$10 bilhões e deixaram pelo menos mil pessoas mortas como vítimas de inundações ou alagamentos.

De acordo com Antônio Edésio, coordenador do Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina, em entrevista a rádio Câmara para Moraes (2013), a cada R\$1 investido em prevenção, deixa-se de

gastar R\$7 na resposta. Para ele, a prevenção se faz em tempo de normalidade, sem atropelo e com transparência, pois após a ocorrência do desastre há perdas que não se recuperam, como a da vida humana por exemplo.

De modo a se adequar as previsões de desastres futuros, o Brasil passou a ter em 2012 o primeiro marco legal formalizado através da Lei Federal 12608/12 que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC, dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC, autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres e dá outras providências.

Dentre as competências dos entes federados trazidas por esta lei, compete a União por exemplo, identificar e mapear as áreas de risco e realizar estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, em articulação com a União e os municípios. Além disso, o Governo Federal institui cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlato, cabendo aos municípios elaborar o mapeamento destas áreas (BRASIL, 2012).

Desta forma, ressalta-se a importância do tema abordado neste estudo, visto que as inundações são fenômenos que merecem atenção em meio as cidades, devido as consequências que estas podem causar.

Além disso, Joinville é um exemplo de cidade que relata a ocorrência desses episódios constantemente. Manchetes como "Ponte sobre o rio Águas Vermelhas preocupa moradores em Joinville", "Loteamento Jativoca em Joinville continua embaixo d'água" e "Transbordamento do Rio Águas Vermelhas prejudica ruas na zona Oeste em Joinville" já estamparam os jornais do município e trazem a tona os problemas enfrentados pelos moradores da região, conforme demonstra a Figura 2.

Figura 2 – Registros da mídia sobre as inundações em Joinville



Fonte: A Notícia (2008), Mira (2013), Batista (2014), respectivamente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

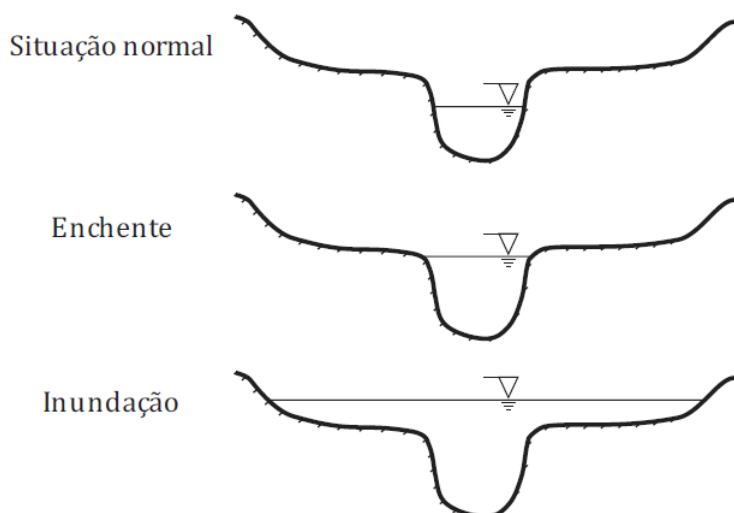
Este capítulo visa abordar temas que são relevantes para o entendimento do estudo proposto, tais como inundação urbana e mapeamento de inundação. Além de apresentar modelos matemáticos que serão úteis para o desenvolvimento do trabalho, focando na modelagem hidrológica e hidráulica.

2.1 Inundação Urbana

As inundações são eventos recorrentes na maioria das cidades brasileiras, tendo diferentes causas e grandes impactos. A magnitude e frequência das inundações ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

De acordo com Tucci e Bertoni (2003), as inundações ocorrem quando as águas dos rios, riachos e galerias pluviais saem do leito de escoamento e ocupam áreas utilizadas para moradia, transporte e recreação. Para Tominaga et al. (2009), a inundação representa o transbordamento das águas de um curso, atingindo a planície de inundação ou área de várzea, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Ilustração do processo de enchente e inundação



Fonte: Silva (2013, p. 16).

É possível perceber na Figura 3, que enchente é o fenômeno que antecede a inundação, e esta é caracterizada pela elevação do nível d'água, atingindo a cota

máxima do canal, porém, sem extravasar.

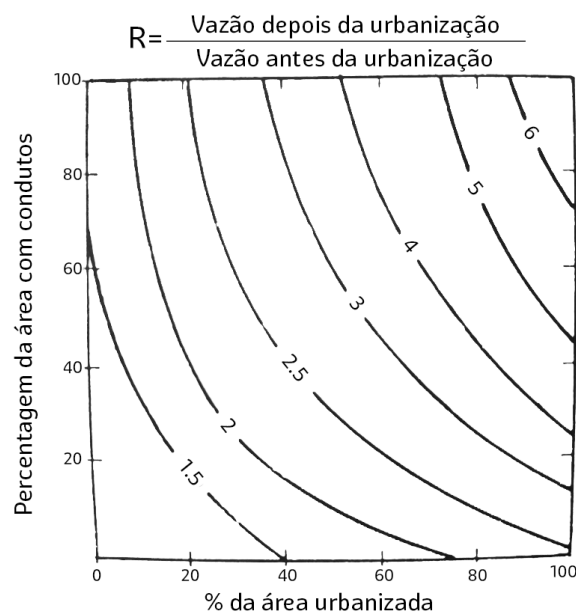
Tucci e Bertoni (2003) classificam as inundações como sendo do tipo ribeirinhas e devido à urbanização. As ribeirinhas são aquelas que fazem parte da dinâmica natural de um canal e áreas próximas aos rios são inundadas devido ao volume de água que escoar e não consegue ser drenado pelo sistema, passando a ocupar a várzea, e inundando, de acordo com a topografia, áreas próximas aos rios. As inundações devido a urbanização se dão quando a população passa a impermeabilizar o solo, acelerando o escoamento por condutos e aumentando a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem.

Inundações ribeirinhas costumam ocorrer em bacias maiores, com áreas superiores a 500 km², e trechos com baixa declividade; enquanto as inundações urbanas são comuns em pequenas bacias, de áreas inferiores a 100 km², com exceção das grandes regiões metropolitanas.

Com o constante desenvolvimento de áreas que não eram ocupadas, se faz necessário maior controle pelo poder público a fim de controlar a urbanização e ampliar redes de macrodrenagem. Quando essas não ocorrem, o número de inundações aumenta, resultando em perdas sociais e econômicas. Segundo Tucci (2009), devido às características do relevo, a urbanização tende a ocorrer no sentido de jusante para montante na bacia hidrográfica, sendo a população localizada a jusante a mais afetada.

As consequências que a urbanização traz para as inundações urbanas são variadas, sendo o aumento do escoamento superficial a mais crítica, pois impacta diretamente sobre a vazão máxima, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Efeito da urbanização sobre a vazão máxima



Fonte: Leopold (1965) apud Tucci (2009, p. 806).

A Figura 4 relaciona o crescimento das vazões máximas de cheia, com a área

urbanizada da bacia e a área servida por obras de drenagem. Verifica-se que o pico de cheia em uma bacia urbanizada pode chegar a ser seis vezes maior do que o pico em condições normais (TUCCI, 2009).

Desta forma, é importante conhecer os meios disponíveis para controlar e monitorar áreas sujeitas as inundações. O uso de mapas é um exemplo dos recursos utilizados, sendo apresentado na Seção 2.2.

2.2 Mapa de Inundação

O mapeamento de áreas de inundação consiste em apresentar um mapa com áreas que tenham possibilidade de ser inundada em eventos de baixa, média e alta probabilidade de ocorrência, podendo ser completado com o tipo de inundação, extensão, profundidade da lâmina d'água, velocidade e direção do fluxo (EXCIMAP, 2007).

Tucci (2009) classifica os mapas de inundação como mapas de planejamento e mapas de alerta. Os mapas de planejamento definem áreas atingidas por cheias em tempos de retornos escolhidos, enquanto os mapas de alerta informam o nível da régua no qual a inundação é iniciada nos pontos de controle. A partir desses mapas é possível definir o zoneamento das áreas de risco à inundação, bem como o risco de cada área e os critérios de ocupação das mesmas.

Deste modo, o mapeamento de áreas de inundação é uma ferramenta auxiliar de grande importância no controle e prevenção destes eventos, pois serve como parâmetro para as autoridades para tomada de decisão no que diz respeito a obras de infraestrutura e de alerta a moradores que residem em áreas suscetíveis a tais eventos. Kobiyama et al. (2006) ressaltam ainda que o mapeamento visa suprir umas das maiores deficiências relacionadas aos desastres naturais no Brasil, que é a ausência de sistemas de alertas.

As geotecnologias são ferramentas que ganham espaço cada vez maior em diferentes áreas. Representadas principalmente pelo Sistema de Informações Geográficas (SIG), Sistema de Posicionamento Global (GPS) e Sensoriamento Remoto, contribuem para a gestão de riscos, pois possibilitam a coleta, armazenamento e análise de grande quantidade de dados, que devido à complexidade dos desastres naturais, seriam praticamente inviáveis de serem tratados utilizando os tradicionais métodos analógicos (SILVA, 2009).

O termo geoprocessamento se refere ao uso de técnicas computacionais e matemáticas para tratamento de dados geográficos. A cartografia é um exemplo de área que sofre influência desta tecnologia e que tem sido bastante explorada para diagnosticar áreas de risco, pois através dela é possível elaborar mapas que associam os conhecimentos físicos, ambientais e sociais que interferem na dinâmica das inundações (HORA; GOMES, 2009).

Sendo assim, de modo a elaborar mapas que possam ser eficazes no controle

de inundações, é importante realizar estudos hidrológicos que forneçam as informações necessárias para o desenvolvimento do mesmo. O uso de programas computacionais, através da modelagem hidrológica, realiza o tratamento destas informações e produz aproximações capazes de representar diversos cenários.

2.3 Modelagem Matemática

Um modelo é a representação do comportamento de um sistema, a fim de simular a realidade de forma simplificada. Além de permitir a análise em diferentes cenários, soluciona problemas que seriam onerosos em uma solução experimental, ou muito complicados para tratamento analíticos (PADILHA, 2017).

Desta forma, muitas áreas da engenharia, como a hidrologia por exemplo, vem desenvolvendo modelos com o intuito de reproduzir condições reais, prever o comportamento de determinadas situações e obter respostas para problemas.

A hidrologia é a ciência que estuda os fenômenos do ciclo hidrológico, tais como, precipitação, infiltração, evapotranspiração e escoamento. Sendo assim, para melhor entender estes fenômenos, tem-se desenvolvido modelos hidrológicos com o intuito de compreendê-los melhor dentro da bacia hidrográfica e prever as possíveis consequências dos dados observados.

De acordo com Lima (2011), os modelos servem como uma ferramenta de auxílio ao trabalho do engenheiro hidrólogo e demais profissionais envolvidos com o tema, permitindo maior compreensão dos fenômenos hidrológicos em uma bacia hidrográfica, bem como possibilitando prever o comportamento da bacia sob condições diversas.

Softwares como o Hydrological Engineering Center - Hydrologic Modeling Systems (HEC-HMS) e Hydrological Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS) são exemplos de tecnologias utilizadas para a modelagem dos cenários hidrológicos e hidráulicos, sendo usados amplamente devido aos bons resultados fornecidos.

2.3.1 HEC-HMS

Hydrological Engineering Center - Hydrologic Modeling Systems (HEC-HMS), é um software que faz parte do programa de pesquisa e desenvolvimento do Corpo de Engenharia do Exército dos Estados Unidos da América (US Army Corps of Engineers), produzido pelo Hydrological Engineering Center (HEC), usado para simular o processo de chuva-vazão em bacias hidrográficas.

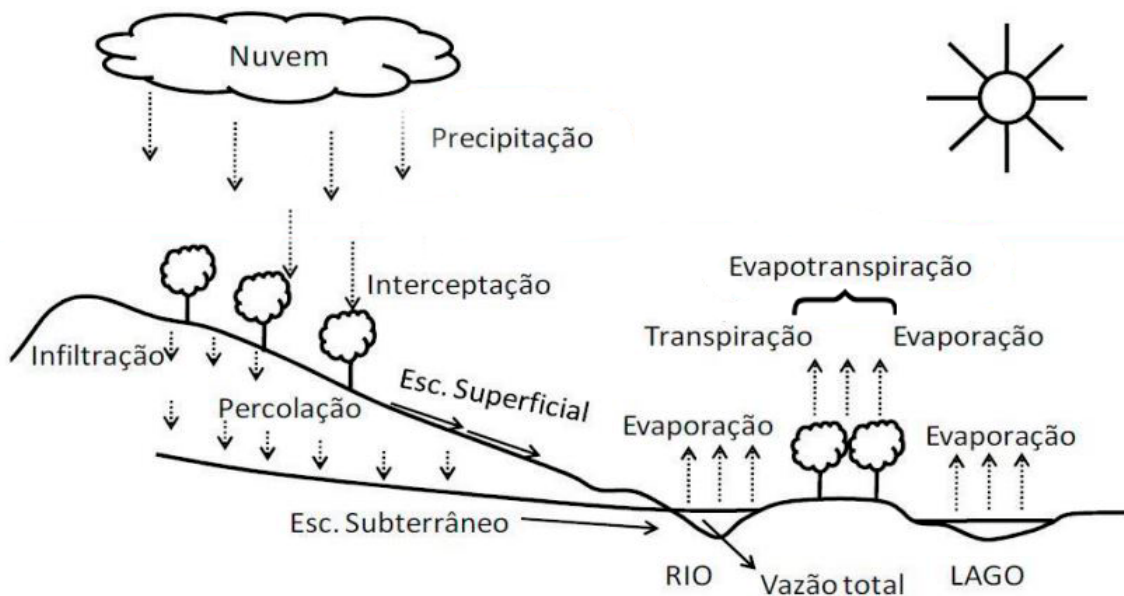
De acordo com Padilha (2017), o modelo gera hidrogramas e informações referentes ao volume de escoamento, vazão de pico e tempo de escoamento, com base nas simulações dos processos hidrológicos, utilizando poucos parâmetros para calibração, podendo representar os processos hidrológicos em diferentes locais e sob

diferentes condições. Além disso, o programa pode ser utilizado para planejamento e processo de novas instalações hidráulicas e para indicar áreas inundáveis.

Um modelo relaciona algo desconhecido (saída), com dados conhecidos (entrada), neste caso, o HEC-HMS utiliza como dado conhecido a precipitação e parâmetros da bacia, e o resultado obtido na saída diz respeito ao escoamento da área estudada (UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE), 2000) .

Para caracterizar o escoamento em uma bacia é preciso assimilar as principais etapas do ciclo hidrológico, que estão ilustradas na Figura 5.

Figura 5 – Etapas do ciclo hidrológico



Fonte: Kobiyama et al. (2011).

Inicialmente, quando há precipitação, parte do volume é interceptado pela vegetação e parte atinge o solo. Parte da água retorna para a atmosfera através da evapotranspiração, caracterizada pela evaporação nos canais e transpiração das plantas.

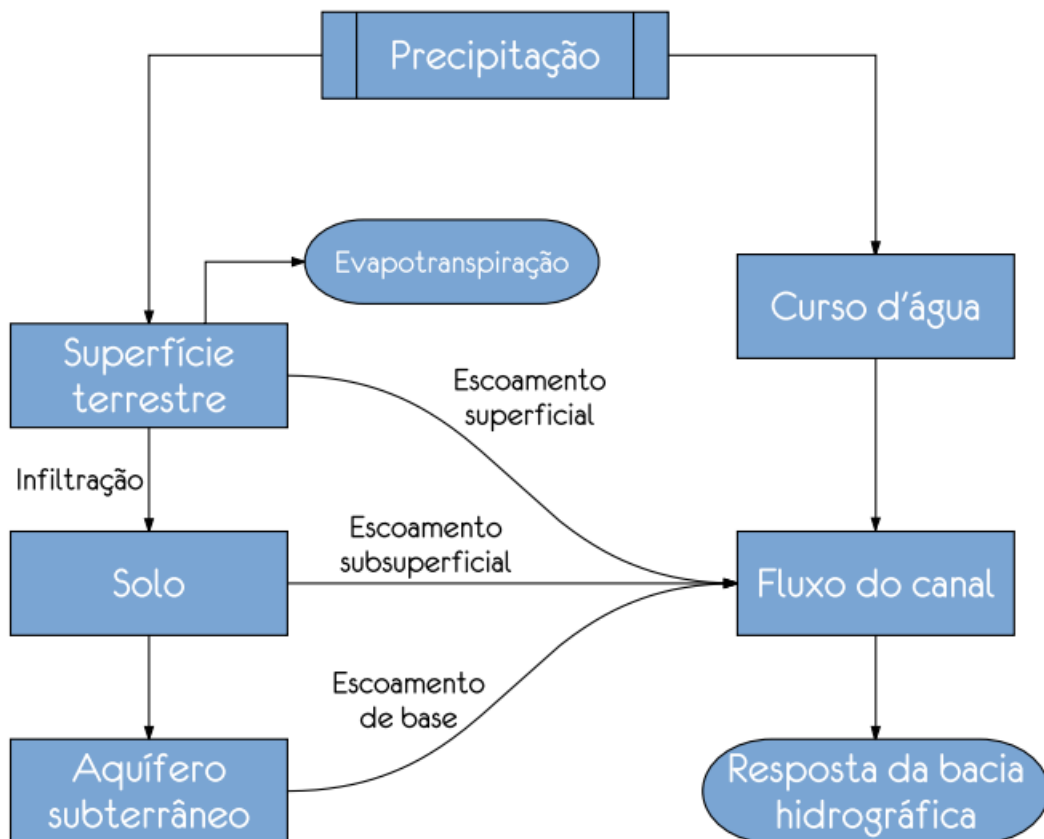
A precipitação que cai diretamente sobre o solo tende a escoar para os rios e parte tende a infiltrar no solo, juntamente com a parcela que é interceptada e não sofre transpiração, sendo transportada através das folhas, caules e troncos, até a superfície do solo.

Quando a água infiltra, permanece temporariamente armazenada nas camadas superiores de solo; posteriormente, tende a subir para a superfície por ação capilar ou percorre verticalmente o solo para os aquíferos de água subterrânea.

A vazão de um rio fica então compreendida como sendo a parcela que precipita diretamente no canal, a parte advinda do escoamento superficial no solo e a fração proveniente do escoamento subterrâneo.

Todos estes fatores são levados em conta na modelagem hidrológica, no entanto, segundo o USACE (2000), para o estudo de áreas inundáveis não é necessário uma contabilidade detalhada da quantidade de água armazenada nas camadas do solo. Em vez disso, o modelo só precisa calcular e relatar o pico, o volume ou o hidrograma do exutório da bacia hidrográfica, tornando o processo hidrológico mais simples, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Representação do escoamento em uma bacia hidrográfica



Fonte: Adaptado de USACE (2000, p. 10).

A Figura 6 demonstra que apenas os componentes necessários para prever o escoamento superficial são detalhados, sendo os demais omitidos ou agrupados. Desta maneira, o programa é configurado para incluir modelos de infiltração, mas não modela o armazenamento e o movimento vertical da água dentro do solo. Combina de forma implícita o fluxo das camadas do solo com a superfície próxima e calcula tudo como escoamento direto, não detalhando um fluxo subterrâneo específico, mas representando apenas a saída combinada como escoamento de base (USACE,2000).

2.3.1.1 Métodos para estimativa de vazão de projeto

A determinação do escoamento superficial é um processo que envolve diversas variáveis do ciclo hidrológico de uma bacia, desta forma, a obtenção de informações

relacionadas ao escoamento depende da disponibilidade dos dados hidrológicos. De acordo com Gontijo (2007), os métodos para quantificação de cheias podem ser considerados diretos ou indiretos.

Os métodos diretos são aqueles que utilizam exclusivamente registros fluviométricos por meio de uso de distribuições estatísticas, e só devem ser utilizados quando existem dados históricos de vazão e as condições da bacia não se modificam, enquanto os indiretos, são empregados em bacias que não possuem dados de vazão e o uso de métodos estatísticos fica inviável. Os dados de vazão são então obtidos através da transformação dos registros de precipitações (GONTIJO, 2007).

Segundo Naghettini (1999), os métodos indiretos ainda podem ser classificados em quatro grupos, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Métodos indiretos de acordo com a área da bacia

Área da Bacia (km²)	Métodos Aplicados
< 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 Naghettini (1999, p. 75).

Baseando-se nas informações da Tabela 1, e de acordo com as características da bacia estudada, que possui 88,64 km² e serão melhor abordadas neste trabalho, é possível utilizar três métodos para determinar a vazão de projeto, no entanto, será usado o método baseado no hidrograma unitário (HU), visto que este modelo está presente no software HEC-HMS.

O hidrograma unitário é um hidrograma de escoamento superficial direto, resultante de uma chuva efetiva com intensidade e duração unitárias. Logo, para sua construção são necessários registros de vazão e precipitação, pois o procedimento relaciona estas duas grandezas. Contudo, como os dados de estações fluviométricas não são recorrentes em todas as bacias, foram estabelecidos outros métodos para determinar o hidrograma a partir de características físicas da bacia hidrográfica, conhecido como hidrograma unitário sintético (PORTO; FILHO; MARCELLINI, 1999).

De acordo com Collischonn e Tassi (2008), os hidrogramas unitários sintéticos formam a base de muitos modelos hidrológicos amplamente utilizados para calcular vazões máximas de projeto, e tem funcionado relativamente bem, apesar de algumas

premissas utilizadas não serem totalmente corretas, como por exemplo, o tempo de base igual, chuva efetiva gerada uniformemente na bacia e chuva efetiva gerada de forma idêntica em todos os eventos.

A bacia estudada neste trabalho não possui registros fluviométricos, sendo necessário trabalhar com dados de precipitações e convertê-los em vazão. Para isso são utilizados modelos como o apresentado na Seção 2.3.1.2, de Chuva-Vazão.

2.3.1.2 Chuva-Vazão

O processo de simulação chuva-vazão no programa HEC-HMS utiliza diferentes modelos que calculam perdas de precipitação, escoamento direto (superficial e sub-superficial), escoamento de base e propagação da onda no canal. Para calcular a perda de precipitação será utilizado, neste estudo, o método do Número de Curva (CN) do Soil Conservation Service (SCS).

O modelo hidrológico SCS é um método de distribuição temporal determinado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em 1986. O modelo é difundido na conservação do solo e da água, sendo usado para estimar o escoamento superficial direto gerado por eventos de precipitação pluvial individuais, bem como em modelos de simulação hidrossedimentológicos (BESKOW et al., 2009).

De acordo com Schafer, Nogueira e Sluter (2011), o método SCS também pode ser utilizado para avaliar a influência das alterações que ocorrem no uso e/ou características do solo no escoamento superficial.

O parâmetro do método que representa as condições de uso e tipo de solos é o CN (curve number - número de curva), um valor adimensional que pode variar entre 0 e 100. A partir do CN, é possível estimar o máximo potencial de armazenamento de água de uma determinada área de drenagem em um dado momento (SCHAFER; NOGUEIRA; SLUTER, 2011).

O potencial máximo de armazenamento de água na bacia pode ser calculado através da Fórmula 1, como sendo uma relação empírica entre a capacidade de armazenamento da bacia e CN.

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

Sendo

S o armazenamento máximo de água na bacia (mm);

CN é o número de curva (adimensional) variando de 0 a 100, sendo os valores mais próximos de 100 indicativos de maior escoamento superficial.

O número de curva é determinado em função do tipo de solo e das condições de uso e ocupação. Do ponto de vista hidrológico, o SCS distingue quatro grupos de solos, apresentados na Tabela 2, que foi composta com base nas características dos

solos descritas por Portela (2006) e nos teores de argila descritos por Tucci et al. (1993) apud Tomaz (2011).

Tabela 2 – Grupo de solos e suas características

Grupo de solo	Características do solo	Teor de Argila
A	Solos com baixo escoamento superficial e elevada infiltração, mesmo quando totalmente encharcados. Inclui os solos arenosos profundos com pouco silte e argila.	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camada argilosas, e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.
B	Solos que apresentam taxas de infiltração moderadas quando totalmente encharcados.	Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. O teor de húmus podem subir, respectivamente, 1,2 a 1,5%.
C	Solos com baixas taxas de infiltração quando totalmente encharcados, consistindo principalmente em solos com camadas que impedem o movimento descendente da água e em solos com textura moderadamente fina, com percentagem elevada de argila.	Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,3 m.
D	Solos com elevado escoamento superficial. Apresentam, quando totalmente encharcados, taxas de infiltração muito reduzidas. Estão fundamentalmente constituídos por solos argilosos, solos em áreas que o nível do lençol freático é constantemente elevado, ou solos finos sobre camadas impermeáveis.	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.

Fonte: Adaptado de Tucci et al. (1993) e Portela (2006) apud Tomaz (2011, p. 6).

A partir da classificação em um dos quatro grupos presentes na Tabela 2, escolhe-se o valor de CN através de tabelas que levam em conta características do uso e ocupação do solo. As Tabelas 3 e 4, fornecem os valores de CN para bacias rurais e urbanas ou suburbanas, respectivamente.

Tabela 3 – Valores de CN 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	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 curva de nível	47	67	81	88
	Normais, em curva de nível	25	59	75	83
	Boas, em curva de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	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
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Adaptado de Tucci et al. (1993) apud Tomaz (2011, p. 6).

Tabela 4 – Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

Superfície do Solo	Grupo do Solo			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas sem conservação do solo	72	81	88	91
Zonas cultivadas 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
Florestas (cobertura boa)	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques (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 com lotes:				
< 500 m ² e média impermeável de 65%	77	85	90	92
1000 m ² e média impermeável de 38%	61	75	83	87
1300 m ² e média impermeável de 30%	57	72	81	86
2000 m ² e média impermeável de 25%	54	70	80	85
4000 m ² e média impermeável de 20%	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos	98	98	98	98
Arruamentos e estradas:				
Asfaltas e com drenagem de águas pluvias	98	98	98	98
Paralelepípedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

Fonte: Adaptado de Tucci et al. (1993) apud Tomaz (2011, p. 6).

Com a determinação do armazenamento máximo de água na bacia, pode-se calcular a chuva excedente através da Fórmula 2, caracterizada pela parcela de precipitação que contribui para o escoamento superficial.

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P + S - I_a} \quad (2)$$

Onde

P_e é a precipitação excedente (mm);

P é a precipitação acumulada total (mm);

S é o armazenamento máximo de água na bacia (mm);

I_a é a abstração inicial (mm), referente a interceptação da vegetação, o armazenamento por depressões e a infiltração antes de iniciar o escoamento superficial.

De acordo com Portela (2006), a SCS determinou empiricamente através de

estudos realizados nos Estados Unidos, que o valor de I_a para bacias com expressiva vegetação, é aproximadamente 20 % do armazenamento máximo de água na bacia, sendo assim a precipitação excedente é calculada através da Fórmula 3.

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (3)$$

No entanto, segundo Mulungo (2012), alguns autores recomendam em bacias com grandes áreas impermeáveis, que o valor de I_a seja 10 % do armazenamento máximo de água na bacia, a fim de simular a redução da interceptação e de depressões que ocorrem em áreas urbanas.

A precipitação excedente calculada é então transformada em escoamento superficial através do hidrograma unitário sintético gerado pelo software HEC-HMS. Este dado serve como parâmetro de entrada do modelo HEC-RAS.

2.3.2 HEC-RAS

Desenvolvido pelo Corpo de Engenharia do Exército Norte Americano, Hydrological Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS), é um software gratuito utilizado para modelagem de rios e canais.

Suas aplicações englobam o estudo unidimensional e bidimensional de canais em regime permanente, não permanente, transporte de sedimentos e qualidade da água, sendo possível realizar diversos tipos de análises, como levantamento de áreas inundáveis e estudos de rompimento de barragens (UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE), 2010).

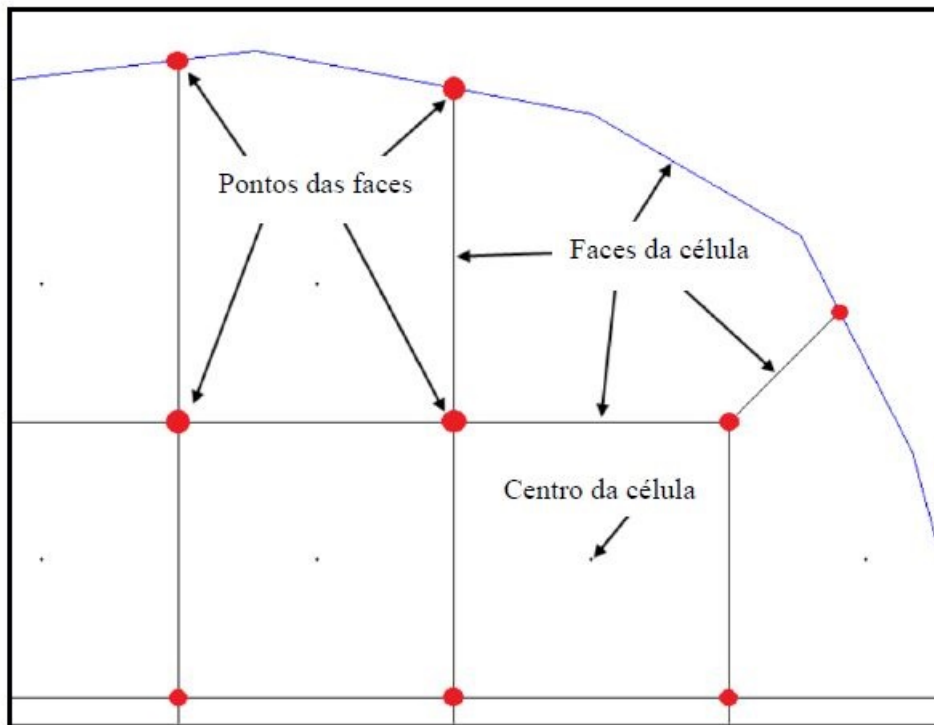
O software possui interface gráfica para visualização bidimensional da simulação e capacidade de gerar gráficos e tabelas com resultados das simulações, além de fornecer variáveis independentes para análise hidráulica. As condições de entrada que alimentam o modelo são obtidos através dos hidrogramas obtidos no HEC-HMS.

Deste modo, a aplicação do software visa simular o escoamento no canal e planície de inundação, a fim de determinar o perfil d'água utilizado para a demarcação das áreas inundáveis.

O modelo que representa o fluxo bidimensional na planície de inundação é realizado através da inserção de uma malha computacional denominada de área de fluxo 2D, sendo esta área o limite no qual ocorrerão os cálculos bidimensionais.

De acordo com Coutinho (2015), a unidade da malha computacional é denominada célula, e cada célula possui como limites (contornos) as faces em cujos vértices encontram-se os pontos das faces (nós), sendo as propriedades da malha computacional ilustradas na Figura 7.

Figura 7 – Propriedades da malha computacional



Fonte: Adaptado de Brunner (2014) apud Coutinho (2015).

Quanto as propriedades destacadas na Figura 7, segundo Coutinho (2015), o centro da célula é o ponto onde é calculada a elevação da superfície da água para cada célula da malha computacional. Os pontos das faces, ou nós, são as extremidades das células, e as faces das células podem também ser chamadas de contorno.

A malha computacional permite controlar o movimento da água através da área de fluxo 2D, sendo a elevação da superfície da água calculada para cada centro de célula. O movimento do escoamento entre células baseia-se no perfil da face entre células, onde cada célula e face das células computacional baseiam-se nos detalhes do terreno de base, que são fornecidos através do modelo digital do terreno (MDT).

Desta forma, antes de iniciar a simulação hidráulica, é necessário associar os arquivos de geometria ao terreno de base. Esse procedimento é realizado dentro da interface RAS Mapper, onde a geometria e a malha computacional são pré-processadas em forma de tabelas com as propriedades hidráulicas, a fim de desenvolver relações da elevação e volume para cada célula, e também curvas de propriedades hidráulicas para cada face celular (COUTINHO, 2015).

3 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi desenvolvido sobre a sub-bacia do rio Águas Vermelhas, inserida na bacia hidrográfica do rio Pirai (BHRP).

Com área de 451,67 km² a bacia hidrográfica do rio pirai é de grande importância para o município, pois além de contribuir para a manutenção da rizicultura, é responsável por parte do abastecimento de água da cidade. A BHRP é dividida em vinte e três sub-bacias, sendo um dos seus principais afluentes o rio Águas Vermelhas (MAIA et al., 2014).

