

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO NA REGIÃO SUDESTE DA CIDADE DE
PATO BRANCO - PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2020**

ELISA APARECIDA BORBA

**ANÁLISE DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO NA REGIÃO SUDESTE DA
CIDADE DE PATO BRANCO - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Profº. Dr. Ney Lyzandro Tabalipa.

PATO BRANCO
2020

FOLHA DE APROVAÇÃO



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEP. ACADEMICO DE CONSTR. CIVIL DACOC-PB

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

ANÁLISE DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO NA REGIÃO SUDESTE DA CIDADE DE PATO BRANCO - PR

Por

Elisa Aparecida Borba

Monografia apresentada às 14 horas 00 min. do dia 11 de agosto de 2020 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Ney Lyzandro Tabalipa	Membro
Prof. Cleovir José Milani	Membro
Prof. Rayana Carolina Conterno	Orientador



Documento assinado eletronicamente por **NEY LYZANDRO TABALIPA, PROFESSOR(A) ORIENTADOR(A)**, em 13/08/2020, às 11:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **RAYANA CAROLINA CONTERNO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/08/2020, às 11:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **CLEOVIR JOSE MILANI, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 13/08/2020, às 14:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elisa Aparecida Borba, Usuário Externo**, em 17/08/2020, às 09:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1563167 e o código CRC 1A807672.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Mestre Isabel Dalanhol que forneceu os arquivos com as curvas de nível da bacia hidrográfica estudada, a hidrografia, a delimitação da área de estudo e compartilhou o conhecimento adquirido em sua dissertação.

Ao Mestre Lucas Gabriel Winter por ensinar como chegar aos valores do Método de Huff e ensinar como desenvolver essa etapa, sua orientação foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

Os alagamentos se tornaram um problema frequente nas cidades densamente urbanizadas, dessa forma, faz-se necessário o estudo das áreas suscetíveis à inundações e dos fatores que contribuem para tal. Neste trabalho analisou-se o uso e ocupação do solo atual e futuro, considerando a máxima ocupação permitida pelo poder público, da área da sub-bacia do Rio Ligeiro, onde se localiza o bairro Bonatto, na região sudeste do município de Pato Branco – PR. Foram vetorizadas sob uma imagem de satélite do *Bing Maps* as áreas gramadas, Áreas de Preservação Permanente, de matas, de plantio, áreas urbanas permeáveis e impermeáveis. Calculou-se o *Curve Number* (CN), parâmetro que indica o escoamento superficial, a porcentagem da área impermeável, o tempo de concentração da sub-bacia, a intensidade das chuvas de projeto com base num período de retorno de 25, 50 e 100 anos, e realizou-se a simulação hidrológica no *software* HEC-HMS. Em seguida, vetorizou-se o canal do rio principal, criaram-se as seções, a superfície TIN (*Triangular Irregular Network*), e o conjunto foi exportado ao *software* HEC-RAS. Os valores obtidos na simulação hidrológica, junto à topografia, rios e seções foram usados na simulação hidrodinâmica. Como resultados a área do bairro Bonatto foi inundada, assim como a baixada, a qual sofre frequentemente com inundações.

Palavras-chave: HEC-RAS; HEC-HMS, área de inundação; uso do solo; simulação de inundação.

ABSTRACT

Flooding has become a frequent problem in densely urbanized cities, so it is necessary to study areas susceptible to flooding and the factors that contribute to this. In this work, the use and occupation of current and future land was analyzed, considering the maximum occupation allowed by the government, of the sub-basin area of the Rio Ligeiro, where the Bonatto neighborhood is located, in the southeastern region of the municipality of Pato Branco - PR. The grassed areas, Permanent Preservation Areas, forests, plantations, permeable and impermeable urban areas were vectorized under a satellite image from Bing Maps. The Curve Number (CN) was calculated, a parameter that indicates runoff, the percentage of impermeable area, the time of concentration of the sub-basin, the intensity of the project rainfall based on a return period of 25, 50 and 100 years, and the hydrological simulation was performed using the HEC-HMS software. Then, the main river channel was vectored, the sections were created, the TIN surface (Triangular Irregular Network), and the set was exported to the HEC-RAS software. The values obtained in the hydrological simulation, along with the topography, rivers and sections were used in the hydrodynamic simulation. As a result, the Bonatto neighborhood area was flooded, as well as the lowlands, which often suffer from flooding.

Keywords: HEC-RAS; HEC-HMS, flood area; use of the soil; flood simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Inundação na cidade de Pato Branco - PR.	13
Figura 2: Exemplo para diferenciação entre enchente e inundação.	15
Figura 3: Danos causados por desastres hidrológicos na região sul do Brasil, com destaque para Pato Branco-PR.	17
Figura 4: Localização da área de estudo.	28
Figura 5: Mapa de abairramento e regionalização.	29
Figura 6: Mapa de uso e ocupação do solo.	30
Figura 7: Solos da sub-bacia do Rio Ligeiro.	31
Figura 8: Uso do solo na área de estudo.	33
Figura 9: Método de Huff 1º quartil adaptado.	38
Figura 10: Hietograma de projeto calculado pelo método de Huff 1º quartil para período de retorno de 25 anos, com probabilidade e excedência de 50 %.	39
Figura 11: Hietograma de projeto calculado pelo método de Huff 1º quartil para período de retorno de 50 anos, com probabilidade e excedência de 50 %.	39
Figura 12: Hietograma de projeto calculado pelo método de Huff 1º quartil para período de retorno de 100 anos, com probabilidade e excedência de 50 %.	40
Figura 13: Área de estudo e hidrografia importados pelo HEC-HMS.	40
Figura 14: Elevações variando de 747,00 a 914,00 metros.	42
Figura 15: Hietograma da precipitação e precipitação perdida, e hidrograma do escoamento da sub-bacia do Rio Ligeiro para uso do solo atual e período de retorno de 25 anos.	44
Figura 16: Hietograma da precipitação e precipitação perdida, e hidrograma do escoamento da sub-bacia do Rio Ligeiro para uso do solo atual e período de retorno de 50 anos.	45
Figura 17: Hietograma da precipitação e precipitação perdida, e hidrograma do escoamento da sub-bacia do Rio Ligeiro para uso do solo atual e período de retorno de 100 anos.	46
Figura 18: Hietograma da precipitação e precipitação perdida, e hidrograma do escoamento da sub-bacia do Rio Ligeiro para uso do solo futuro e período de retorno de 25 anos.	48
Figura 19: Hietograma da precipitação e precipitação perdida, e hidrograma do escoamento da sub-bacia do Rio Ligeiro para uso do solo futuro e período de retorno de 50 anos.	49
Figura 20: Hietograma da precipitação e precipitação perdida, e hidrograma do escoamento da sub-bacia do Rio Ligeiro para uso do solo futuro e período de retorno de 100 anos.	50
Figura 21: Mancha de inundação para uso do solo futuro e período de retorno de 25 anos. ...	51

Figura 22: Mancha de inundação para uso do solo futuro e período de retorno de 50 anos. ...	52
Figura 23: Mancha de inundação para uso do solo futuro e período de retorno de 100 anos. .	53
Figura 24: Série de dados com a precipitação, precipitação perdida, excesso de precipitação e fluxo direto da sub-bacia, para uso do solo atual e precipitação com período de retorno de 25 anos.....	65
Figura 25: Resultados com as precipitações e escoamento referentes ao uso do solo no ano de 2020 e precipitação com período de retorno de 25 anos.	67
Figura 26: Série de dados com a precipitação, precipitação perdida, excesso de precipitação e fluxo direto da sub-bacia, para uso do solo atual e precipitação com período de retorno de 50 anos.....	69
Figura 27: Resultados com as precipitações e escoamento referentes ao uso do solo no ano de 2020 e precipitação com período de retorno de 50 anos.	71
Figura 28: Série de dados com a precipitação, precipitação perdida, excesso de precipitação e fluxo direto da sub-bacia, para uso do solo atual e precipitação com período de retorno de 100 anos.....	73
Figura 29: Resultados com as precipitações e escoamento referentes ao uso do solo no ano de 2020 e precipitação com período de retorno de 100 anos.	75
Figura 30: Série de dados com a precipitação, precipitação perdida, excesso de precipitação e fluxo direto da sub-bacia, para uso do solo futuro e precipitação com período de retorno de 25 anos.....	77
Figura 31: Resultados com as precipitações e escoamento referentes ao uso do solo no ano de 2020 e precipitação com período de retorno de 25 anos.	79
Figura 32: Série de dados com a precipitação, precipitação perdida, excesso de precipitação e fluxo direto da sub-bacia, para uso do solo futuro e precipitação com período de retorno de 50 anos.....	81
Figura 33: Resultados com as precipitações e escoamento referentes ao uso do solo no ano de 2020 e precipitação com período de retorno de 50 anos.	83
Figura 34: Série de dados com a precipitação, precipitação perdida, excesso de precipitação e fluxo direto da sub-bacia, para uso do solo futuro e precipitação com período de retorno de 100 anos.....	85
Figura 35: Resultados com as precipitações e escoamento referentes ao uso do solo no ano de 2020 e precipitação com período de retorno de 100 anos.	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Medidas estruturais de controle de inundações.	21
Quadro 2: Parâmetros urbanísticos na Zona Residencial 4.	29
Quadro 3: Parâmetro CN médio para o uso e ocupação do solo no ano de 2020.	34
Quadro 4: Parâmetro CN médio para o uso e ocupação do solo futuro.	35
Quadro 5: Tempos de concentração da sub-bacia do Rio Ligeiro.....	36
Quadro 6: Intensidade das chuvas de projeto na sub-bacia do Rio Ligeiro, calibradas para o município de Pato Branco - PR.	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
1.2	JUSTIFICATIVA	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	INUNDAÇÕES	15
2.1.1	Tipos de inundações	18
2.2	ÁREA COM RISCO DE INUNDAÇÃO	19
2.2.1	Medidas de controle de inundações	20
2.2.2	Mapas de inundação	21
2.3	DRENAGEM URBANA	22
2.3.1	Tipos de drenagem urbana	22
2.4	INFILTRAÇÃO E PERCOLAÇÃO	22
2.5	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	23
2.6	TRABALHOS SEMELHANTES	24
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	26
3.1	<i>SOFTWARES</i> UTILIZADOS	26
3.1.1	Autocad Civil 3d	26
3.1.2	Bing Maps	26
3.1.3	HEC - HMS	27
3.1.4	HEC-RAS	27
3.2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	27
3.3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	29
3.4	METODOLOGIA	32
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	43
4.1	RESULTADOS	43
4.1.1	Modelagem hidrológica – HEC-HMS	43
4.1.1.1	Uso do solo no ano de 2020	43
4.1.1.2	Uso do solo futuro	47
4.1.2	Modelagem hidrodinâmica – HEC-RAS	51

4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	APÊNDICE A – Uso do solo atual e período de retorno de 25 anos.	64
	APÊNDICE B – Uso do solo atual e período de retorno de 50 anos.	68
	APÊNDICE C – Uso do solo atual e período de retorno de 100 anos.	72
	APÊNDICE D – Uso do solo futuro e período de retorno de 25 anos.	76
	APÊNDICE E – Uso do solo futuro e período de retorno de 50 anos.	80
	APÊNDICE F – Uso do solo futuro e período de retorno de 100 anos.	84

1 INTRODUÇÃO

No início da civilização as pessoas procuravam se instalar nas margens dos rios para ter acesso à água para o próprio consumo, para os animais, para a agricultura, pesca e transporte fluvial, costume que persiste até os dias atuais. Da mesma forma, as inundações são fenômenos naturais que sempre ocorreram, a diferença é que a área impermeável aumentou junto com o crescimento da população, o que faz com que as perdas sejam muito maiores. Nesse sentido, as inundações são agravadas pela desordem no uso e ocupação do solo urbano, as quais trazem consigo grandes prejuízos sociais e financeiros à população, acumulando danos também em outros setores como saúde e infraestrutura.

Nas grandes cidades o evento é cíclico, as pessoas se instalam em áreas de risco, chove, ocorrem inundações, deslizamentos de terra, desabamentos de residências, acúmulo de lixo, entulhos e a disseminação de doenças, porém, quando o nível da água baixa as pessoas retornam onde estavam, ficando suscetíveis à novos desastres.

Na cidade de Pato Branco as inundações ocorrem há alguns anos, causando transtornos principalmente aos moradores do centro e da região sudeste. A água da chuva se acumula em determinados pontos com cotas mais baixas, invadindo estabelecimentos comerciais, residências e dificultando o tráfego de veículos nas vias. Devido à declividade da superfície, a impermeabilização do entorno e da área afetada, a velocidade de escoamento aumenta, assim como o volume, podendo ainda, ser agravado pelo entupimento de trechos no sistema de drenagem urbana. Na região sudoeste da cidade, no bairro Pinheirinho, foi construída uma bacia de contenção buscando solucionar as inundações na bacia do Córrego Fundo e reduzir o volume de água que chega no centro da cidade, mas houve o assoreamento no reservatório resultando na redução da sua capacidade, fator que pode favorecer novas inundações.

Os prejuízos são na maioria das vezes financeiros, mas as inundações maiores podem resultar em mortes por afogamento e até soterramento, originado pela movimentação do solo causada pela instabilidade das encostas nas margens dos rios. Sabe-se que para evitar esse tipo de problema é preciso fazer um plano de emergência, investir em saneamento básico, sistemas eficientes de drenagem, proteção de encostas, entre outros, porém, isso ainda é um grande desafio nas políticas públicas.

De modo geral, é importante analisar as áreas de risco, avaliar os impactos ambientais, regulamentar as áreas impróprias e realocar os moradores para garantir sua segurança. Para isso, existem hoje no mercado diversos *softwares* que podem auxiliar nessa tarefa por meio do processo de mapeamento, tecnologias de grande utilidade para os profissionais e gestores de órgãos públicos, facilitando o serviço e produzindo resultados mais rápidos e confiáveis.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar a evolução das áreas de inundação no bairro Bonatto, o qual se localiza na região sudeste da cidade de Pato Branco – PR, e verificar se a mudança no uso e ocupação do solo interferiu na permeabilidade e aumento do escoamento superficial da água da chuva.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar a mudança do uso do solo atual para o uso do solo futuro, considerando sua ocupação máxima, na região sudeste da cidade de Pato Branco – PR, através de imagens do Bing Maps utilizando o *software* AUTOCAD CIVIL 3D.
- Aplicar o software HEC – HMS e HEC-HAS para identificar as áreas de inundação na região sudeste da cidade de Pato Branco – PR.
- Analisar a intensidade das chuvas que causam o alagamento do trecho estudado.
- Sugerir alternativas para evitar inundações nos locais identificados.

1.2 JUSTIFICATIVA

As inundações nas grandes, médias e pequenas cidades são cada vez mais frequentes devido à uma somatória de fatores que contribuem separadamente para tal. Atualmente não são respeitadas as encostas, margens de rios, as taxas de ocupação do solo e o meio ambiente em geral. Na natureza as planícies de inundação dos rios sempre existiram, mas as construções são erguidas à sua margem sem preocupação, além disso, a construção

desordenada nos arredores das bacias hidrográficas contribui para o aumento do escoamento da água da chuva, o que faz com que um grande volume de água chegue junto em um mesmo ponto. As chuvas fortes e em grandes volumes sempre ocorreram, mas antes as áreas não eram tão impermeáveis quanto são hoje, o que contribui ainda mais para os alagamentos.

A importância deste trabalho se dá na medida em que as inundações se tornam constantes nas cidades, principalmente em áreas de grande fluxo de pessoas, interferindo nas atividades diárias e causando prejuízos financeiros aos cidadãos. O estudo é viável, pois não existe nada que impeça ou interfira de maneira significativa no resultado final. Já a sua originalidade está no estudo a nível local, analisando as áreas inundadas na cidade de Pato Branco e verificando a relação com o aumento das áreas impermeáveis. A Figura 1 mostra a área alagada na cidade de Pato Branco durante uma precipitação intensa.



Figura 1: Inundação na cidade de Pato Branco - PR.
Fonte: Diário do Sudoeste, 2020.

O controle das áreas de inundação e o planejamento urbano geram economia tanto para os cidadãos quanto para o governo municipal, estadual e federal. Pois, quando ocorrem as inundações podem ser liberadas verbas para obras emergenciais com a finalidade de remediar a situação da população, no entanto, a falta de planejamento faz com que o recurso seja mal aplicado ou que tudo saia mais caro devido ao caráter emergencial. E do outro lado, os moradores perdem seus pertences tendo que arcar com os prejuízos financeiros, somados a cada enchente que acontece. Sendo assim, é fundamental estudar e analisar as áreas suscetíveis a alagamentos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INUNDAÇÕES

As inundações acontecem quando o fluxo de água do curso hídrico aumenta significativamente, ultrapassando a cota máximo do curso hídrico, e eventualmente, invadindo o espaço utilizado pelas pessoas. Isso se deve ao comportamento natural dos cursos de água, mas também à impermeabilização do solo, ocupação irregular e canalização de rios e córregos. A vazão do rio depende das condições climáticas e das características físicas da bacia hidrográfica, mas tem sido aumentada devido às irregularidades cometidas pela população e negligência do poder público no controle e fiscalização das áreas inundáveis e do uso e ocupação do solo (TUCCI, 2017).

Goerl e Kobiyama (2005) afirmam que devido às traduções mal feitas ocorre um equívoco na definição dos termos. Por exemplo, as enchentes lembram transbordamento, mas significam apenas que o rio atingiu sua cota máxima, a partir desse nível ocorre o que denominamos de inundação invadindo a área de várzea, como mostra a Figura 2.