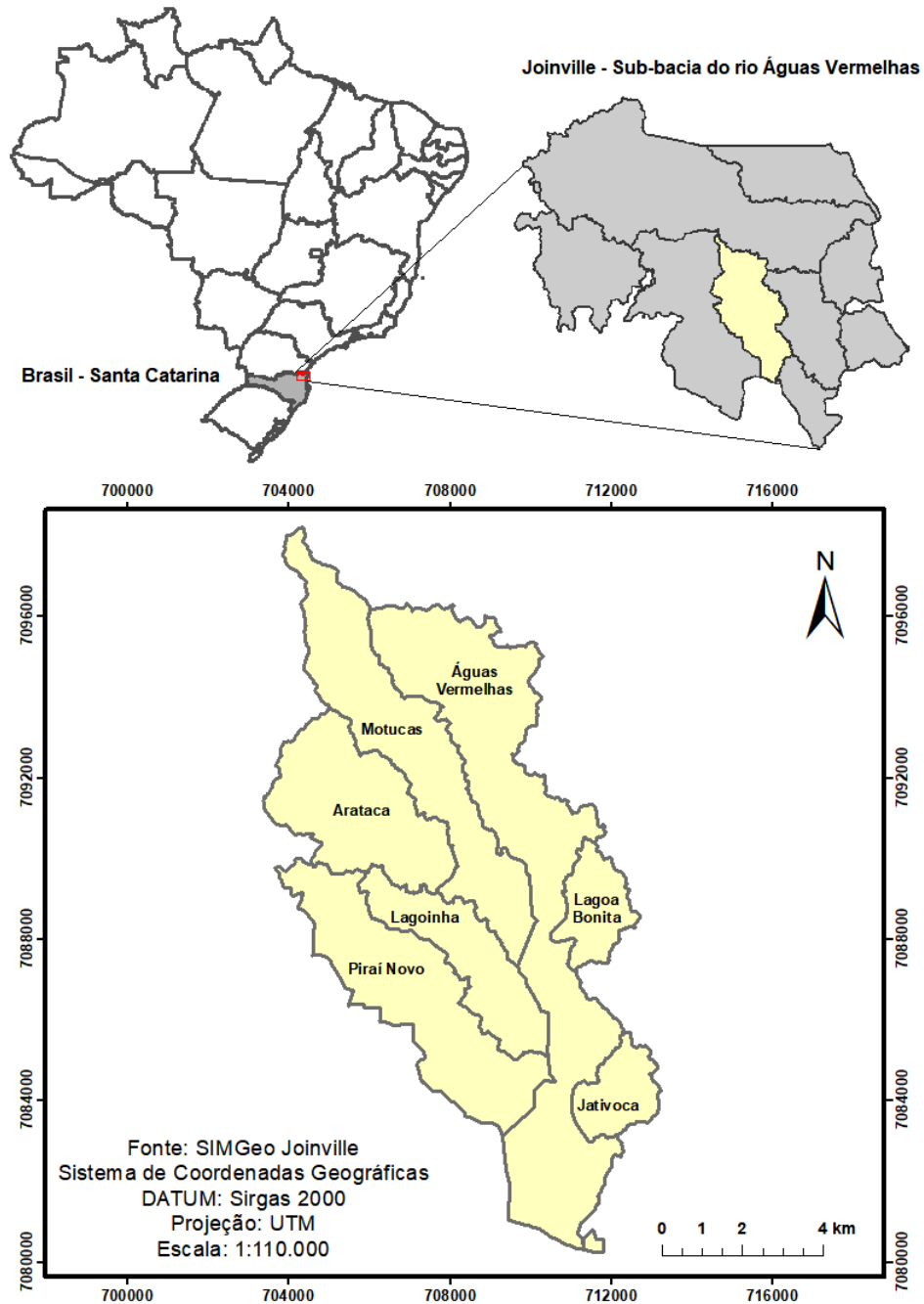
Neste capítulo serão abordadas as características da sub-bacia do rio Águas Vermelhas, tais como sua localização, clima, uso do solo, cobertura vegetal, geologia e geomorfologia.

3.1 Localização

A área de estudo é constituída pela região da sub-bacia do rio Águas Vermelhas, localizada na cidade de Joinville, em Santa Catarina.

Possuindo aproximadamente 88,64 km² de área, esta sub-bacia se divide em sete microbacias: rio Arataca, rio Jativoca, rio Lagoa Bonita, rio Lagoinha, rio Motucas, rio Pirai Novo e rio Águas Vermelhas, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Localização da área de estudo



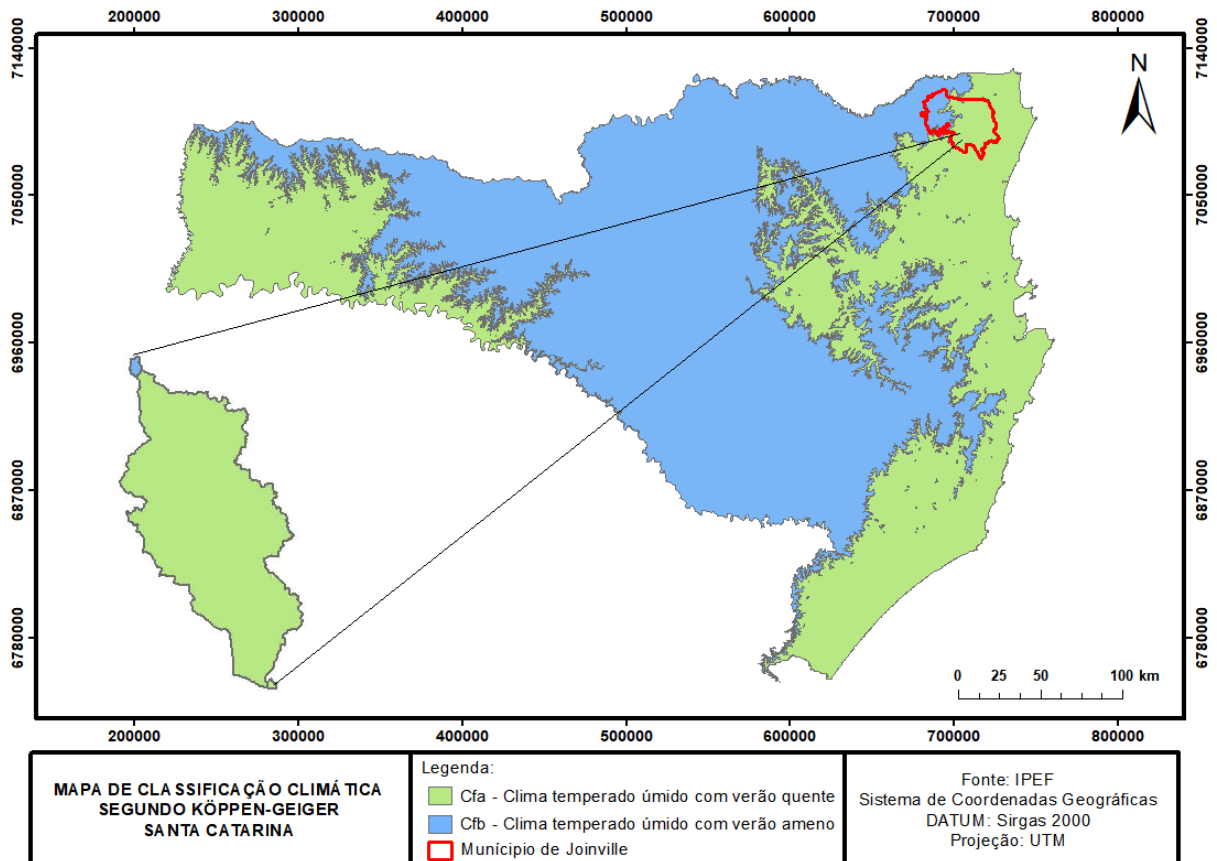
Fonte: Autora (2018).

3.2 Clima

O clima da região onde localiza-se o município de Joinville é classificado em úmido, superúmido e mesotérmico com curtos períodos de estiagem. A classificação de Thornthwaite divide o local em AB'4 ra' (superúmido) na planície costeira, B4 B'3 ra' (úmido) nas regiões mais altas e B3 B'1 ra' (úmido) no planalto ocidental (SECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEPUD), 2017).

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima da região onde está inserida a cidade de Joinville é classificado como Clima Subtropical com Verão Quente (Cfa) e Clima Temperado com Verão Ameno (Cfb), conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Classificação climática Köppen-Geiger, destacando a sub-bacia do rio Águas Vermelhas



Fonte: Autora (2018).

A Figura 9 traz em destaque a sub-bacia do rio Águas Vermelhas, região predominada pelo clima Cfa. De acordo com Uberti (2011), a temperatura média anual para esta classificação varia entre 19,1 a 20°C, com máximas variando entre 26 a 27,6°C e mínimas de 15,4 a 16,8°C.

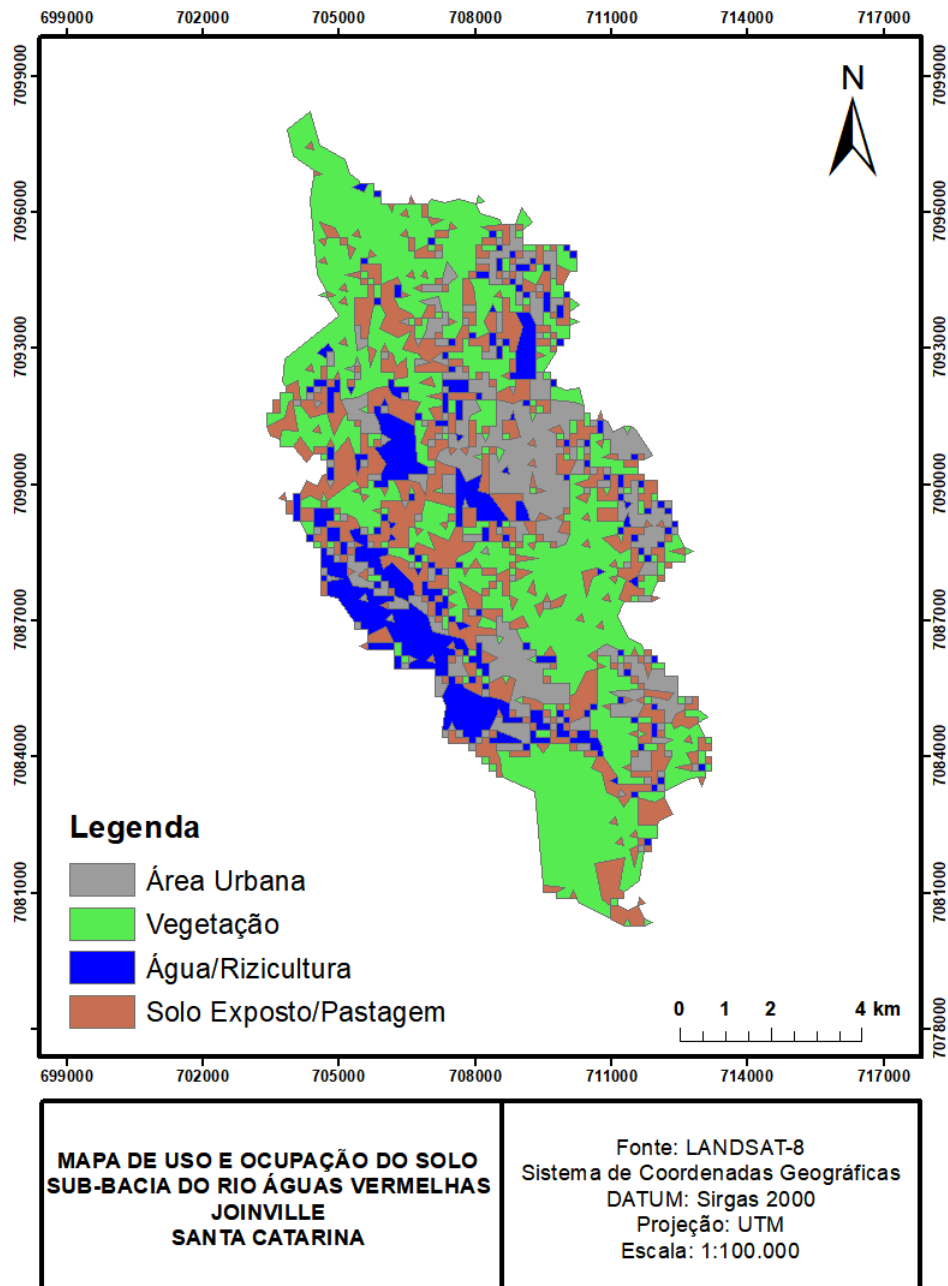
3.3 Uso do Solo e Cobertura Vegetal

De acordo com Uberti (2011), a vegetação do município de Joinville pertence ao bioma da Mata Atlântica, estando fragmentada em diferentes ecossistemas naturais. Em cenário de Terras Baixas, em condições de clima Cfa, alternam-se três ecossistemas: Floresta Ombrófila Densa, Restinga e Manguezais.

De forma geral, além da vegetação, o uso do solo da região para o desenvolvimento deste estudo e aplicação do método SCS pode ser dividido em mais três categorias: área urbana, água ou rizicultura e solo exposto ou pastagem, como mostra

a Figura 10, que foi desenvolvida com base em imagens observadas pelo satélite Landsat 8.

Figura 10 – Uso e ocupação do solo da área de estudo



Fonte: Autora (2018).

A partir do mapeamento apresentado na Figura 10 foram extraídos os dados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Uso e ocupação do solo da área de estudo

Uso	Área (km²)	%
Área Urbana	15,92	17,96
Vegetação	38,79	43,76
Água/Rizicultura	12,19	13,75
Solo Exposto/Pastagem	21,74	24,53

Fonte: Autora (2018).

Nota-se ao observar a Figura 10 e os dados apresentados na Tabela 5 que o uso e a ocupação do solo na área de estudo é predominado pela vegetação, representando 43,76% da sub-bacia analisada.

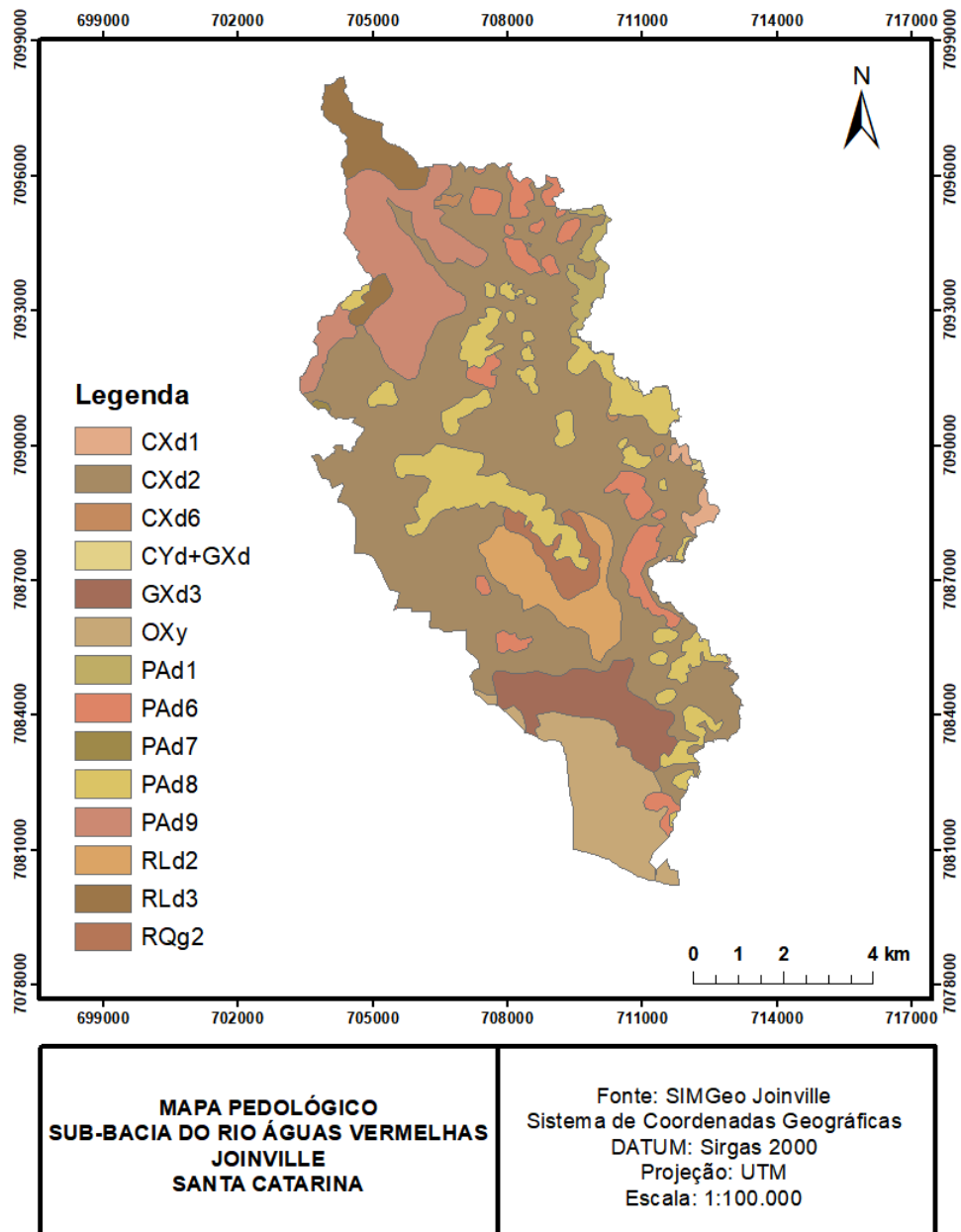
3.4 Geologia e Geomorfologia

A cobertura geológica de Joinville é condicionada pela compartimentação do relevo, estando fragmentada em Terras Altas e Terras Baixas. Nas Terras Altas, os solos são de origem autóctone, originados de rochas cristalinas, enquanto nas Terras Baixas há o predomínio de materiais de origem sedimentar do Período Quaternário (SEPUD, 2017).

De acordo com Uberti (2011) a cidade de Joinville está inserida em dois cenários morfológicos: Planalto de São Bento do Sul, cujo conteúdo principal é o embasamento cristalino da Serra do Mar, e Litorâneo, representado pelas sedimentações recentes do Período Quaternário.

A Figura 11 foi elaborada segundo a base de dados disponibilizada pelo Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville (SIMGeo), e traz as classes de solos existentes na área de estudo.

Figura 11 – Pedologia da área de estudo



Fonte: Autora (2018).

De acordo com o mapa apresentado na Figura 11 é possível perceber que a Sub-Bacia está dividida em quatorze classes diferentes de solo, sendo melhor detalhadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação dos solos

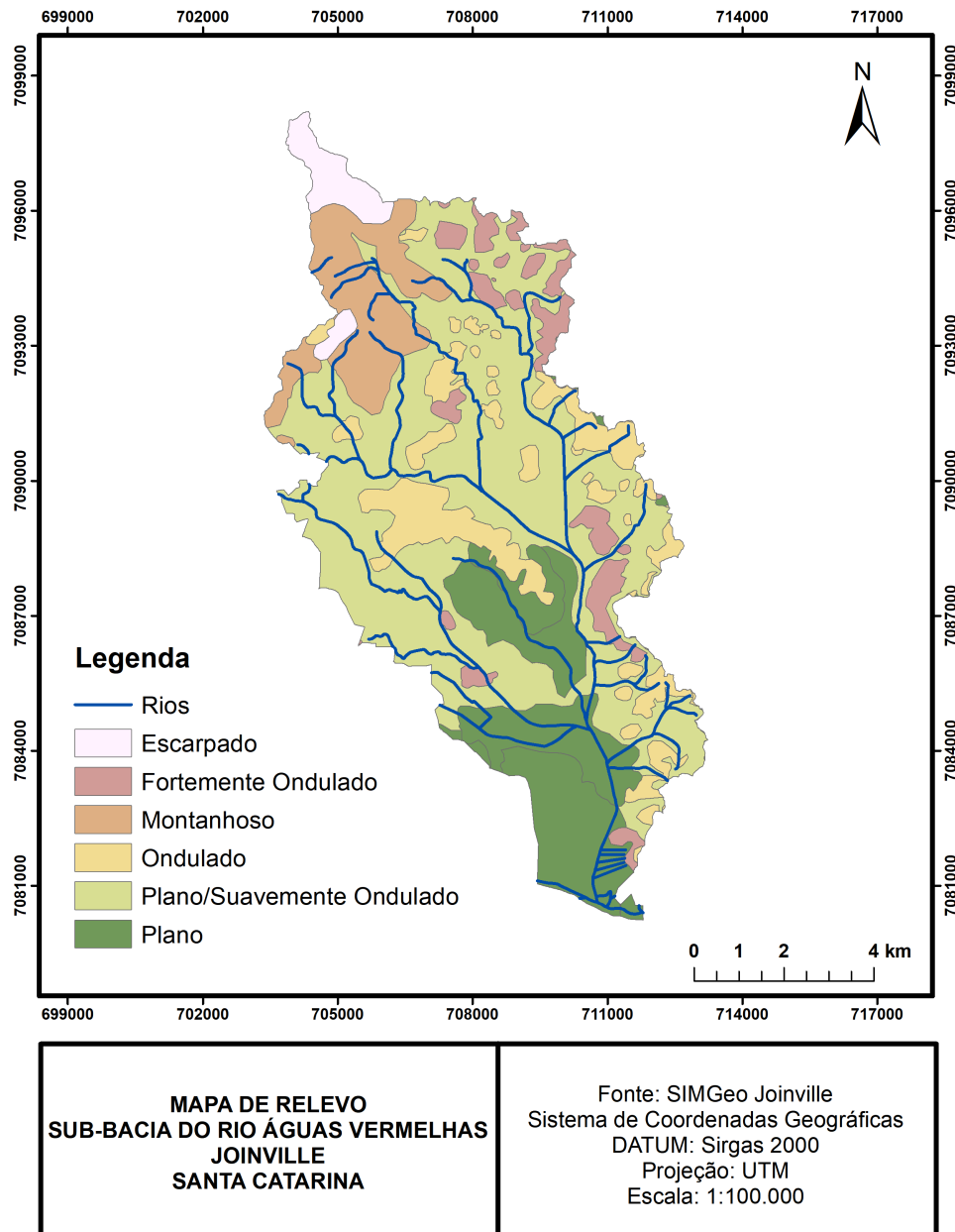
Sigla	Descrição	Área (Km²)	Teor de Argila (%)
CXd1	Cambissolo Háplico Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo ondulado, substrato gnaisse.	0,58	46,85
CXd2	Cambissolo Háplico Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo plano/suavemente ondulado, substrato sedimentos recentes do período Quaternário.	44,23	48,72
CXd6	Cambissolo Háplico Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo ondulado, substrato gnaisse.	0,2	39,60
CYd + GXd	Cambissolo Flúvico Distrófico gleissólico, horizonte A proeminente, textura argilosa+ Gleissolo Háplico Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo plano, substrato sedimentos do período Quaternário.	0,09	16,63
GXd3	Gleissolo Háplico Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo plano, substrato sedimentos argilosos do período Quaternário.	4,56	55,25
Oxy	Organossolo Háplico Hêmico típico, horizonte A hístico, textura orgânica, fase Restinga Hidrófila, relevo plano, substrato sedimentos orgânicos do Período Quaternário.	6,29	26,00
PA d1	Argissolo Amarelo Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase floresta Ombrófila Densa, relevo fortemente ondulado, substrato gnaisse.	1,15	62,80

PA _{d6}	Argissolo Amarelo Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo fortemente ondulado, substrato gnaisse.	4,57	47,42
PA _{d7}	Argissolo Amarelo Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo montanhoso, substrato gnaisse.	0,06	38,98
PA _{d8}	Argissolo Amarelo Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo ondulado, substrato gnaisse.	10,13	49,55
PA _{d9}	Argissolo Amarelo Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa/muito argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo montanhoso, substrato gnaisse.	8,47	47,42
RL _{d2}	Neossolo Litólico Distrófico típico, horizonte A fraco, textura média, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo plano, substrato sedimentos arenosos do período Quaternário.	3,93	16,20
RL _{d3}	Neossolo Litólico Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo escarpado, substrato gnaisse.	2,76	31,00
RQ _{g2}	Neossolo Quartzarênico Hidromórfico típico, horizonte A moderado, textura arenosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo plano, substrato sedimentos arenosos do período Quaternário.	1,62	8,63

Analisando a Figura 11 e a Tabela 6 nota-se que o tipo de solo predominante na região de estudo é o CX_{d2}, ocupando uma área de 44,23 km², o equivalente a 49,90% da área total da sub-bacia.

Segundo as informações da mesma base de dados utilizada para gerar a Figura 11, a Figura 12 ilustra os tipos de relevo presentes na região da sub-bacia do rio Águas Vermelhas.

Figura 12 – Relevo da área de estudo



Fonte: Autora (2018).

Dos seis tipos de relevo existentes na região, nota-se a partir da Figura 12 que os tipos Plano/Suavemente Ondulado e Plano predominam no local.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Os materiais utilizados para a concepção deste estudo consistiram em: dados de registros pluviométricos de estações de monitoramento, dados topográficos, e programas computacionais.

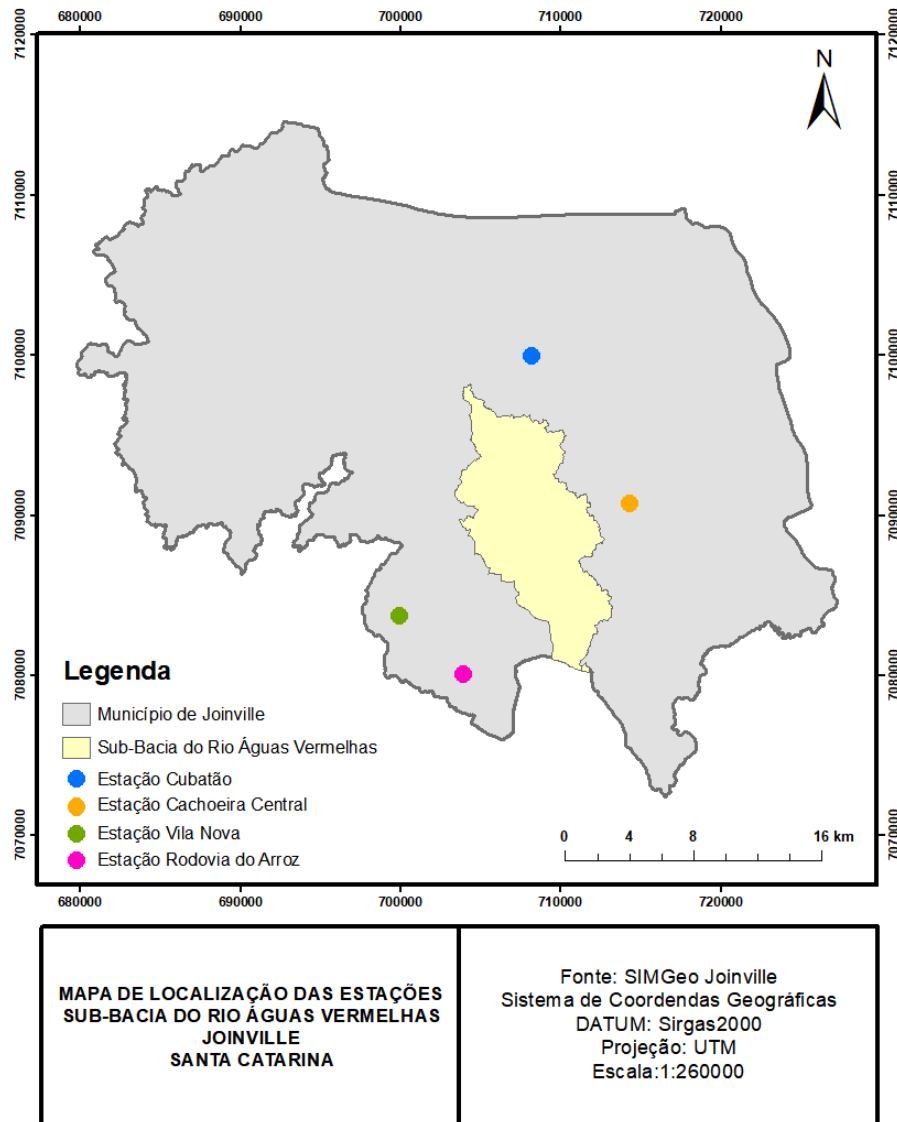
4.1.1 Registros Pluviométricos

O município de Joinville possui uma rede de monitoramento composta por onze estações meteorológicas que são operadas pela Defesa Civil, além de outras estações operadas pela Agência Nacional das Águas (ANA), e pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI).

Para o desenvolvimento deste trabalho, observou-se os dados pluviométricos registrados por estações que encontram-se no entorno da região e contribuem significativamente para o local estudado.

Sendo assim, os dados de chuva utilizados para alimentar o software HEC-HMS foram extraídos dos registros de três estações operadas pela Defesa Civil de Joinville: Cachoeira Área Central, Cubatão e Rodovia do Arroz, estando essas informações disponíveis do site da Prefeitura Digital de Joinville - Secretaria de Proteção Civil e Segurança Pública / Defesa Civil. E por uma estação operada pela EPAGRI, localizada no bairro Vila Nova. Os dados da estação da EPAGRI não estão disponíveis na internet e foram solicitados diretamente para a empresa. A Figura 13 apresenta a posição de cada estação.

Figura 13 – Mapa de localização das estações pluviométricas



Fonte: Autora (2018).

Como é possível observar na Figura 13, as estações estão dispostas ao redor da sub-bacia do rio Águas Vermelhas. Desta forma, os dados de chuva foram inseridos separadamente para cada microbacia da área de estudo.

A Tabela 7 apresenta quais estações foram usadas para compor os registros pluviométricos que alimentaram as microbacias.

Tabela 7 – Microbacias e respectivas estações de monitoramento

Microbacia	Estações
Rio Arataca	Vila Nova, Cachoeira e Cubatão
Rio Jativoca	Cachoeira e Vila Nova
Rio Lagoa Bonita	Cachoeira e Vila Nova
Rio Lagoinha	Vila Nova e Rodovia do Arroz
Rio Motucas	Vila Nova, Cachoeira e Cubatão
Rio Piraí Novo	Vila Nova e Rodovia do Arroz
Rio Águas Vermelhas	Vila Nova, Rodovia do Arroz, Cachoeira e Cubatão

Fonte: Autora (2018).

As estações apresentadas na Tabela 7 possuem registros de dados que variam ao longo dos anos. No entanto, para esta simulação baseou-se nas informações constatadas por Michels (2015), que estão exibidas na Tabela 8, onde durante um período de observação que variou de 2012 a 2015, as cotas registradas pela estação hidrométrica da Defesa Civil indicaram situações de atenção, alerta, ou emergência.

Tabela 8 – Cotas registradas que caracterizaram situações de atenção, alerta e emergência para o período de abril de 2012 até novembro de 2015

Dia	Nível máximo atingido (m)	Nível mínimo atingido (m)
28/04/2012 00:00	3,584	3,4701
29/04/2012 00:00	3,475	3,112
30/04/2012 00:00	3,234	3,103
06/06/2012 00:00	3,698	3,427
07/06/2012 00:00	3,651	3,253
23/06/2013 00:00	3,565	3,399
23/07/2013 00:00	3,244	3,043
23/09/2013 00:00	3,436	3,075
24/09/2013 00:00	3,497	3,344
13/12/2013 00:00	3,336	3,223
06/01/2014 00:00	3,391	3,23
09/06/2014 00:00	4,211	3,572
10/06/2014 00:00	4,213	4,072
11/06/2014 00:00	4,074	3,805
12/06/2014 00:00	3,805	3,484
13/06/2014 00:00	3,485	3,286
24/10/2015 00:00	3,855	3,639
25/10/2015 00:00	3,643	3,146
04/11/2015 00:00	3,327	3,151
05/11/2015 00:00	3,602	3,081

Fonte: Adaptado de Michels (2015).

Segundo Michels (2015), entre os dias 09 e 12/06/2014, o nível máximo atingido na região da sub-bacia do rio Águas Vermelhas variou de 4,213 m a 3,805 m, caracterizando situação de emergência. Além disso, também foram registrados nesse período situações de alerta, fazendo com que se analisasse para a validação/calibração deste estudo todos os registros pluviométricos do mês 06/2014.

4.1.2 Dados Topográficos

Conhecer as características topográficas da região de estudo é de extrema importância para a implementação do mesmo.

Ao trabalhar com modelagem matemática é necessário que as informações

fornecidas para a elaboração do modelo sejam o mais próximo da realidade, afim de obter resultados confiáveis e simular as condições existentes em campo.

Desta maneira, dados relacionados a geometria da sub-bacia do rio Águas Vermelhas e dos canais principais que a compõem foram calculados e apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Características topográficas da sub-bacia do rio Águas Vermelhas

Microbacia	Perímetro (km)	Área (km²)	Comprimento do rio principal (km)	Declividade média do rio principal (m/m)
Rio Arataca	18,35	11,99	6,47	0,0217
Rio Jativoca	9,10	3,63	2,50	0,0103
Rio Lagoa Bonita	10,53	3,90	2,58	0,0224
Rio Lagoinha	18,51	7,69	5,16	0,0077
Rio Motucas	32,56	16,26	9,18	0,0078
Rio Piraí Novo	26,34	15,04	9,79	0,0043
Rio Águas Vermelhas	54,54	30,13	16,94	0,0095

Fonte: Autora (2018).

As informações apontadas na Tabela 9 foram obtidas a partir das bases de dados disponibilizadas pelo SIMGeo Joinville e com auxílio do ArcGIS.

4.1.3 Programas Computacionais

Para a edição e tratamento dos dados de entrada utilizados e para as simulações de inundações propostas foram utilizados os seguintes softwares:

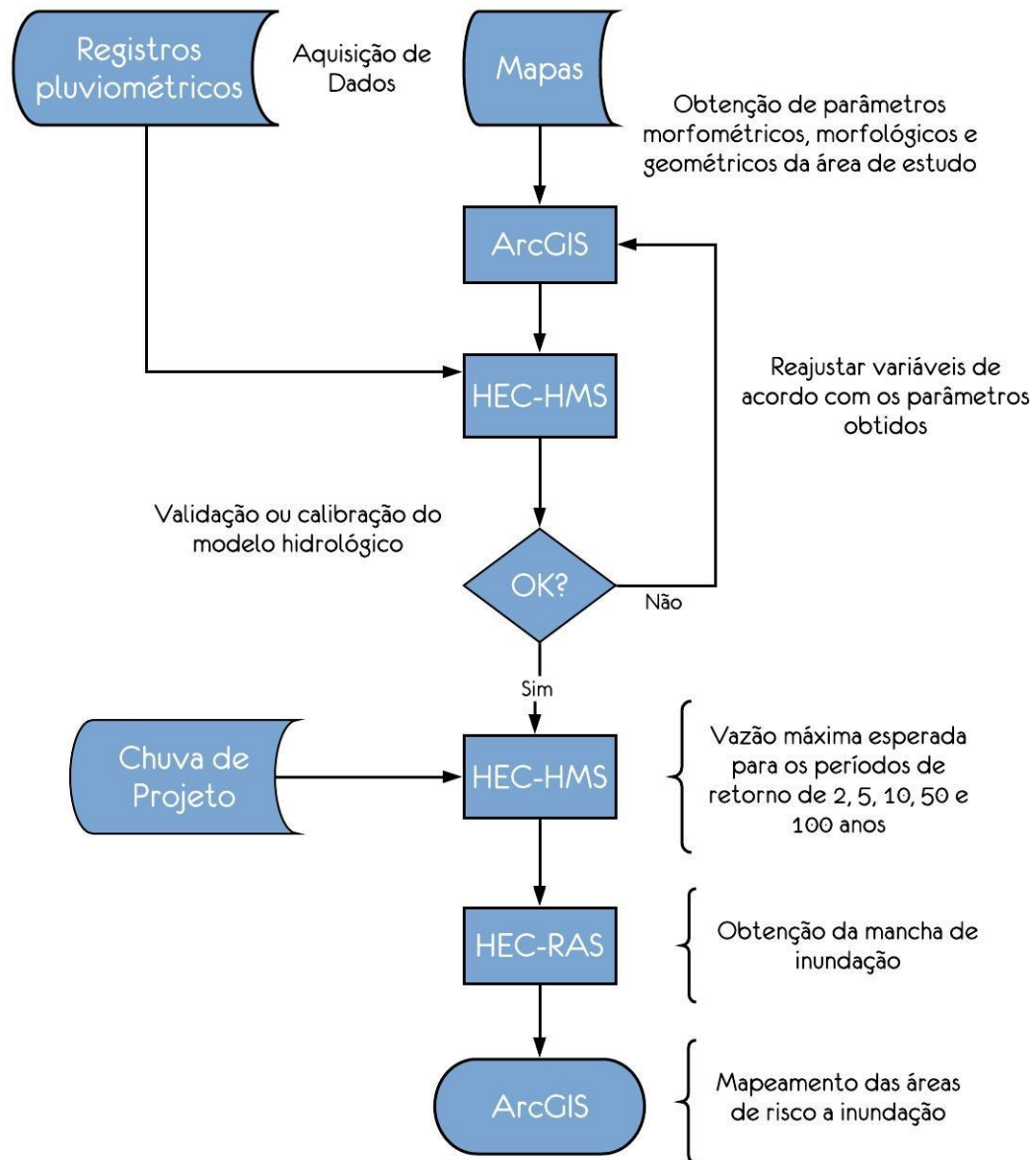
- ArcGIS 10.3
- HEC-HMS 4.2.1
- HEC-RAS 5.0.3
- Microsoft Excel 2016

4.2 Métodos

Este capítulo visa descrever os métodos utilizados para a realização do estudo, bem como apresentar as informações obtidas através da aplicação dos mesmos. Essas informações são essenciais para a obtenção dos resultados e desenvolvimento deste trabalho.

Deste modo, a fim de melhor compreender os processos que serão posteriormente descritos e ilustrar suas aplicações para atingir o objetivo deste estudo, a Figura 14 apresenta um fluxograma simplificado das principais etapas do trabalho.

Figura 14 – Principais etapas do trabalho



Fonte: Autora (2017).

4.2.1 Desenvolvimento da Modelagem no HEC-HMS

Para a criação do modelo simulado no HEC-HMS são necessárias informações referentes a topografia, geometria e características hidrológicas da área de estudo. Entre os principais dados de entrada que devem ser fornecido ao software estão o número de curva, tempo de concentração e fluxo de base.

Para a obtenção desses parâmetros foram utilizados os métodos descritos a seguir.

4.2.1.1 Número de Curva - Soil Conservation Service

O método do Número de Curva desenvolvido pelo Soil Conservation Service, está inserido no software HEC-HMS e é utilizado para transformar precipitação em vazão. Esta metodologia é fundamentada no número de curva (CN), que leva em conta o tipo de solo existente na área de estudo, bem como a sua utilização.

Desta forma, para determinar os valores de CN para a sub-bacia do rio Águas Vermelhas, dividiu-se a área de estudo em sete regiões, delimitadas pela área das microbacias.

Com base nos mapas de uso e ocupação do solo e pedológico, apresentados nas Figuras 10 e 11, respectivamente, analisou-se separadamente cada microbacia afim de determinar o tipo de solo e a ocupação predominante em cada região.

As Tabelas 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 mostradas a seguir, apresentam as características pedológicas das microbacias que compõem a área de estudo, e trazem em destaque o grupo de solo predominante no local. A escolha do grupo para cada tipo de solo foi realizada com base nas características descritas por Sartori (2004).

Tabela 10 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Aratacas

Tipo de Solos	Área (km²)	%	Grupo
CXd2	7,39	61,63	D
PAd7	0,06	0,50	C
PAd8	1,68	14,01	C
PAd9	2,42	20,18	C
RLd3	0,44	3,67	D
Predominância de solos do Grupo D - 65,30 %			
Uso e Ocupação do Solo	Área (km²)	%	CN
Área Urbana	1,63	13,59	92
Vegetação	4,51	37,61	77
Água/Rizicultura	2,16	18,02	100
Solo Exposto/Pastagem	3,69	30,78	89
CN médio = 86,88			

Fonte: Autora (2018).

Tabela 11 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Jativoca

Tipo de Solos	Área (km²)	%	Grupo
CXd1	0,02	0,55	D
CXd2	2,09	57,58	D
GXd3	0,61	16,80	D
PAd8	0,91	25,07	C
Predominância de solos do Grupo D - 74,93 %			
Uso e Ocupação do Solo	Área (km²)	%	CN
Área Urbana	0,73	20,11	92
Vegetação	1,66	45,73	77
Água/Rizicultura	0,23	6,34	100
Solo Exposto/Pastagem	1,01	27,82	89
CN médio = 78,94			

Fonte: Autora (2018).

Tabela 12 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Lagoa Bonita

Tipo de Solos	Área (km²)	%	Grupo
CXd1	0,53	13,59	D
CXd2	2,42	62,05	D
CXd6	0,04	1,03	D
CYd+GX	0,04	1,03	D
PAd1	0,02	0,51	C
PAd6	0,64	16,41	C
PAd8	0,21	5,38	C
Predominância de solos do Grupo D - 77,69 %			
Uso e Ocupação do Solo	Área (km²)	%	CN
Área Urbana	1,06	27,18	92
Vegetação	1,28	32,82	77
Água/Rizicultura	0,40	10,26	100
Solo Exposto/Pastagem	1,16	29,74	89
CN médio = 87,01			

Fonte: Autora (2018).

Tabela 13 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Lagoinha

Tipo de Solos	Área (km²)	%	Grupo
CXd2	1,88	24,45	D
PAd8	2,15	27,96	C
RLd2	2,55	33,16	D
RQg2	1,11	14,43	B
Predominância de solos do Grupo D - 57,61 %			
Uso e Ocupação do Solo	Área (km²)	%	CN
Área Urbana	1,45	18,86	92
Vegetação	3,78	49,15	77
Água/Rizicultura	0,30	3,90	100
Solo Exposto/Pastagem	2,16	28,09	89
CN médio = 84,10			

Fonte: Autora (2018).

Tabela 14 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Motucas

Tipo de Solos	Área (km²)	%	Grupo
CXd2	6,72	41,33	D
PAd6	0,33	2,03	C
PAd8	1,66	10,21	C
PAd9	4,89	30,07	C
RLd2	0,15	0,92	D
RLd3	2,22	13,65	D
RQg2	0,29	1,78	B
Predominância de solos do Grupo D - 55,90 %			
Uso e Ocupação do Solo	Área (km²)	%	CN
Área Urbana	3,23	19,86	92
Vegetação	8,26	50,80	77
Água/Rizicultura	1,08	6,64	100
Solo Exposto/Pastagem	3,69	22,69	89
CN médio = 84,23			

Fonte: Autora (2018).

Tabela 15 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Pirai Novo

Tipo de Solos	Área (km²)	%	Grupo
CXd2	10,22	67,95	D
GXd3	2,56	17,02	D
OXY	0,98	6,52	D
PAd6	0,37	2,46	C
PAd8	0,33	2,19	C
RLd2	0,58	3,86	D
Predominância de solos do Grupo D - 95,35 %			
Uso e Ocupação do Solo	Área (km²)	%	CN
Área Urbana	2,44	16,22	92
Vegetação	2,65	17,62	77
Água/Rizicultura	6,27	41,69	100
Solo Exposto/Pastagem	3,68	24,47	89
CN médio = 91,96			

Fonte: Autora (2018).

Tabela 16 – Características pedológicas e de uso do solo da microbacia do rio Águas Vermelhas

Tipo de Solos	Área (km²)	%	Grupo
CXd1	0,02	0,07	D
CXd2	13,51	44,84	D
CXd6	0,15	0,50	D
CYd+GX	0,05	0,17	D
GXd3	1,38	4,58	D
Oxy	5,31	17,62	D
PAd1	1,14	3,78	C
PAd6	3,22	10,69	C
PAd8	3,21	10,65	C
PAd9	1,17	3,88	C
RLd2	0,65	2,16	D
RLd3	0,1	0,33	D
RQg2	0,22	0,73	B
Predominância de solos do Grupo D - 69,93 %			
Uso e Ocupação do Solo	Área (km²)	%	CN
Área Urbana	5,46	18,12	92
Vegetação	16,42	54,50	77
Água/Rizicultura	1,95	6,47	100
Solo Exposto/Pastagem	6,30	20,91	89
CN médio = 83,72			

Fonte: Autora (2018).

A partir das informações presentes nas Tabelas anteriores e com base nos valores de CN apresentados nas Tabelas 3 e 4, determinou-se os valores que melhor se enquadram em cada região de estudo, sendo estes indicados como "CN médio".

4.2.1.2 Tempo de Concentração

De acordo com Tomaz (2013), o tempo de concentração pode ser definido como o tempo que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada, ou como o tempo que leva para a gota de água mais distante atingir o trecho considerado na bacia. Alguns parâmetros que podem influenciar neste tempo são a área da bacia (A), comprimento do rio principal (L) e declividade média do curso d'água principal (S).

O tempo de concentração é um parâmetro necessário para realização da simulação hidrológica na sub-bacia do rio Águas Vermelhas, visto que serve como dado de entrada para o HEC-HMS. Desta forma, afim de estabelecer comparações entre os métodos existentes para este cálculo, optou-se por utilizar quatro metodologias, as quais estão descritas na Tabela 17.

Tabela 17 – Fórmulas de tempo de concentração testadas

Nome	Equação
Dooge	$T_c = 0,365(A^{0,41}S^{-0,17})$
Giandotti	$T_c = 0,0559(4A^{0,5} + 1,5L)L^{-0,5}S^{-0,5}$
Pasini	$T_c = 0,107A^{0,333}L^{0,333}S^{-0,5}$
Ventura	$T_c = 0,127A^{0,5}S^{-0,5}$

Fonte: Autora (2018).

Sendo

T_c o tempo de concentração (h);

A é a área da bacia (km²);

L é o comprimento do rio principal (km)

S é a declividade do curso d'água principal (m/m).

Os valores obtidos ao aplicar as fórmulas indicadas na Tabela 17, estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores de T_c (h) para as microbacias que compõem a região de estudo

Microbacia	Dooge	Giandotti	Pasini	Ventura	Tc Médio
Rio Arataca	1,94	3,51	3,09	2,99	2,88
Rio Jativoca	1,35	3,96	2,20	2,38	2,47
Rio Lagoa Bonita	1,22	2,74	1,54	1,68	1,79
Rio Lagoinha	1,93	5,28	4,15	4,01	3,84
Rio Motucas	2,61	6,25	6,42	5,80	5,27
Rio Piraí Novo	2,80	8,23	8,60	7,51	6,79
Rio Águas Vermelhas	3,25	6,60	8,76	7,15	6,44

Fonte: Autora (2018).

Para alimentar o modelo hidrológico, utilizou-se a média dos quatro métodos testados.

4.2.1.3 Fluxo de Base

O fluxo de base pode ser definido como o fluxo que os rios mantêm em períodos sem chuva, ou seja, é o escoamento natural dos rios que é mantido pela água subterrânea proveniente dos aquíferos da bacia (COLLISCHONN; TASSI, 2008).

Para o cálculo deste parâmetro utilizou-se o método da regionalização de vazões, que permite transferir dados de áreas com características semelhantes para locais onde há ausência de informações.

Desta forma, com base no estudo realizado por Michels (2015), observou-se os dados de vazões medidos em campo para o rio Águas Vermelhas, e através de uma relação entre vazão e área, calculou-se os fluxos de base para cada microbacia que compõem a área de estudo, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Fluxo de base

Microbacia	Fluxo de base (m³/s)
Rio Águas Vermelhas	1,45
Rio Arataca	0,58
Rio Jativoca	0,46
Rio Lagoa Bonita	0,19
Rio Lagoinha	0,37
Rio Motucas	0,78
Rio Piraí Novo	0,72

Fonte: Autora (2018).

4.2.2 Validação do Modelo

Com a obtenção das informações referentes a topografia, geometria e características hidrológicas da área de estudo, obtidas através das análises e métodos citados nos capítulos anteriores, é possível iniciar a simulação no HEC-HMS.

De forma a comparar se os resultados gerados pelo software são confiáveis, utilizou-se os níveis d'água registrados pela estação hidrometeorológica do Jativoca operada pela Defesa Civil, no período da simulação, para calcular as vazões através da fórmula de Manning, apresentada na Equação 4.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Sendo:

- Q a vazão de pico (m^3/s);
- n o coeficiente de rugosidade de Manning;
- A a área da seção molhada (m^2);
- R o raio hidráulico (m);
- S a declividade do canal (m/m).

As informações utilizadas para aplicação da Equação 4, tais como características da seção e coeficiente de rugosidade do local foram extraídos do estudo elaborado por Michels (2015).

Ao comparar a vazão de pico obtida através da simulação hidrológica com a vazão obtida pela fórmula de Manning, os valores estavam próximos, o que fez com que se continuasse a utilizar os mesmos parâmetros para a obtenção das vazões de pico para períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos.

4.2.3 Chuva de Projeto

Quando deseja-se obter vazões para diferentes períodos de retorno, através dos hidrogramas unitários gerados pelo HEC-HMS, é necessário definir chuvas de projeto que alimentem o modelo chuva-vazão em questão.

De acordo com Bemfica, Goldenfum e Silveira (2000), as chuvas ou hietogramas de projetos, são metodologias de representação simplificadas da distribuição temporal de precipitação, sendo a chuva de projeto definida por três elementos básicos: a altura precipitada ou a intensidade média para a duração e o período de retorno considerado, a duração do evento, e a distribuição temporal.

Para a obtenção dos hietogramas de projeto utilizou-se o método dos blocos alternados. Segundo Tomaz (2010), inicialmente deve-se calcular através da equação de intensidade de precipitação, duração e frequência (IDF), o hietograma adiantado, ou seja, aquele onde o pico está no primeiro intervalo de tempo.

A duração cumulativa, a partir do pico, tem sua altura de chuva calculada através da IDF, até a duração crítica do evento, que é normalmente o tempo de concentração da área contribuinte. Em seguida, reordena-se o hietograma adiantado para posicionar o pico de forma centralizada. Cada bloco de chuva do hietograma adiantado é sucessivo e alternadamente colocado no entorno do bloco do pico (TOMAZ, 2010).

A IDF utilizada para gerar os hietogramas de projetos deste trabalho foi desenvolvida por Junior (2017), em um estudo que teve como objetivo determinar as equações para as principais estações de monitoramento de Joinville. Das curvas geradas, a equação mais próxima da área de estudo foi elaborada a partir de dados pluviométricos da estação do Cubatão, sendo apresentada na Equação 5.

$$i = \frac{200,48 \ln(T) + 1507,5}{(t + 16)^{-0,016 \ln(T) + 0,8582}} \quad (5)$$

Onde:

i é a intensidade de precipitação (mm/h);

T é o período de retorno (anos);

t é a duração da chuva (min).

Com base na Equação 5 gerou-se os hietogramas para as chuvas de projetos de 2, 5, 10, 50 e 100 anos de cada microbacia que compõem a região de estudo. Os hietogramas encontram-se nos Anexos de A a G.

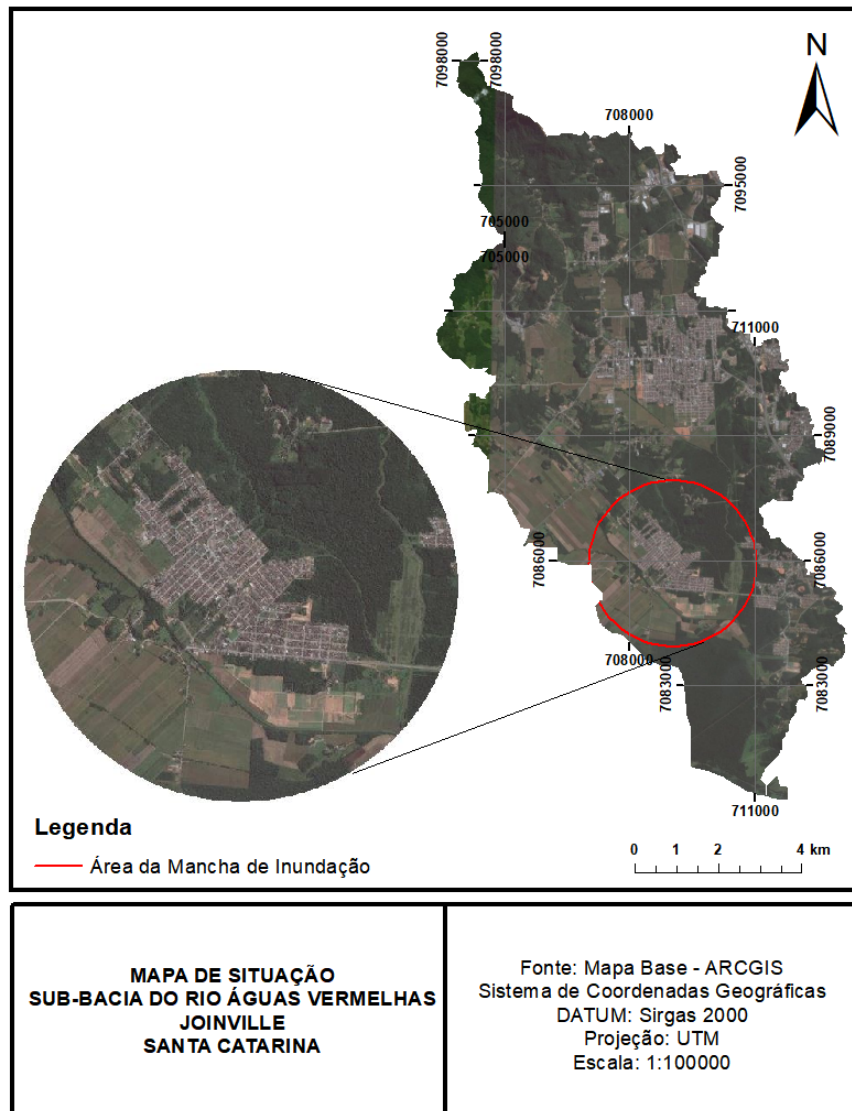
As informações presentes nestes hietogramas serviram para alimentar o modelo no HEC-HMS, gerar os hidrogramas de projeto e conseqüentemente obter as vazões de pico para os mesmos períodos de retorno. Os hidrogramas estão apresentados nos anexos H até N.

4.2.4 Desenvolvimento da Modelagem no HEC-RAS

A modelagem no HEC-RAS consiste na criação de um modelo hidráulico capaz de distribuir a vazão de entrada no terreno. Ou seja, esta fase do estudo teve como objetivo utilizar as vazões calculadas no HEC-HMS, provenientes dos hidrogramas de projeto, para simular a mancha de inundação de uma região que está em constante desenvolvimento dentro da sub-bacia do rio Águas Vermelhas.

A Figura 15 apresenta a sub-bacia do rio Águas Vermelhas com imagens de satélite e traz em destaque a região onde foi mapeada a mancha de inundação, onde empregou-se a extensão 2D Flood Modelling presente no software.

Figura 15 – Área estudada para a mancha de inundação



Fonte: Autora (2018).

Nota-se ao analisar a Figura 15 que o local escolhido para o mapeamento está em processo de urbanização, visto que há construções já existentes e áreas que passaram por processos de parcelamento do solo, podendo a vir receber futuramente a instalação de novas edificações, destacando a importância da região analisada.

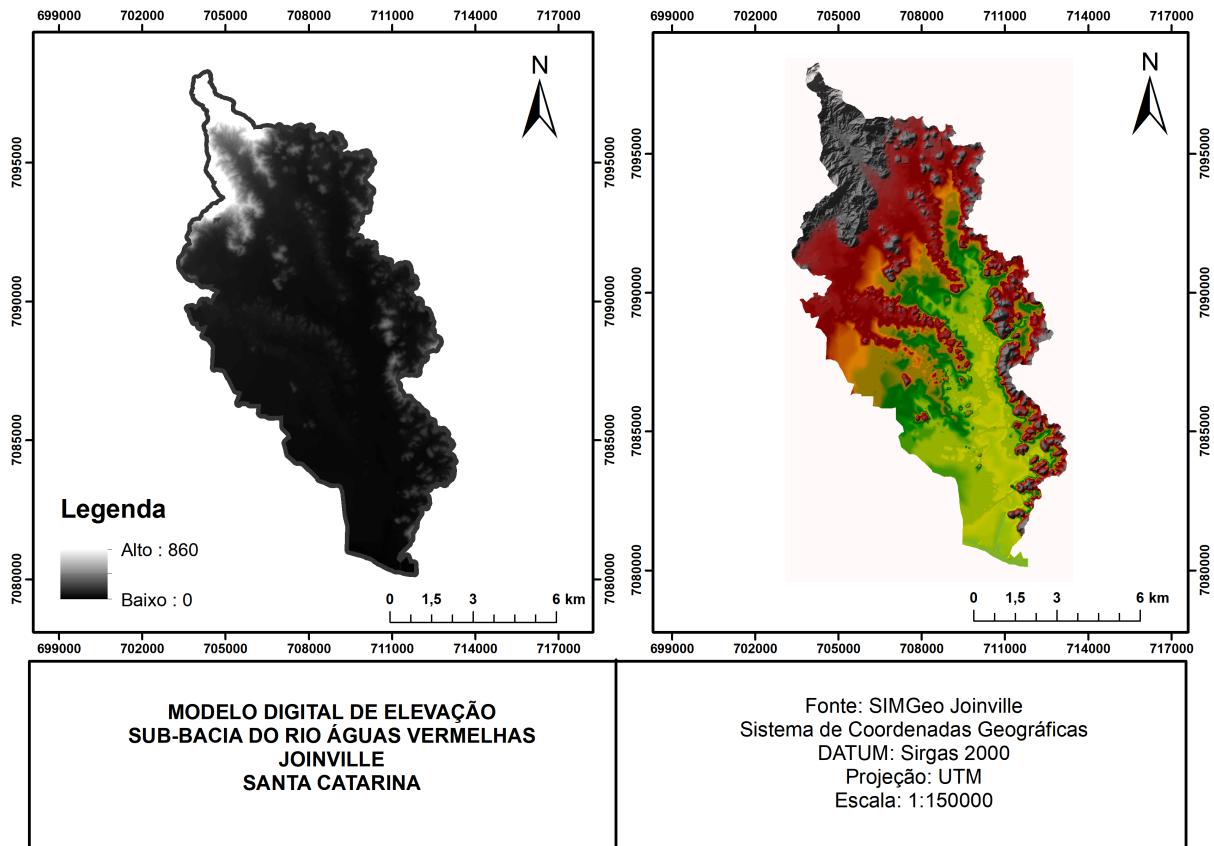
4.2.4.1 Modelo de Inundação 2D

O modelo de inundação 2D (2D Flood Modelling), é uma extensão presente a partir da 5ª versão do software HEC-RAS. É possível através desta ferramenta analisar a água que flui em movimento através de uma superfície, gerando um modelo capaz de simular a mancha de inundação da região.

Para o desenvolvimento desta etapa, é necessário inicialmente definir o terreno base no qual a modelagem ocorrerá. Ou seja, o software requer que seja inserido o

modelo de elevação do terreno, que está representado na Figura 16.

Figura 16 – Modelo de elevação do terreno



Fonte: Autora (2018).

Posteriormente é preciso definir a área de fluxo 2D onde acontecerá a análise, sendo neste caso, toda a região do bairro Morro do Meio e arredores, destacada na Figura 15.

Após a definição da área, deve-se determinar a malha computacional que será aplicada à simulação. Neste estudo devido as características da bacia e capacidade computacional disponível utilizou-se uma malha de 10x10.

Posteriormente definiu-se as condições de contorno da área, bem como os rios que contribuíam para a seção analisada, sendo inseridos nesta etapa os dados de vazão, período no qual ocorreu a simulação e declividade dos cursos d'água.

Por último para a execução da simulação, determinou-se as configurações que seriam empregadas nas análises, tais como o intervalo de computação, onde será definida a frequência com que os níveis serão calculados, o intervalo de saída do mapeamento, que diz respeito ao incremento de tempo que será apresentado posteriormente no visualizador da mancha de inundação, o intervalo de saída do hidrograma e o intervalo de saída detalhado. Os tempos utilizados para as configurações anteriormente citadas foram 1 minuto, e 30 minutos para as demais, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados

Vazões de pico são aquelas que excedem a capacidade normal das seções de escoamento dos cursos d'água. Ou seja, ocorrem quando a quantidade de água precipitada é maior que a velocidade de penetração no solo, gerando assim as cheias e podendo provocar inundações.

A partir da simulação hidrológica realizada no HEC-HMS, obteve-se as vazões de pico para cada microbacia que compõem a sub-bacia do rio Águas Vermelhas, e para o exultório da mesma. As vazões calculadas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos estão apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 – Vazões de pico (m³/s)

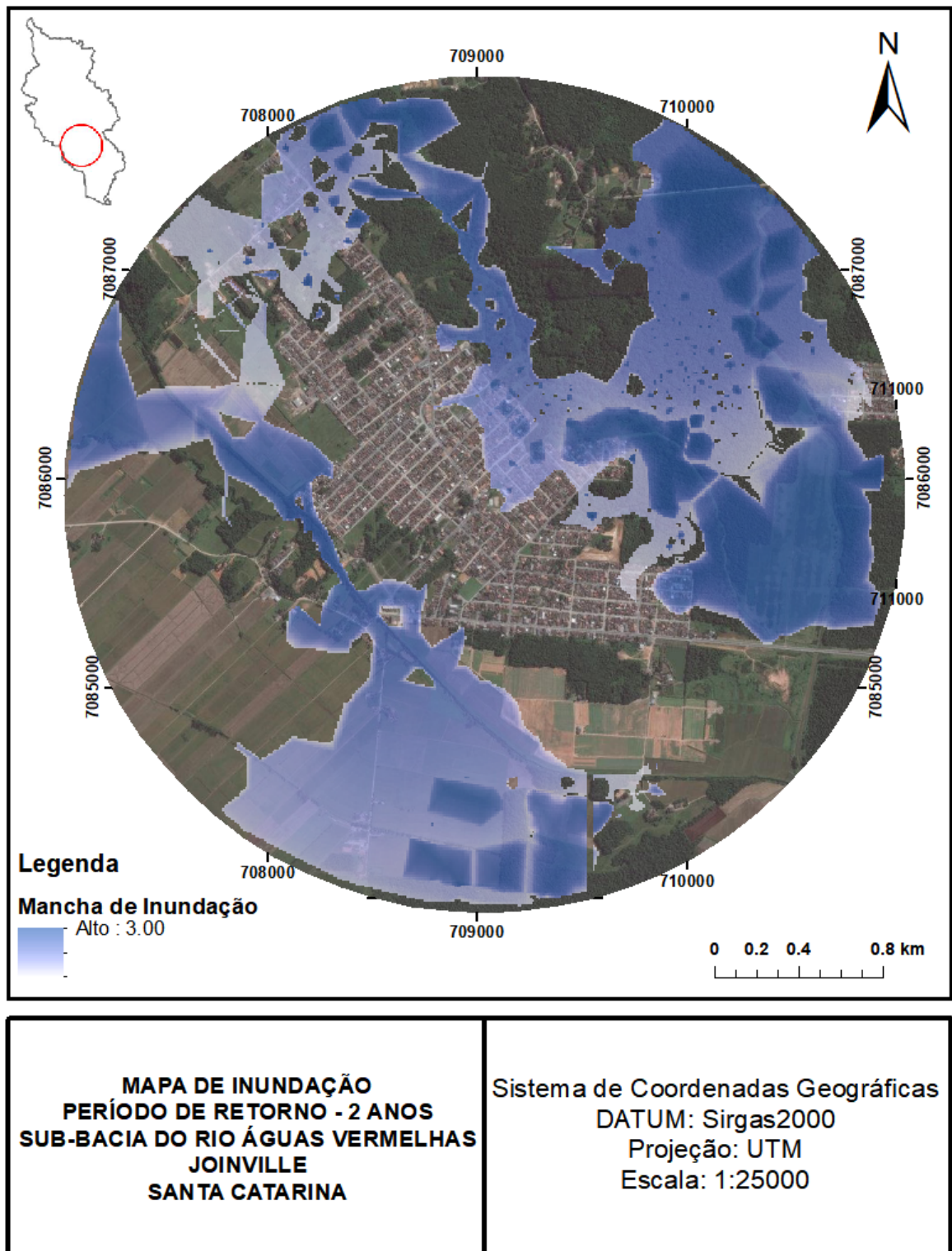
Microbacia	Período de Retorno				
	2 Anos	5 Anos	10 Anos	50 Anos	100 Anos
Rio Arataca	23,00	30,70	37,40	56,20	65,80
Rio Jativoca	5,20	7,00	8,90	14,30	17,20
Rio Lagoa Bonita	10,00	13,40	16,30	24,40	28,60
Rio Lagoinha	12,30	16,40	20,00	30,10	35,30
Rio Motucas	18,60	25,30	31,20	48,00	56,80
Rio Piraí Novo	18,70	24,40	29,40	43,40	50,60
Rio Águas Vermelhas	29,60	30,90	31,90	34,50	35,80
Exultório	73,00	89,00	103,20	143,70	164,90

Fonte: Autora (2018).

As vazões que estão apontadas na Tabela 20 fazem parte dos dados que integram os hidrogramas de projeto gerados através do modelo hidrológico. Estes hidrogramas representam o processo de transformação chuva-vazão e serviram como dado de entrada para o software HEC-RAS, onde através dos dados de vazão fornecidos e do modelo digital de elevação do terreno foi possível mapear a mancha de inundação em uma região da sub-bacia do rio Águas Vermelhas.

O mapa de inundação que representa a mancha gerada para o período de retorno de 2 anos está exibido na Figura 17.