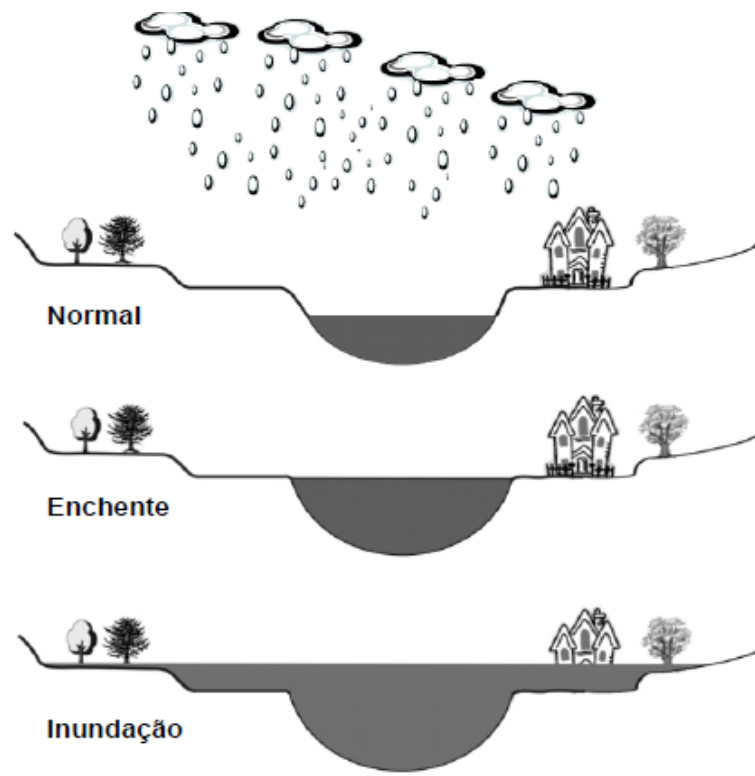


Figura 2: Exemplo para diferenciação entre enchente e inundação.
Fonte: Goerl; Kobiyama, 2005.

Analisando a Figura 2 se torna mais fácil o entendimento. Quando a capacidade máxima do curso de água é ultrapassada existem várias classificações conforme o local e a velocidade em que o nível de água sobe, como explicado no tópico sobre tipos de inundações.

O registro de ocorrências causadas por inundações aumentou entre 1974 e 2004 devido à necessidade de haver um controle de dados para analisar a frequência, compreender o que influencia sua ocorrência e buscar soluções para evitar prejuízos materiais e físicos. Porém, um mesmo fenômeno tem denominações diferentes de acordo com a região do Brasil, como por exemplo, cheia, enxurrada, enchente, inundação, alagamento, entre outros, o que pode fazer com que esse número seja ainda maior (GOERL; KOBİYAMA, 2005).

Discute-se a necessidade de haver um controle local e regional para emissão de alertas, variando de acordo com o tipo de inundação. Nesse sentido, a previsão do tempo é uma ferramenta muito importante pra auxiliar na prevenção de desastres, pois sabendo que uma chuva de grande intensidade está por vir, pode-se emitir um aviso e aguardar sua concretização, tomando-se providências antes que o evento aconteça, como a saída dos locais de risco, a separação de lonas, materiais de construção, alimentos e permitindo que as pessoas ergam seus móveis ou guardem objetos de valor em locais mais apropriados, e posteriormente, realizar a interdição das áreas alagadas (GOERL; KOBİYAMA, 2005).

A Figura 3 mostra os danos causados por desastres hidrológicos na região sul do Brasil, com destaque para a cidade de Pato Branco. No relatório não são especificados os danos, eles se resumem como “eventos hidrológicos”, subentendendo-se que vão desde inundações à deslizamentos de terra. Dentre os três estados do sul, o Paraná é o terceiro mais afetado, ficando Santa Catarina em primeiro e Rio Grande do Sul em segundo lugar. Os valores apresentados são relativos aos prejuízos desde o ano de 1995 até 2014, de acordo com os dados informados por cada município. O município de Pato Branco gastou nesse período entre R\$ 133.054.000 e R\$ 253.563.000, pois a figura não define exatamente o valor dos prejuízos de cada município (RELATÓRIO DE DANOS MATERIAIS E PREJUÍZOS DECORRENTES DE DESASTRES NATURAIS NO BRASIL, p. 213, 2016).

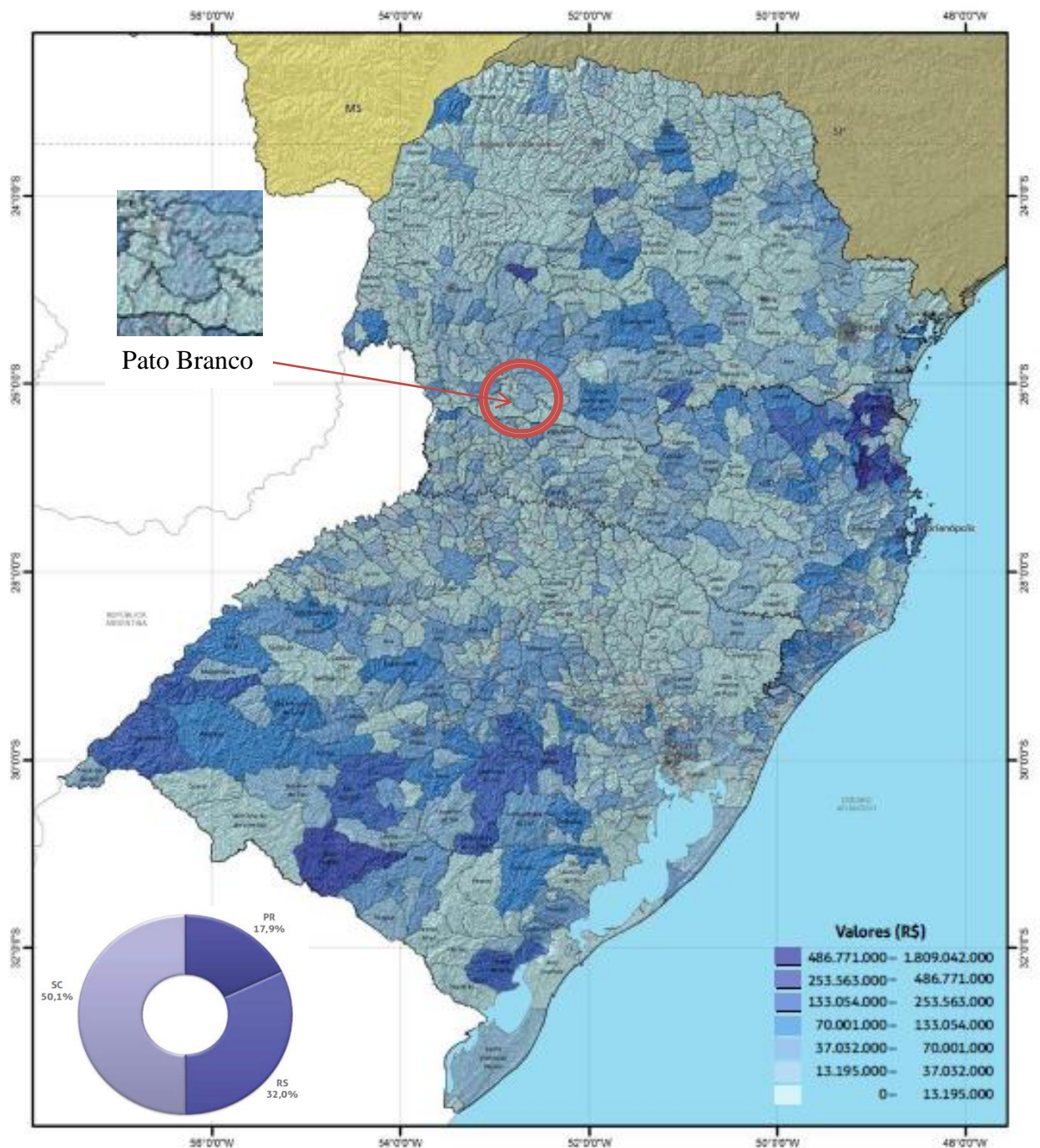


Figura 3: Danos causados por desastres hidrológicos na região sul do Brasil, com destaque para Pato Branco-PR.

Fonte: Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil, 1995-2014, p. 213, 2016.

Conforme Tucci (2017) existem métodos de previsão de cheias de curto e longo prazo que se baseiam em coleta de dados e aplicação de metodologias estimativas, os quais usam dados de precipitação, nível e vazão do rio, e são modelados matematicamente para

representar o comportamento do ciclo hidrológico, devendo ser gerados e utilizados em parceria com a Defesa Civil para criar um plano de ação emergencial.

2.1.1 Tipos de inundações

Segundo Tucci (2017) existem dois tipos de inundações: a ribeirinha e a devido à urbanização ou drenagem urbana. A ribeirinha se deve à precipitações muito intensas, causadas pelo clima, onde o solo não consegue infiltrar tamanha quantidade de água e o volume supera a capacidade de escoamento do sistema, dessa forma, o nível da água sobe inundando a área de várzea. As inundações devido à urbanização ou drenagem são causadas pela impermeabilização do solo, onde os canais escoam a água de forma muito rápida, fazendo com que um grande volume chegue junto a um mesmo local, nesse caso, se a superfície não fosse tão impermeável a água infiltraria no solo, reduzindo o volume do escoamento superficial.

Esses dois tipos de inundação podem acontecer juntos ou isolados, variando conforme o tamanho da bacia hidrográfica. Por exemplo, as inundações ribeirinhas tendem a ocorrer nas bacias hidrográficas de médio e grande porte, maiores que 500 km², nos pontos de estreitamento da largura do rio e onde a declividade da superfície é menor, enquanto isso, as inundações de drenagem tendem a ocorrer em bacias hidrográficas urbanizadas menores, de até 100 km² (TUCCI, 2017).

As consequências das inundações dependem do nível de ocupação das áreas de várzea, da impermeabilização e canalização dos sistemas de drenagem. Em cidades grandes a chance de acontecer os dois tipos de inundação é maior, uma vez que as vias de trânsito e as edificações são construídas próximas às margens dos rios, a área impermeável é muito maior e o entupimento da rede de drenagem é mais frequente por causa do acúmulo do lixo. Dessa forma, quando os fatores são somados, até mesmo uma chuva de menor intensidade causa transtornos e alagamentos (TUCCI, 2017).

Além dos dois tipos citados acima Kron (2002) *appud* Goerl e Kobiyama (2005) classifica as inundações em costeiras, graduais e bruscas. A inundação costeira ocorre somente na zona costeira, estando relacionada a um local específico. Nas graduais o aumento do nível da água e o transbordamento ocorrem de maneira muito lenta, enquanto que nas bruscas a inundação é imediata, conhecida popularmente por enxurrada.

Existem várias definições para inundações graduais formuladas por diversos autores, mas a maioria remete à planícies de inundação, onde a área é normalmente seca e devido às chuvas intensas acabam inundadas. É característica dos grandes rios, resultando em maiores áreas inundadas, por outro lado, tem previsão de retorno e sazonalidade. Nesse caso, como o nível da água sobe lentamente as pessoas tem tempo de sair das áreas de risco e buscar um local seguro, evitando prejuízos (GOERL E KOBIYAMA, 2005).

Nas inundações bruscas o nível de água sobe rapidamente, não há tempo hábil para alertas ou salvar bens materiais. Acredita-se que essa rapidez se deve à declividade do terreno, relevos mais acidentados proporcionam uma maior velocidade da água e fazem com que o volume seja maior em menor tempo, mas também podem ocorrer pelo rompimento de barreiras ou reservatórios e se acumular em áreas planas. No que se refere ao local da inundação, ela pode ser tanto nos rios quanto em áreas urbanizadas, afinal, a água do curso hídrico tem origem nas cotas superiores (GOERL E KOBIYAMA, 2005).

Analisando os autores citados acima podemos concluir que as inundações podem ser classificadas conforme o local onde acontecem, ribeirinha, costeira ou devido à área urbanizada ou drenagem urbana, e a velocidade com que o nível da água sobe, gradual ou brusca, ao juntar essas classificações fica mais claro como definir uma inundação, caracterizando-a e buscando soluções compatíveis.

2.2 ÁREA COM RISCO DE INUNDAÇÃO

Uma área de risco possui uma probabilidade maior de um evento catastrófico acontecer, resultando em prejuízos sociais e ambientais. A avaliação do risco requer um entendimento dos aspectos qualitativos e quantitativos, a identificação da natureza, intensidade, grau de vulnerabilidade e técnicas de controle da ameaça, para isso é necessário ter uma base de dados para calcular a probabilidade de ocorrência e as consequências possíveis. O risco não pode ser avaliado sem analisar o contexto histórico da região em questão, pois a topografia e o uso e ocupação do solo também influenciam (GOMES; HORA, 2009).

Atualmente a previsão do tempo consegue estimar a precipitação para os próximos dias ou horas, sem ter como prever o risco de inundação com bastante antecedência, e a previsão de cheia se dá no controle do volume de chuva e da velocidade de escoamento da

água na bacia hidrográfica, sendo identificada pouco antes de atingir os pontos críticos (TUCCI, 2017).

2.2.1 Medidas de controle de inundações

Existem dois tipos de medidas de controle de inundações: a estrutural e não estrutural. As medidas de controle estruturais alteram o sistema fluvial buscando evitar as perdas causadas por enchentes e as medidas de controle não estruturais reduzem os danos, mas não resolvem o problema. O autor defende que se essas medidas forem associadas o controle da inundação será mais efetivo, pois além de evitar irá reduzir os prejuízos (TUCCI, 2017).

As medidas estruturais podem ser na bacia ou no rio, são obras de engenharia que buscam reduzir o risco de enchentes, dentre elas a alteração na relação entre precipitação e vazão, o controle da vegetação do solo da bacia, o qual influencia no fluxo e na erosão, a aceleração do escoamento por meio de diques, o retardo do escoamento, com bacias de contenção ou reservatórios, e ainda, canais para desviar o fluxo do rio. No entanto, esse tipo de medida não é uma solução completa e definitiva, as vezes pode se tornar economicamente inviável e dar a entender que a obra torna todo o ambiente seguro, aumentando a ocupação em áreas inundáveis (TUCCI, 2017).

O Quadro 1 é um resumo das vantagens, desvantagens e aplicação das medidas estruturais, mostrando em quais tipos de bacias determinada medida traz os melhores resultados.

Medida	Vantagem	Desvantagem	Aplicação
Medidas extensivas			
Cobertura vegetal	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de perda	Reduz assoreamento	Idem ao anterior	Pequenas bacias
Medidas intensivas			
Diques e polders	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso falhe	Grandes rios
Melhoria do canal			
Redução da rugosidade por desobstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de meandro	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
Reservatório			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil	Bacias intermediárias
Reservatórios com comportas	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatórios para cheias	Operação com mínimo de pedras	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
Mudança de canal			
Caminho da cheia	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes bacias
Desvios	Reduz vazão do canal principal	Idem ao anterior	Bacias médias e grandes

Quadro 1: Medidas estruturais de controle de inundações.

Fonte: Simons *et al.*, 1977, *appud* Tucci, 2017.

As medidas de controle de inundações não estruturais, embora não solucionem o problema, possuem um custo benefício, diminuindo os danos com um custo menor. Dentre as medidas não estruturais estão a regulamentação do uso e ocupação do solo de áreas inundáveis, obras preparadas para resistir a enchentes, seguro, previsão e alertas.

2.2.2 Mapas de inundação

Conforme Tucci (2017) os mapas de inundação são classificados como de planejamento e de alerta. Para a elaboração do mapa de planejamento são utilizadas chuvas com tempos de retorno pré-definidos para áreas suscetíveis à inundações e o mapa de alerta é baseado no nível da água quando inicia a inundação, essa verificação ocorre pelas réguas instaladas nos pontos de controle, onde qualquer pessoa pode fazer a leitura, mesmo que à distância, e acompanhar a evolução da inundação. Para facilitar a elaboração dos mapas primeiro pode ser realizado o levantamento topográfico da área em questão ou usados mapas topográficos existentes, com posterior análise das marcas das inundações anteriores, depois de

definidas as áreas com risco de inundação deve ser feita a batimetria do rio, para juntar os dados e gerar um mapa mais completo.

2.3 DRENAGEM URBANA

Tucci (2017) faz uma crítica às instituições e aos profissionais da engenharia pela falta de medidas de controle de inundações. Segundo o autor, as ações são isoladas, poucos profissionais fazem projetos que solucionam o problema e, na maioria das vezes, as providências são tomadas depois que a catástrofe ocorreu, sendo lembradas somente em um novo episódio. Isso acontece pela falta de conhecimento técnico, desorganização, falta de gerenciamento, falta de educação por parte da população e falta de prevenção dos órgãos públicos.

2.3.1 Tipos de drenagem urbana

Segundo Tucci (2017) a drenagem se divide em três tipos: na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. A drenagem na fonte se caracteriza pelo escoamento dentro dos limites do lote da edificação, seja residencial ou comercial, individual ou coletiva, e das áreas públicas, como parques e passeios. A microdrenagem abrange os canais e condutos pluviais, englobando uma área maior, como um bairro ou loteamento, formando uma rede primária. A macrodrenagem é a somatória dos sistemas de microdrenagem, é projetada para escoar um volume de água maior, os quais podem oferecer risco de alagamento. Cada classificação suporta um volume maior de água, não sendo utilizados valores fixos para definir cada um, a configuração de cada cidade também varia, devendo ser analisadas suas características para determinar cada tipo de drenagem.

2.4 INFILTRAÇÃO E PERCOLAÇÃO

A infiltração é definida como a passagem da água que se encontra na superfície para o interior do solo, já a velocidade com que esse fluxo ocorre, da camada não saturada até a saturada, é denominada por percolação, e ambos dependem do tipo de solo, das características físicas e da umidade. Com o aumento da impermeabilização da superfície a infiltração é

prejudicada, fazendo com que seja necessário a realização de obras de drenagem para evitar inundações, as quais tendem a ter um custo maior de acordo com a vazão máxima que irão escoar. Por outro lado, existem dispositivos mais simples que podem ser instalados dentro dos lotes e retardar o tempo de escoamento da água da chuva proporcionando maior infiltração, como os planos de infiltração, valas permeáveis, bacias de percolação, trincheiras de infiltração, meio fio e pavimentos permeáveis. Além disso, existem vários tipos de solo, uns com maior capacidade de infiltração e outros que dificultam ou não permitem a passagem da água, podendo reter ou auxiliar no escoamento das águas pluviais, e dessa forma, influenciar nas áreas de alagamento (TUCCI, 2017).

2.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A alteração no uso do solo influencia no ciclo hidrológico, alterando o escoamento superficial, a vazão dos rios, umidade do solo, recarga dos aquíferos, causa erosão, transporta sedimentos e matéria orgânica. Para compreender como o uso do solo interfere no comportamento hidrológico uma pesquisa desenvolvida por Gustard e Wesselink (1993) buscou analisar diferentes bacias no Reino Unido, o resultado foi que a vegetação retém parte do escoamento, reduzindo as vazões médias. Enquanto isso, na África Meridional Calder *et al.* (1997) estudaram áreas onde as florestas foram substituídas pela prática da agricultura, resultando no aumento do escoamento superficial, e conseqüentemente, do nível dos lagos Vitória e Malawi (DORNELLES, 2003).