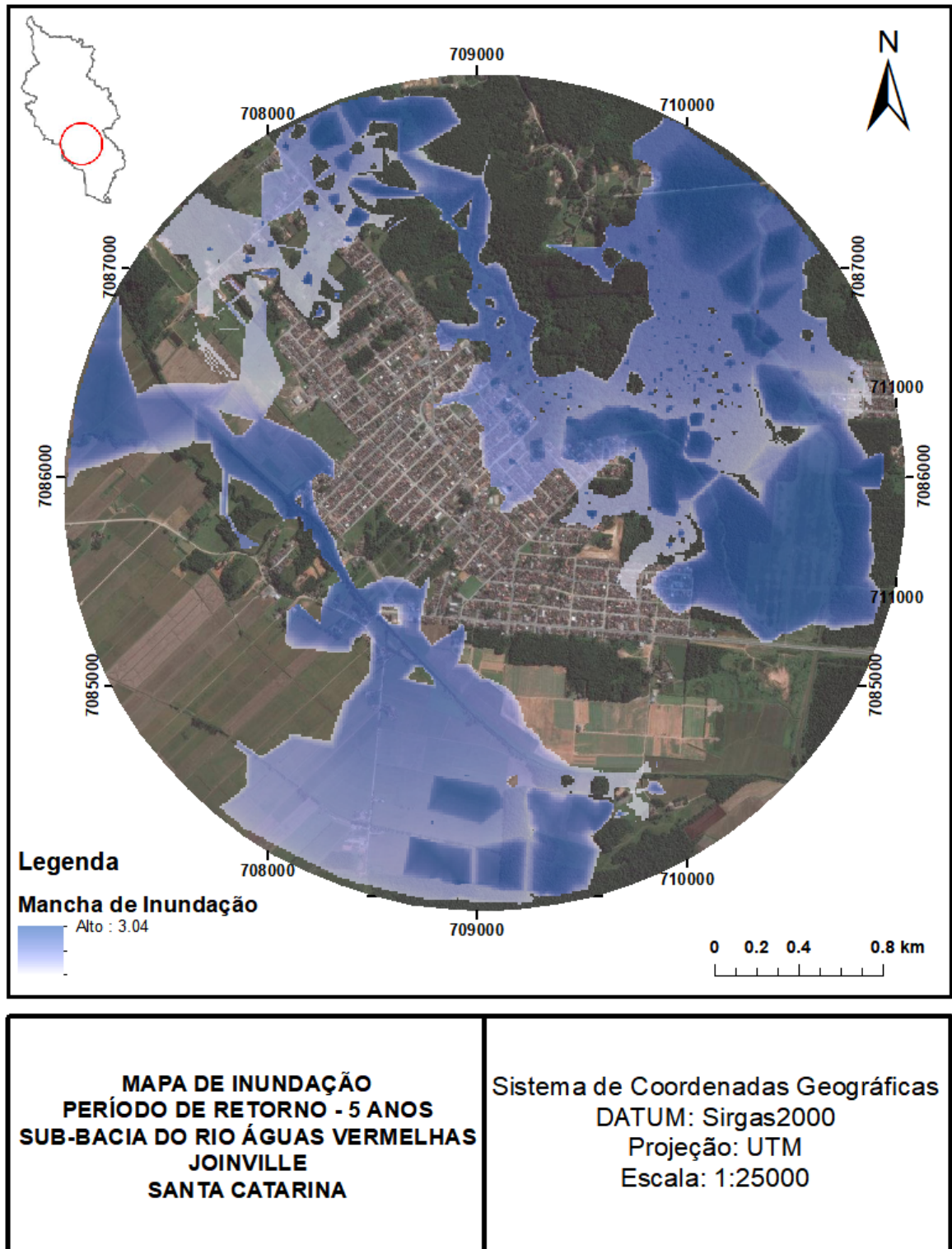
Figura 17 – Mapa mancha de inundação - Período de Retorno 2 anos



Fonte: Autora (2018).

A mancha de inundação gerada para o período de retorno de 5 anos é exibida na Figura 18.

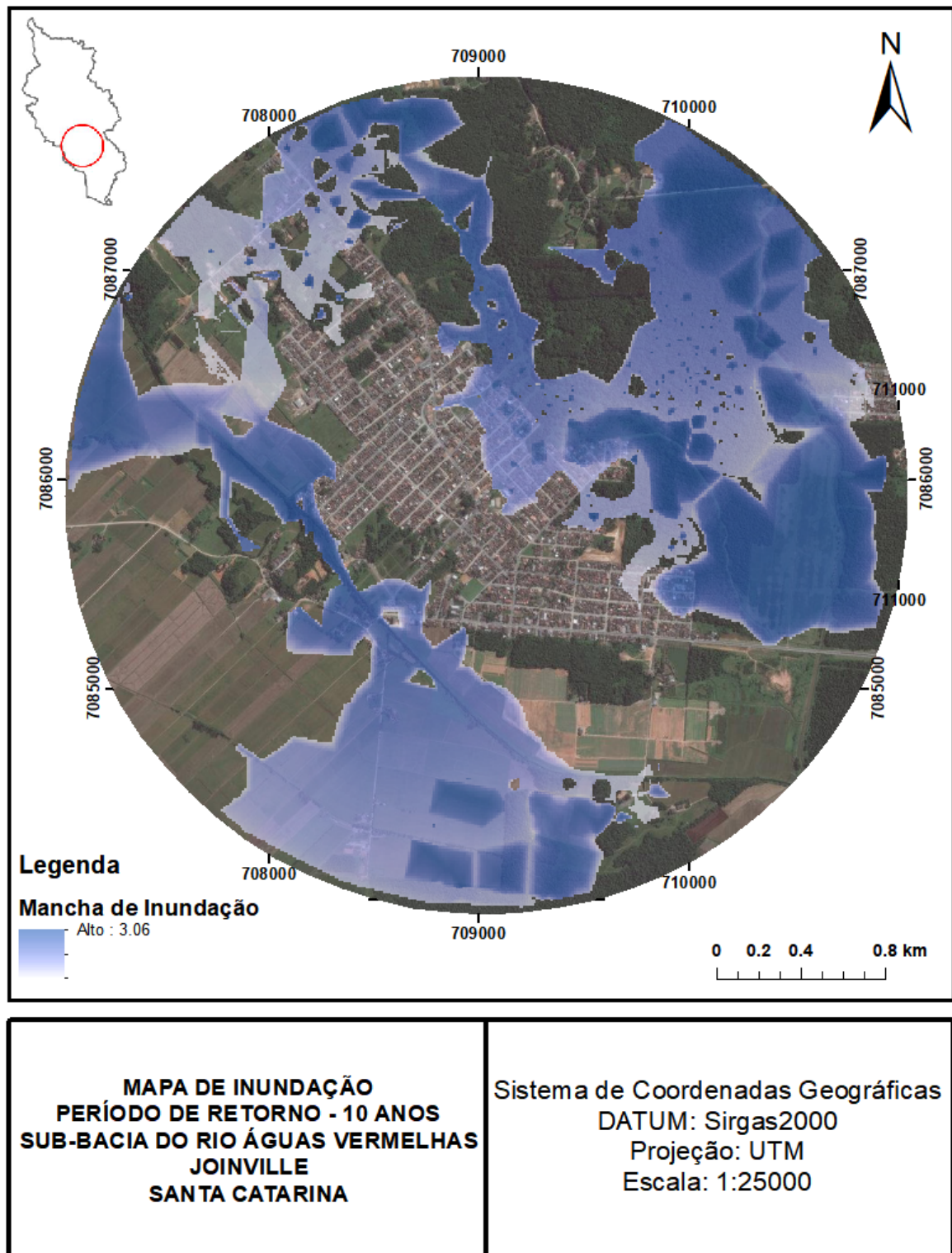
Figura 18 – Mapa mancha de inundação - Período de Retorno 5 anos



Fonte: Autora (2018).

A Figura 19 ilustra o mancha de inundação gerada para o período de retorno de 10 anos.

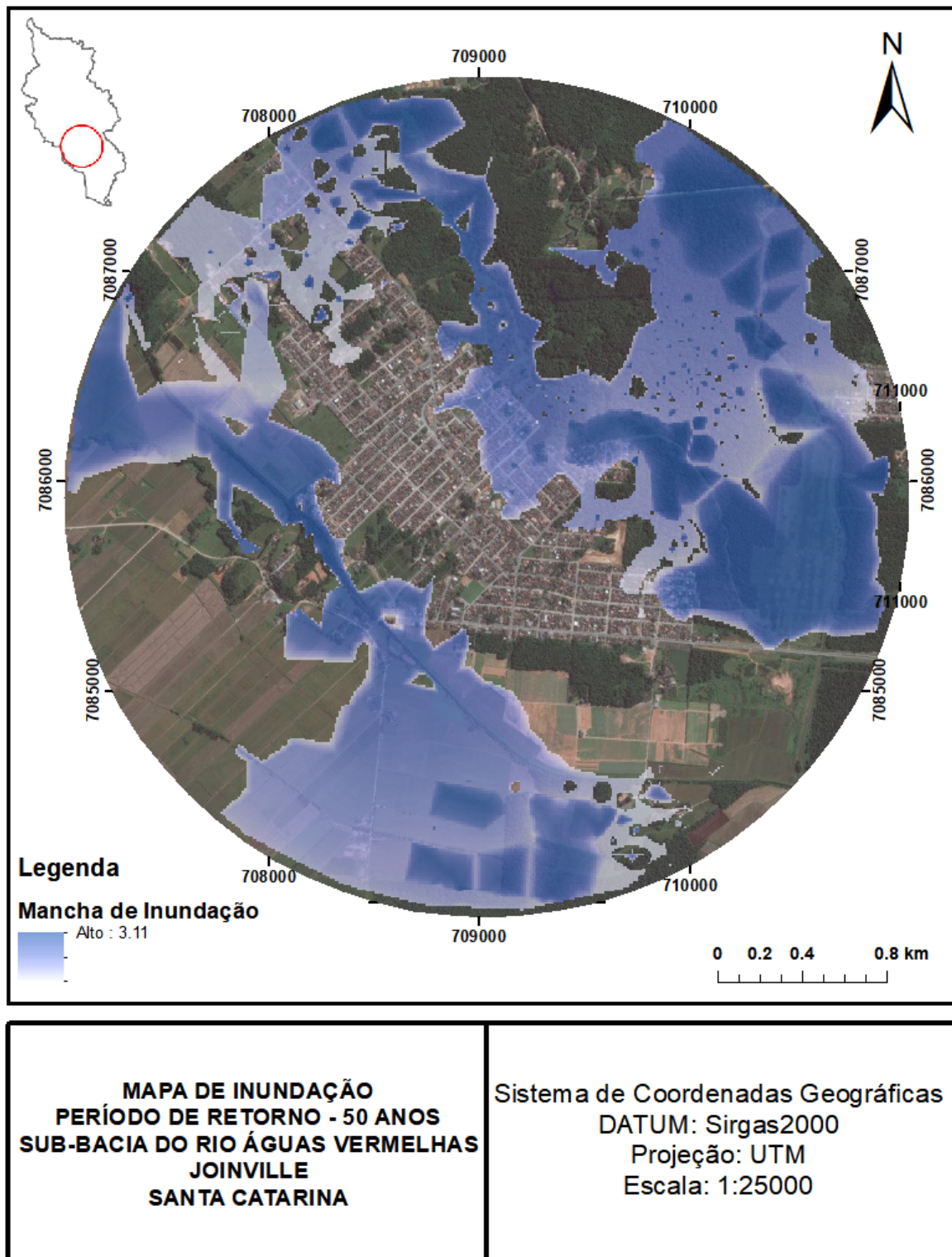
Figura 19 – Mapa mancha de inundação - Período de Retorno 10 anos



Fonte: Autora (2018).

O mapa de inundação que ilustra a mancha gerada para o período de retorno de 50 anos está exibido na Figura 20.

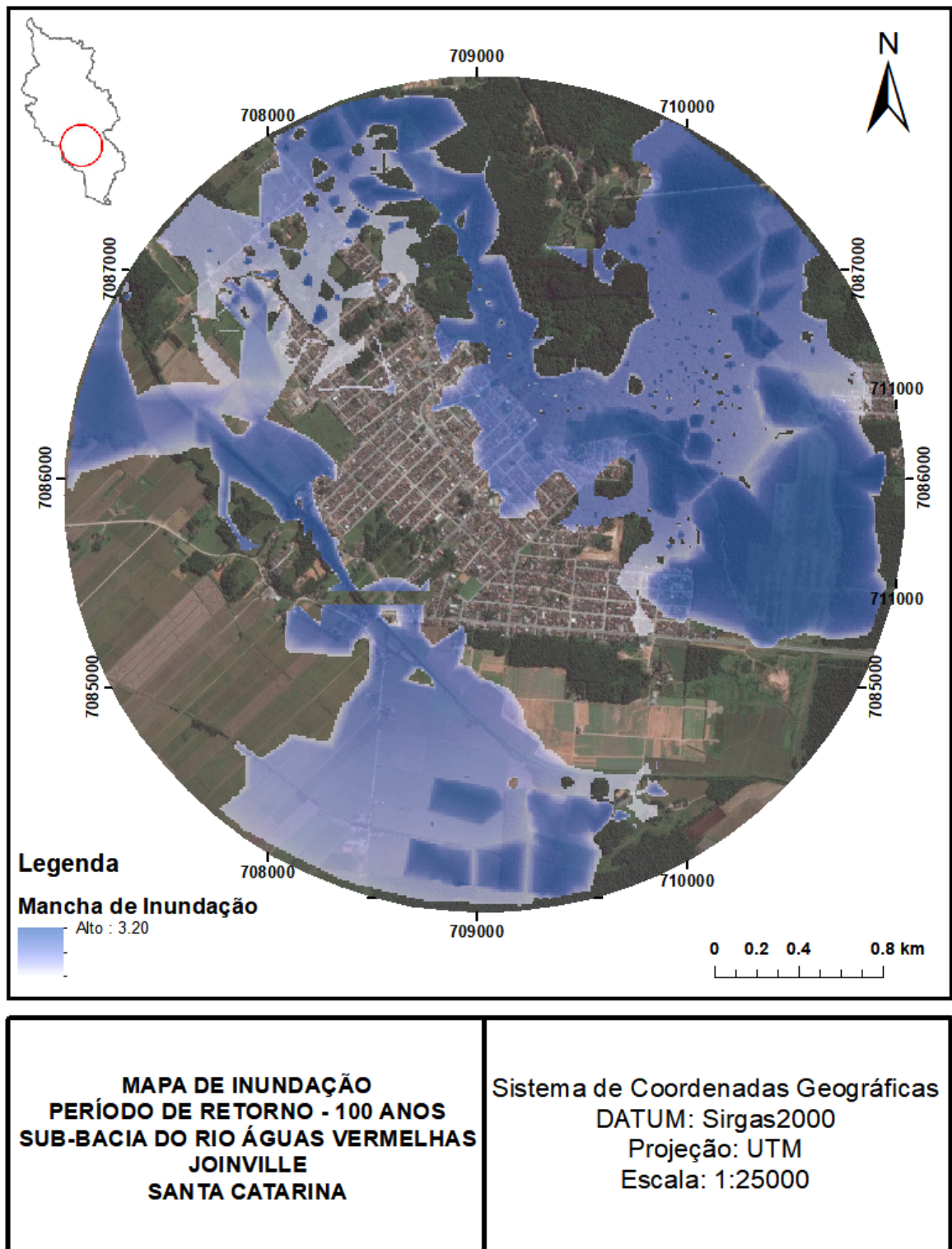
Figura 20 – Mapa mancha de inundação - Período de Retorno 50 anos



Fonte: Autora (2018).

A Figura 21 apresenta a mancha de inundação gerada para o período de retorno de 100 anos.

Figura 21 – Mapa mancha de inundação - Período de Retorno 100 anos



Fonte: Autora (2018).

5.2 Análise dos Resultados

A área de estudo do mapeamento da mancha de inundação pertence parte ao bairro Morro do Meio e parte encontra-se em área rural e possui 12,5 km².

Ao analisar os mapas de inundação expostos anteriormente nota-se que a mancha de inundação ocupa uma área de 6,5 km² da extensão analisada, o equivalente a 52% de toda a região mapeada. Deste percentual, aproximadamente 37,6% é de área construída.

Parte desta mancha afeta áreas já urbanizadas, e parte pertence a áreas que passaram por processos de parcelamento do solo, podendo a vir receber futuramente a instalação de novas edificações.

Considerando os números apresentados e levando em conta as áreas destinadas a expansão urbana, salienta-se a importância de revisão do planejamento urbano para a ocupação destas áreas, prevendo medidas de controle e/ou de restrição de ocupação.

De acordo com Canholi (2015), as medidas de controle podem ser de caráter estrutural, com a aceleração do escoamento através de canalização e obras, de retardamento do fluxo, por meio de reservatórios, bacias de detenção/ retenção, ou não estruturais, visando ações de regulamentação do uso e ocupação do solo e a criação de sistemas de alerta.

Desta maneira, as análises apresentadas a seguir visam ilustrar e discutir os impactos que tais eventos podem trazer para os moradores.

5.3 Análise dos impactos sobre a área urbana

De acordo com os dados do último Censo, ocorrido em 2010, a cidade de Joinville possuía 515.288 habitantes. No local mapeado com a mancha de inundação, no bairro Morro do Meio, a população era de 9.824 de acordo com a Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável (SEPUD).

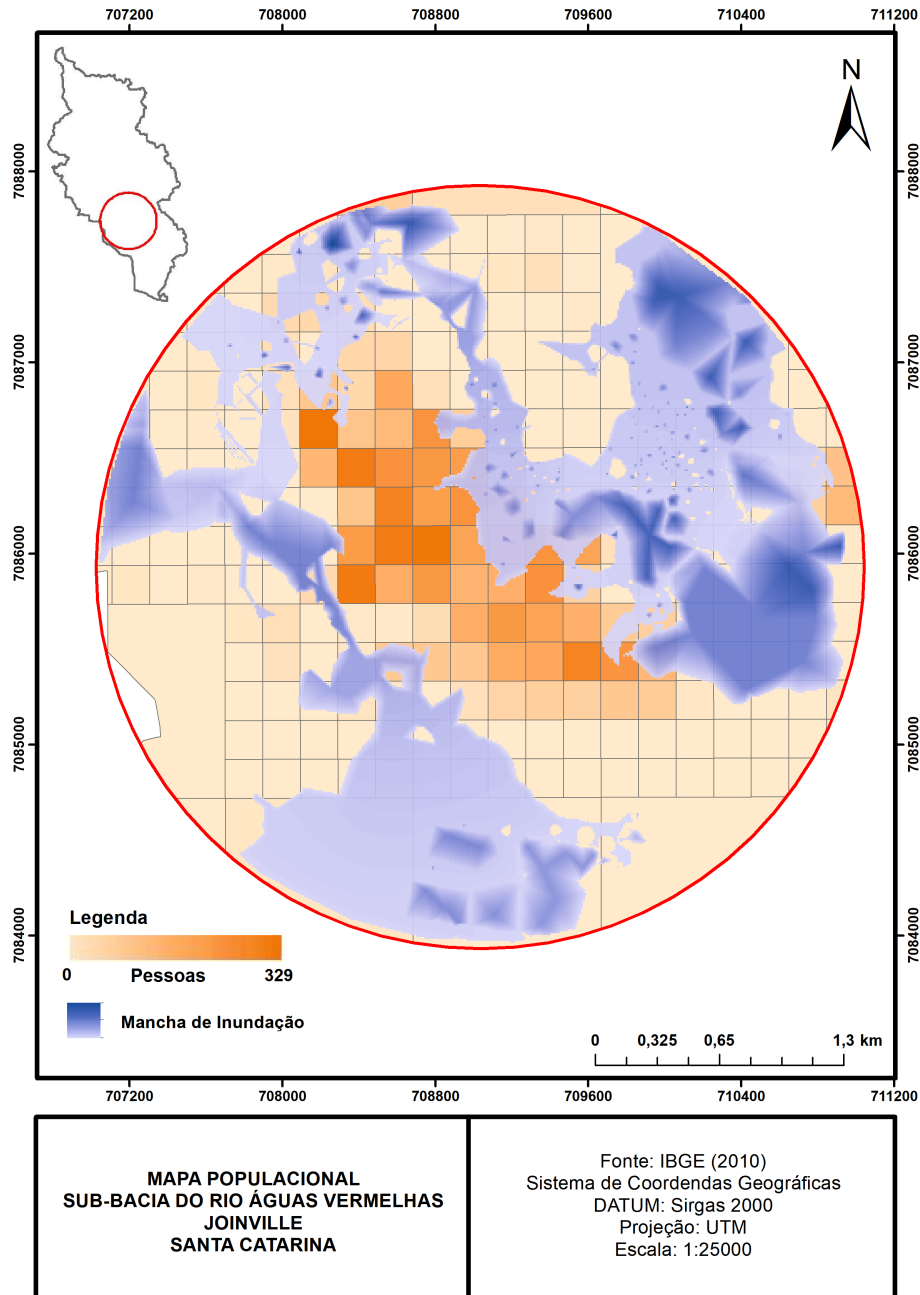
Durante o Censo de 2010, o IBGE realizou um levantamento minucioso da população e dos domicílios dos 5.565 municípios brasileiros. A partir deste levantamento de dados, bases georreferenciadas foram construídas e agrupadas por categorias, sendo algumas delas abordadas neste estudo.

O mapa apresentado na Figura 22 foi construído na região mapeada com a mancha de inundação com o objetivo de levantar o número de moradores que encontravam-se sobre a mancha. Este mapa foi elaborado com base nos dados do IBGE, onde a região foi dividida em uma malha quadriculada e cada cor representa um número, indicando a quantidade de moradores que residem em cada divisão desta malha.

A malha foi dividida em quadrículas com 329 cores que variam em um greide de tonalidades laranjadas. Os valores de cada cor representam números que iniciam-se

em 0 e vão até 329 pessoas.

Figura 22 – Mapa populacional sobre a mancha de inundação



Fonte: Autora (2018).

Nota-se ao analisar a Figura 22 que a maior concentração de pessoas acontece na região central da área analisada, isto porque é neste local que encontra-se o bairro Morro do Meio. As regiões ao entorno desta área, onde as cores indicam uma menor concentração de pessoas pertencem a área rural do município.

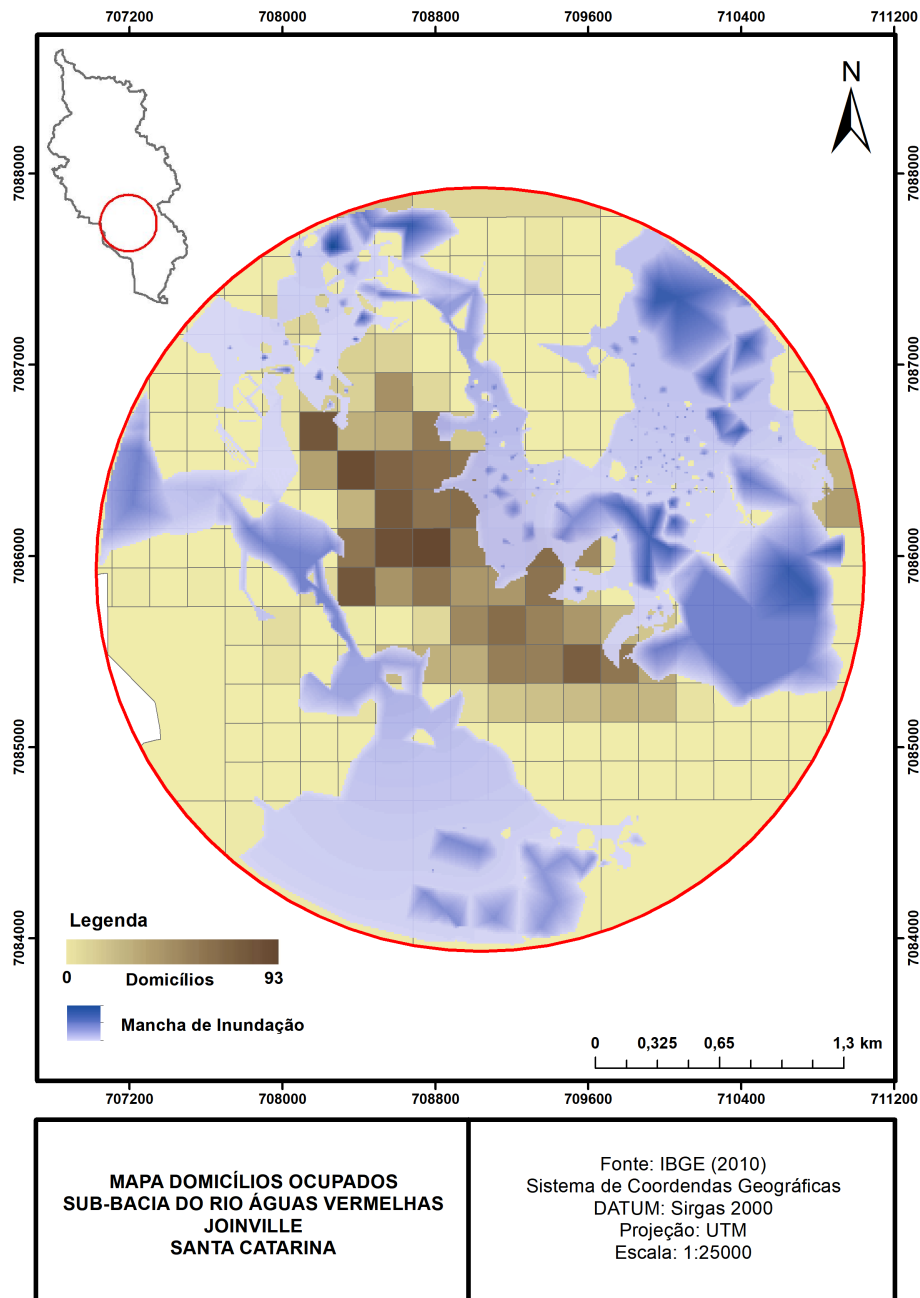
De acordo com a base de dados utilizada para a construção deste mapa, aproximadamente 10.629 pessoas residiam sobre a mancha de inundação no ano de

2010, sendo 5.281 mulheres e 5.348 homens.

O levantamento realizado pelo IBGE durante o Censo de 2010 também contabilizou o número de domicílios ocupados nos municípios brasileiros. A representação destas edificações segue a mesma linha da análise anterior, onde a região foi dividida em quadrículas e cada cor representa um número.

Neste caso, a malha foi dividida em 93 cores, como mostra a Figura 23, que variam em um greide de cores marrons.

Figura 23 – Mapa de domicílios sobre a mancha de inundação

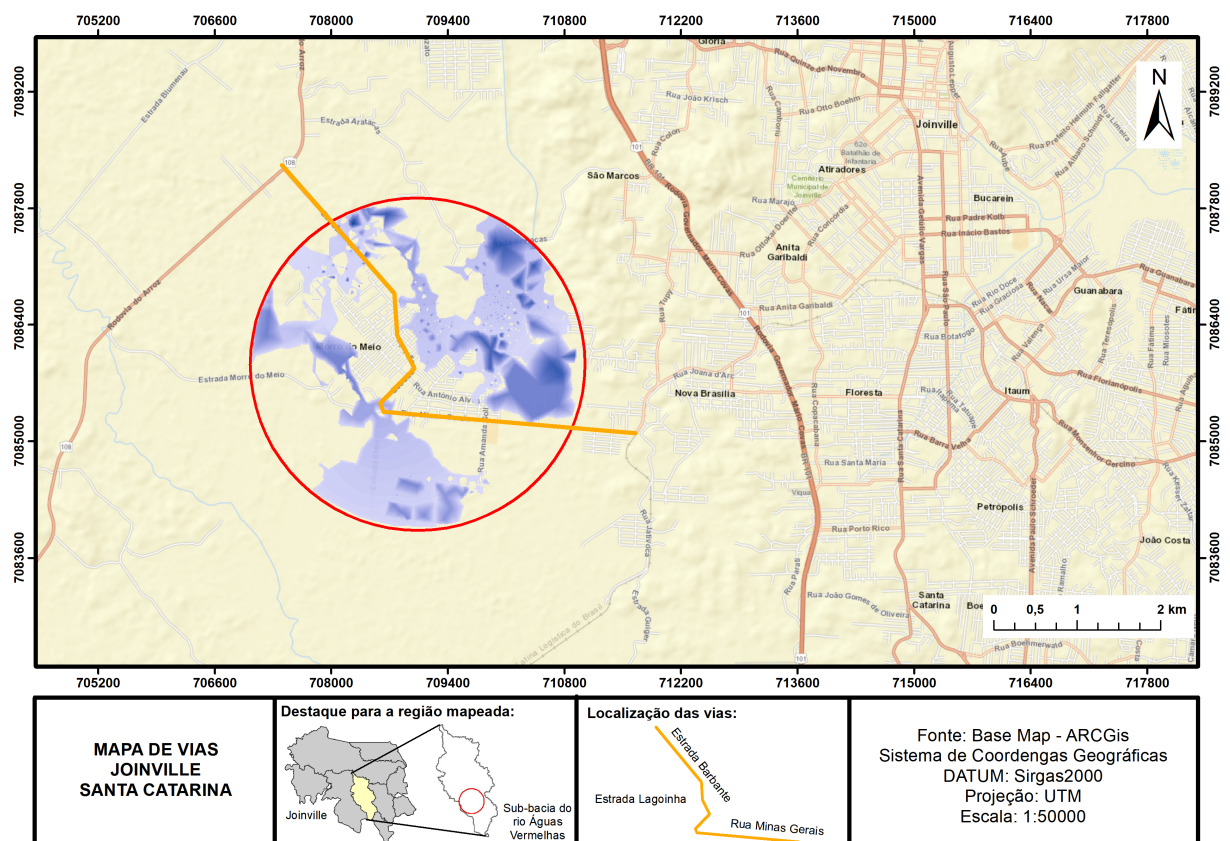


Fonte: Autora (2018).

A Figura 23 mostra que a concentração de domicílios ocupados acontece principalmente no centro da região estudada, no entanto, apesar da mancha de inundação acontecer predominantemente ao entorno dessa região, 2.984 domicílios encontravam-se sobre a mancha durante o ano de 2010.

Deste modo, de forma a avaliar a localização dos moradores que encontram-se na mancha de inundação, a Figura 24 ilustra em uma escala mais ampla, a condição de isolamento das pessoas que ali residem, destacando as principais vias que ligam a região a outros pontos da cidade.

Figura 24 – Mapa de vias: destaque para a mancha de inundação



Fonte: Autora (2018).

Nota-se ao analisar a Figura 24 que as vias destacadas em cor laranja são rotas primordiais para que a população saia da mancha de inundação e consiga se deslocar à região central do município.

No entanto, tais vias encontram-se sob a mancha de inundação, o que configura locais de isolamento aos moradores, impedindo que os mesmos possam se locomover para locais seguros.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As modelagens realizadas para a obtenção dos resultados apresentados neste estudo foram construídas com base nas experiências descritas por autores que simularam cenários parecidos ao da região estudada em outras localidades.

De acordo com Junior (2017), a região da bacia hidrográfica do rio Piraí é uma das localidades no município de Joinville que possui a pior cobertura de dados de monitoramento, o que tem como consequência a falta de informações confiáveis para o desenvolvimento de estudos que representem a realidade do local, com a maior precisão possível.

Diante do desafio de estudar uma área com poucas informações para simular a realidade, buscou-se o uso de metodologias amplamente utilizadas nas áreas da hidrologia e hidráulica. Juntamente com a análise de arquivos georreferenciados obteve-se os dados de entrada fornecidos aos modelos, de modo que as informações geradas fossem confiáveis a pontos de conseguirem representar a realidade do local.

No entanto, apesar dos desafios encontrados, os objetivos deste estudo foram alcançados, ressaltando a importância da construção do banco de dados gerados para a região, visto que o rio Piraí, principal rio da bacia hidrográfica onde encontra-se a região deste estudo, é responsável pelo abastecimento de água de aproximadamente 30% do município de Joinville.

Além disso, mesmo utilizando dados estimados através de métodos da literatura e por meio de bases cartográficas, ao comparar os mapas de inundação que foram desenvolvidos, com a mancha de inundação da cidade disponível no SIMGeo, nota-se que os resultados obtidos através das simulações estão próximos, tornado os resultados obtidos neste estudo confiáveis.

Salienta-se ainda a importância da elaboração dos mapas de inundação, visto que estes podem servir como base para o desenvolvimento de medidas estruturais e não-estruturais para a região, evitando perdas e prejuízos para a população e para o município.

Recomenda-se para trabalhos futuros alternativas que possam controlar os cenários de inundações mapeados, tais como o dimensionamento de obras de macrodrenagem e a concepção de reservatórios de retenção.

Sugere-se também a ampliação do mapeamento da mancha de inundação para toda a extensão da sub-bacia do rio Águas Vermelhas, visto que a região possui outros bairros que encontram-se em processo acelerado de urbanização.

REFERÊNCIAS

BATISTA, J. **Transbordamento do rio Águas Vermelhas prejudica ruas na zona oeste em Joinville**: uma família ainda está em abrigo em escola no bairro morro do meio. 2014. Disponível em: <<https://ndonline.com.br/joinville/noticias/transbordamento-do-rio-aguas-vermelhas-prejudica-ruas-na-zona-oeste-em-joinville>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

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.

BESKOW, S. et al. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 169–178, 2009.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil: **Lei N 12.608**, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1o de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. 2012. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato2011-2014/2012/lei/l12608.html>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controles de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, 2008.

COUTINHO, M. M. **Avaliação do desempenho da modelagem hidráulica unidimensional e bidimensional na simulação de eventos de inundação em Colatina / ES**. 2015. 245 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

EXCIMAP. European exchange circle on flood mapping. **Handbook on good practices for flood mapping in Europe**, p. 1–57, 2007. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_atlas/pdf/handbook_goodpractice.pdf>.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

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.

HORA, S. B.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, p. 57–75, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de informações básicas municipais**. Disponível em: <http://ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/defaulttab1_perfil.shtm>. Acesso em: 21 ago. 2017.

INUNDAÇÕES atingem 250 milhões de pessoas por ano no mundo, calcula ONU. **Organização das Nações Unidas**. 2013. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/inundacoes-atingem-250-milhoes-de-pessoas-por-ano-no-mundo-calcula-onu/>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

JOINVILLE decreta situação de emergência após temporal. **G1 Santa Catarina**. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2017/02/joinville-decreta-situacao-de-emergencia-apos-temporal.html>>. Acesso em: 21 ago. 2017.

JUNIOR, R. S. **Desenvolvimento de equações de chuvas intensas a partir de dados pluviográficos no município de Joinville**. 2017.76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2017.

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

KOBIYAMA, M. et al. **Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para a conservação de mananciais**. p. 1–242, 2011. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/apostila_hidrometria.pdf>.

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.

LOTEAMENTO Jativoca em Joinville continua embaixo d'água. **A Notícia**. 2008. Disponível em: <<http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/noticia/2008/11/loteamento-jativoca-em-joinville-continua-embaixo-d-agua-2306054.html>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

MAIA, B. G. de O. et al. **Bacias hidrográficas da região de Joinville**. 2014. Disponível em: <http://www.cubataojoinville.org.br/_publicacoes/bacias-hidrograficas-da-regiao-de-joinville.pdf>.

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**. 2015.75 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2015.

MIRA, T. M. **Ponte sobre o rio Águas Vermelhas preocupa moradores em Joinville: população do bairro vila nova afirma que estrutura de concreto vai aumentar ocorrência de alagamentos**. 2013. Disponível em: <<https://ndonline.com.br/joinville/noticias/pontes-sobre-o-rio-aguas-vermelhas-preocupam-moradores-no-bairro-vila-nova>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

MORAIS, G. **Reportagem especial**: Enchentes - o Brasil é 6º país do mundo que mais sofre com catástrofes climáticas - bloco 1. 2013. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/radio/materias/REPORTAGEM-ESPECIAL/436569-ENCHENTES—O-BRASIL-E-6-PAIS-DO-MUNDO-QUE-MAIS-SOFRE-COM-CATASTROFES-CLIMATICAS-BLOCO-1.html>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

MULUNGO, H. E. **Estudo de inundação na bacia do campus da UFSC, Florianópolis-SC**. 2012.163 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

NAGHETTINI, M. **Engenharia de recursos hídricos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, 1999.

OLIVEIRA, N. **IBGE**: enchentes deixam 1,4 milhões de desabrigados entre 2008 e 2012. 2014. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2014-04/ibge-27-dos-municipios-brasileiros-foram-atingidos-poe-enchentes-afetando-14>>. Acesso em: 21 ago. 2017.

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.

PEITER, T. V.; POLETO, C. Estudos dos efeitos de trincheiras de infiltração sobre o escoamento superficial. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2, p. 56–66, 2012.

PORTELA, M. M. **Modelção hidrológica**. 2006. Disponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/mps/Mod_hid/Teoria/teoria%202007%20para%20jpg.pdf>.

PORTO, R. L. L.; FILHO, K. Z.; MARCELLINI, S. S. **Escoamento superficial**: análise do hidrograma e hidrograma unitário. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1999.

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>>.

SILVA, F. V. da. **Mapeamento das áreas de inundação na zona urbana do município de Rio dos Cedros (SC) por meio do modelo HEC-RAS**. 2013.71 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

SILVA, J. P. R. P. Mapeamento de inundações no Brasil: proposta de gestão ambiental através de um sistema de informações geográficas. In: IX SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNESP. Rio Claro, 03 a 05 nov. **Anais...** p. 861–873, 2009.

SILVEIRA, W. N. **Análise histórica de inundação no município de Joinville–SC, com enfoque na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte**. 2008.165 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

TOMAZ, P. **Hietograma pelo método dos blocos alternados**. 2010. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo42.pdf>.

TOMAZ, P. **Infiltração usando o método do número da curva CN do SCS**. 2011. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro_infiltracao/capitulo128.pdf>.

TOMAZ, P. **Tempo de Concentração**. 2013. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculoshidrolicos/capitulo04.pdf>.

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

TUCCI, C. E. Aspectos institucionais do controle das inundações urbanas. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**, v. 2, p. 405–419, 2001.

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

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

UBERTI, A. A. A. **Boletim Técnico do Levantamento da Cobertura Pedológica do Município de Joinville**. p. 1–159, 2011. Disponível em: <http://sistemaspmj.joinville.sc.gov.br/documentos_vivacidade/Mapa%20de%20Fragilidade%20Ambiental%20de%20Joinville/Boletins/Boletim%20T%C3%A9cnico%20do%20Munic%C3%ADpio%20de%20JOINVILLE%20-%20RF.pdf>.

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>>.

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>>.

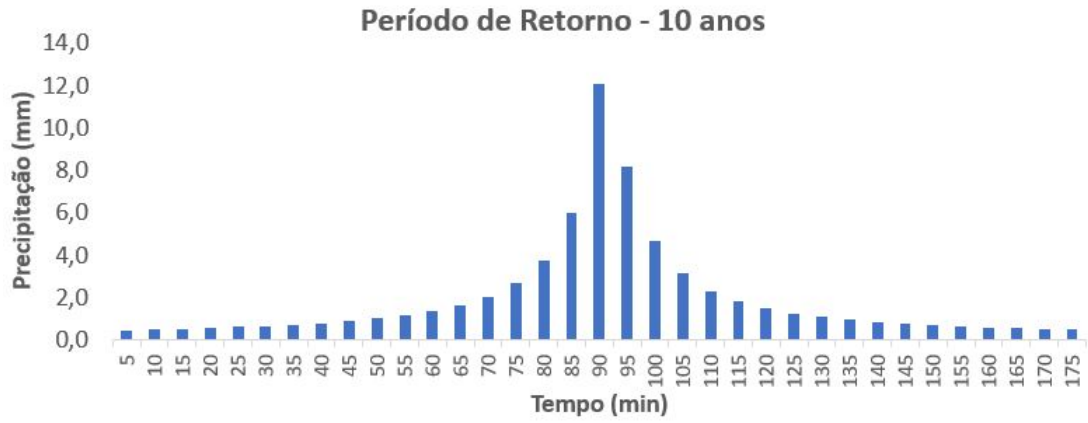
ANEXO A – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO ARATAÇA



Fonte: Autora (2018).



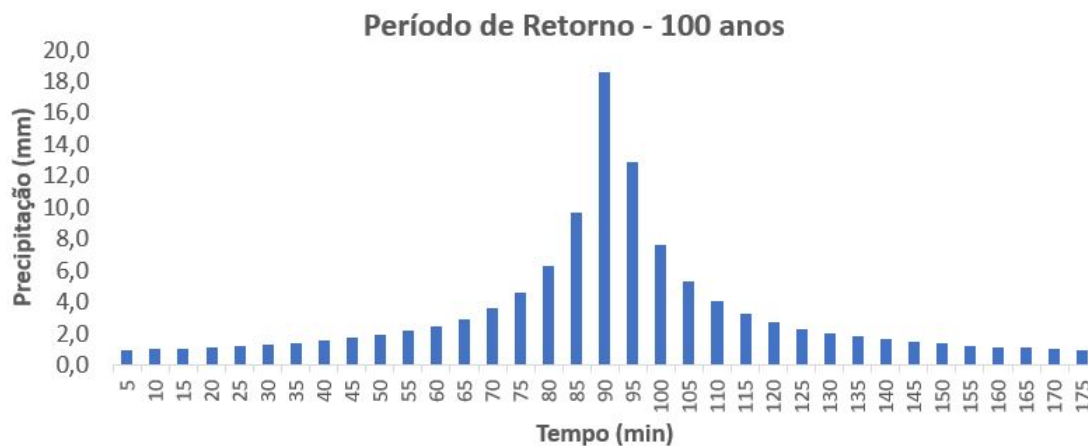
Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).

ANEXO B – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO JATIVOCA



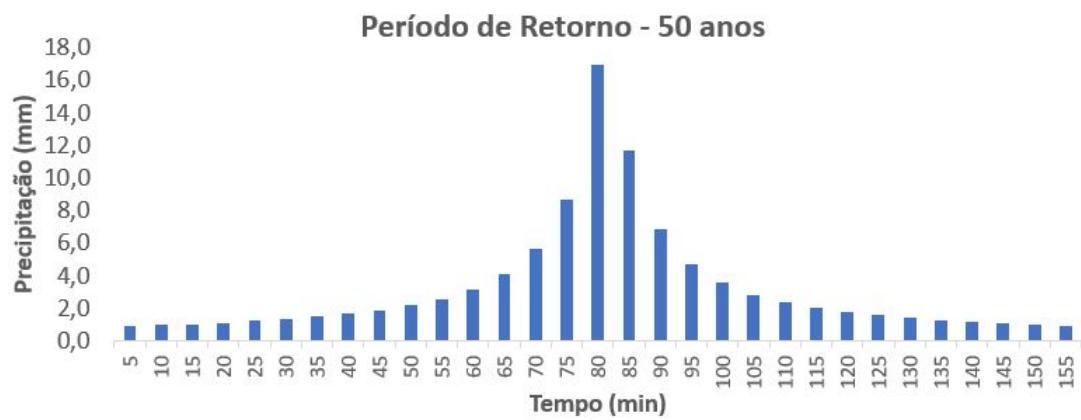
Fonte: Autora (2018).



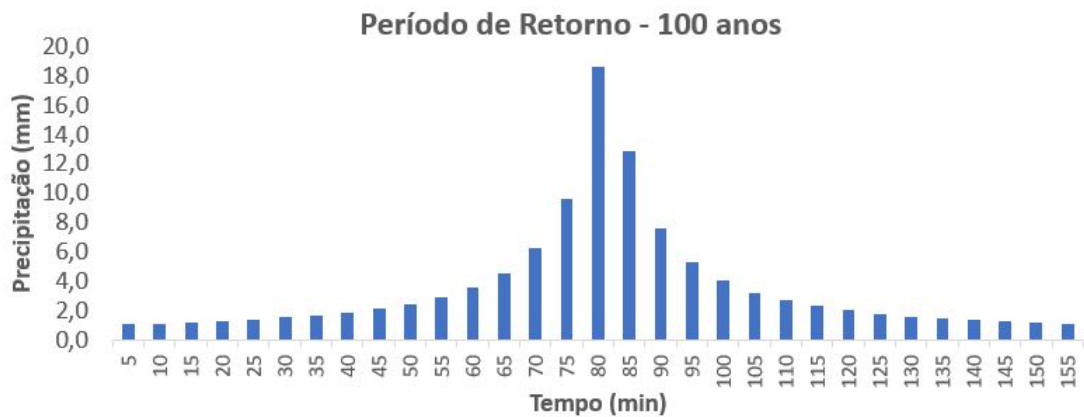
Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).

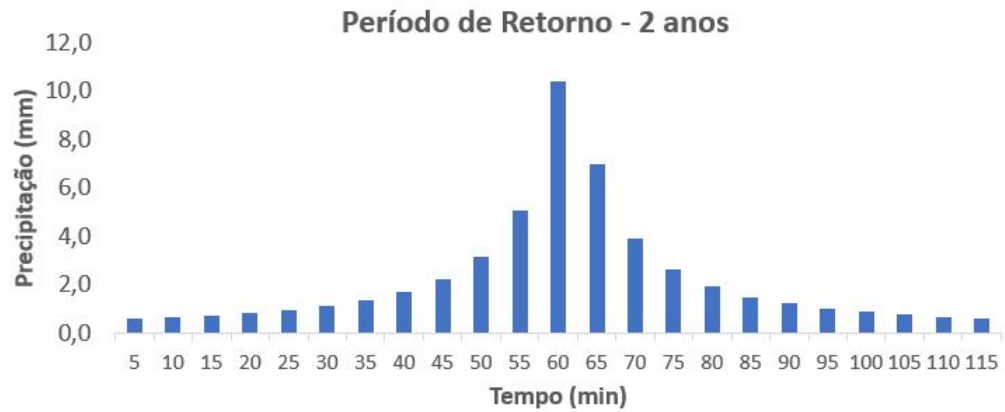


Fonte: Autora (2018).

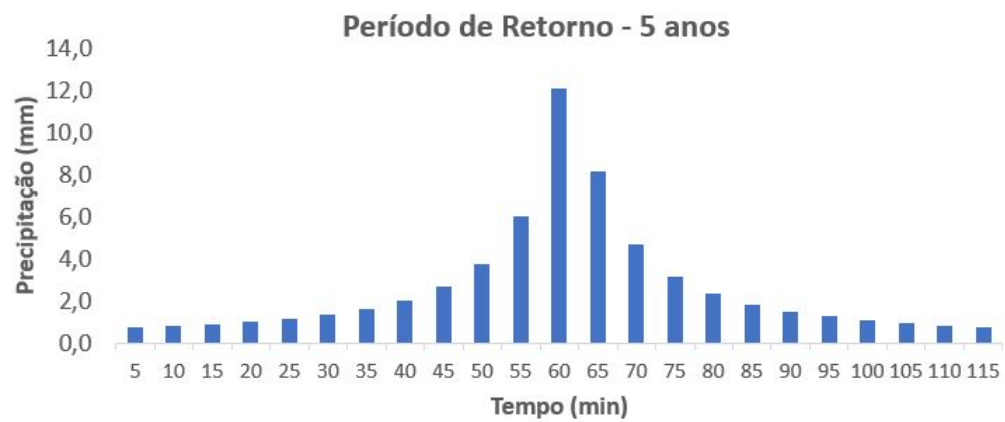


Fonte: Autora (2018).

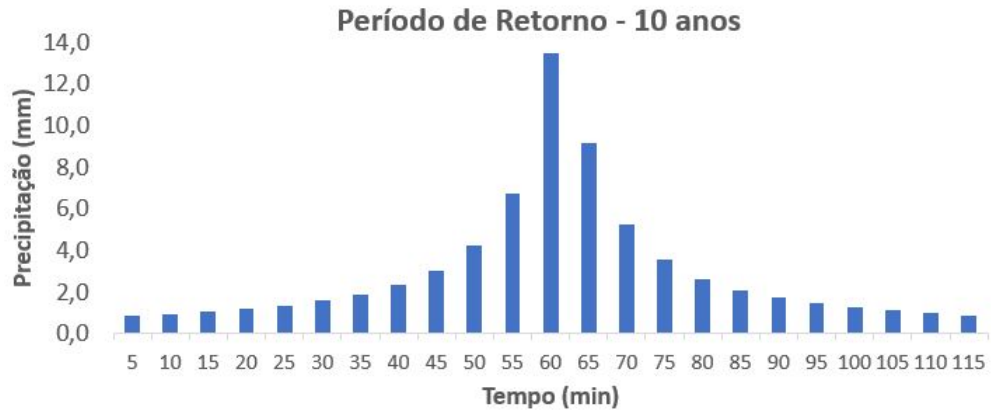
ANEXO C – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO LAGOA BONITA



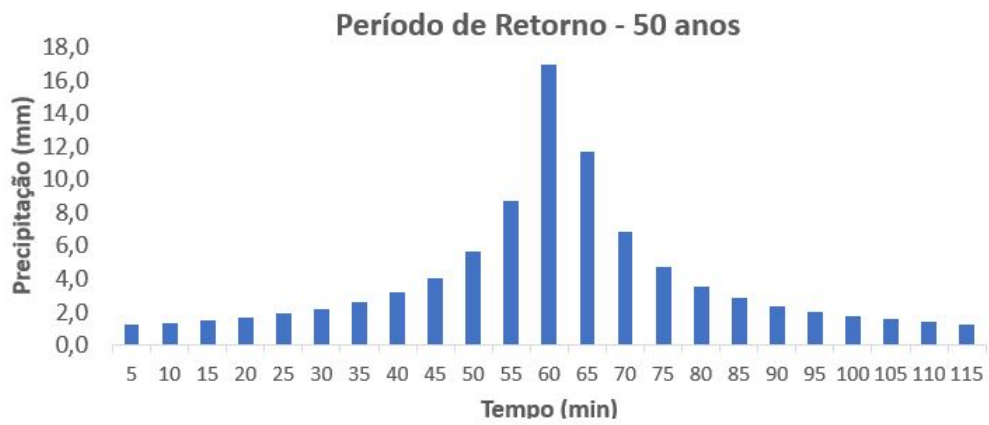
Fonte: Autora (2018).



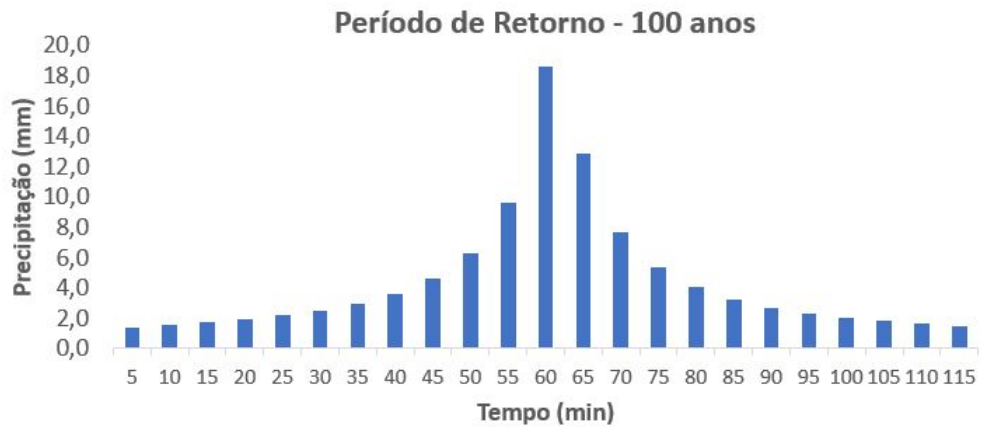
Fonte: Autora (2018).



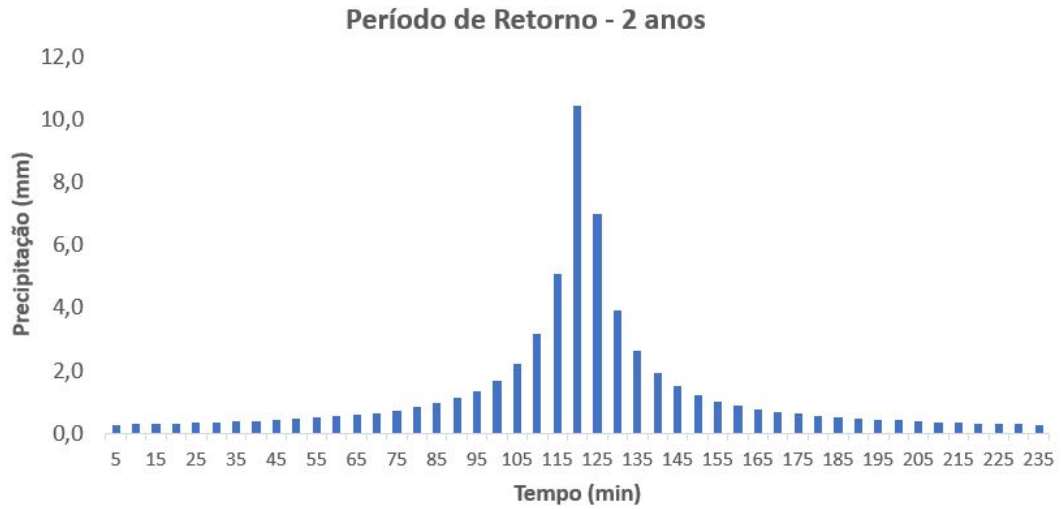
Fonte: Autora (2018).



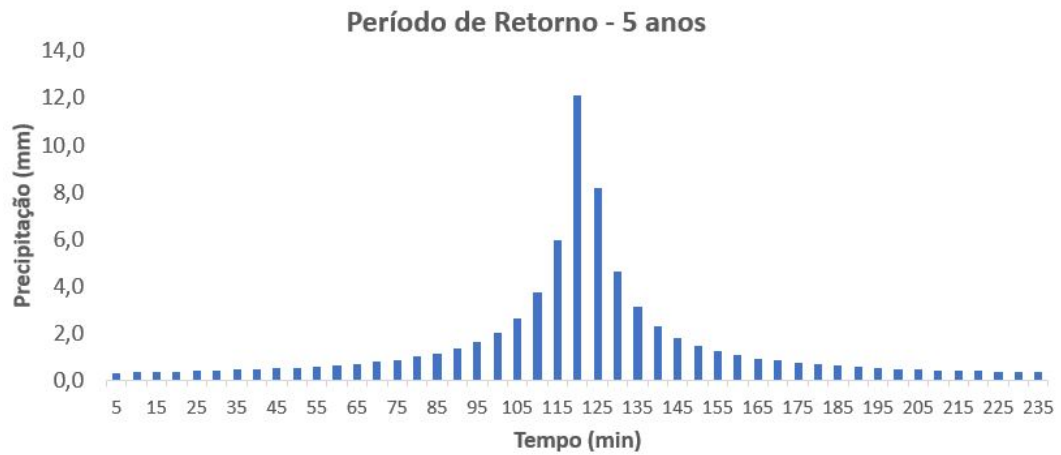
Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).

ANEXO D – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO LAGOINHA

Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).

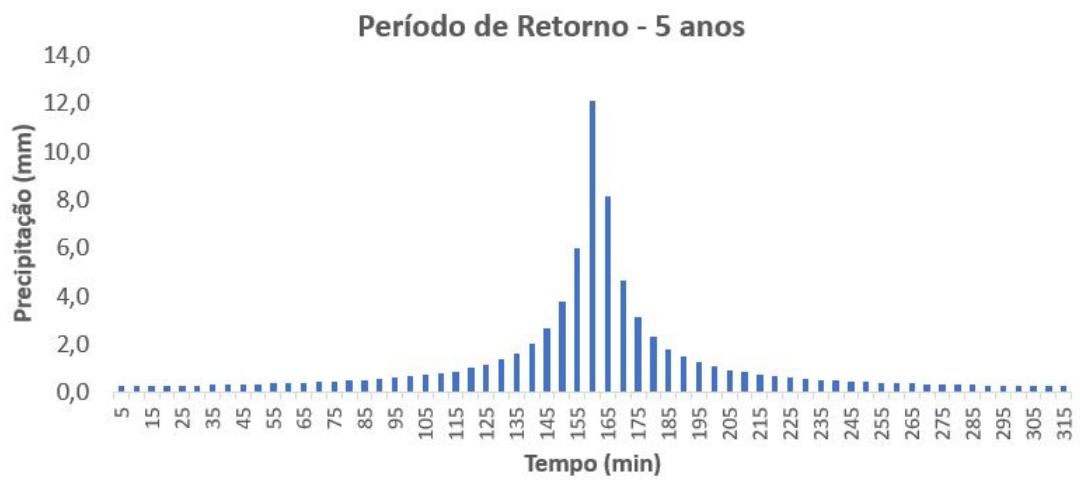


Fonte: Autora (2018).

ANEXO E – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO MOTUCAS



Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).

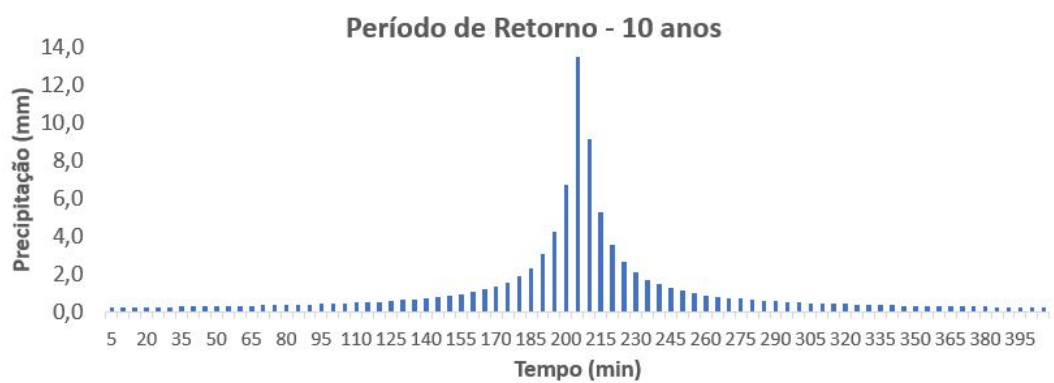
ANEXO F – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO PIRAÍ NOVO



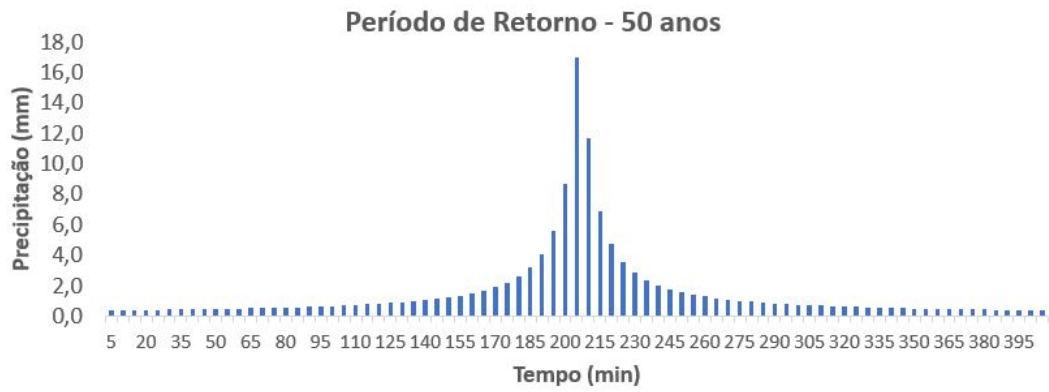
Fonte: Autora (2018).



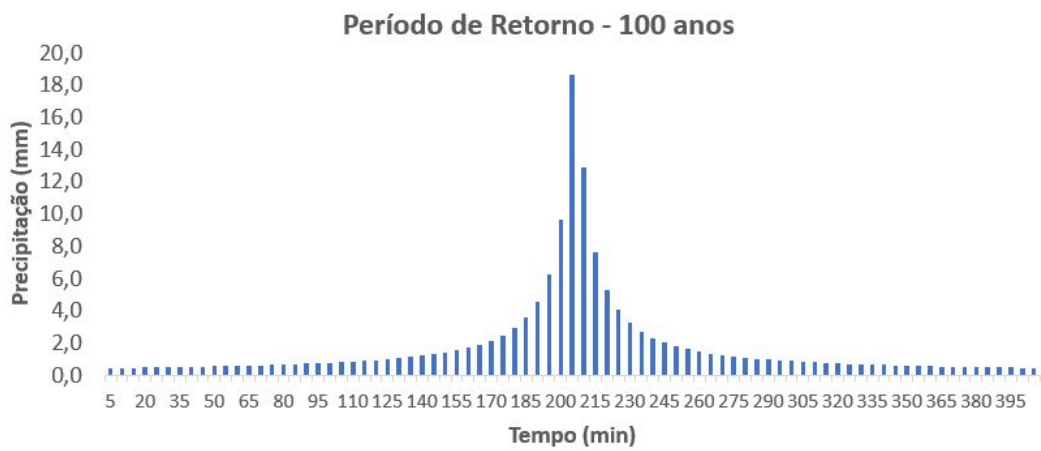
Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).

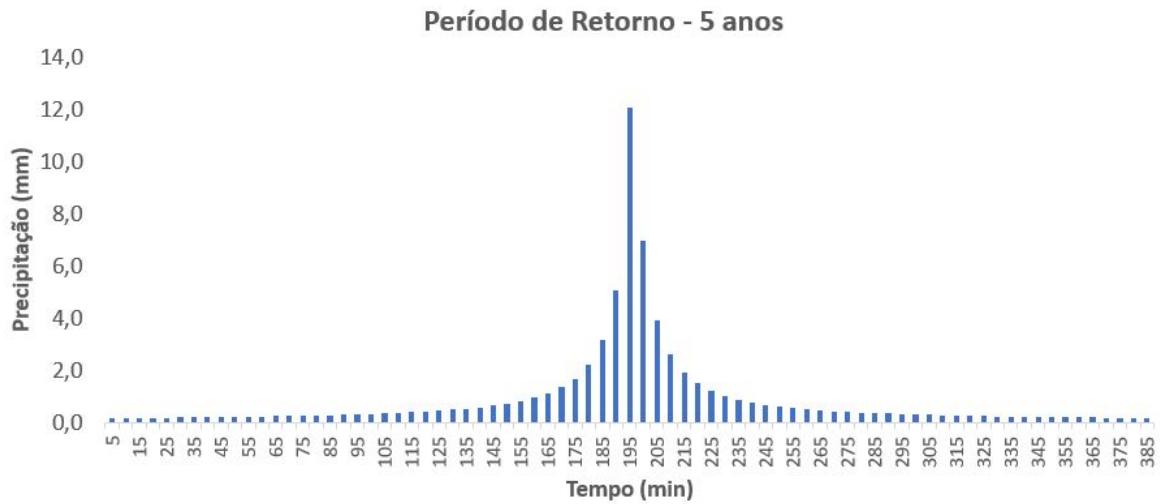


Fonte: Autora (2018).

ANEXO G – HIETOGRAMAS DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO ÁGUAS VERMELHAS



Fonte: Autora (2018).



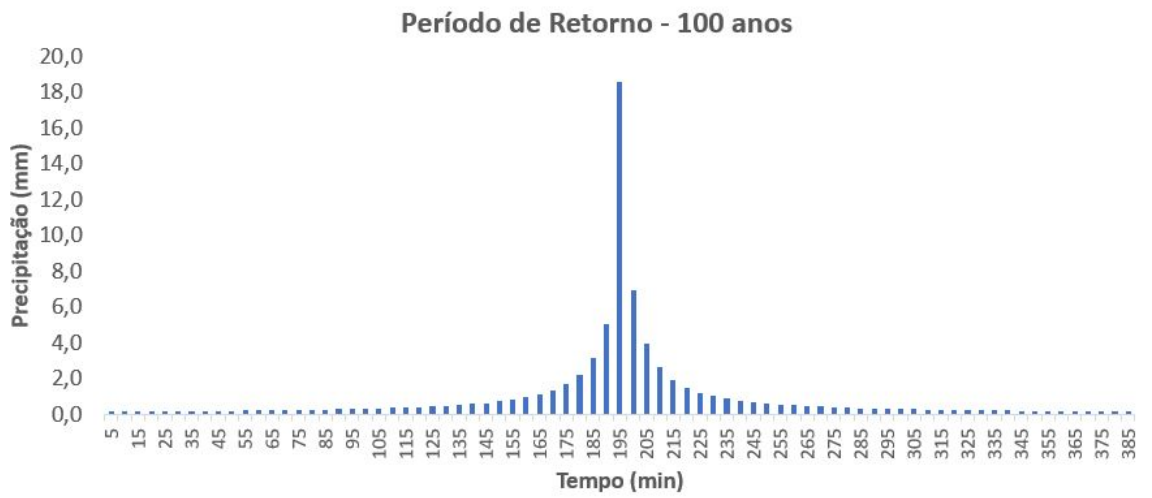
Fonte: Autora (2018).



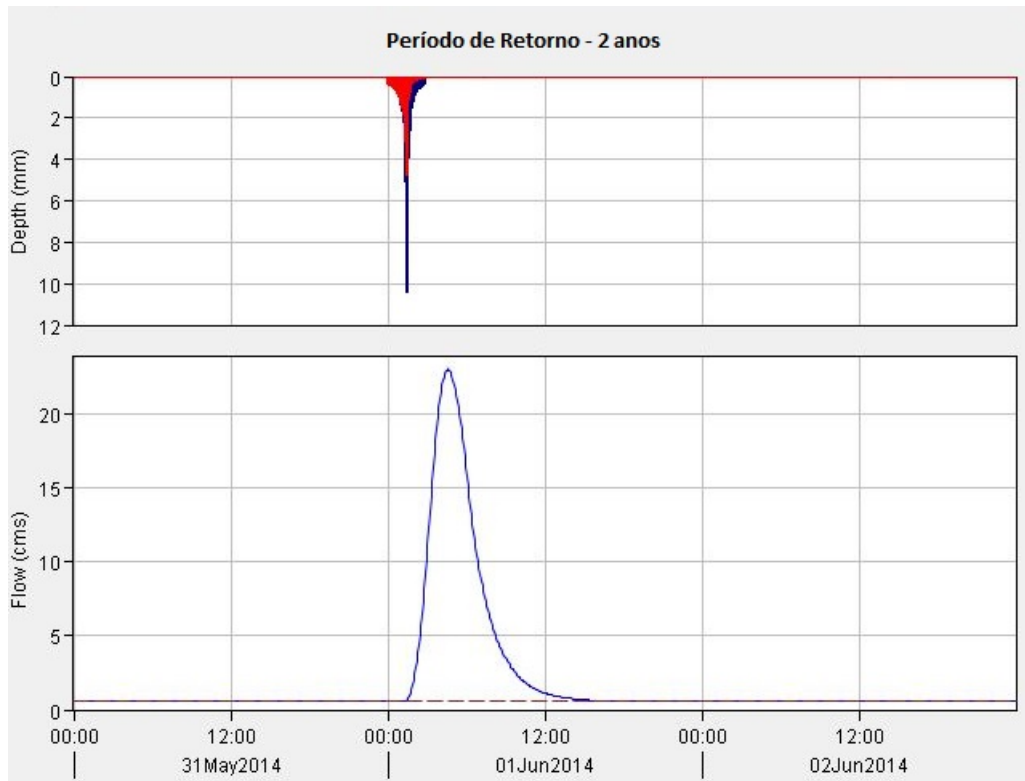
Fonte: Autora (2018).