Para Dornelles (2003) o uso do solo em uma bacia hidrográfica influencia na disponibilidade e na qualidade da água, mas depende exclusivamente do controle e regulamentação do ser humano. Entre outras variáveis a evapotranspiração, a estrutura física, química e as variações climáticas também devem ser utilizadas nos modelos de análise hidrológica, pois interferem no balanço hídrico. A alteração no uso do solo favorece a erosão, além disso, a remoção da vegetação, a geomorfologia da região e o intemperismo desagregam as partículas do solo fazendo com que sejam transportadas para os cursos d'água na forma de sedimentos.

Existem Leis Federais que obrigam os municípios a criarem Leis Municipais para controlar o uso e ocupação do solo. A Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001, estabelece as diretrizes para a política urbana com o objetivo de ordenar e controlar o uso do solo para não expor os cidadãos ao risco de desastres. A referida Lei determina que os

municípios devem elaborar a legislação municipal visando o controle do uso e ocupação do solo e os que tem áreas suscetíveis á inundações e deslizamentos de terra são obrigados a realizar um planejamento para prevenção e realocação das pessoas que se encontram nas áreas de risco.

No município de Pato Branco a Lei nº 975/90 se refere ao zoneamento de uso e ocupação do solo. O Capítulo II, artº 4, inciso XXVII define uso do solo como “atividade ou conjunto de atividades desenvolvidas nas edificações a serem implantadas em um determinado lote ou zona”, e no inciso XXXII, o termo zona como um espaço de uso específico previamente determinado pela legislação municipal. Entre os usos existe o permissível, adequado, proibido e tolerado, sendo destinadas áreas para uso específico de habitação, comércio e serviços, industrial ou agrícola, estando o zoneamento diretamente relacionado ao uso e ocupação do solo.

A Lei Complementar nº 28 de 2008 refere-se ao Plano Diretor do município de Pato Branco e define os critérios para o uso e ocupação do solo urbano, os quais estão diretamente relacionados à política ambiental do município. A referida Lei divide a cidade em macrozonas, com usos específicos que buscam padronizar e ordenar o território visando o desenvolvimento do município e define que a estruturação urbana seja realizada buscando minimizar os problemas de drenagem, melhorando a qualidade ambiental (PATO BRANCO, 2008).

Definindo o uso do solo pode-se evitar a instalação de empreendimentos que resultem em danos materiais excessivos, como por uma revendedora de carros em uma área suscetível a alagamentos, causando prejuízos materiais que poderiam ser previstos (GOERL; KOBAYAMA, 2005).

2.6 TRABALHOS SEMELHANTES

As inundações que ocorrem em centros urbanos resultam em inúmeros trabalhos que buscam analisar os fatores que interferem para tal e estimar os prejuízos. Winter (2018) em sua dissertação intitulada como “elaboração de manchas de inundação na área central de Pato Branco considerando aspectos urbanísticos” faz simulações considerando o uso do solo a partir de imagens de satélite de anos anteriores e prevendo uma situação extrema onde toda a área potencial de urbanização é ocupada. O referido autor estuda a sub-bacia hidrográfica do Córrego Fundo, o qual se localiza ao lado da sub-bacia hidrográfica do Rio ligeiro, faz a

modelagem no *software* Autocad Civil 3D, obtém o Hidrograma Unitário de Clark no HEC – HMS e gera as manchas de inundação para um período de retorno de 25, 50 e 100 anos no HEC - RAS.

Outro trabalho semelhante é o de Cabral *Et. Al.* (2016) intitulado por “integração do SIG, HEC/HMS e HEC/RAS no mapeamento de área de inundação urbana: aplicação à bacia do Rio Granjeiro - CE”, onde os autores analisam a área de inundação no município de Crato – CE. Eles realizam a modelagem hidrológica no HEC – HMS, a modelagem hidráulica no HEC – RAS e o mapeamento no HEC – GeoRAS, considerando uma chuva centenária de 194 mm, com duração de 7 horas e concluem que 19 % da área urbana pode ser inundada pela cheia do Rio Granjeiro causando prejuízos.

Além desses, existem diversos trabalhos fazendo o uso dos mais variados *softwares*, buscando simular inundações e analisar as áreas afetadas, tais estudos servem tanto para tomar medidas administrativas quanto para elaborar projetos de engenharia que se executados solucionem o problema ou diminuam os prejuízos financeiros causados. De modo geral, os *softwares* mais utilizados são o Autocad Civil 3D, HEC – HMS, HEC – RAS, HEC – GeoRas, ArcMap, ArcGis.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1 SOFTWARES UTILIZADOS

Os *softwares* escolhidos para este trabalho são o Autocad Civil 3D, HEC - HMS e o HEC - RAS, pois o primeiro possui a versão estudante que permite seu uso sem a necessidade de licença e os demais são disponibilizados gratuitamente pelo site do Centro de Engenharia Hidrológica dos Estados unidos, fatores esses que favorecem o desenvolvimento de trabalhos acadêmicos.

3.1.1 AUTOCAD CIVIL 3D

O AutoCad Civil 3D é um *software* BIM (*Building Information Modeling*) desenvolvido pela Autodesk que tem por finalidade a realização de projetos de engenharia na área de infraestrutura, geoprocessamento, drenagem, topografia, aplicações relacionadas ao meio ambiente, projetos hidráulicos, análise de bacias hidrográficas, entre outros, e por ser um programa tão amplo, possui compatibilização com vários softwares, dentre eles o HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's – River Analysis System*) (AUTODESK, 2019).

3.1.2 Bing Maps

O *Bing Maps* é um produto criado pela *Microsoft* que fornece imagens com base na análise de dados espaciais, atualizadas periodicamente e que são disponibilizadas via *Web*, onde é possível navegar, visualizar imagens aéreas, traçar rotas e analisar dados em 2D e 3D, de forma semelhante ao *Google Maps*. Algumas regiões da Europa e América do Norte tem dados atualizados com maior frequência e com melhor resolução, em geral, as imagens são obtidas através de ortofotos, satélites de média e alta resolução e os dados são atualizados periodicamente (SZTUTMAN, 2014).

3.1.3 HEC - HMS

O HEC – HMS (*Hydrologic Engineering Center's – Hydrologic Modeling System*) é um *software* desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica dos Estados Unidos, que simula os processos hidrológicos que ocorrem em bacias hidrográficas dendríticas, dentre eles, a infiltração de acordo com o uso do solo, hidrogramas unitários, condições de escoamento, degelo, umidade do solo, evapotranspiração, previsão de fluxo, redução de áreas e profundidades, avaliação de modelos de incerteza, erosão, transporte de sedimentos e qualidade da água. O programa possui um sistema de armazenamento de dados que permite a exportação para outros *softwares* para a estudos de drenagem urbana, impactos causados pelo aumento da urbanização, projeto de vertedouros de reservatórios, entre outros (*HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 2020*).

3.1.4 HEC-RAS

O HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's – River Analysis System*) é um *software* desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica dos Estados Unidos, o qual possui um sistema de análise de rios que permite representar unidirecionalmente um fluxo contínuo, calcular unidirecionalmente e bidirecionalmente fluxos instáveis, calcular a vazão, o transporte e acomodação de sedimentos no leito do rio, a qualidade e temperatura da água. O *software* está disponível gratuitamente no site do Centro de Engenharia Hidrológica dos Estados Unidos (*HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 2019*).

3.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O bairro Bonatto se localiza no município de Pato Branco – Paraná, especificamente na região sudeste da cidade, no limite do perímetro urbano, entre a Macrozona de Ocupação Controlada (área em amarelo) e a Macrozona Agrícola de Controle Hídrico – MZACH (área em lilás) (*PATO BRANCO, 2019*).

A Figura 4 mostra o mapa de zoneamento na área estudada. O Plano Diretor, através da Lei Complementar nº 28 de 2008, determina que a restrição quanto ao uso do solo respeite

a capacidade de drenagem pluvial, a qual deve ser fiscalizada pela prefeitura municipal e demais órgãos competentes.

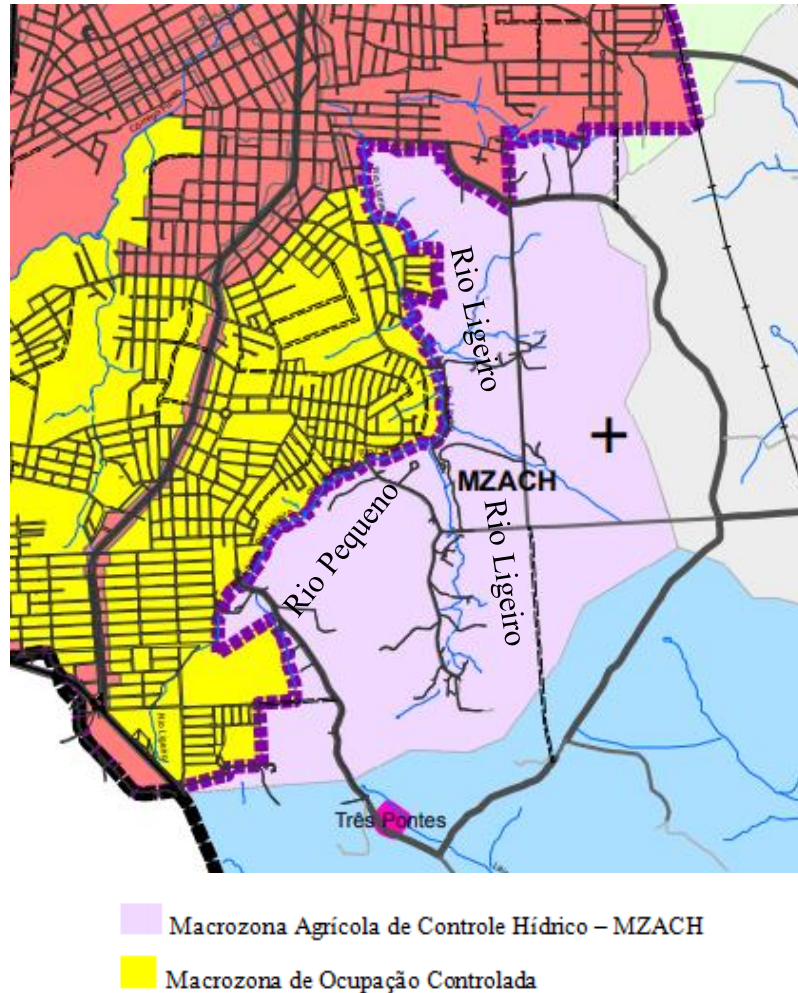


Figura 4: Localização da área de estudo.
Fonte: Pato Branco (anexo III), 2019.

A Figura 5 mostra o mapa de abastecimento e regionalização, com destaque para o bairro Bonatto, que atualmente é afetado por inundações, pois está localizado na parte mais baixa da sub-bacia hidrográfica do Rio Ligeiro.

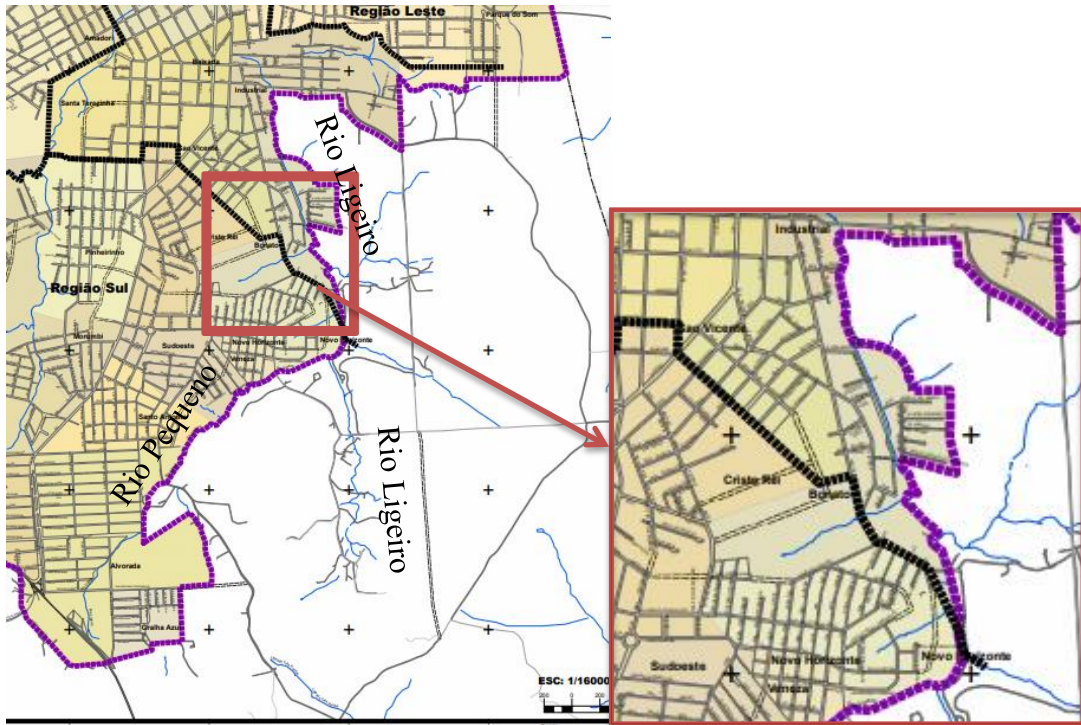


Figura 5: Mapa de abairramento e regionalização.
 Fonte: Pato Branco (anexo VIII), 2019.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O bairro Bonatto pertence à zona residencial 4 (ZR4), a qual deve manter baixa densidade populacional. A Lei Complementar nº. 46, de 26 de maio de 2011, referente ao uso e parcelamento do solo define os parâmetros urbanísticos para a área de estudo, como apresentado no Quadro 2.

Parâmetros urbanísticos reguladores da ocupação do solo na ZR4	
Coeficiente de aproveitamento máximo:	1,0 (um)
Taxa de ocupação máxima:	50 % (cinquenta por cento)
Taxa de permeabilidade mínima do solo:	30 % (trinta por cento)
Número máximo de pavimentos:	2 (dois)
Recuo mínimo:	5,0 m (cinco metros)
Área mínima do lote:	360 m ² (trezentos e sessenta metros quadrados)
Testada do lote:	12 m (doze metros)

Quadro 2: Parâmetros urbanísticos na Zona Residencial 4.

Fonte: Pato Branco (LUPA), 2019.

No ano de 2009 a cobertura vegetal da região analisada era composta por solo exposto, uma pequena parte possuía vegetação secundária em estágio médio e outra vegetação secundária em estágio inicial (BALENA; BORTOLINI; TOMAZONI, 2009).

Segundo Dalanhol (2019), no ano de 2019 o uso e ocupação do solo é predominado por área urbana e agricultura, com pequenas áreas de florestas e campos, conforme a Figura 6. Ao longo do curso hídrico alguns trechos não possuem Área de Preservação Permanente (APP), enquanto outros estão canalizados.

A Figura 6 mostra o mapa atual do uso e ocupação do solo, junto com o curso d'água da sub-bacia do Rio Ligeiro, na qual se localiza o bairro Bonatto. A sub-bacia tem como afluente o Rio Pequeno, com sua nascente dentro da área urbana no bairro Alvorada. A nascente do Rio Ligeiro na Macrozona Agrícola de Controle Hídrico (MZACH), área em amarelo, atravessa a cidade de Pato Branco e tem sua foz no Rio Chopim. Ao longo do Rio Ligeiro também deságuam outros afluentes, como o Córrego Fundo, o qual nasce na região sudoeste da cidade de Pato Branco, fora da região estudada. A área estudada compreende a nascente do Rio Ligeiro até o bairro da Baixada, pouco antes do seu encontro com o Córrego Fundo.

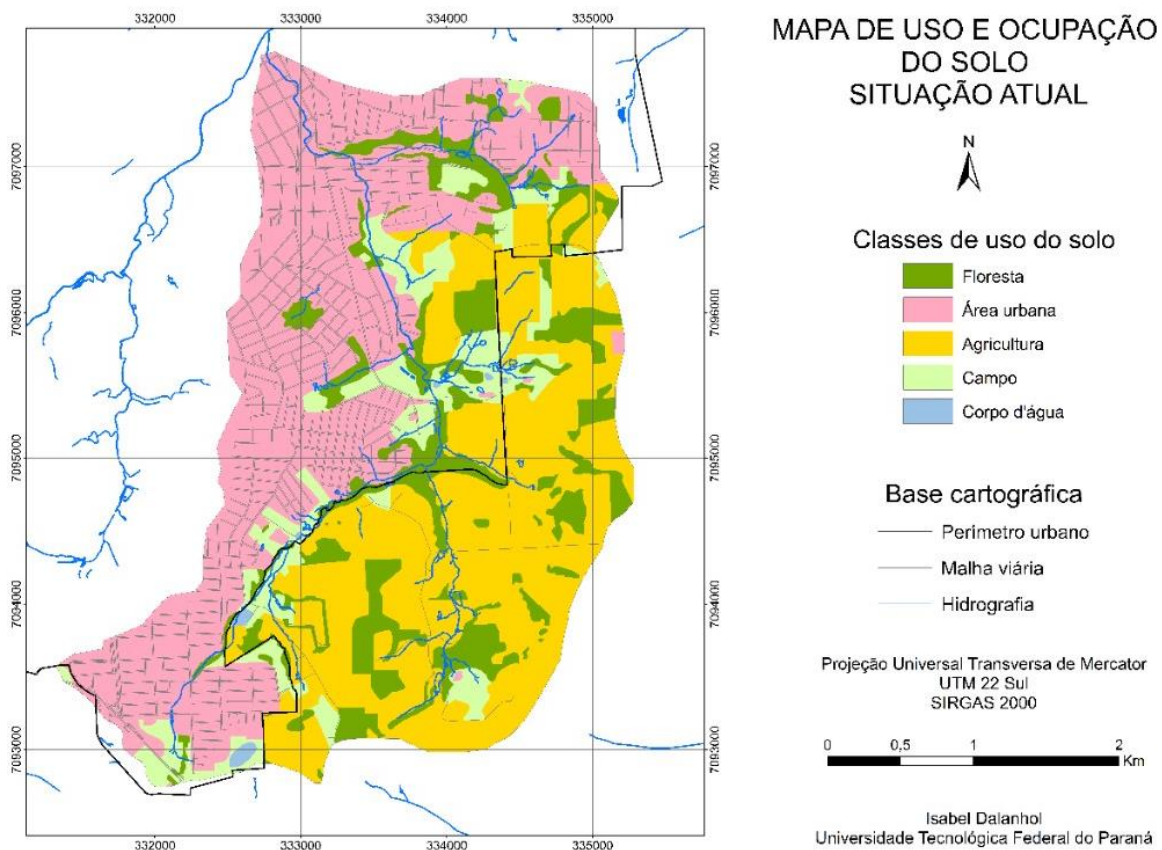


Figura 6: Mapa de uso e ocupação do solo.
Fonte: Dalanhol, 2019.