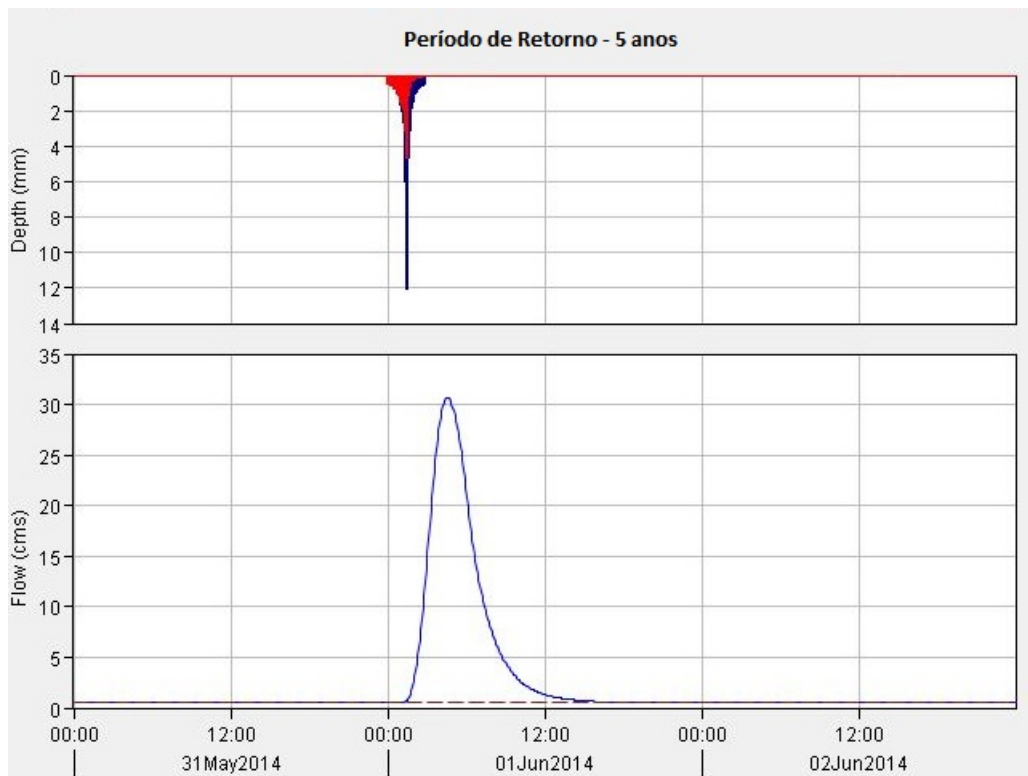
Fonte: Autora (2018).



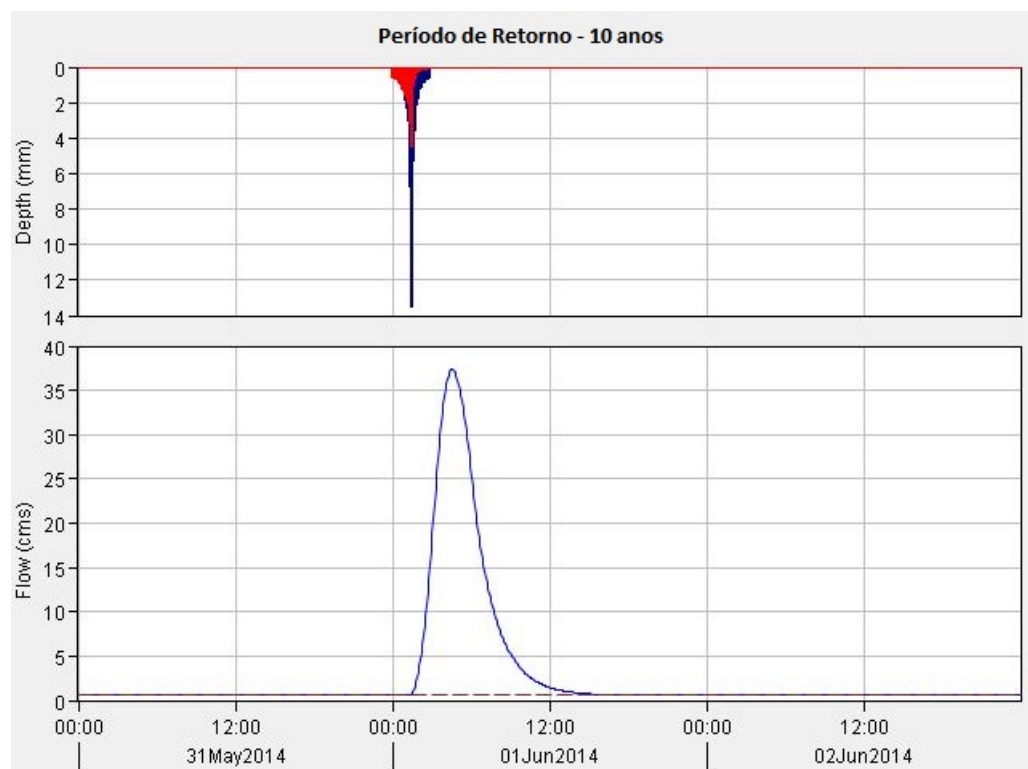
Fonte: Autora (2018).

ANEXO H – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO ARATACA

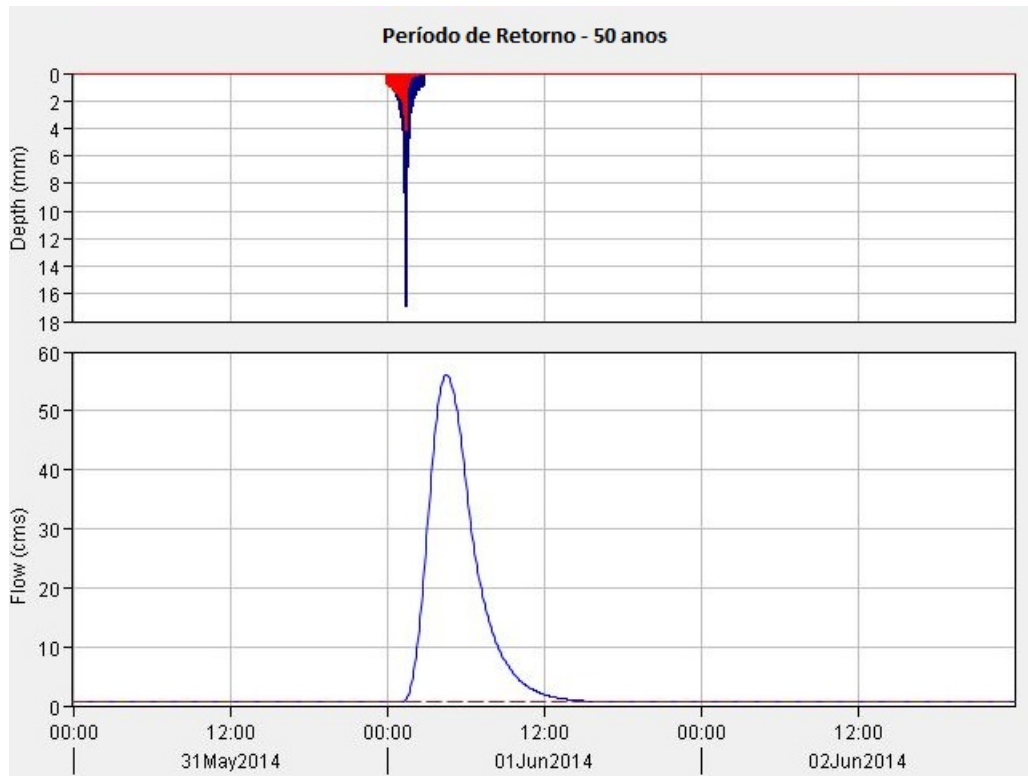
Fonte: Autora (2018).



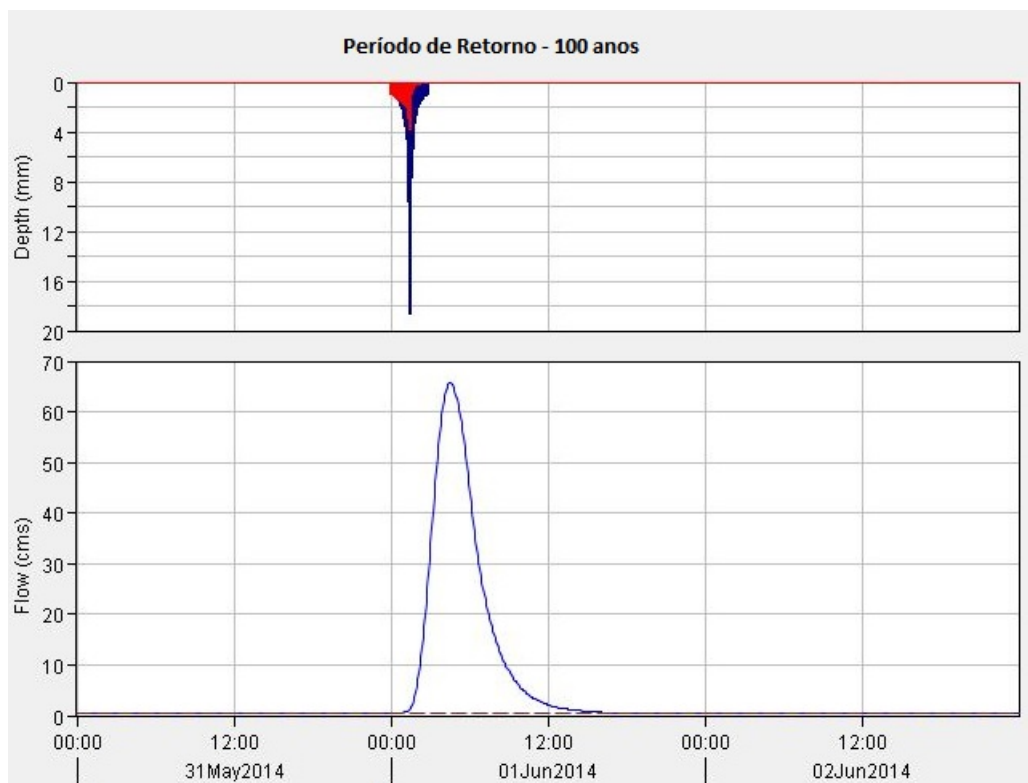
Fonte: Autora (2018).



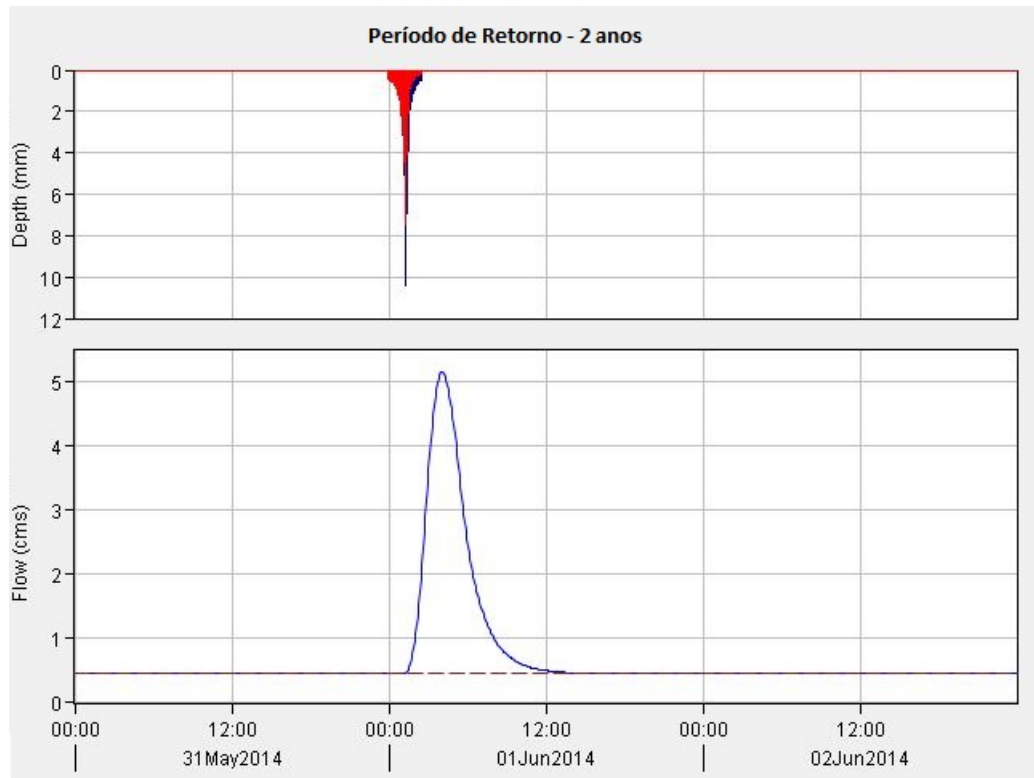
Fonte: Autora (2018).



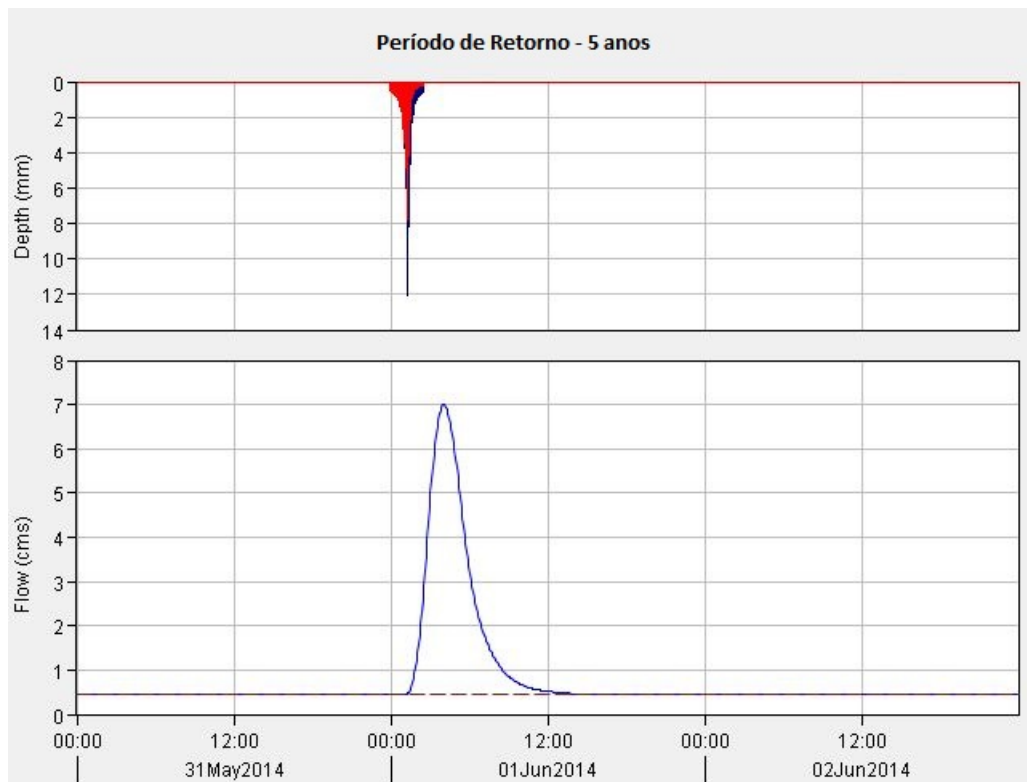
Fonte: Autora (2018).



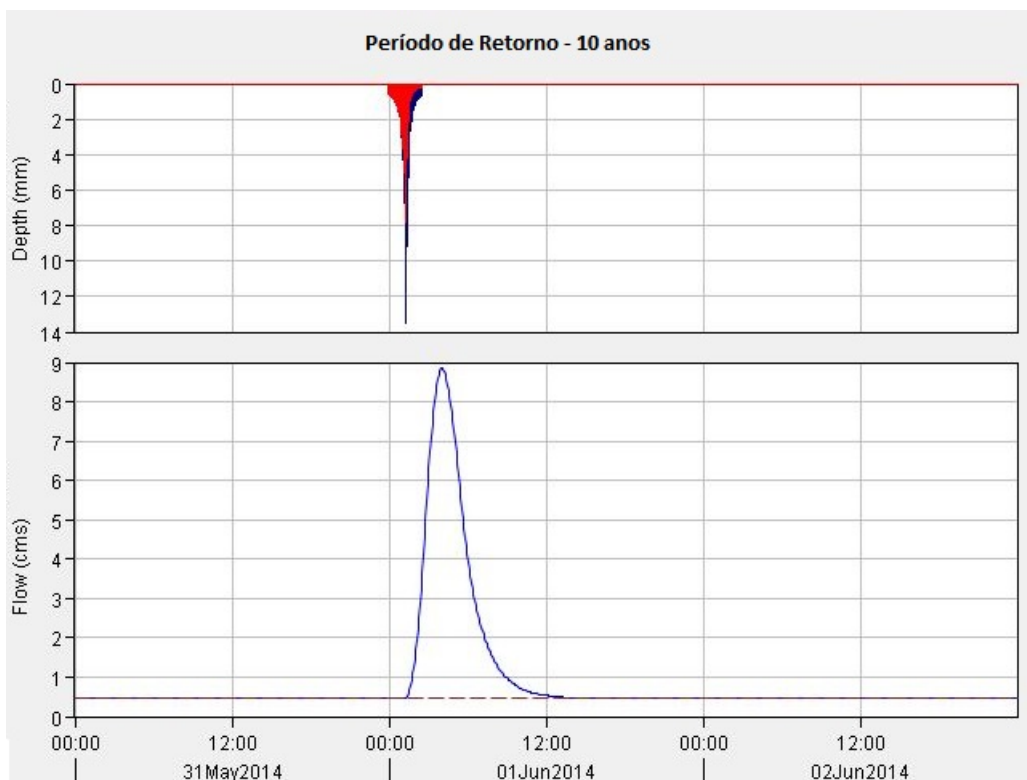
Fonte: Autora (2018).

ANEXO I – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO JATIVOCA

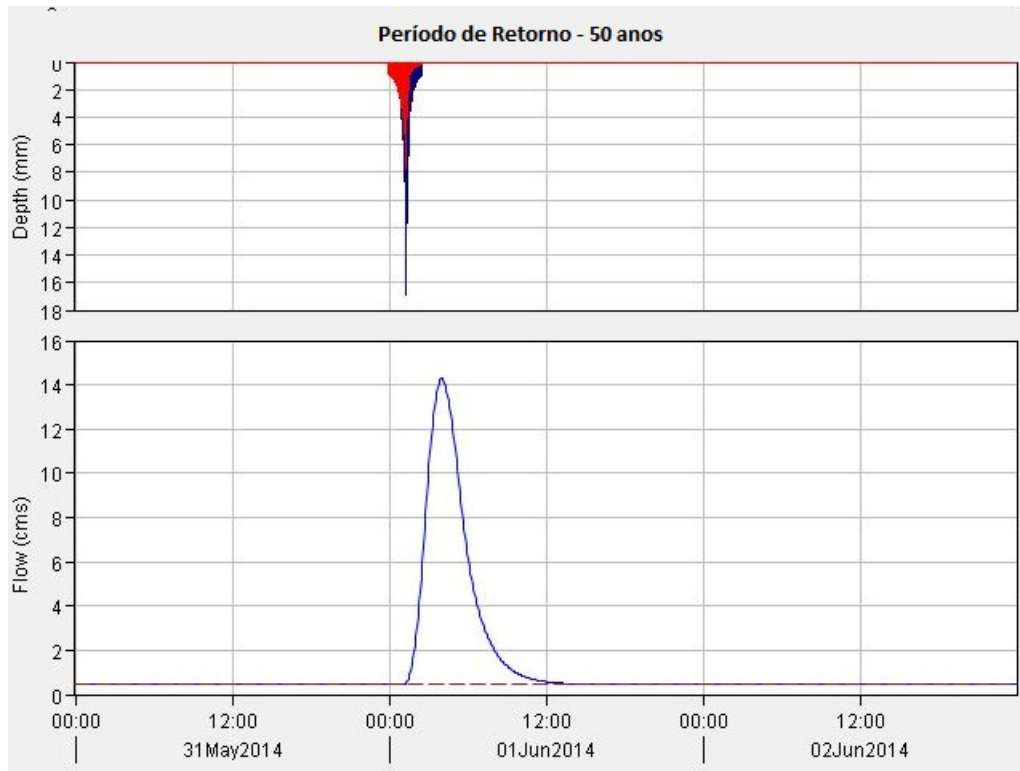
Fonte: Autora (2018).



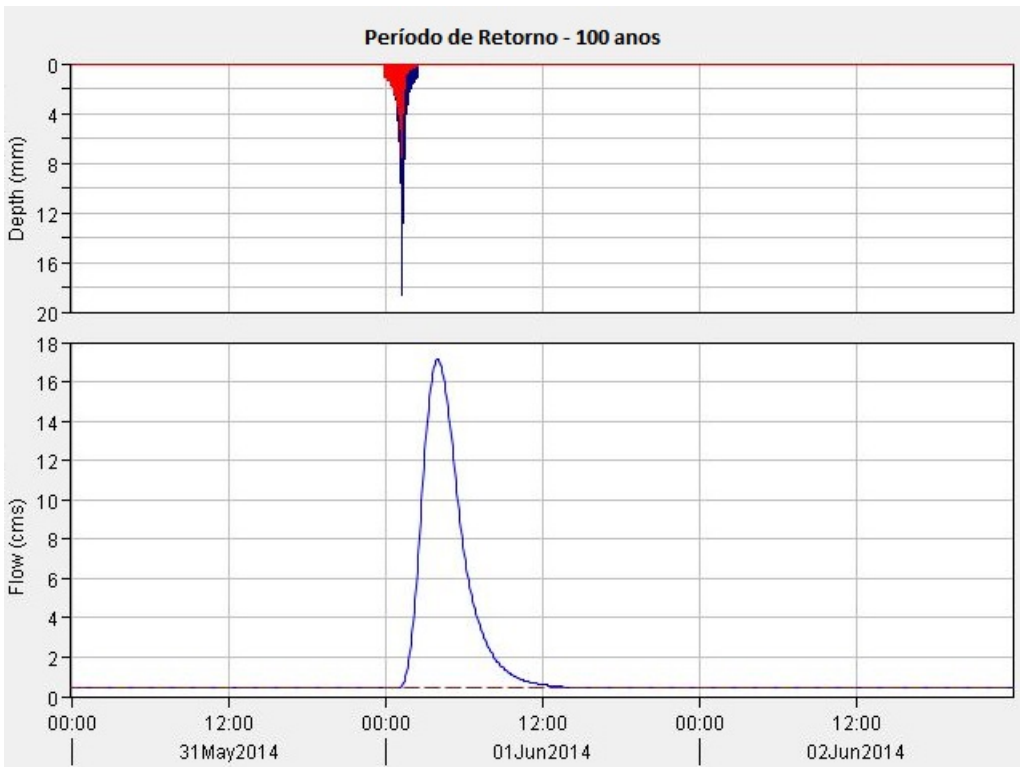
Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).

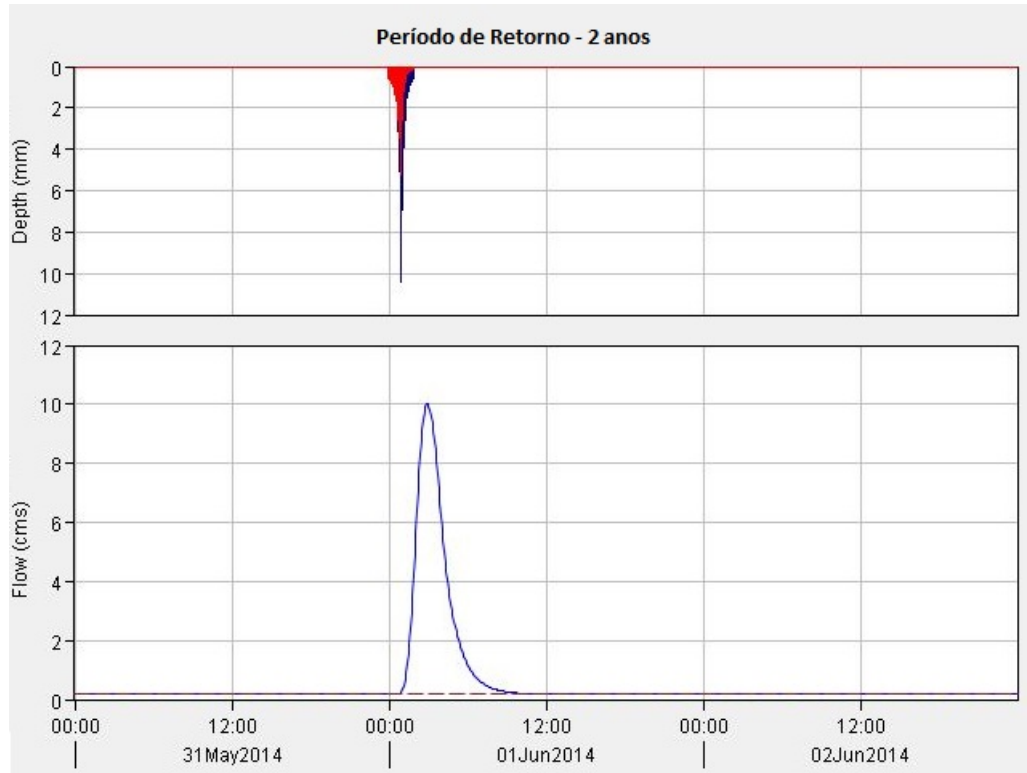


Fonte: Autora (2018).

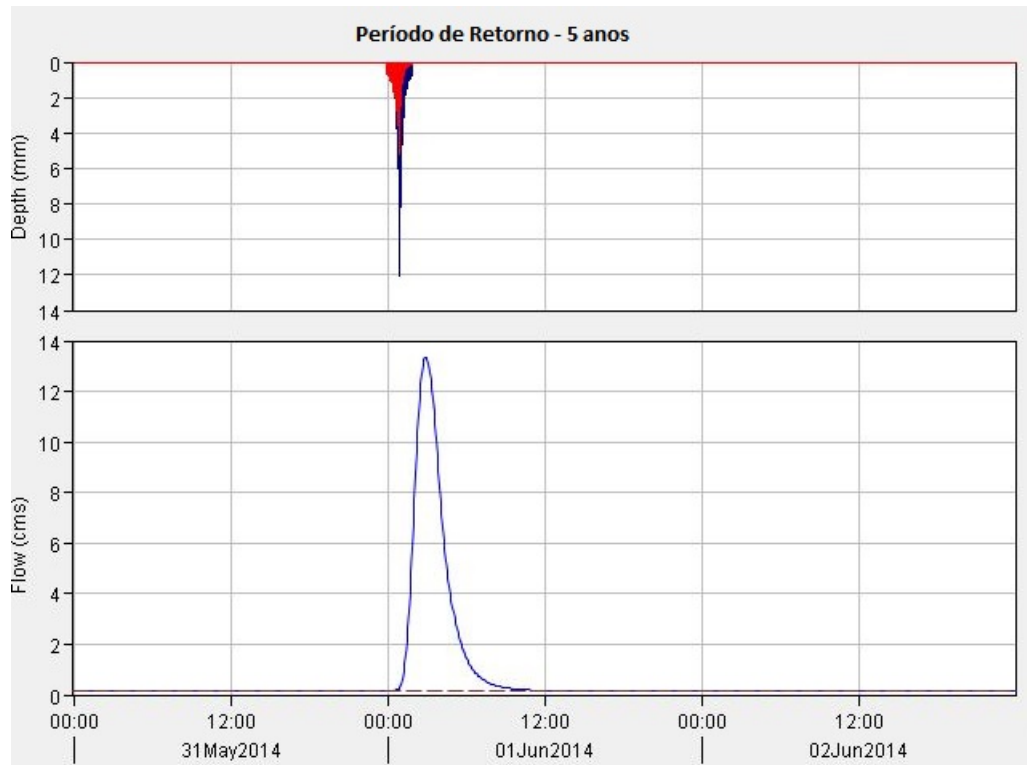


Fonte: Autora (2018).

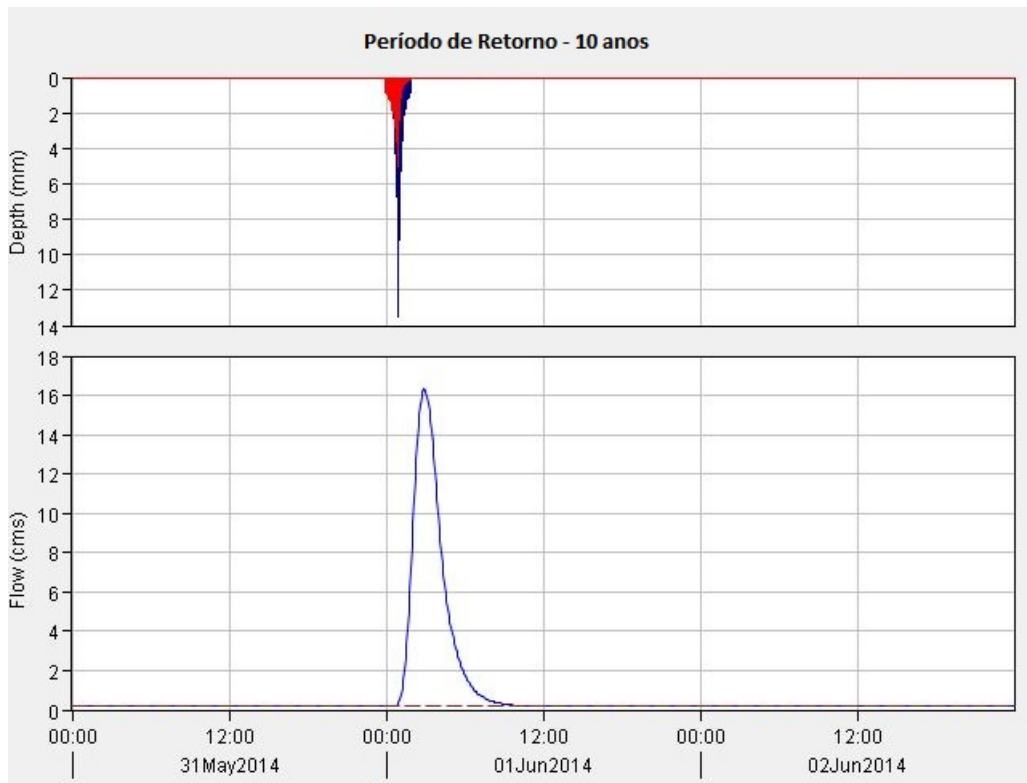
ANEXO J – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO LAGOA BONITA



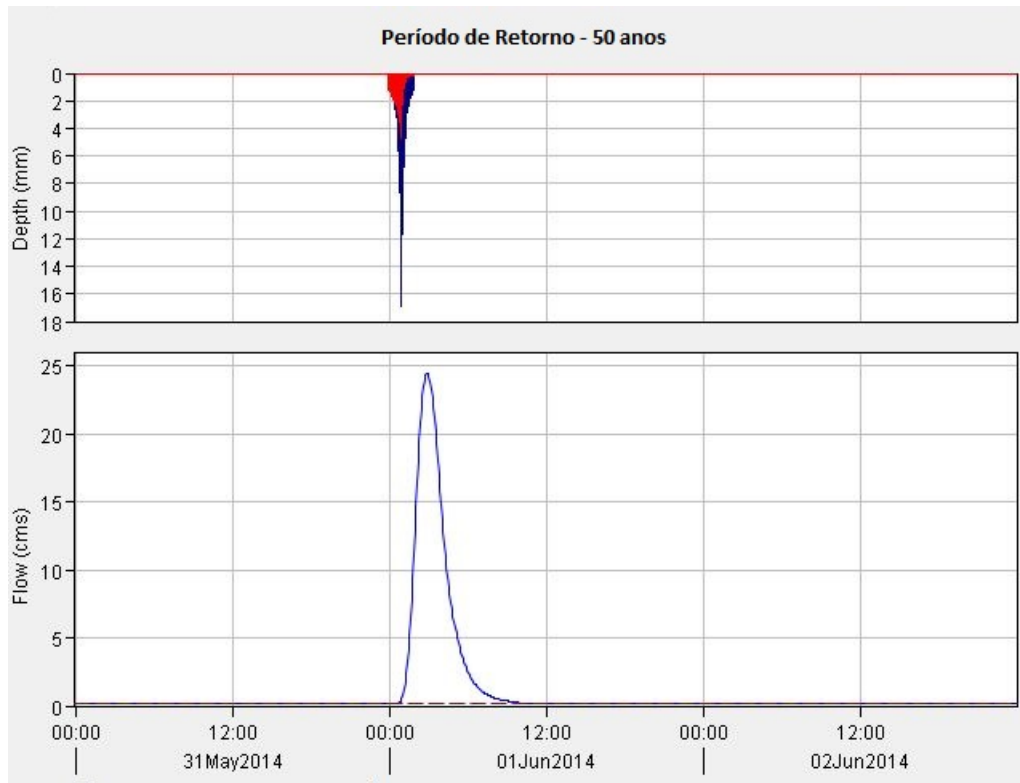
Fonte: Autora (2018).



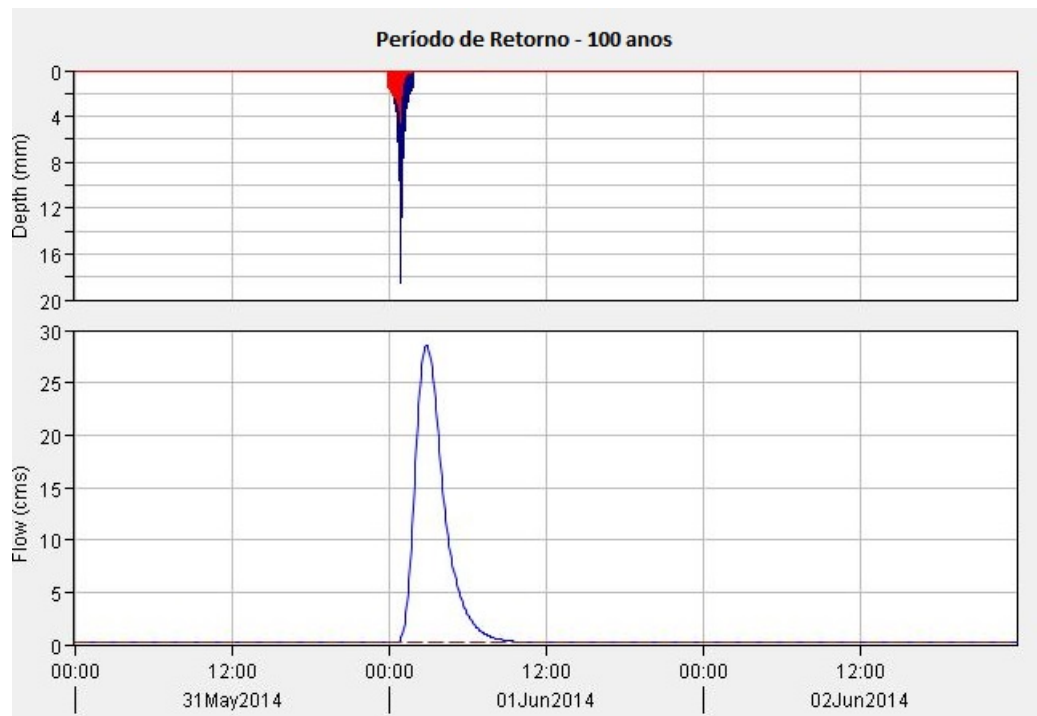
Fonte: Autora (2018).



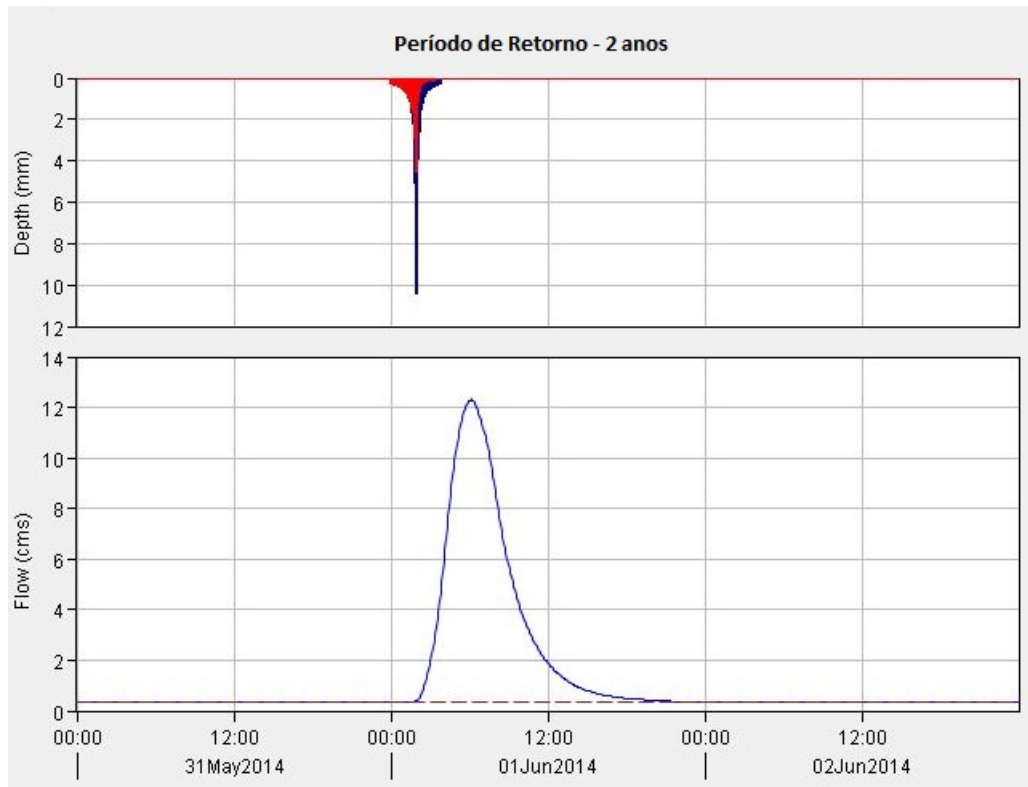
Fonte: Autora (2018).



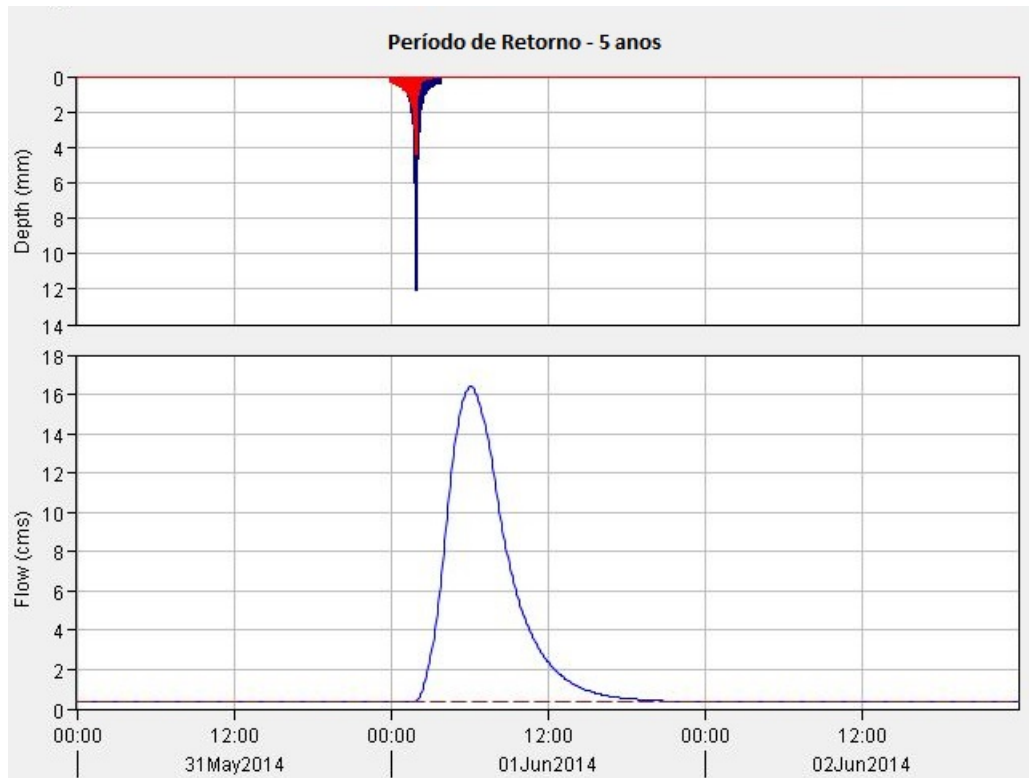
Fonte: Autora (2018).



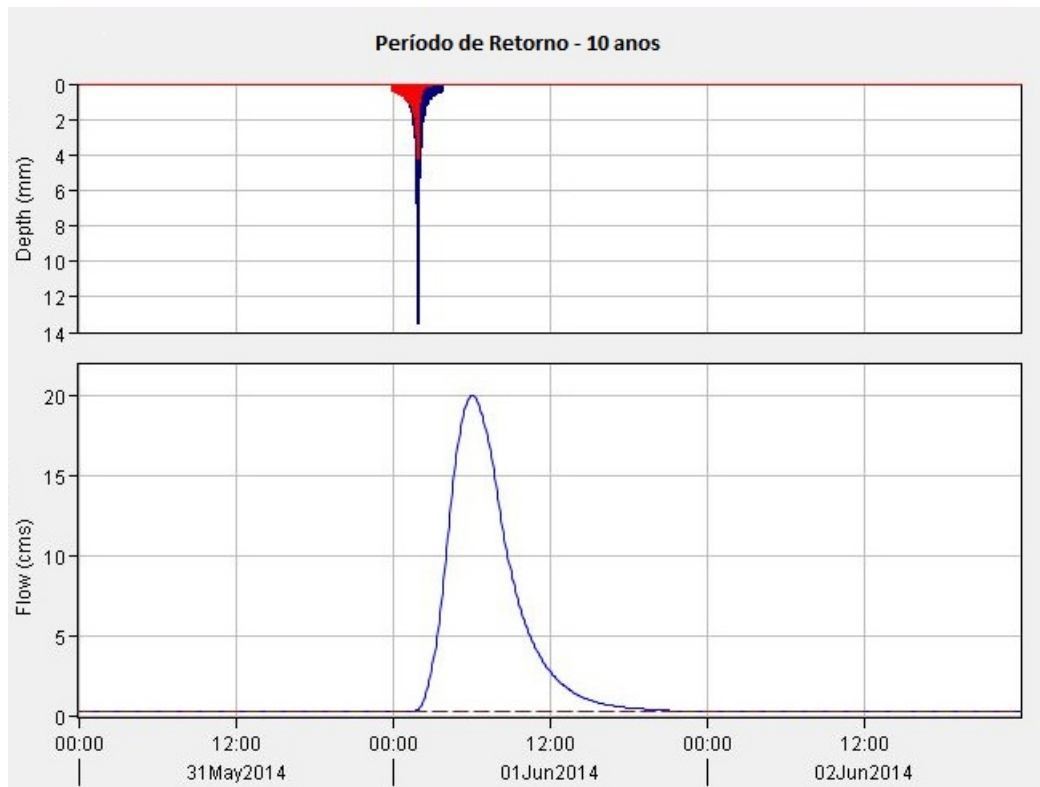
Fonte: Autora (2018).

ANEXO K – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO LAGOINHA

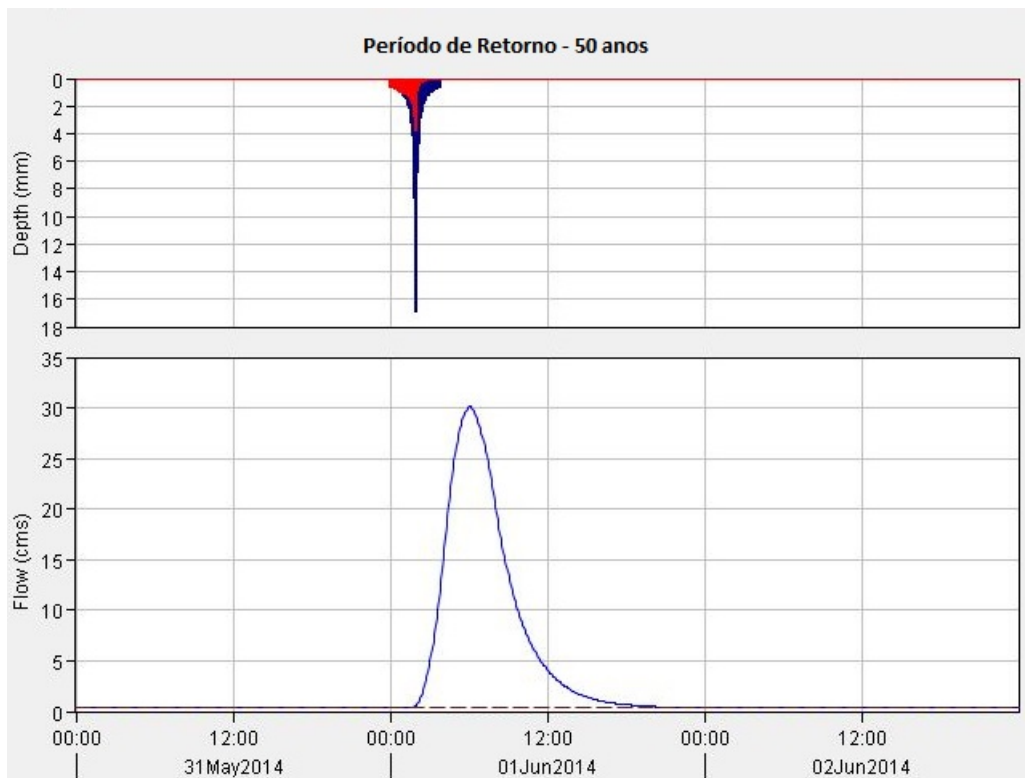
Fonte: Autora (2018).



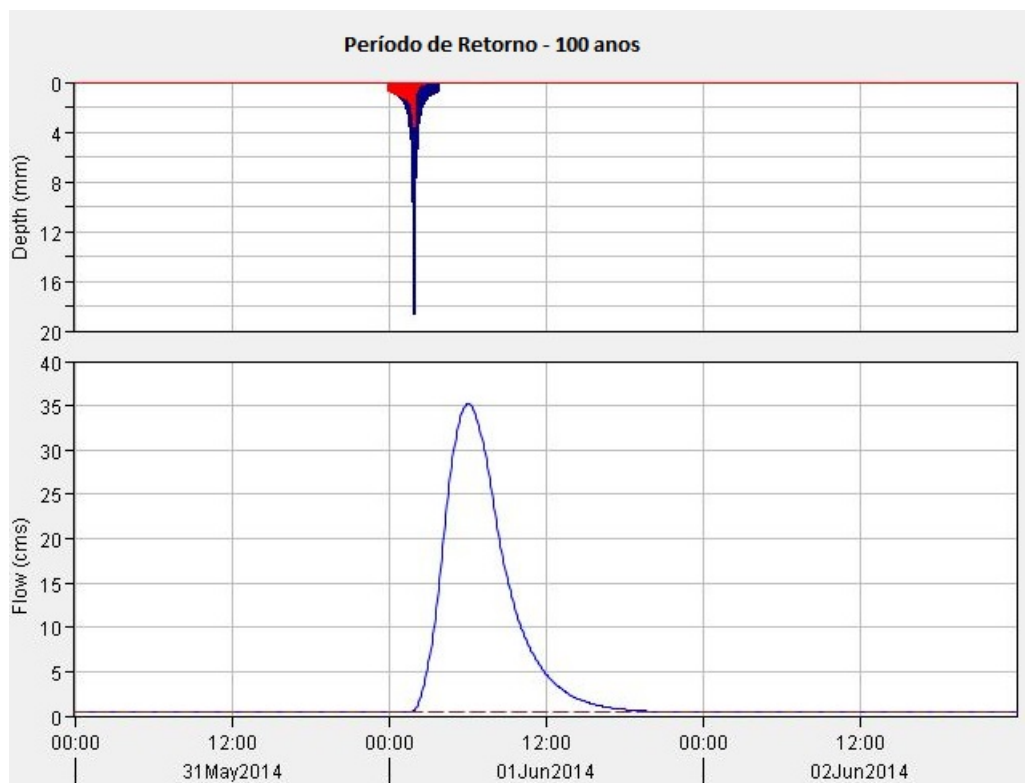
Fonte: Autora (2018).



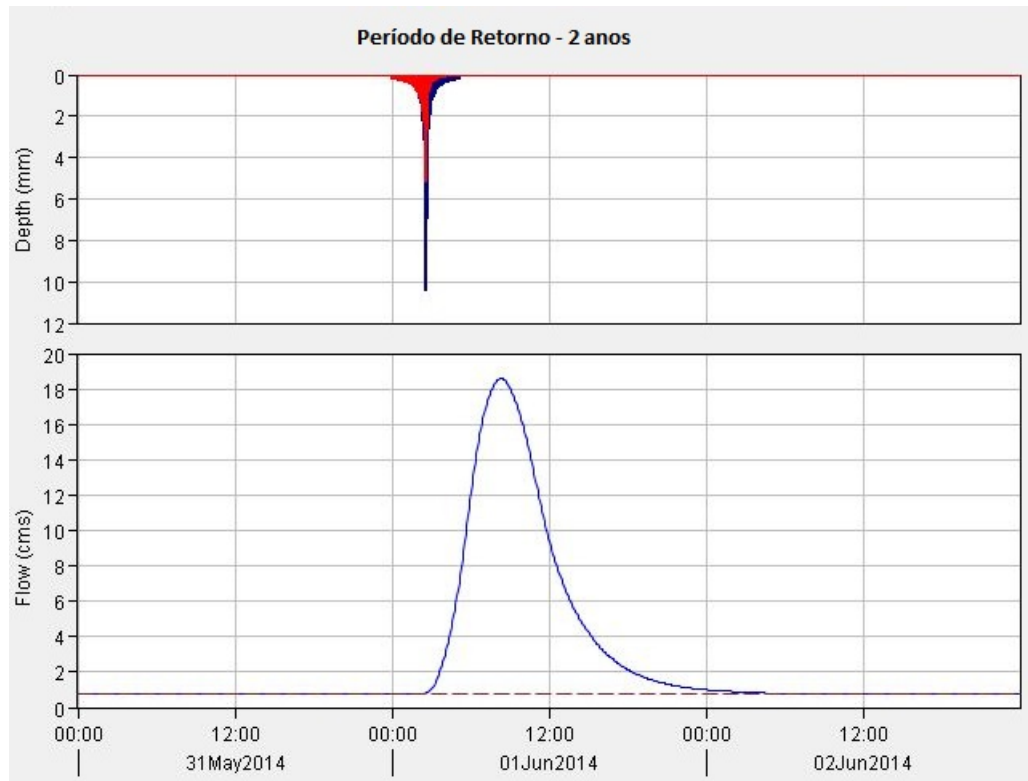
Fonte: Autora (2018).



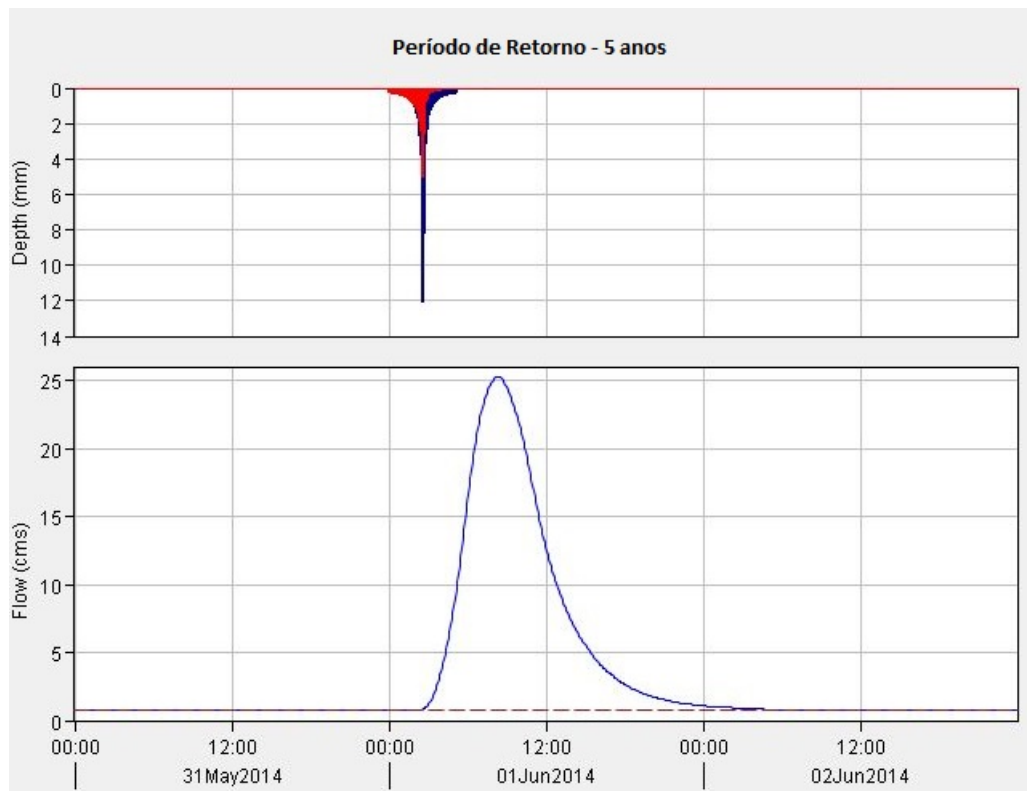
Fonte: Autora (2018).



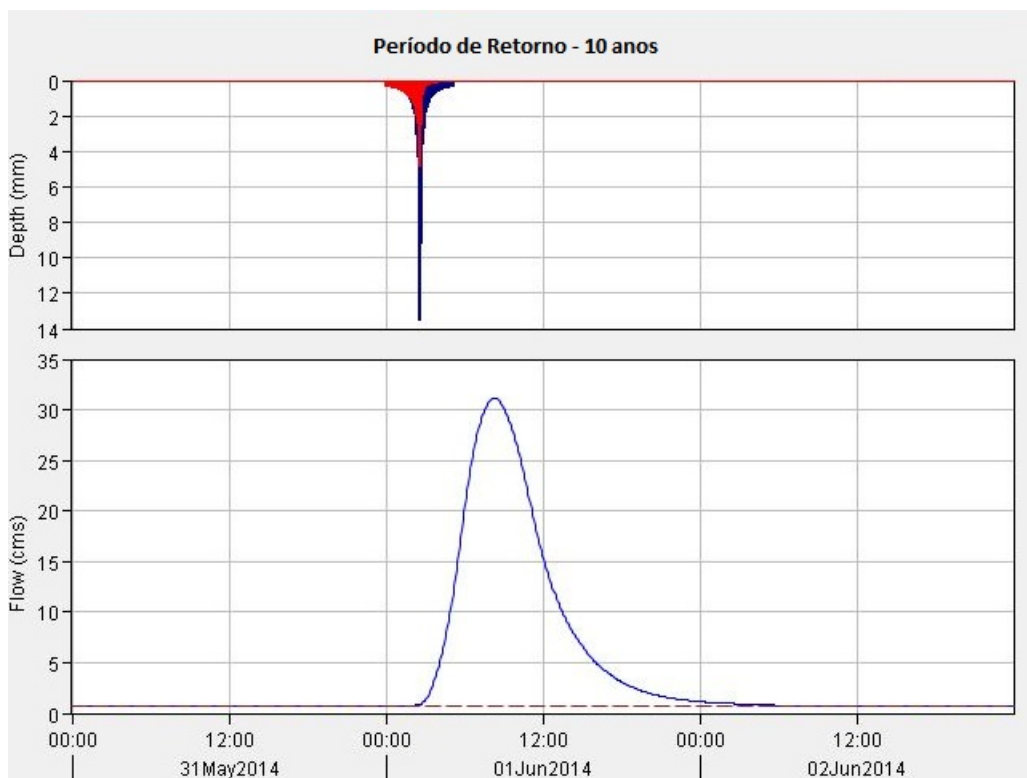
Fonte: Autora (2018).

ANEXO L – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO MOTUCAS

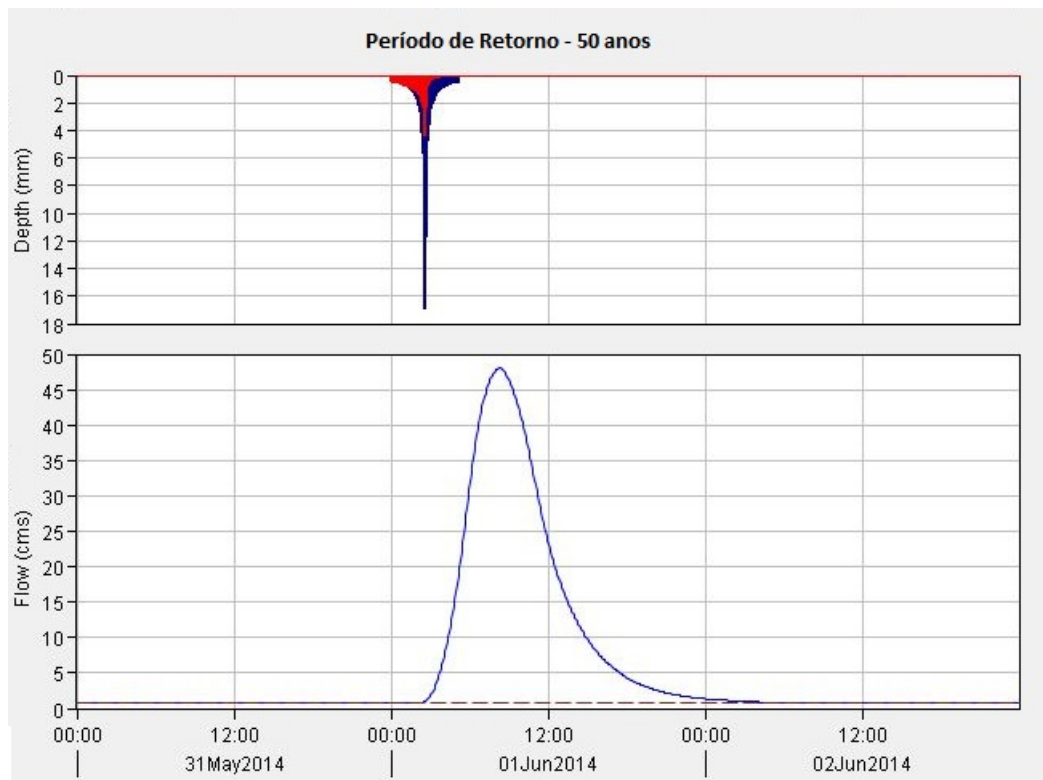
Fonte: Autora (2018).



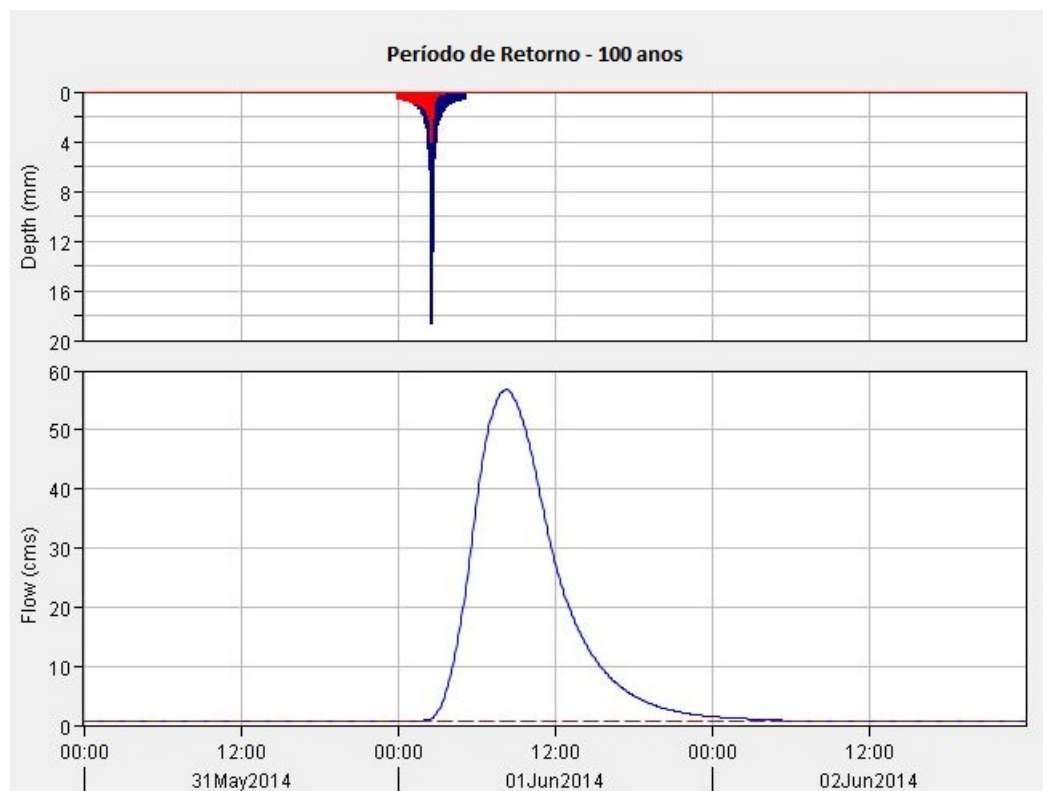
Fonte: Autora (2018).



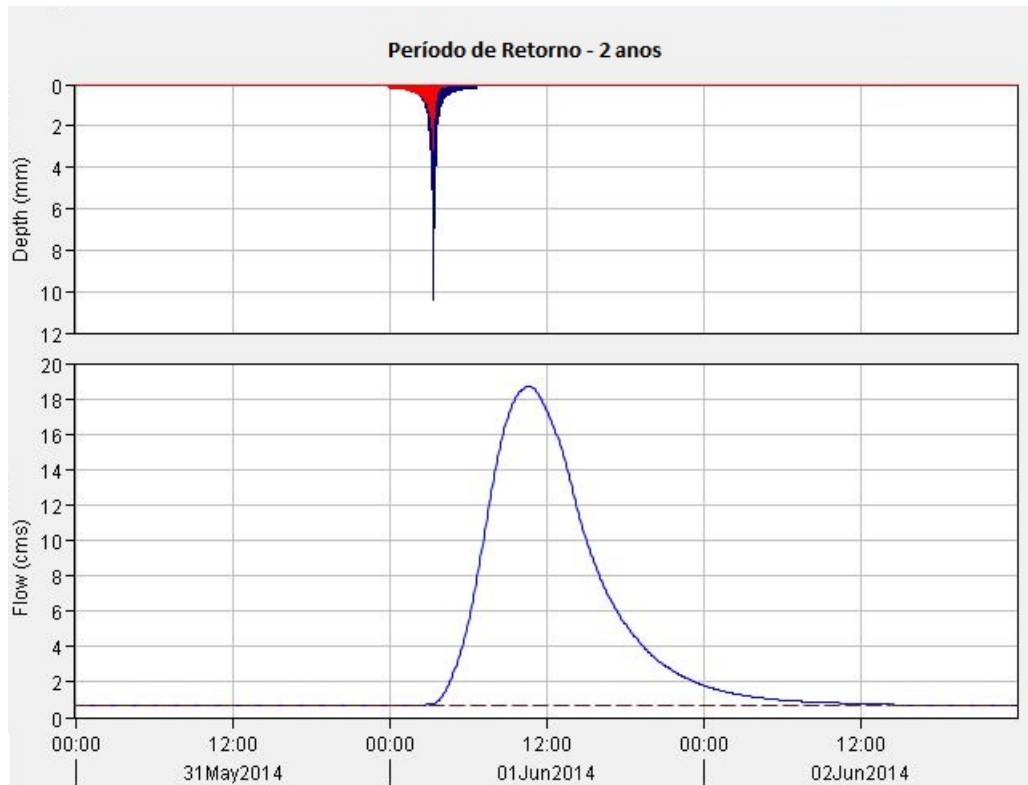
Fonte: Autora (2018).



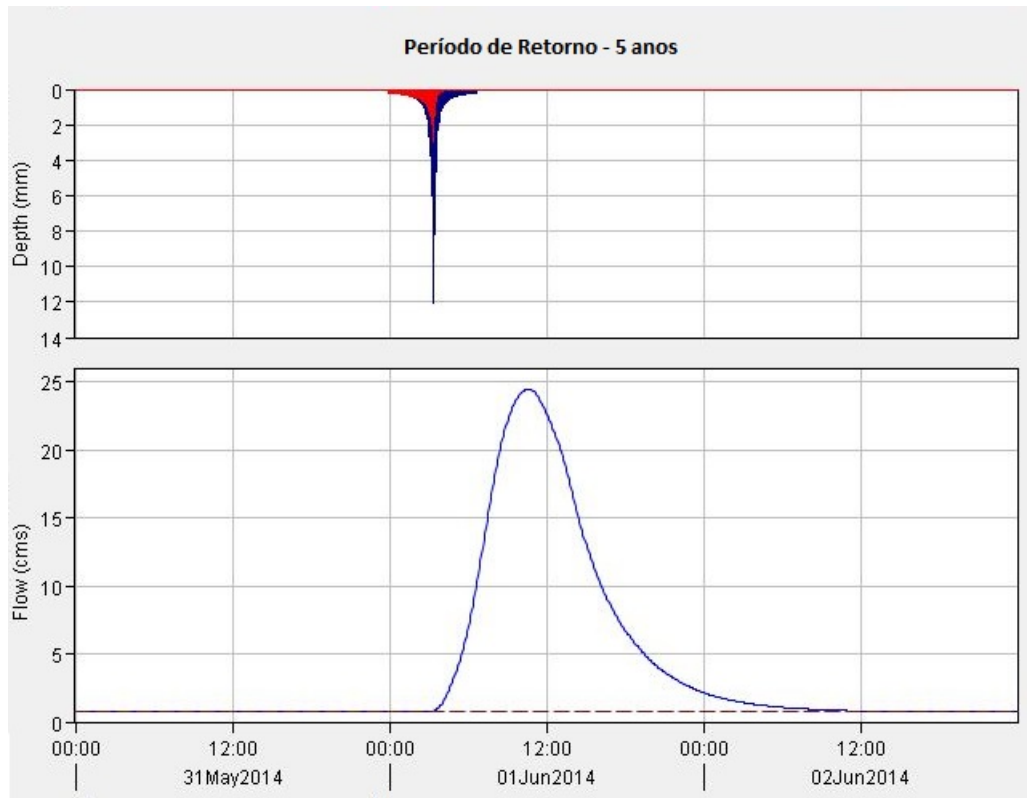
Fonte: Autora (2018).