A Figura 7 mostra os solos da sub-bacia do Rio Ligeiro. Nela predominam os latossolos (roxo álico) e nitossolos (terra roxa estruturada), com áreas menores de cambissolos (distrófico) e neossolos (litólicos distróficos ou álicos). Os latossolos se caracterizam pela cor arroxeada, porosidade, friabilidade, por serem solos não hidromórficos e muito profundos, comumente com espessura maior que 2 metros e acentuadamente drenados. Os nitossolos possuem coloração vermelha ou amarelo avermelhado, também denominado como brunada, são solos profundos, não hidromórficos e bem drenados. Os cambissolos são não hidromórficos, drenáveis, porosos e permeáveis. Os neossolos são suscetíveis a erosão e queda de blocos (TABALIPA; FIORI, 2012).

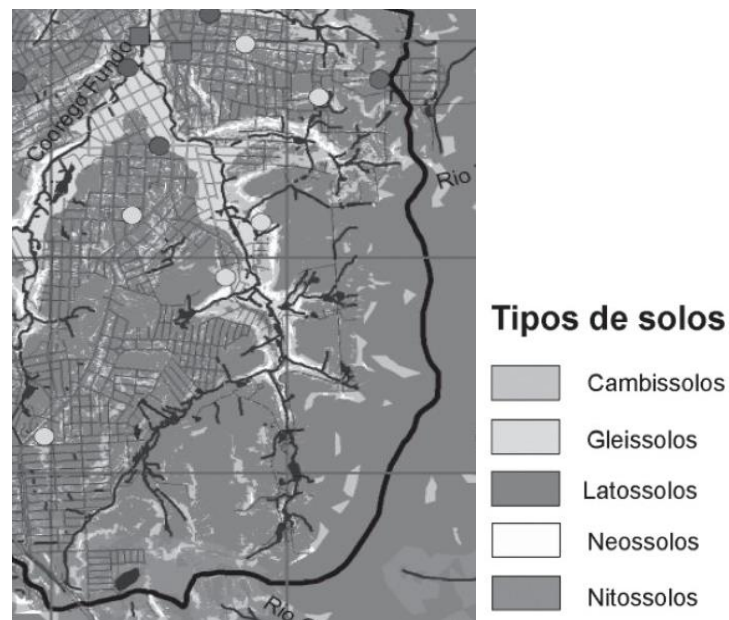


Figura 7: Solos da sub-bacia do Rio Ligeiro.

Fonte: Tabalipa e Fiori, 2012.

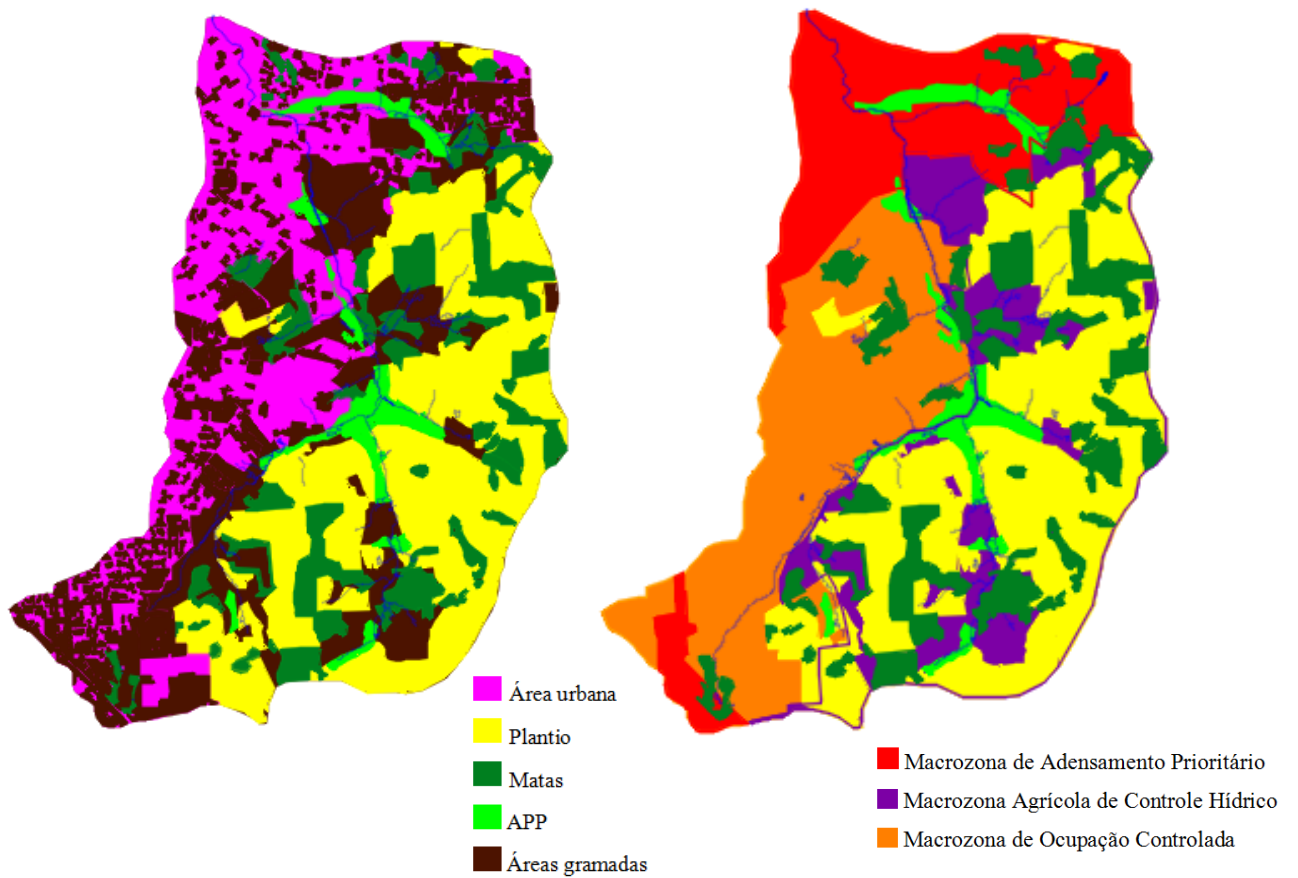
3.4 METODOLOGIA

O presente trabalho se deu em quatro etapas para que pudesse contemplar tanto o uso do solo quanto a topografia da área de estudo. A primeira parte consiste na determinação do uso e ocupação do solo no ano de 2020 e futuro, no cálculo dos parâmetros CN que relacionam a infiltração com o uso do solo, do tempo de concentração da sub-bacia, das chuvas de projeto e hietogramas. Na segunda parte foram usados os dados obtidos na fase anterior para fazer a simulação no HEC-HMS para as duas situações de uso do solo, nos tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos. Na terceira parte utilizou-se o Autocad Civil 3D para criar a superfície triangular e exportar as informações topográficas necessárias para fazer a simulação no *software* HEC-RAS. Na quarta parte houve a importação e inserção dos dados obtidos anteriormente e a simulação da inundação.

Na primeira parte, usando o Autocad Civil 3D anexou-se a imagem de satélite do ano de 2020 do *Bing Maps* com a ferramenta do *geolocation*, importou-se a área de estudo e a hidrografia, ambas cedidas por Dalanhhol (2019). Com base na imagem de satélite vetorizou-se a área urbana, Área de Preservação Permanente (APP), áreas de matas, áreas de plantio e áreas gramadas, e da mesma forma, a área pertencente a Macrozona Agrícola de Controle Hídrico – MZACH, a Macrozona de Ocupação Controlada e a Macrozona de Adensamento Prioritário. Como descrito anteriormente, o Bairro Bonatto pertence à Macrozona de Ocupação controlada, mas a área de estudo engloba as três zonas citadas acima, sendo assim, também foram considerados os parâmetros urbanísticos para uso do solo na Macrozona de Adensamento Prioritário, compreendendo a Zona Residencial 3 (ZR3), com taxa de permeabilidade mínima do solo de 40 %. A Figura 8 mostra o uso e ocupação do solo na área de estudo, sendo em (a) a hidrografia e área de estudo sobreposta na imagem do *Bing Maps*, em (b) a vetorização do uso e ocupação do solo no ano de 2020 e em (c) o macrozoneamento da região estudada com a estimativa de uso do solo futuro.



(a) Hidrografia e área de estudo.



(b) Uso do solo em 2020.

(c) Macrozoneamento com a estimativa do uso do solo futuro.

Figura 8: Uso do solo na área de estudo.
Fonte: Autora, 2020.

Seguindo os mesmos parâmetros adotados por Winter (2018) para a Sub-bacia hidrográfica do Córrego Fundo, a qual se localiza ao lado da Sub-bacia do Rio Ligeiro e considerando que a metodologia de ambos os trabalhos é semelhante, calculou-se a média ponderada do parâmetro CN (*Curve Number*), o qual relaciona a infiltração com o uso do solo, para a situação atual e futura. A equação 1 mostra como foi calculada a média ponderada do parâmetro CN (USACE, 2000, *apud* WINTER, 2018).

$$CNf = \frac{\sum A_i * CN_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

Sendo:

CNf: parâmetro CN médio ponderado;

Ai: área de cada classe ;

CNi: parâmetro CN de cada classe.

Os valores dos parâmetros CN para calcular a média ponderada foram os mesmos usados por Winter (2018), considerando um solo com teor de argila maior que 30 %, categoria 2 de umidade e do tipo hidrológico D. O Quadro 3 mostra o cálculo do parâmetro CN médio para o uso e ocupação do solo no ano de 2020.

Uso e ocupação do solo no ano de 2020			
Uso do solo	Área (m ²)	Parâmetros CN	Parâmetro CN médio ponderado
Área permeável nos lotes	927.237,605	84	81,53
Área de Preservação Permanente	479.054,657	80	
Matas	1.545.572,085	77	
Plantio	3.727.255,369	85	
Áreas gramadas	4.860.336,806	80	
Áreas impermeáveis	927.237,605	-	
Total:	12.466.694,126		

Quadro 3: Parâmetro CN médio para o uso e ocupação do solo no ano de 2020.

Fonte: Autora, 2020.

Como o HEC-HMS requer a inserção da área impermeável em célula específica, usou-se apenas a área permeável nos lotes para o cálculo do parâmetro CN. Para a estimativa do uso e ocupação futura do solo foi considerado que as Áreas de Preservação Permanentes, áreas gramadas, de plantio e matas permanecerão as mesmas para a Macrozona Agrícola de Controle Hídrico, mas que as áreas gramadas e de plantio das demais zonas serão loteadas,

resultando no máximo de ocupação da área urbana, respeitando as taxas de permeabilidade mínimas do solo, definidas em LUPA (2019). O Quadro 4 mostra o cálculo do parâmetro CN médio para o uso e ocupação do solo futuro.

Uso e ocupação do solo futuro				
Zona	Uso do solo	Área (m²)	Parâmetros CN	Parâmetro CN médio ponderado
Macrozona de Adensamento Prioritário	Área permeável nos lotes	610.364,595	84	82,36
	Área de Preservação Permanente	138.329,674	80	
	Matas	126.434,649	77	
	Áreas impermeáveis	1.737.191,538	-	
	Área total:	2.612.320,456		
Macrozona de Ocupação Controlada	Área permeável nos lotes	639.161,410	84	82,07
	Área de Preservação Permanente	119.746,743	80	
	Matas	194.062,193	77	
	Áreas impermeáveis	2.638.589,410	-	
	Área total:	3.591.559,756		
Macrozona Agrícola de Controle Hídrico	Áreas gramadas	1.333.899,968	80	82,17
	Área de Preservação Permanente	220.978,240	80	
	Matas	1.245.524,456	77	
	Plantio	3.462.411,250	85	
	Área total:	6.262.813,914		
Parâmetro CN médio adotado:				82,20
Área total da sub-bacia:				12.466.694,126
Área total impermeável da sub-bacia:				4.375.780,949

Quadro 4: Parâmetro CN médio para o uso e ocupação do solo futuro.

Fonte: Autora, 2020.

Em seguida calculou-se o tempo de concentração da sub-bacia, ou seja, o tempo que uma partícula de água leva para escoar do ponto mais remoto da sub-bacia até o exutório. A equação 2 mostra como foi calculado o tempo de concentração (RIBEIRO, 1961, *appud* WINTER, 2018).

$$T_c = \frac{16L}{(1,05 - 0,2P)(100S)^{0,04}} \quad (2)$$

Sendo:

Tc: tempo de concentração (min);

L: comprimento do talvegue principal (km);

S: declividade média da sub-bacia (m/m);

P: fração da área coberta por vegetação na sub-bacia.

Como a sub-bacia do Rio Ligeiro engloba a sua nascente e o Rio Pequeno, calculou-se o tempo de concentração para cada trecho e somou-se o valor. O Quadro 5 mostra os tempos de concentração calculados com base no uso do solo atual e no uso do solo futuro, junto com as características físicas necessárias na Equação 2.

Tempo de concentração da sub-bacia					
Situação	Rio	L (Km)	S (m/m)	P (Km)	Tc (min)
Uso do solo em 2020	Rio Pequeno	3,23822	0,02495	0,162	49
	Rio Ligeiro (nascente)	2,10561	0,039	0,162	31
	Rio Ligeiro	3,63379	0,00825	0,162	58
Uso do solo futuro	Rio Pequeno	3,23822	0,02495	0,164	49
	Rio Ligeiro (nascente)	2,10561	0,039	0,164	31
	Rio Ligeiro	3,63379	0,00825	0,164	58

Quadro 5: Tempos de concentração da sub-bacia do Rio Ligeiro.

Fonte: Autora, 2020.

Como o comprimento do talvegue principal influencia diretamente no tempo de concentração e devido ao Rio Pequeno ser mais extenso que o trecho da nascente do Rio Ligeiro, o maior tempo de concentração se dá do Rio Pequeno até o exutório da sub-bacia, totalizando em 107 minutos, contra 89 minutos contados a partir da nascente do Rio Ligeiro. Normalmente o comprimento e declividade do rio não se alteram ao longo do tempo, por isso, o tempo de concentração da sub-bacia permanece o mesmo, independente da fração de área coberta por vegetação.

Posteriormente, calculou-se a intensidade das chuvas de projeto com base na equação 3 de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), calibrada por Reis (2017, *appud* Winter, 2018) para o município de Pato Branco.

$$I = \frac{986,7 * T^{0,1457}}{(t + 9,791)^{0,7244}} \quad (3)$$

Onde:

I: intensidade média da chuva (mm/h);

T: tempo de retorno (anos);

t: tempo de duração da chuva (min).

Adotando o tempo de retorno de 25, 50 e 100 anos, e considerando uma chuva de duração igual ao tempo de concentração da sub-bacia por ser a pior situação, sendo que, o aumento no tempo da duração da chuva de projeto resulta na redução da sua intensidade Winter (2018), calculou-se a intensidade das precipitações, como mostra o Quadro 6.

Intensidade das chuvas de projeto				
Situação	t (min)	T (anos)	I (mm / h)	I (mm / 107 min)
Uso do solo em 2020	107	25	50,15	89,43
	107	50	55,47	98,93
	107	100	61,37	109,44
Uso do solo futuro	107	25	50,15	89,43
	107	50	55,47	98,93
	107	100	61,37	109,44

Quadro 6: Intensidade das chuvas de projeto na sub-bacia do Rio Ligeiro, calibradas para o município de Pato Branco - PR.

Fonte: Autora, 2020.

Como o tempo de concentração da sub-bacia permanece o mesmo, a intensidade das chuvas de projeto são as mesmas de acordo com cada período de retorno, independente do uso do solo futuro.

A partir da intensidade das chuvas de projeto elaboraram-se os hietogramas pelo método de Huff 1º quartil, o qual considera que em chuvas de menor duração o volume maior de precipitação ocorre nos 1º e 2º quartis. Com base na sua pesquisa, o autor desenvolveu um gráfico para o cálculo das precipitações com probabilidades de excedência variando de 10 % a 90 % (Winter, 2018), como mostra a Figura 9.

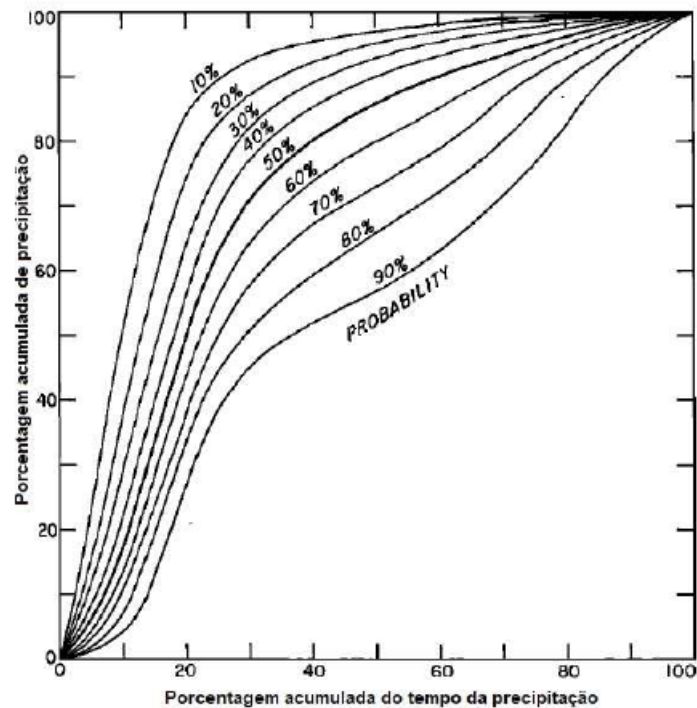


Figura 9: Método de Huff 1º quartil adaptado.
 Fonte: Huff (1967) *appud* Winter (2018).

Não foram encontradas tabelas ou equações que calculassem diretamente a precipitação pelo método de Huff. Sendo assim, importou-se a Figura 9 para o Autocad Civil 3D, criaram-se linhas de 100 m nos eixos x e y, alinharam-se os eixos da figura com as linhas traçadas, traçaram-se novas linhas verticais a cada 5 % do tempo até se chegar à curva com 50 % de probabilidade de excedência e horizontais encontrando a respectiva porcentagem de precipitação acumulada. Sabendo o total de precipitação para o tempo de concentração da sub-bacia (107 minutos) e a porcentagem acumulada, calculou-se por meio de correlação a precipitação acumulada. A precipitação incremental (mm) se deu pela diferença entre a precipitação acumulada e o valor anterior. As Figuras 10, 11 e 12 mostram a precipitação incremental em milímetros conforme a porcentagem de tempo para os diferentes períodos de retorno, considerando o maior tempo de concentração da sub-bacia, ou seja, 107 minutos.

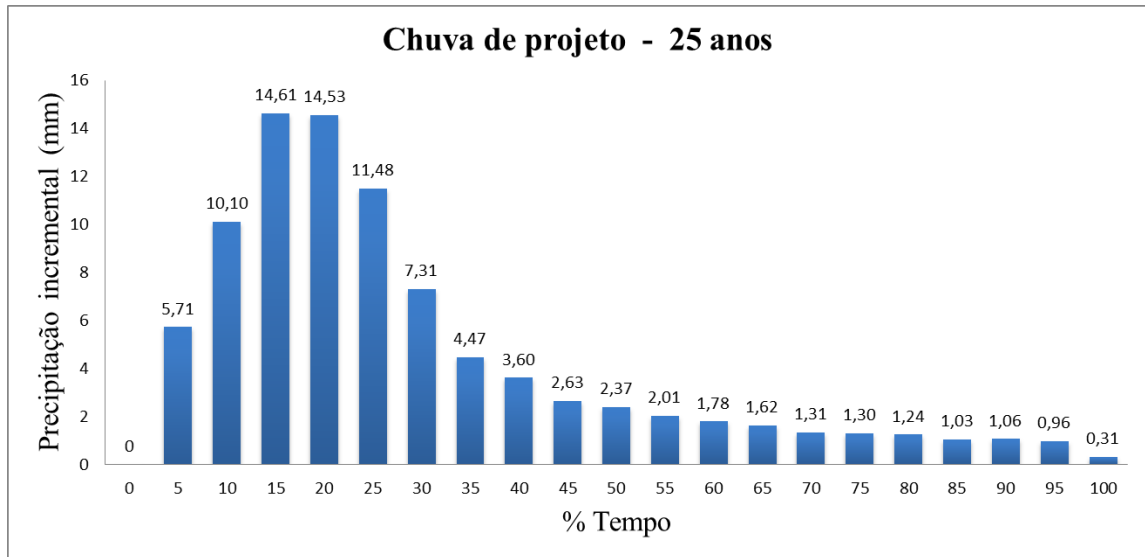


Figura 10: Hietograma de projeto calculado pelo método de Huff 1º quartil para período de retorno de 25 anos, com probabilidade e excedência de 50 %.

Fonte: Autora, 2020.

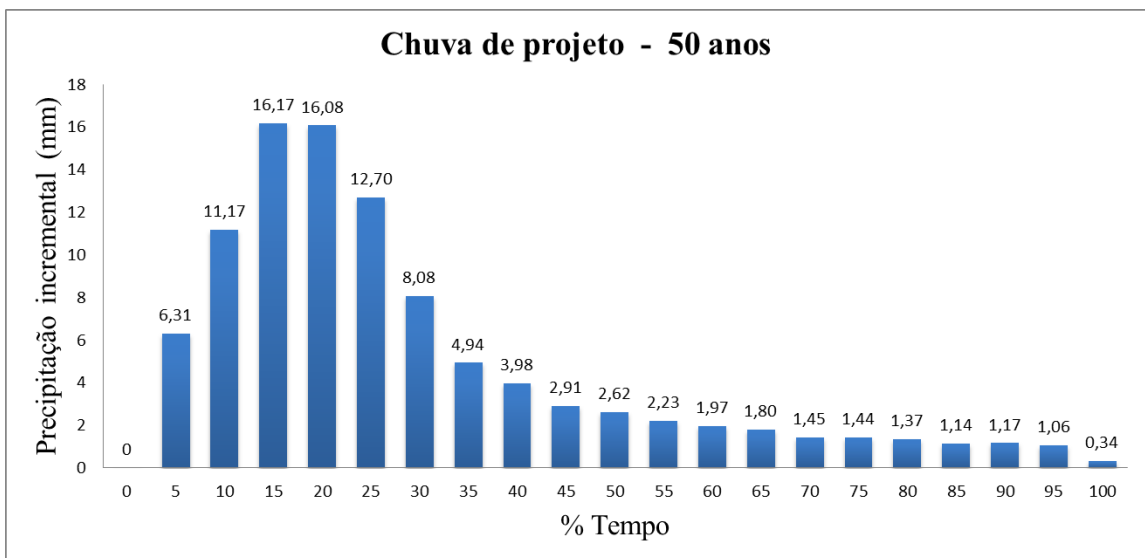


Figura 11: Hietograma de projeto calculado pelo método de Huff 1º quartil para período de retorno de 50 anos, com probabilidade e excedência de 50 %.

Fonte: Autora, 2020.

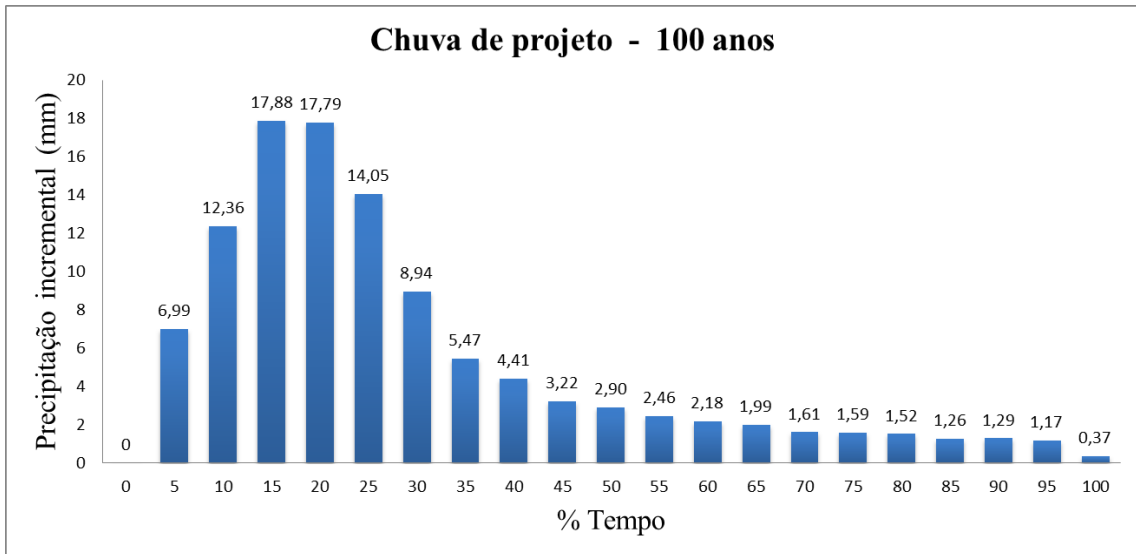


Figura 12: Hietograma de projeto calculado pelo método de Huff 1º quartil para período de retorno de 100 anos, com probabilidade e excedência de 50 %.

Fonte: Autora, 2020.

Na segunda parte, os dados obtidos anteriormente foram usados para fazer o processamento no *software* HEC-HMS. Primeiro criou-se o modelo gerenciador de bacias, onde foi inserida a área de estudo e a hidrografia, adicionou-se a sub-bacia e o exutório a partir dos ícones da barra de tarefas, e fez-se a ligação entre esses elementos. A Figura 13 mostra a área de estudo e hidrografia, juntamente com o ícone que representa no HEC-HMS a sub-bacia e o exutório

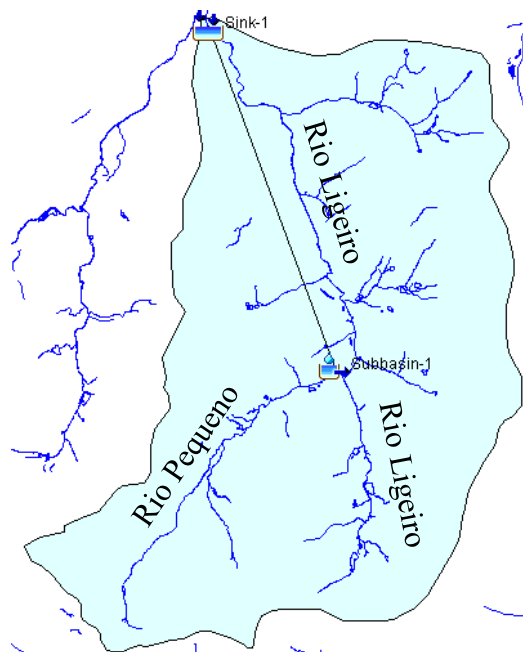


Figura 13: Área de estudo e hidrografia importados pelo HEC-HMS.

Fonte: Autora, 2020.

Nos dados de entrada considerou-se para o uso do solo atual o CN de 81,53, com porcentagem impermeável de 7,44 %, e para uso do solo futuro o CN de 82,20 e porcentagem impermeável de 35,10 %. No método de perdas selecionou-se *SCS curve number*, no método de transformação *SCS unit hydrograph*, o modelo meteorológico foi o *specified hyetograph* de 5 em 5 min, com especificações de controle de 19 de maio de 2020, das 2:00 às 9:00 horas. Em seguida, foram inseridas as precipitações a cada 5 minutos até completar o tempo de concentração da sub-bacia (107 minutos), conforme o método de Huff. Para cada situação realizou-se a simulação para os períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos.

Na terceira parte, utilizando o Autocad Civil 3D, determinou-se o sistema de referência do arquivo *dwg*, sendo a Zona definida na categoria “*South America, PSAD 56, AS 1969 and SIRGAS Datums*”, no sistema de coordenadas “*SIRGAS 2000 / UTM zone 22 S*” para coincidir com o sistema de referência do arquivo *shapefile (shp)* contendo as curvas de nível e a hidrografia. As curvas de nível disponibilizadas no formato *dwg* pela Secretaria do Desenvolvimento Urbano e de Obras Públicas do Paraná foram corrigidas por Dalanhol, convertidas no formato *shapefile* e disponibilizadas para esse trabalho. No entanto, algumas das curvas de nível estavam sem o valor numérico da elevação e precisaram ser novamente corrigidas.

Em seguida, importou-se a hidrografia e a área de estudo para localizar e deletar as informações que não pertenciam à sub-bacia hidrográfica do Rio Ligeiro que engloba o bairro Bonatto. Com a área delimitada e as curvas de nível criou-se a superfície TIN (*Triangular Irregular Network*) e o contorno da borda da sub-bacia, removendo-se manualmente as imperfeições geradas, uma vez que o Autocad Civil 3D interpola pontos distantes com a mesma cota, formando linhas extensas que planificam a superfície, as quais não condizem com a realidade. Usando a vista superior da superfície TIN, o canal do Rio Pequeno e do Rio Ligeiro foram vetorizados, criaram-se as seções ao longo do bairro Bonatto, ambos com polilinhas 2D, as quais se transformaram em *alignment* (alinhamentos) representando o rio, *sample lines* as seções, e também definiu-se o sentido do escoamento. Como a hidrografia foi importada do arquivo *shapefile*, as margens não foram consideradas, e por fim, a exportação ocorreu pela opção de saída “exportar ao HEC-RAS” disponível no Civil 3D. A Figura 14 mostra as elevações na sub-bacia, as quais foram divididas em 5 categorias para melhor representar a declividade através das cores.

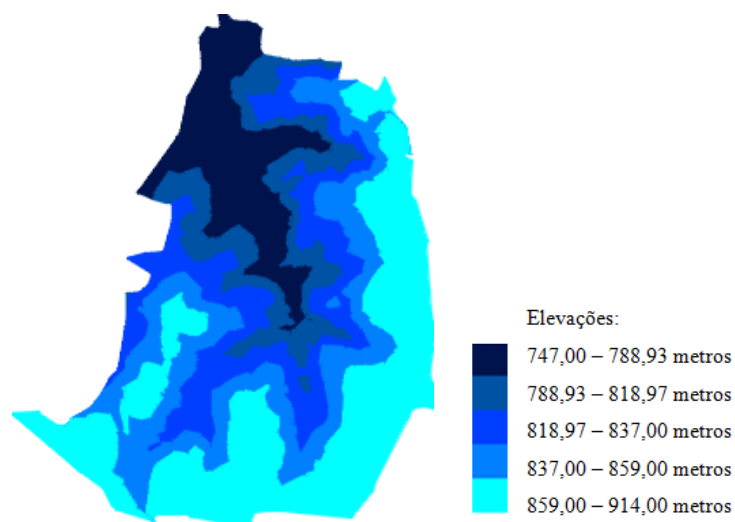


Figura 14: Elevações variando de 747,00 a 914,00 metros.

Fonte: Autora, 2020.

E por fim, na quarta parte, usando o *software* HEC-RAS criou-se um novo projeto e importou-se a geometria, ou seja, o alinhamento, as seções e a superfície TIN. Fizeram-se várias seções para melhor visualizar a topografia dos canais, mas como a superfície TIN também é importada, o *software* reconhece o relevo, apenas não mostra. Uma das informações requeridas para o processamento dos dados é o coeficiente de *Manning*, sua escolha foi com base na Tabela 8.5 (p. 273) do Livro de Hidráulica Básica do professor Rodrigo de Melo Porto (2006), considerando rios “com meandros, bancos e poços pouco profundos, limpos, águas baixas, declividade fraca” em boas condições, tendo como valor $n=0,045$. Posteriormente, as margens do canal foram corrigidas de acordo com a topografia e o alinhamento do rio, e ainda, realizou-se a filtragem dos pontos de cada seção, sendo que o *software* limita a 500 o número máximo de pontos para fazer o processamento. Devido ao HEC-RAS entender que duas depressões estão conectadas por vasos comunicantes adicionaram-se *levees* logo após as margens do rio, ou seja, pontos que indicam a cota máxima e que a partir dela a área será inundada.

As condições de contorno são inseridas em *unsteady flow data*, sendo que a jusante é considerada a declividade do rio e a montante os hidrogramas. Antes do processamento dos dados deve ser selecionado o tipo de análise realizado, sendo o *geometry preprocessor*, *unsteady flow simulation* e *post processor*. Também deve ser definida a data e hora de início e fim da simulação, ou seja, o período em que ocorre a precipitação, assim como, o tempo de cálculo do modelo para a geração dos resultados, estipulado em 5 minutos para obter maior detalhamento.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Modelagem hidrológica – HEC-HMS

Os resultados mostrados abaixo foram obtidos na simulação realizada no HEC-HMS, conforme o uso do solo e período de retorno das precipitações.

4.1.1.1 Uso do solo no ano de 2020

A área drenada da sub-bacia permanece a mesma para todas as situações, sendo de 12,467 Km². Para a precipitação com período de retorno de 25 anos obteve-se um pico de vazão de 62,6 m³/s, com tempo de pico entre 4:20 e 4:25 horas, e volume de 47,61 mm (volume em excesso ou escoado). As Figuras 16, 17 e 18 mostram o hietograma com a precipitação (em azul), a precipitação perdida (em vermelho), e o hidrograma com a vazão na sub-bacia conforme o tempo, uso do solo no ano de 2020 e cada período de retorno das chuvas. O horário se estende até as 9:00 para acompanhar o decréscimo da curva do hidrograma.

Para uma precipitação com período de retorno de 50 anos o pico de vazão é de 73,1 m³/s, ocorre entre as 4:20 e 4:25 horas, com volume de 55,57 mm. E para uma precipitação com tempo de retorno de 100 anos, a vazão de pico é de 85 m³/s, com tempo de pico entre 4:20 e 4:25 horas e volume de 64,56 mm. Os Apêndices A, B e C mostram os demais resultados obtidos com o *software* HEC-HMS, como séries de dados das precipitações, hietogramas, perdas, excessos, infiltração no solo, gráficos com os valores acumulados e hidrogramas com as direções de fluxo para cada simulação.

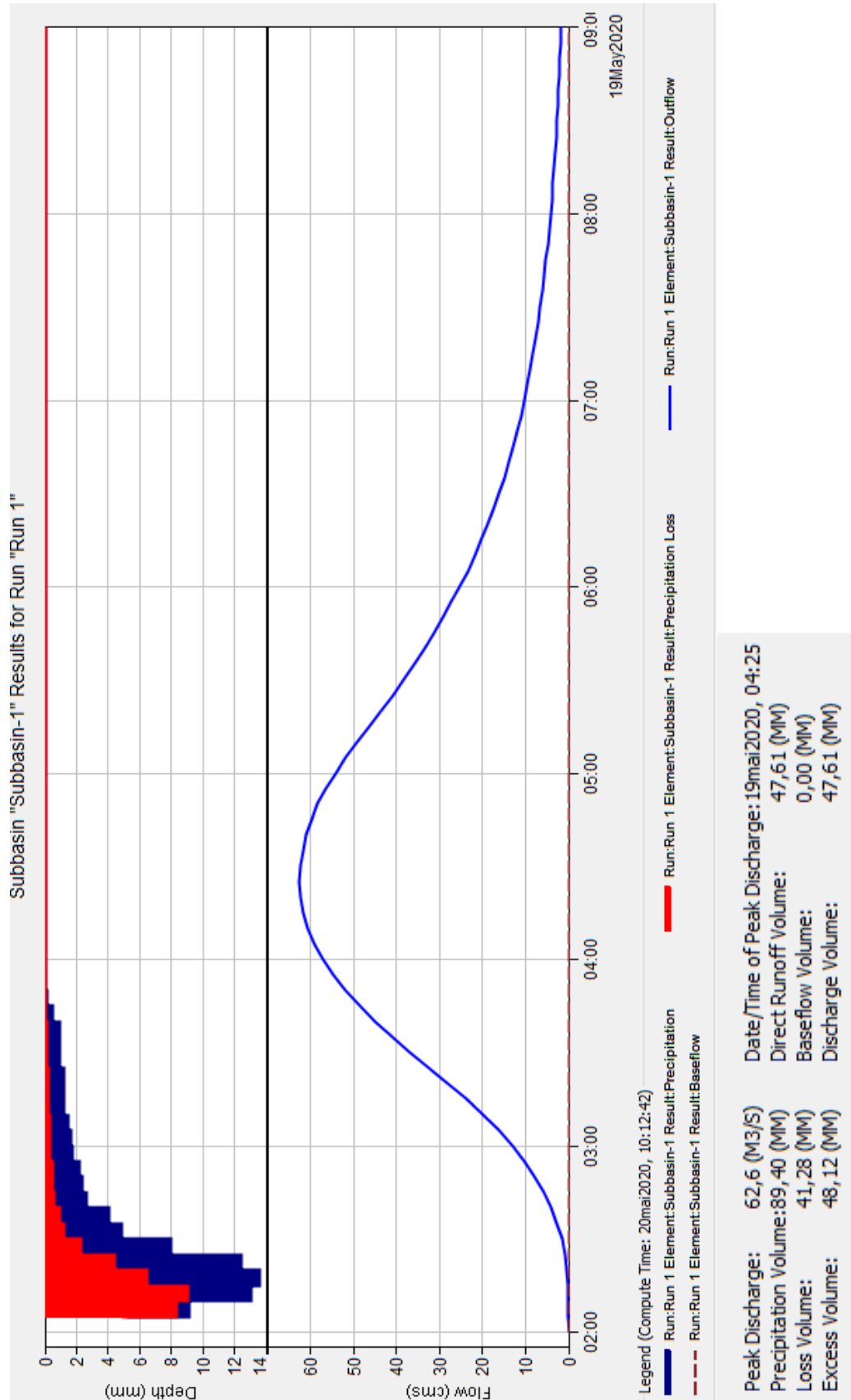


Figura 15: Hietograma da precipitação e precipitação perdida, e hidrograma do escoamento da sub-bacia do Rio Ligeiro para uso do solo atual e período de retorno de 25 anos.