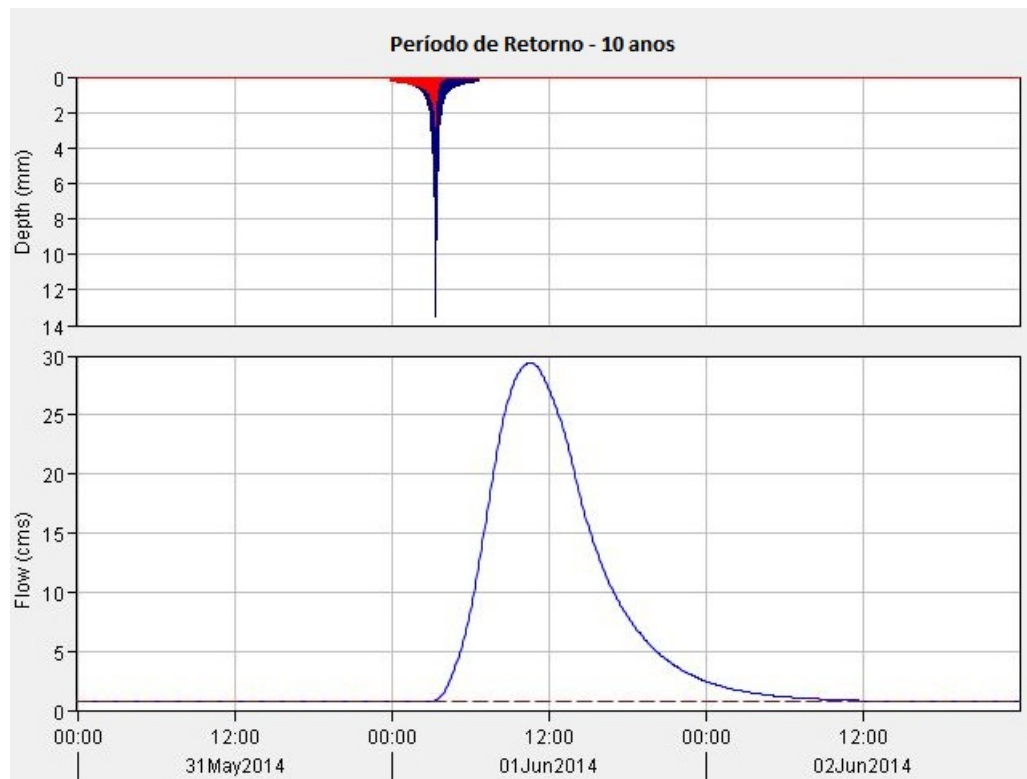
Fonte: Autora (2018).

ANEXO M – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO PIRAÍ NOVO

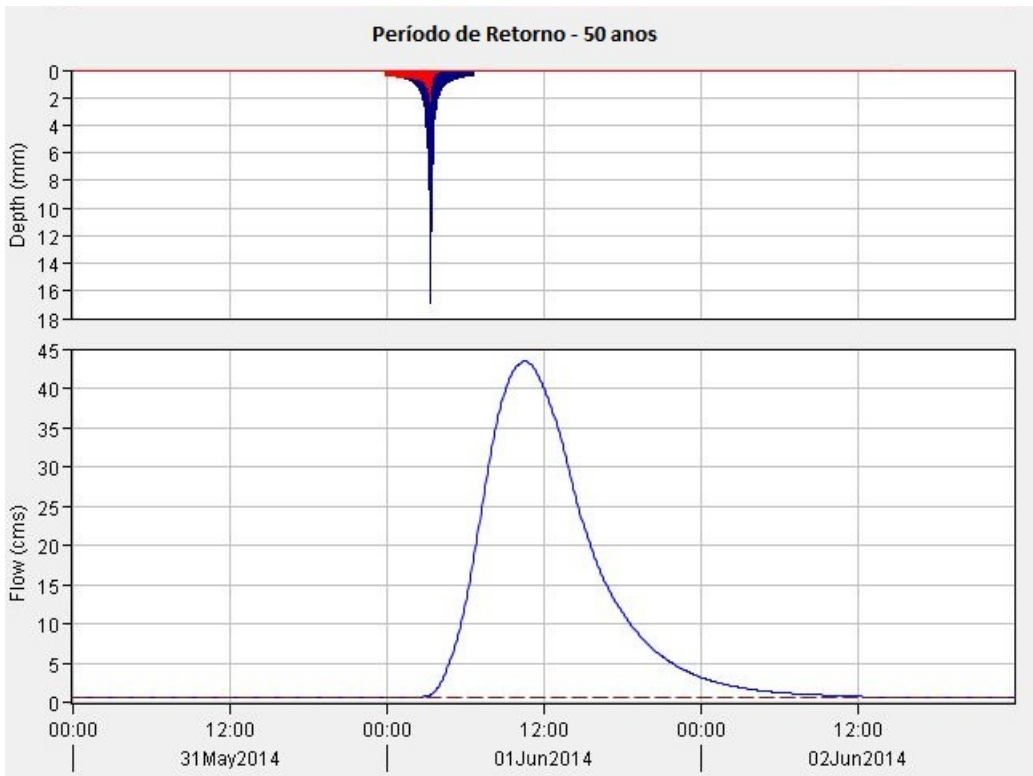
Fonte: Autora (2018).



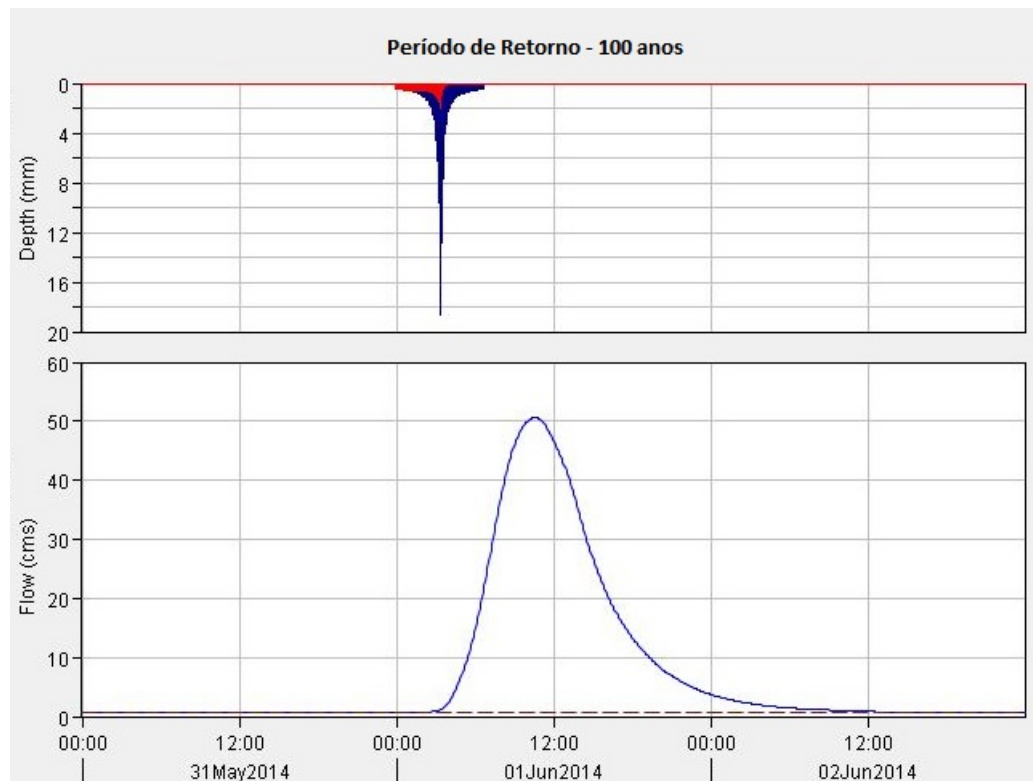
Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).

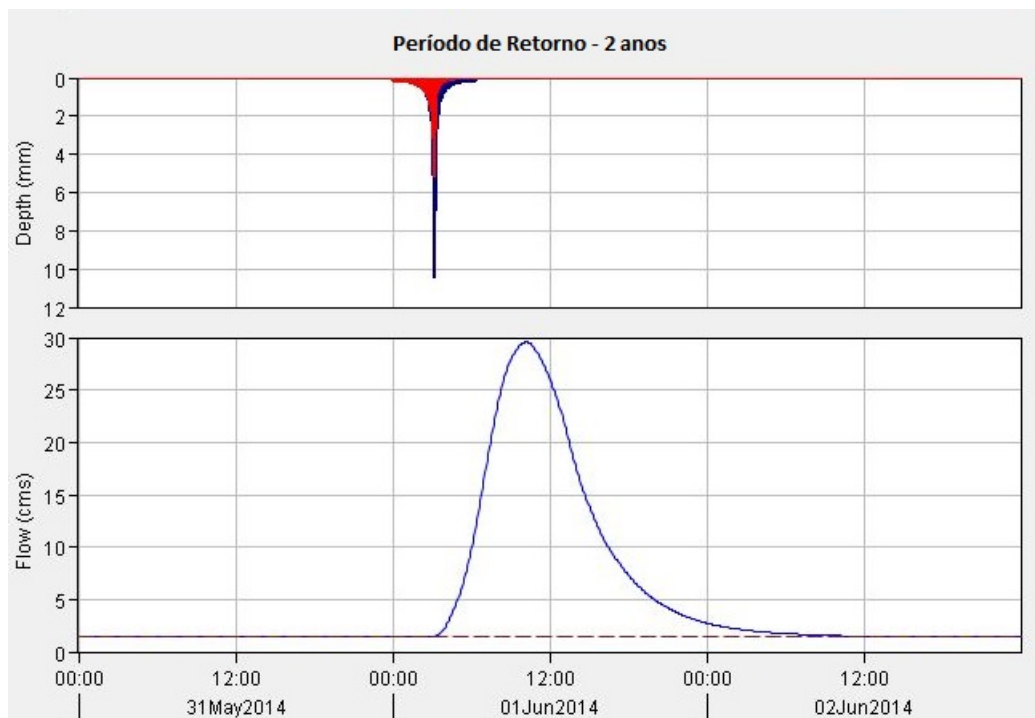


Fonte: Autora (2018).

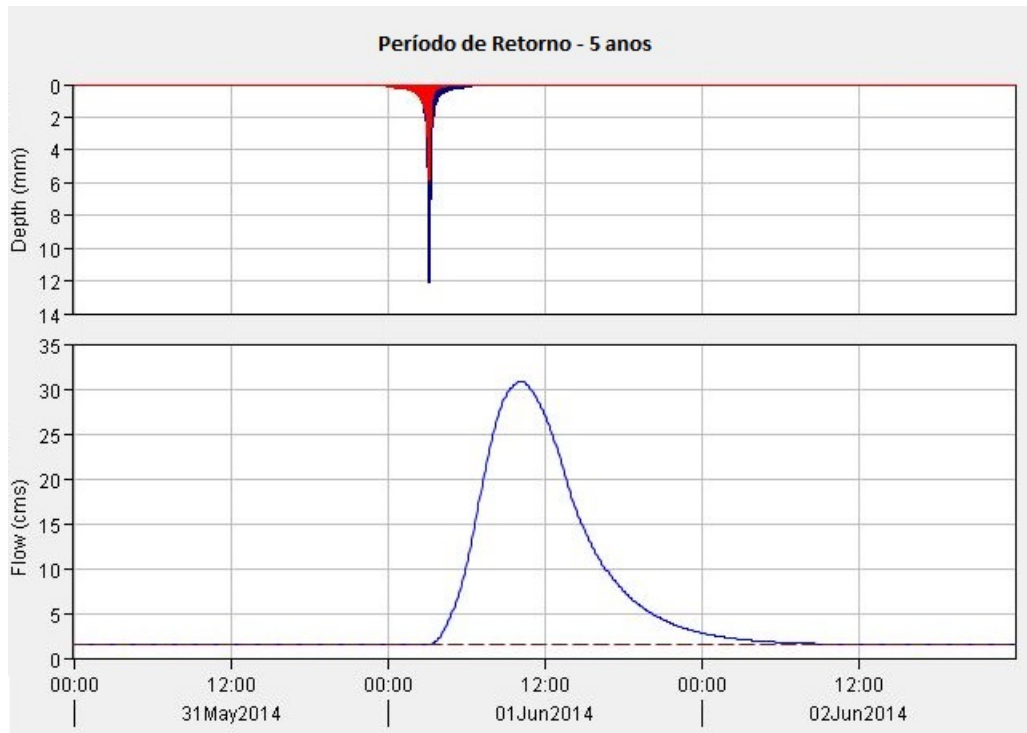


Fonte: Autora (2018).

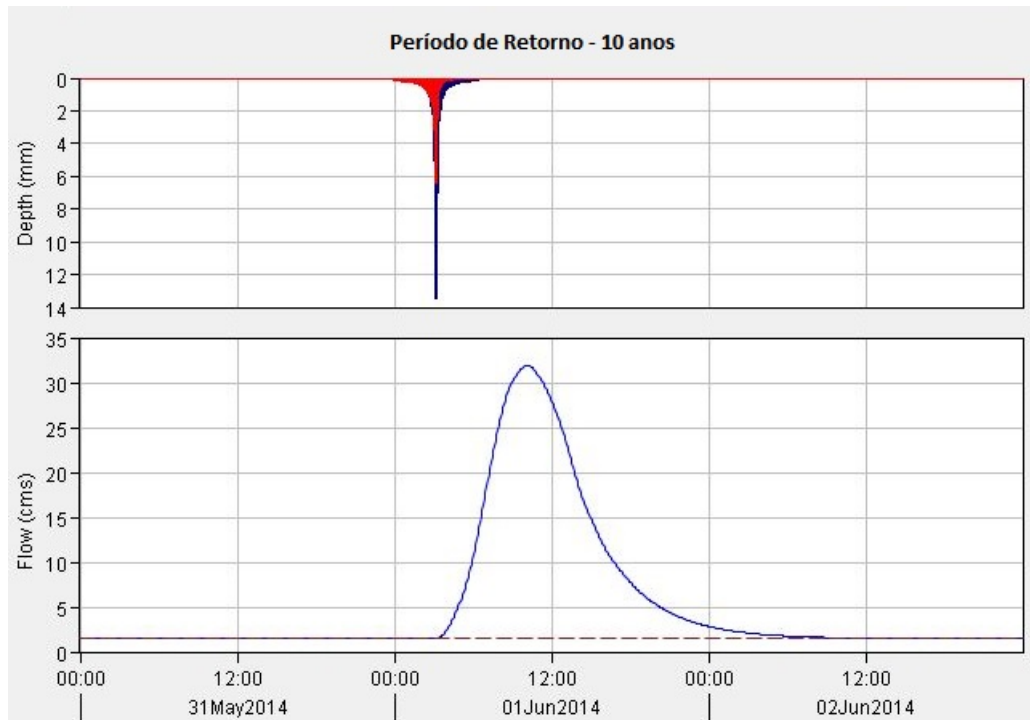
ANEXO N – HIDROGRAMA DE PROJETO: MICROBACIA DO RIO ÁGUAS VERMELHAS



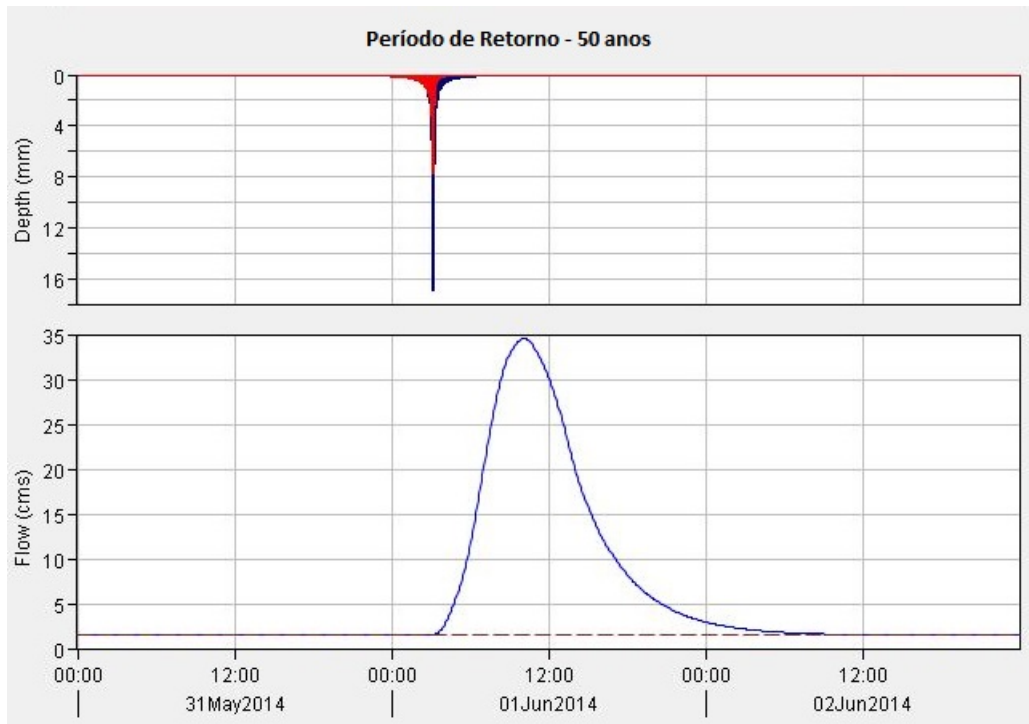
Fonte: Autora (2018).



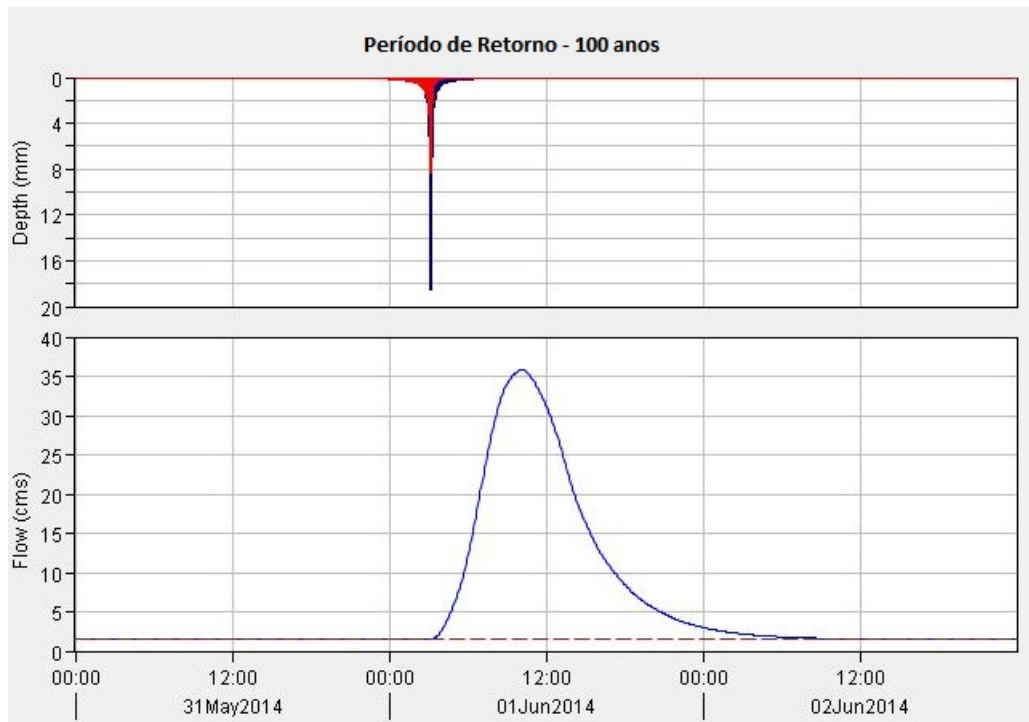
Fonte: Autora (2018).



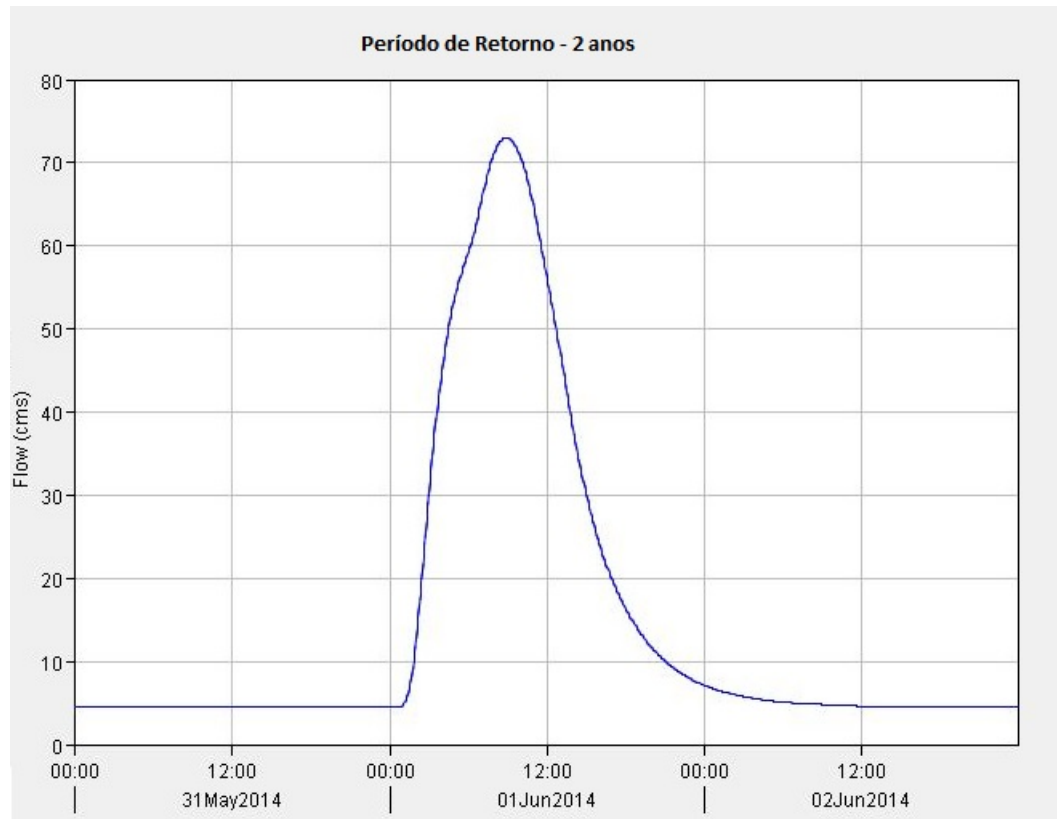
Fonte: Autora (2018).



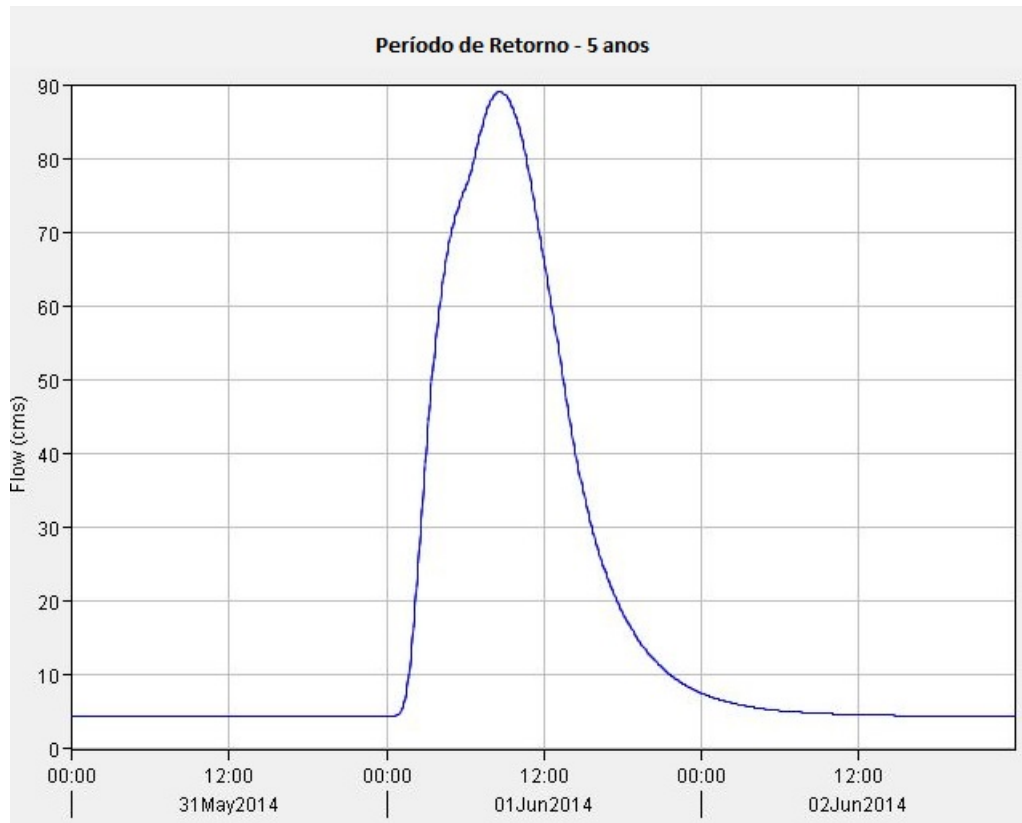
Fonte: Autora (2018).



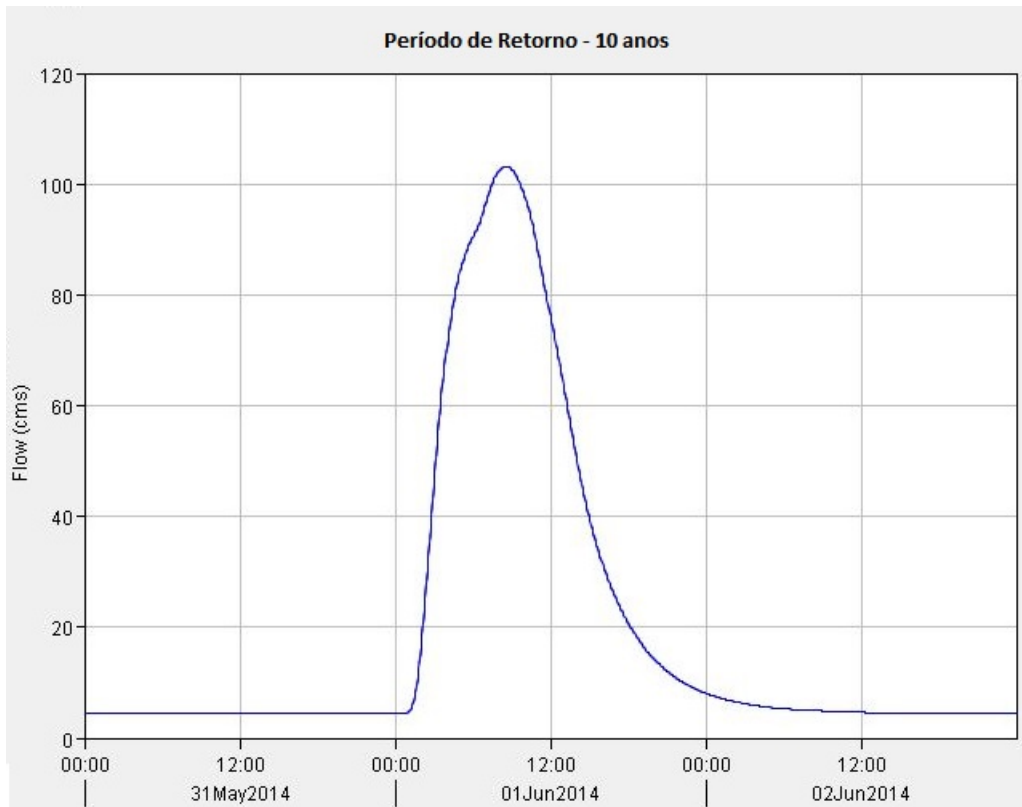
Fonte: Autora (2018).

ANEXO O – HIDROGRAMA DE PROJETO: EXULTÓRIO

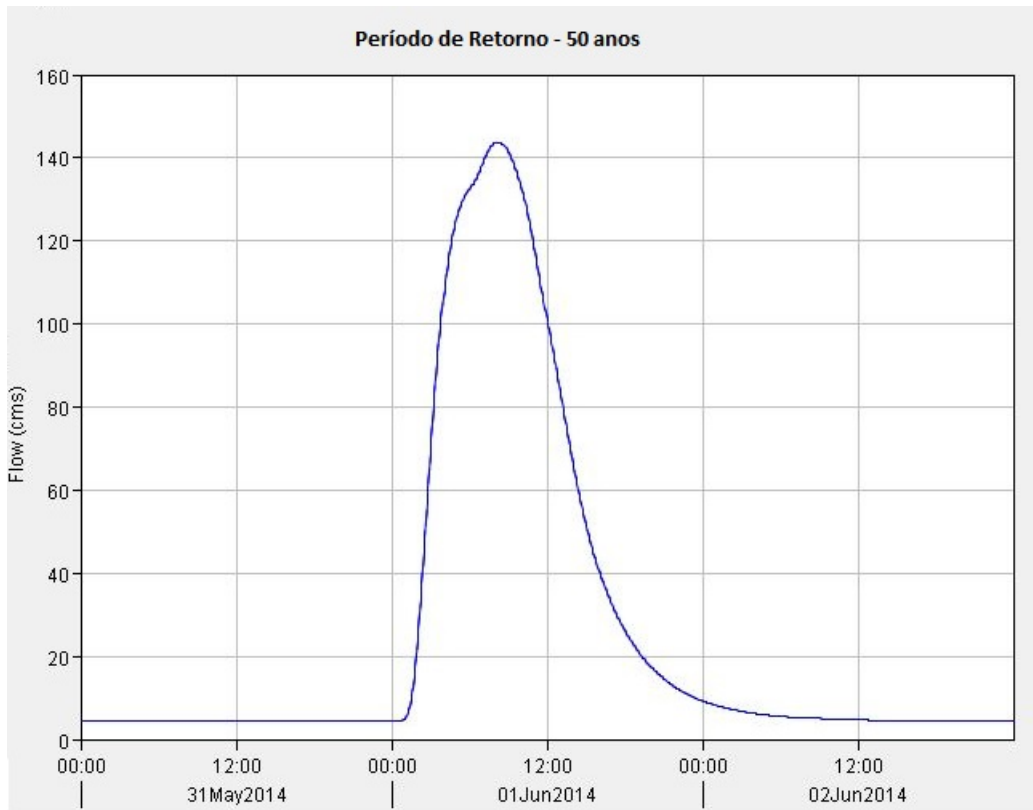
Fonte: Autora (2018).



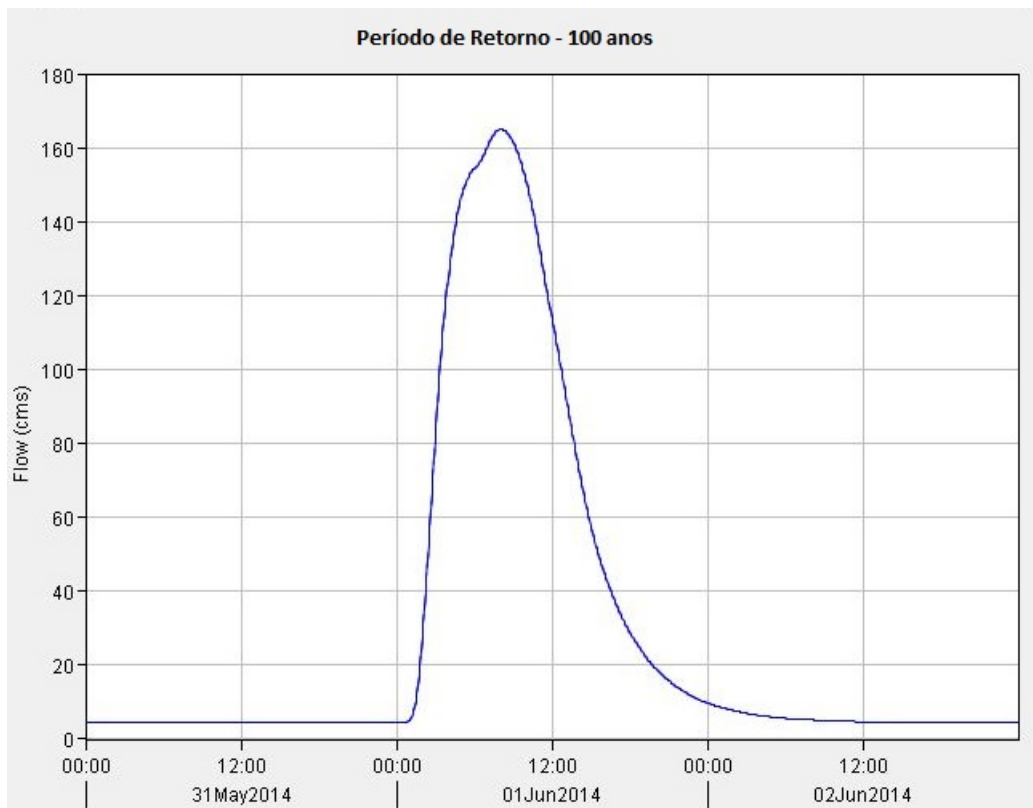
Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).



Fonte: Autora (2018).