Fonte: Autora, 2020.

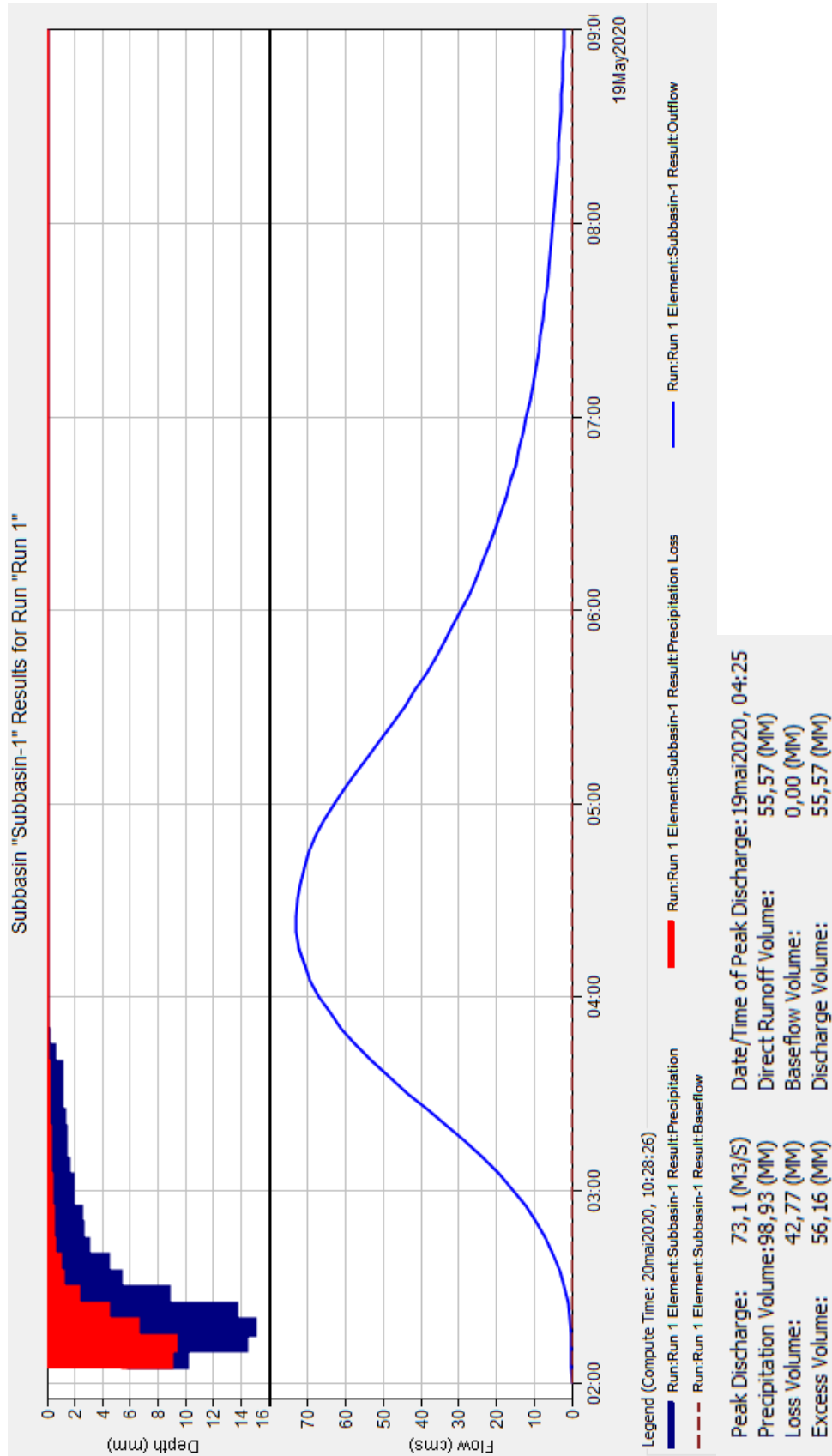


Figura 16: Hietograma da precipitação e precipitação perdida, e hidrograma do escoamento da sub-bacia do Rio Ligeiro para uso do solo atual e período de retorno de 50 anos.
 Fonte: Autora, 2020.

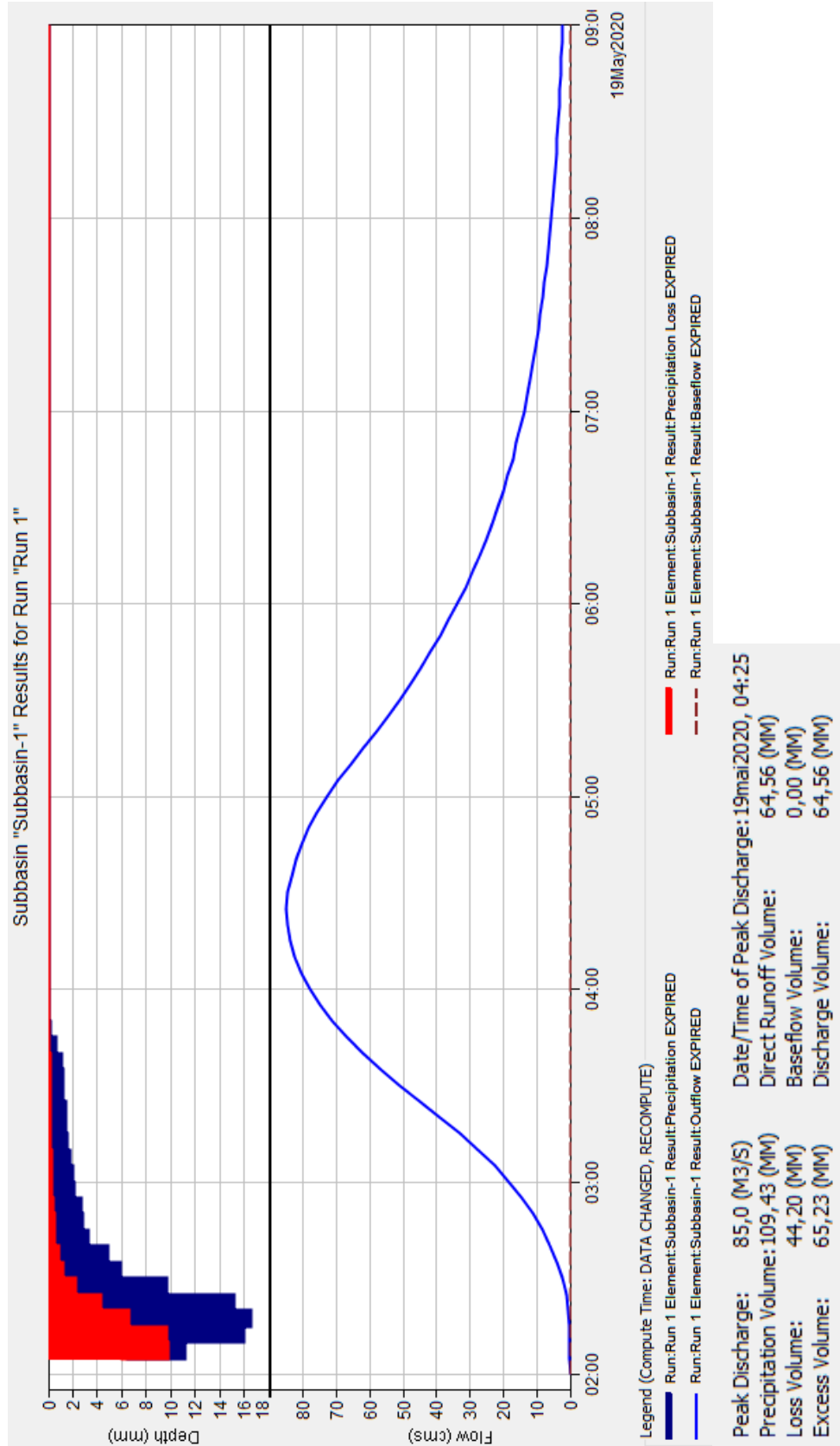


Figura 17: Hietograma da precipitação e precipitação perdida, e hidrograma do escoamento da sub-bacia do Rio Ligeiro para uso do solo atual e período de retorno de 100 anos.

Fonte: Autora, 2020.

4.1.1.2 Uso do solo futuro

Para o uso do solo futuro e precipitação com tempo de retorno de 25 anos a vazão de pico é de 77,4 m³/s, ocorre entre 4:15 e 4:20 horas e com volume de 58,82 mm. Para uma chuva com período de retorno de 50 anos a vazão de pico é de 88,5 m³/s, com tempo de pico das 4:15 às 4:20 horas e volume de 67,23 mm. Para o período de retorno de 100 anos a vazão de pico foi de 100,9 m³/s, com tempo de pico entre as 4:15 e 4:20 horas e volume de 76,65 mm. Os Apêndices D, E e F mostram os demais resultados obtidos com o *software* HEC-HMS, como séries de dados das precipitações, hietogramas, perdas, excessos, infiltração no solo, gráficos com os valores acumulados e hidrogramas com as direções de fluxo para cada simulação.

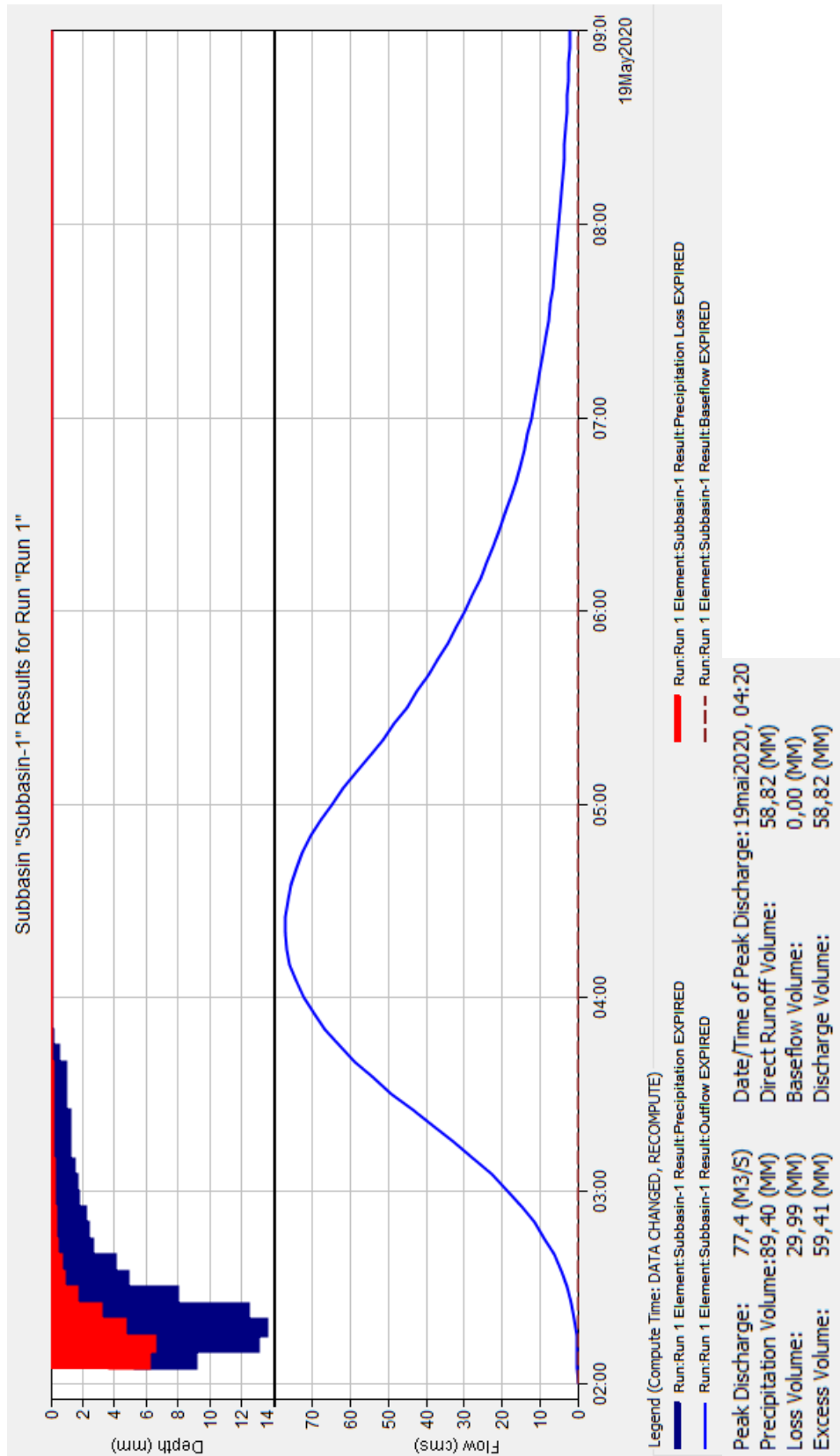


Figura 18: Hietograma da precipitação e precipitação perdida, e hidrograma do escoamento da sub-bacia do Rio Ligeiro para uso do solo futuro e período de retorno de 25 anos.

Fonte: Autora, 2020.

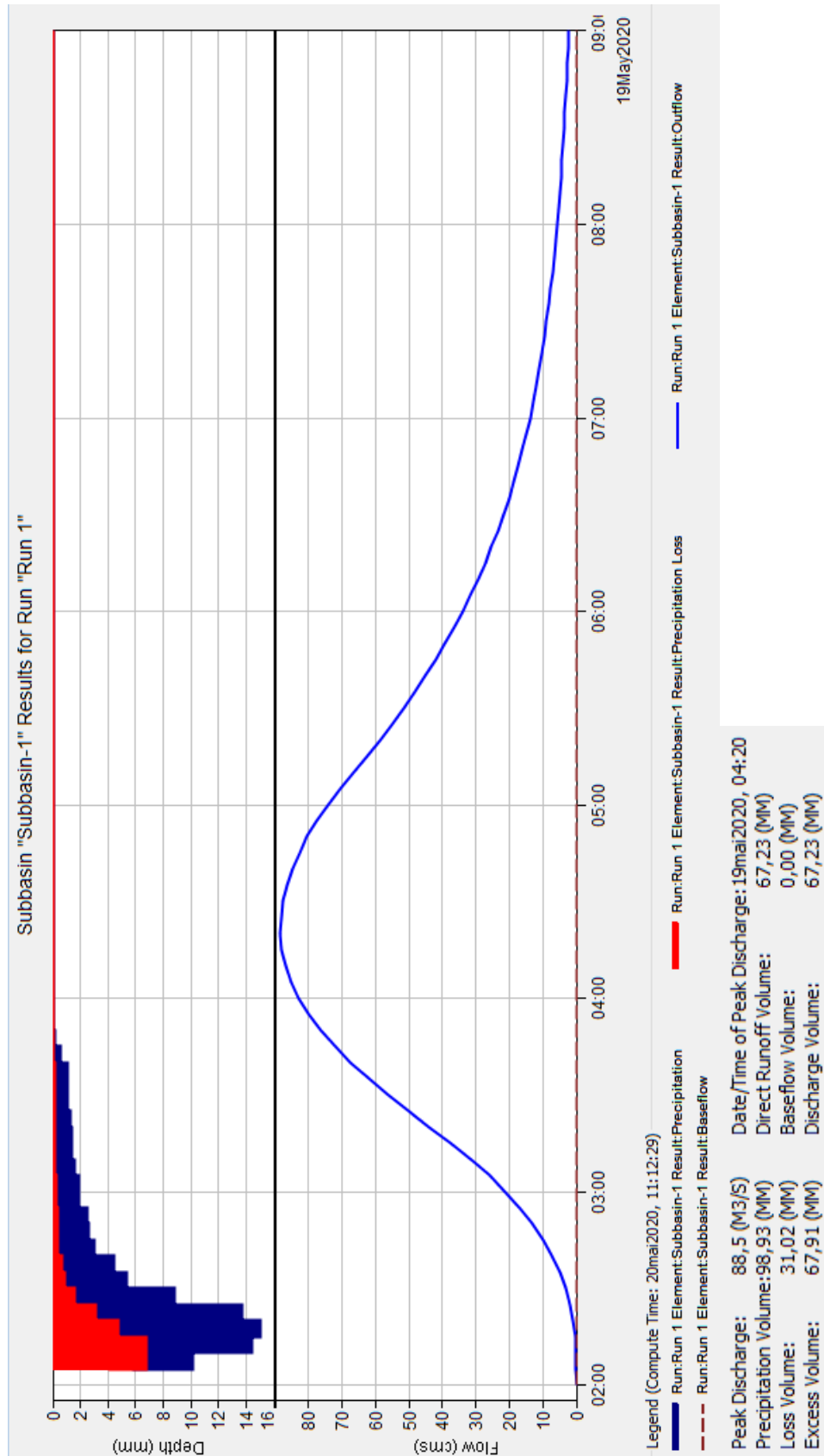


Figura 19: Hietograma da precipitação e precipitação perdida, e hidrograma do escoamento da sub-bacia do Rio Ligeiro para uso do solo futuro e período de retorno de 50 anos.

Fonte: Autora, 2020.

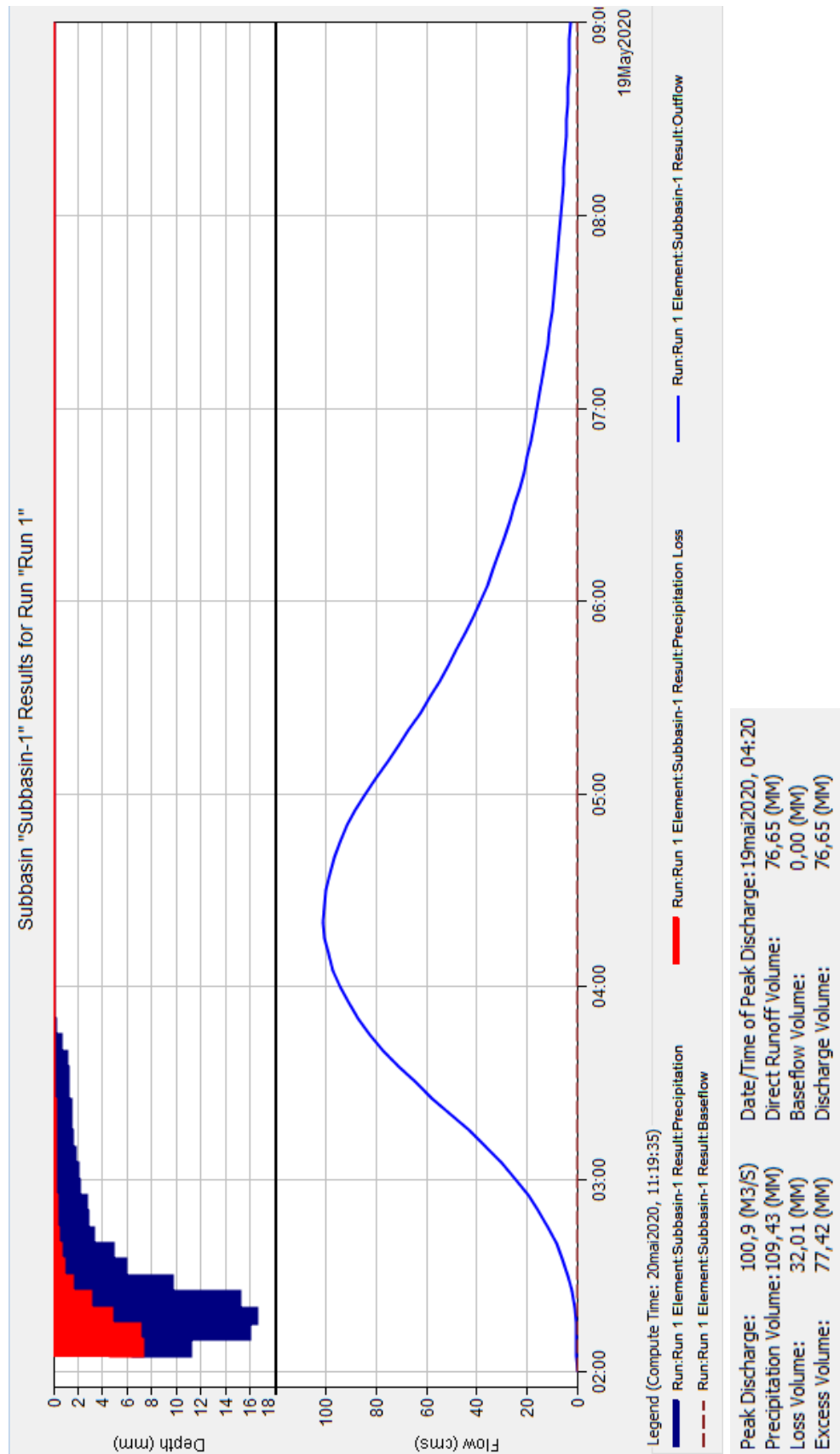


Figura 20: Hietograma da precipitação e precipitação perdida, e hidrograma do escoamento da sub-bacia do Rio Ligeiro para uso do solo futuro e período de retorno de 100 anos.

Fonte: Autora, 2020.

4.1.2 Modelagem hidrodinâmica – HEC-RAS

Após o processamento dos dados no HEC-RAS obtemos a mancha de inundação. Para todos os períodos de retorno a mancha de inundação permanece emelante. As Figuras 21, 22 e 23 mostram a mancha de inundação para o uso do solo futuro e períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos.



Figura 21: Mancha de inundação para uso do solo futuro e período de retorno de 25 anos.
Fonte: Autora, 2020.



Figura 22: Mancha de inundação para uso do solo futuro e período de retorno de 50 anos.
Fonte: Autora, 2020.



Figura 23: Mancha de inundação para uso do solo futuro e período de retorno de 100 anos.
Fonte: Autora, 2020.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando o uso e ocupação do solo do ano de 2020 notamos pequenas mudanças em relação ao ano de 2019 (Figura 6). Em algumas áreas houve o crescimento de vegetação, em outras houve a remoção, aumentou a ocupação nos novos loteamentos, o que não mudou é que parte do curso hídrico não possui Área de Preservação Permanente (APP) ou possui apenas algumas árvores e vegetação rasteira.

Para o cálculo do parâmetro CN médio ponderado variou-se a área permeável nos lotes para verificar a sua influência no valor final, e também, se a vetorização influenciava substancialmente nos valores, pois algumas vezes as sombras das edificações ou da vegetação confundem e podem levar o observador a classificar a área de forma errônea, ainda mais em áreas densamente urbanizadas, no entanto, ela se manteve em duas casas decimais, mesmo quando oscilava consideravelmente a área permeável nos lotes. Primeiro vetorizou-se a área urbana total, mas observando de forma detalhada percebeu-se que haviam muitas áreas gramadas dentro da área urbana, com capacidade de absorção da água da chuva, sendo assim, essas áreas foram classificadas como áreas gramadas. Um exemplo são as quadras onde todos os lotes possuem edificações, respeitando o recuo mínimo, e os fundos se juntam formando áreas gramadas divididas apenas pelos muros de divisas. Subtraindo-se as áreas gramadas, dentro da área urbana existem as áreas permeáveis e impermeáveis, então, considerou-se que 50 % da área urbana é permeável e 50 % impermeável, pois existe a área pavimentada, a área edificada, área de calçada com cerâmicas, *paver* e alguns trechos com gramas, áreas de recuo e afastamento. Considerou-se que a vetorização minuciosa da área urbana demandaria muito tempo e observando os loteamentos existentes na cidade percebemos que logo após a liberação para habitação os proprietários impermeabilizam uma área maior que a permitida ou ampliam suas residências de forma irregular, por isso fez-se a consideração citada.

No ano de 2020 apenas 7,44 % da área é impermeável, 38,99 % são áreas gramadas, 29,90 % são áreas de plantio, 12,40 % são áreas de matas, 7,44 % são áreas permeáveis nos lotes e apenas 3,84 % são Áreas de Preservação Permanentes. Para o uso do solo futuro, considerando o máximo de ocupação conforme a Lei de Uso e Ocupação do Solo, a Área de Preservação Permanente se manteve em 3,84 %, a área permeável nos lotes aumentou para 10,02 %, a área de matas ficou em 12,56 %, a área de plantio 27,77 %, áreas gramadas 10,70 % e a área impermeável aumentou para 35,10 %. Vale lembrar que a área permeável nos lotes aumentou porquê aumentou a urbanização, as áreas gramadas e de plantio perderam espaço

para as edificações e a área impermeável aumentou 27,66 %. Mesmo com as alterações do uso do solo atual para o futuro, o parâmetro CN variou de 81,53 para 82,20, pois as áreas impermeáveis são computadas separadamente.

Observando o tempo de concentração da sub-bacia, notamos que ele permanece constante independente do uso do solo, pois a variável que mais influencia na equação é o comprimento do talvegue principal, o qual não se altera ao longo dos anos, mesmo com a variação na área de vegetação. Usou-se o tempo de concentração da sub-bacia por ser o tempo necessário para que uma gotícula escoe do ponto mais distante até o exutório, ou seja, a pior situação. Da mesma forma, como os períodos de retorno são os mesmos, a intensidade das chuvas para o município de Pato Branco permanecem constantes independente do uso do solo. Analisando os valores de 89,43 mm, 98,93 mm e 109,44 mm calculados, percebemos que algumas vezes existem precipitações com volumes maiores, mas que também ocorrem em um período de tempo maior, sendo assim, nada impede que uma chuva de 109,44 mm ocorra conforme o calculado e se estenda além do tempo de concentração da sub-bacia até atingir valores superiores. Por outro lado, também pode ocorrer uma chuva com intensidade maior, mas com um período de retorno maior que 100 anos.

A partir da intensidade das chuvas usou-se o Método de Huff para calcular a precipitação no primeiro quartil, o qual faz com que um volume maior ocorra em um período de tempo menor. Porém, falta informação sobre o Método de Huff aplicado aos trabalhos que o utilizam, os autores não deixam claro como chegaram aos valores tabelados ou dos hietogramas, sendo assim, a orientação de autores que desenvolveram trabalhos semelhantes é fundamental para a disseminação do conhecimento. Analisando os hietogramas notamos que existe um aumento de 10,68 % no valor da maior precipitação do primeiro quartil se comparados os períodos de retorno de 25 e 50 anos, 10,58 % se comparados os de 50 e 100 anos e 22,38 % se comparados os hietogramas de 25 e 100 anos.

O processamento dos dados no HEC-HMS não apresentou problemas, o *software* não considera o arquivo vetorizado, apenas os dados inseridos nas células e é de fácil manipulação. Os resultados do processamento mostram que para o uso do solo atual o pico de vazão ocorre entre 2:20 horas e 2:25 horas, enquanto que para o uso do solo futuro a vazão de pico acontece entre 2:15 horas e 2:20 horas após o início da precipitação na sub-bacia. Em relação ao volume da vazão de pico e da precipitação, há um aumento de 23,64 % para um período de retorno de 25 anos; 21,07 % e 20,98 %, respectivamente, para um período de retorno de 50 anos; 18,71 % e 18,73 % para um período de retorno de 100 anos, comparando

o uso do solo atual e futuro. O *software* classifica parte da precipitação como perdida (*loss*) e parte como excesso (*excess*), então, subentende-se que o que se perde infiltra no solo e o excesso escoam na superfície, sendo assim, 53,83 % da precipitação escoam para um período de retorno de 25 anos, 56,76 % e 59,61 % da precipitação escoam para um período de retorno de 50 e 100 anos, respectivamente, para o uso do solo atual. Para o uso do solo futuro 66,45 %, 68,64 % e 70,75 % da precipitação escoam para um período de retorno de 25, 50 e 100 anos.

O *software* HEC-RAS apresentou alguns problemas para o processamento. Foi usada a versão mais recente 5.0.7, mas ela não apresentou a mancha de inundação, então usou-se a versão 5.0, a qual gerou a mancha. Ao vetorizar o canal do rio, o alinhamento fica fora da superfície, mas quando o mesmo é exportado é projetado na superfície, em nenhum momento os tutoriais explicavam isso, então realizaram-se várias vetorizações do curso hídrico até se conseguir exportá-lo. Quando exportadas as seções, os números que as acompanham ficavam na ordem inversa, ou seja, as seções com valores maiores devem ficar a montante para se inserir os hidrogramas e as com valores menores devem ficar a jusante para se inserir a declividade do canal, para isso elas devem ser editadas logo quando importadas, detalhes que foram descobertos na tentativa e erro do processamento dos dados. Primeiro vetorizou-se o canal do Rio Pequeno, o canal da nascente do Rio Ligeiro e o trecho onde ambos se juntam e seguem seu curso formando o Rio Ligeiro, mas eles são importados separadamente e cada um requer uma condição de contorno a montante e a jusante, porém, como os resultados não foram coerentes optou-se por vetorizar o Rio Pequeno e o Rio Ligeiro em um único alinhamento para inserir apenas uma condição de contorno a montante e uma condição de contorno a jusante, apresentando um resultado mais coerente. Não foram considerados todos os cursos hídricos e pequenos reservatórios da área de estudo, muitos existem no arquivo *shapefile*, mas não aparecem de forma clara na imagem de satélite ou estão em locais edificadas. Existe um pequeno trecho canalizado no exutório da sub-bacia, mas para este trabalho considerou-se apenas o canal aberto. Realizaram-se várias tentativas de simulação, nos tutoriais o resultado era sempre positivo, porém, não mencionavam nada sobre possíveis erros, por isso, os erros foram solucionados na tentativa e erro, até se conseguir um resultado aceitável. Para o coeficiente de rugosidade, o ideal é que sejam realizadas medições *in loco* da vazão e nível d'água, se faça a calibração do modelo até que o coeficiente de *Manning* corresponda aos valores coletados, no entanto, foram usados valores tabelados de acordo com Porto (2006). Por outro lado, Winter (2018) fez a calibração do coeficiente de *Manning* para o Córrego Fundo, localizado a esquerda da sub-bacia do Rio Ligeiro, e teve como resultado o

valor de $n=0,040$. Sendo assim, como não houve a coleta de dados em campo e os valores apontados pela literatura e o da sub-bacia do Córrego Fundo ficaram próximos, optou-se por usar o valor da literatura por ser mais genérico.

As manchas de inundação geradas pelo HEC-RAS foram praticamente iguais para os três períodos de retorno, talvez pela topografia da região, a qual favorece o aumento no nível da inundação ao invés do aumento da extensão (horizontal) da mancha de inundação. Como citado anteriormente, não foram considerados todos os cursos hídricos e pequenos reservatórios, analisando os arquivos usados e as imagens de satélite, talvez alguns tenham sido drenados ou esgotados, o ideal seria percorrer a área para conferir. A parte que inunda do Rio Pequeno pode ser pela escolha de vetorizar apenas o rio principal, mas também pela topografia acentuada da região, fazendo com que o nível da água suba mais rápido do que escoe. Observando o curso hídrico do arquivo *shapefile* e da imagem de satélite percebemos que eles não se sobrepõem, então a mancha de inundação real no bairro Bonatto deve ser deslocada para a esquerda até que os dois canais se sobreponham, o que resulta em uma área inundada maior no bairro. O ponto mais inundado é próximo ao exutório, abrangendo o bairro industrial e baixada. De fato, a baixada é a área que mais sofreu com inundações nos últimos anos, ali se encontram dois rios, o Rio Ligeiro e o Córrego fundo, os quais seguem como Rio Ligeiro, então, se na região leste da Avenida Tupy existe a sub-bacia do Rio Ligeiro e a oeste a sub-bacia do Córrego Fundo, e ocorre a inundação no exutório, somando-se o volume de descarga no mesmo ponto a situação se torna ainda mais crítica.

Em relação aos resultados obtidos, o valor da intensidade das chuvas considera uma distribuição uniforme na sub-bacia hidrográfica, no entanto, algumas chuvas são noticiadas pela mídia com uma intensidade maior, como a que ocorreu em 29 de novembro de 2018, com uma precipitação de 150 mm entre as 16:30 horas e 17:00 horas, causando alagamentos e deixando várias residências sem água na cidade de Pato Branco (G1, 2018).

Recentemente, no dia 09 de junho de 2020 ocorreu uma chuva com acumulado de 90 milímetros em um intervalo de tempo de três horas, causando inundações na sub-bacia do Rio Ligeiro, no bairro Bonatto e na baixada industrial, resultando em prejuízos financeiros aos moradores e comércio da área (DIÁRIO DO SUDOESTE, 2020).

Pesquisando também nos dados do relatório de alturas diárias de precipitação entre os anos de 1964 e 2020, disponibilizados pelo Instituto das Águas do Paraná, buscaram-se as maiores precipitações e constatou-se que em 18 de junho de 1993 ocorreu uma chuva de 274,7 mm, em 20 de maio de 1983 choveu 187 mm, em 20 de junho de 1997 choveu 151,2

mm e em 24 de dezembro de 1968 choveu 140 mm, porém, os dados são em relação ao dia, não mostram a precipitação horária (INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, 2020).

Entre as alternativas para solucionar o problema podemos citar a execução da bacia de contenção no bairro Bonatto, a qual permanece temporariamente suspensa durante a produção deste trabalho, e pode vir a reduzir as inundações na área afetada, desde que o projeto seja bem elaborado. Fiscalizar a área permeável dos lotes por meio de imagens de satélite sob aplicação de multas, oferecer incentivos às edificações que possuam telhados verdes ou reservatórios para captação de água da chuva, como desconto em impostos municipais, construir trincheiras de infiltração em pontos estratégicos, substituir as calçadas que não permitam a infiltração da água da chuva por *pavers*, desde que ele permita a infiltração. Deve-se ressaltar a importância do reflorestamento nas Áreas de Preservação Permanentes, que evita a erosão do canal do rio e áreas de encostas, aumentando o volume retido pelo solo e também diminuindo o escoamento superficial.

E por fim, outro fator relevante é a rede de drenagem, a qual não acompanha o crescimento das cidades. As tubulações precisam de um diâmetro maior, pois o escoamento superficial é maior, visto que boa parte das áreas estão impermeabilizadas e como as tubulações antigas possuem diâmetros menores pode haver um afogamento da rede pluvial. Esse detalhe deve ser levado em consideração no dimensionamento de novas redes de drenagem, para fazer as adequações e garantir o fluxo de água sem causar inundações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer do trabalho houveram dificuldades devido ao desconhecimento do uso dos *softwares* empregados. Em relação ao Autocad Civil 3D existem vários tutoriais disponíveis na internet que mostram como processar os dados, mas todos de forma aleatória. O Autocad Civil 3D limita a exportação ao HEC-RAS do alinhamento do rio, das margens, das seções criadas e da superfície TIN. Existem outros *softwares* que possibilitam a exportação de mais elementos como pontes, reservatórios e realizam diversas verificações do modelo, como o Arc Map, mas que tem como desvantagem ser um *software* pago. Os alinhamentos e seções no Autocad Civil 3D são polilinhas 2D criadas fora da superfície TIN e quando exportadas ao HEC-RAS são projetadas na superfície para o processamento dos dados, os tutoriais não eram claros quanto à isso, o que dificultou a exportação.

Em relação ao HEC-RAS a maioria dos tutoriais são em língua estrangeira, o que não impede o entendimento do processamento dos dados, e os que não são, se referem ao rompimento de barragens, mas possuem etapas comuns à análise das áreas de inundação. Além das curvas de nível utilizadas para este trabalho podem ser usadas imagens de satélites, desde que possibilitem a criação da superfície TIN e a vetorização dos elementos necessários para o processamento, da mesma forma, podem ser usados outros *softwares* de mapeamento que exportem os dados no formato SIG (*Geographic Information System*).

A metodologia seguida considera o uso e ocupação do solo através do CN, parâmetro que indica o escoamento, então, quanto maior o valor de CN maior o escoamento superficial. Pesquisando em trabalhos semelhantes, o Método de Huff 1º quartil dá a maior precipitação, sendo que outros métodos podem resultar em valores exorbitantes para a área inundada, não sendo adequados para bacias menores. Nada impede que outras metodologias sejam seguidas, os mesmos *softwares* usados neste trabalho também oferecem ferramentas comuns, como por exemplo, o HEC-RAS abre imagens de satélite, permite a criação do canal e das seções, e ainda, abre uma imagem de satélite com a topografia da região.

Analisando as informações acima podemos concluir que um valor maior de precipitação pode ocorrer em pontos isolados, pode ser uma chuva com período de retorno maior que o estipulado para este trabalho ou decorrente de alguma mudança ambiental que influencie o ciclo natural das chuvas. Se a precipitação se estender e for maior que o tempo de concentração da sub-bacia hidrográfica (107 minutos), a probabilidade da precipitação diária alcançar valores acima de 100 mm ou próximos aos citados no parágrafo anterior aumentam,

mas provavelmente não superem a intensidade das chuvas de projeto, pois ela se dá pela alta precipitação em um curto período de tempo. A precipitação por dias consecutivos também pode influenciar nas áreas de inundação, pois o solo não absorve mais a água da chuva, acarretando no aumento do escoamento superficial.

Um dos problemas apontados pelos gestores do município de Pato Branco para justificar os alagamentos são o acúmulo de lixo nos bueiros causando o seu entupimento e a falta de controle do uso e ocupação do solo nas áreas mais elevadas da sub-bacia. A limpeza dos bueiros é efetuada, mas existe o transporte de lixo, galhos de árvores, folhas e demais objetos através do curso hídrico, o que requer a limpeza constante, o que nem sempre acontece. Sobre o uso e ocupação do solo na sub-bacia, falta fiscalização das áreas que devem ser permeáveis, mas que são edificadas irregularmente, da capacidade de infiltração das calçadas, faltam locais de retenção de água da chuva nas propriedades agrícolas para retardar ou reduzir o escoamento superficial, e controle nas áreas de plantio, para que o solo não fique cada vez mais compactado ou perca a capacidade de infiltração devido à tentativa de se alcançar uma produtividade maior com um plantio contínuo. Outra questão é a impermeabilização à montante do curso hídrico, onde existe a abertura de loteamentos em áreas com cotas elevadas, impermeabilizando a superfície e aumentando o escoamento superficial a jusante. E também, a construção em áreas de encostas, as quais não podem ser edificadas devido ao risco de deslizamentos, mas são ocupadas por residências.

Por fim, percebemos que como as inundações são cada vez mais frequentes e com volumes de precipitação maiores, é muito importante elaborar projetos visando o uso e ocupação do solo futuro, com bastante planejamento, controle e fiscalização, para que os prejuízos sejam mínimos ou inexistentes. Vale ressaltar a importância do zoneamento preventivo, a restrição ao uso de áreas suscetíveis à alagamentos e, devido à intensidade das precipitações que ocorrem atualmente, é interessante analisar períodos de retorno maiores que 100 anos, procurando situações extremas, visto que as inundações recorrentes estão cada vez mais próximas da pior situação de projeto. Em trabalhos futuros podem ser analisadas se as medidas que foram adotadas depois deste trabalho reduziram significativamente as inundações na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTODESK. **AutoCad Civil 3D**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/civil-3d/overview>>. Acesso em: 10 de jun. de 2019.

BALENA, Rosana; BORTOLINI, Everton; TOMAZONI, Julio Caetano. **Caracterização dos tipos de solos do município de Pato Branco através técnicas de geoprocessamento**. Artigo - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2009. Disponível em: <https://www.academia.edu/25094423/CARACTERIZA%C3%87%C3%83O_DOS_TIPOS_DE_SOLOS_DO_MUNIC%C3%8DPIO_DE_PATO_BRANCO_ATRAV%C3%89S_T%C3%89CNICAS_DE_GEOPROCESSAMENTO_CHARACTERIZATION_OF_TYPES_OF_SOIL_IN_THE_MUNICIPALITY_OF_PATO_BRANCO_THROUGH_OF_TECHNIQUES_GEOPROCESSING?auto=download>. Acesso em: 21 de jun. de 2019.

BRASIL (Governo Federal). **Lei Federal nº. 10.257, de 10 de julho de 2001**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm>. Acesso em: 20 de jun. de 2019.

CABRAL, Samuellson Lopes; CAMPOS, José Nilson B.; SILVEIRA, Cleiton da Silva; TEIXEIRA, Francisco Alberto de Assis. **Integração do SIG, HEC/HMS e HEC/RAS no mapeamento de área de inundação urbana: aplicação à bacia do Rio Granjeiro – CE**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 35, n. 1, p.90-101, 2016. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/8998>>. Acesso em: 11 de maio de 2020.

DALANHOL, Isabel. **Identificação de áreas suscetíveis a inundações no perímetro urbano de Pato Branco - PR, por meio da integração SIG e AHP**. 2019. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

DIÁRIO DO SUDOESTE - ROSSI, Marcilei. **Cerca de 300 pessoas são atingidas por chuvas intensas**. Disponível em: <<https://www.diariodosudoeste.com.br/pato-branco/cerca-de-300-pessoas-sao-atingidas-por-chuvas-intensas>>. Acesso em: 10 de jun. de 2020.

DORNELLES, Tales Farina. **Análise da alteração do uso do solo em bacias hidrográficas**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5842>>. Acesso em: 20 de jun. de 2019.

GOERL, Roberto Fabris; KOBAYAMA, Masato. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. Artigo. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2005. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf>. Acesso em: 06 de maio de 2019.

G1, RPC Oeste e Sudoeste. **Chuva causa alagamentos em Vitorino e deixa imóveis sem água em Pato Branco.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/oeste-sudoeste/noticia/2018/11/30/chuva-causa-alagamentos-em-vitorino-e-deixa-imoveis-sem-agua-em-pato-branco.ghtml>>. Acesso em: 26 de mar. de 2020.

HORA, Silmara Borges; GOMES, Ronaldo Lima. **Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio cachoeirinha em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA.** Artigo. Sociedade & Natureza. Uberlândia, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v21n2/a05v21n2.pdf>>. Acesso em: 23 de maio de 2019.

HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER: HEC-HMS. US Army Corps of Engineers. Disponível em: <<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>>. Acesso em: 11 de maio de 2020.

HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER: HEC-RAS. US Army Corps of Engineers. Disponível em: <<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>>. Acesso em: 04 de jun. de 2019.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Sistema de informações hidrológicas: relatório de alturas diárias de precipitação.** Disponível em: <<http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasDiariasPrecipitacao.do?action=carregarInterfaceInicial>>. Acesso em: 12 de jan. de 2020.

LEIS MUNICIPAIS. **Lei Complementar nº 975, de 02 de outubro de 1990.** Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/pr/p/pato-branco/lei-ordinaria/1990/98/975/lei-ordinaria-n-975-1990-dispoe-sobre-o-zoneamento-de-uso-e-ocupacao-do-solo-do-perimetro-urbano-da-sede-do-municipio-de-pato-branco-e-revoga-a-lei-n-952-90-de-06-de-agosto-de-1990>>. Acesso em: 17 de jun. de 2019.

PATO BRANCO (Município). **Leis e documentos: Lei Complementar nº. 28, de 27 de junho de 2008.** Disponível em: <<http://www.patobranco.pr.gov.br/ippupb/>>. Acesso em: 17 de jun. de 2019.

_____. **Mapas: anexo III – mapa macrozoneamento; anexo VIII – mapa de abairramento e regionalização.** Disponível em: <<http://www.patobranco.pr.gov.br/ippupb/>>. Acesso em: 17 de jun. de 2019.

_____. **Leis e documentos: Lei Complementar nº. 46, de 26 de maio de 2011.** Disponível em: <<http://patobranco.pr.gov.br/wp-content/uploads/2016/03/LUPA-completa.pdf>>. Acesso em: 17 de jun. de 2019.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica.** Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. 4ª Edição. São Carlos - SP, 2006.

SZTUTMAN, Paulo. **Análise da qualidade posicional das bases do Google Maps, Bing Maps e da Esri para referência espacial em projetos em SIG: aplicação para o município de São Paulo.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. doi:10.11606/D.3.2014.tde-01102015-104031. Acesso em: 2019-05-14.

RELATÓRIO DE DANOS MATERIAIS E PREJUÍZOS DECORRENTES DE DESASTRES NATURAIS NO BRASIL 1995-2014. **RELATÓRIO** - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. Florianópolis, 2016. Disponível em: <<http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2017/01/111703-WP-CEPEDRelatoriosdeDanoslayout-PUBLIC-PORTUGUESE-ABSTRACT-SENT.pdf>>. Acesso em: 23 de abri. de 2019.

TABALIPA, Ney Lyzandro; FIORI, Alberto Pio. **Caracterização dos solos da Bacia do Rio Ligeiro (PR) na estabilidade de taludes**. Revista Brasileira de Geociências, v. 42, n. 1, 2012. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7871>>. Acesso em: 12 de mar. de 2020.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Inundações e drenagem urbana: capítulo 3**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Governo de Sergipe. 2017. Disponível em: <<https://www.semarh.se.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/cap3-1.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2019.

WINTER, Lucas Gabriel. **Elaboração de manchas de inundação na área central de Pato Branco considerando aspectos urbanísticos**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Dissertação de mestrado. Pato Branco – PR, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3251>>. Acesso em: 12 de jan. de 2020.

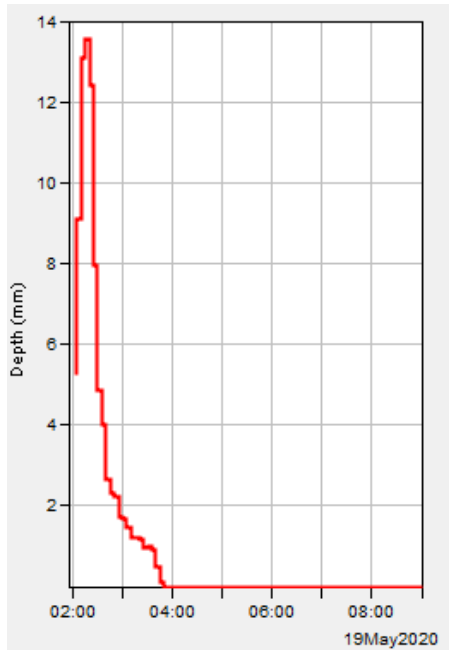
APÊNDICE A – USO DO SOLO ATUAL E PERÍODO DE RETORNO DE 25 ANOS.

Project: Simulacao 2020 Simulation Run: Run 1 Subbasin: Subbasin-1							
				Start of Run: 19mai2020, 02:00		Basin Model: bacia rio ligeiro	
				End of Run: 19mai2020, 09:00		Meteorologic Model: Met 1	
				Compute Time: 20mai2020, 10:12:42		Control Specifications: Control 1	
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
19mai2020	02:00				0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:05	5,22	4,83	0,39	0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:10	9,12	8,32	0,80	0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:15	13,07	9,03	4,04	0,1	0,0	0,1
19mai2020	02:20	13,56	6,50	7,06	0,4	0,0	0,4
19mai2020	02:25	12,43	4,40	8,03	0,8	0,0	0,8
19mai2020	02:30	7,96	2,28	5,68	1,6	0,0	1,6
19mai2020	02:35	4,87	1,24	3,63	2,7	0,0	2,7
19mai2020	02:40	4,02	0,94	3,08	4,1	0,0	4,1
19mai2020	02:45	2,67	0,59	2,08	5,9	0,0	5,9
19mai2020	02:50	2,33	0,49	1,84	7,9	0,0	7,9
19mai2020	02:55	2,21	0,45	1,76	10,2	0,0	10,2
19mai2020	03:00	1,73	0,34	1,39	13,0	0,0	13,0
19mai2020	03:05	1,66	0,32	1,34	16,1	0,0	16,1
19mai2020	03:10	1,47	0,28	1,19	19,7	0,0	19,7
19mai2020	03:15	1,23	0,23	1,00	23,7	0,0	23,7
19mai2020	03:20	1,21	0,22	0,99	28,0	0,0	28,0
19mai2020	03:25	1,18	0,21	0,97	32,5	0,0	32,5
19mai2020	03:30	0,96	0,17	0,79	36,9	0,0	36,9
19mai2020	03:35	0,98	0,17	0,81	41,1	0,0	41,1
19mai2020	03:40	0,92	0,16	0,76	45,1	0,0	45,1
19mai2020	03:45	0,48	0,08	0,40	48,7	0,0	48,7
19mai2020	03:50	0,12	0,02	0,10	52,0	0,0	52,0
19mai2020	03:55	0,00	0,00	0,00	54,8	0,0	54,8
19mai2020	04:00	0,00	0,00	0,00	57,1	0,0	57,1
19mai2020	04:05	0,00	0,00	0,00	59,1	0,0	59,1
19mai2020	04:10	0,00	0,00	0,00	60,6	0,0	60,6
19mai2020	04:15	0,00	0,00	0,00	61,8	0,0	61,8
19mai2020	04:20	0,00	0,00	0,00	62,4	0,0	62,4
19mai2020	04:25	0,00	0,00	0,00	62,6	0,0	62,6
19mai2020	04:30	0,00	0,00	0,00	62,4	0,0	62,4
19mai2020	04:35	0,00	0,00	0,00	61,8	0,0	61,8
19mai2020	04:40	0,00	0,00	0,00	60,9	0,0	60,9
19mai2020	04:45	0,00	0,00	0,00	59,7	0,0	59,7
19mai2020	04:50	0,00	0,00	0,00	58,2	0,0	58,2
19mai2020	04:55	0,00	0,00	0,00	56,4	0,0	56,4
19mai2020	05:00	0,00	0,00	0,00	54,2	0,0	54,2
19mai2020	05:05	0,00	0,00	0,00	51,8	0,0	51,8
19mai2020	05:10	0,00	0,00	0,00	49,1	0,0	49,1
19mai2020	05:15	0,00	0,00	0,00	46,3	0,0	46,3
19mai2020	05:20	0,00	0,00	0,00	43,5	0,0	43,5
19mai2020	05:25	0,00	0,00	0,00	40,8	0,0	40,8
19mai2020	05:30	0,00	0,00	0,00	38,3	0,0	38,3

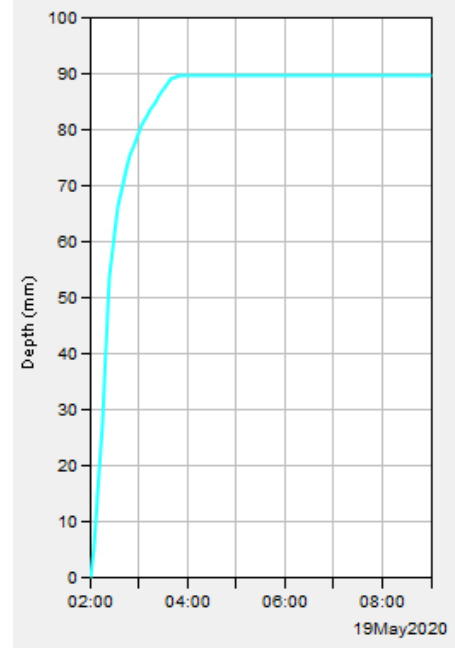
19mai2020	05:35	0,00	0,00	0,00	35,8	0,0	35,8
19mai2020	05:40	0,00	0,00	0,00	33,5	0,0	33,5
19mai2020	05:45	0,00	0,00	0,00	31,3	0,0	31,3
19mai2020	05:50	0,00	0,00	0,00	29,2	0,0	29,2
19mai2020	05:55	0,00	0,00	0,00	27,2	0,0	27,2
19mai2020	06:00	0,00	0,00	0,00	25,3	0,0	25,3
19mai2020	06:05	0,00	0,00	0,00	23,5	0,0	23,5
19mai2020	06:10	0,00	0,00	0,00	21,9	0,0	21,9
19mai2020	06:15	0,00	0,00	0,00	20,3	0,0	20,3
19mai2020	06:20	0,00	0,00	0,00	18,9	0,0	18,9
19mai2020	06:25	0,00	0,00	0,00	17,5	0,0	17,5
19mai2020	06:30	0,00	0,00	0,00	16,2	0,0	16,2
19mai2020	06:35	0,00	0,00	0,00	15,0	0,0	15,0
19mai2020	06:40	0,00	0,00	0,00	13,9	0,0	13,9
19mai2020	06:45	0,00	0,00	0,00	12,9	0,0	12,9
19mai2020	06:50	0,00	0,00	0,00	12,0	0,0	12,0
19mai2020	06:55	0,00	0,00	0,00	11,1	0,0	11,1
19mai2020	07:00	0,00	0,00	0,00	10,3	0,0	10,3
19mai2020	07:05	0,00	0,00	0,00	9,6	0,0	9,6
19mai2020	07:10	0,00	0,00	0,00	8,9	0,0	8,9
19mai2020	07:15	0,00	0,00	0,00	8,3	0,0	8,3
19mai2020	07:20	0,00	0,00	0,00	7,7	0,0	7,7
19mai2020	07:25	0,00	0,00	0,00	7,1	0,0	7,1
19mai2020	07:30	0,00	0,00	0,00	6,6	0,0	6,6
19mai2020	07:35	0,00	0,00	0,00	6,1	0,0	6,1
19mai2020	07:40	0,00	0,00	0,00	5,7	0,0	5,7
19mai2020	07:45	0,00	0,00	0,00	5,3	0,0	5,3
19mai2020	07:50	0,00	0,00	0,00	4,9	0,0	4,9
19mai2020	07:55	0,00	0,00	0,00	4,5	0,0	4,5
19mai2020	08:00	0,00	0,00	0,00	4,2	0,0	4,2
19mai2020	08:05	0,00	0,00	0,00	3,9	0,0	3,9
19mai2020	08:10	0,00	0,00	0,00	3,6	0,0	3,6
19mai2020	08:15	0,00	0,00	0,00	3,4	0,0	3,4
19mai2020	08:20	0,00	0,00	0,00	3,1	0,0	3,1
19mai2020	08:25	0,00	0,00	0,00	2,9	0,0	2,9
19mai2020	08:30	0,00	0,00	0,00	2,7	0,0	2,7
19mai2020	08:35	0,00	0,00	0,00	2,5	0,0	2,5
19mai2020	08:40	0,00	0,00	0,00	2,3	0,0	2,3
19mai2020	08:45	0,00	0,00	0,00	2,2	0,0	2,2
19mai2020	08:50	0,00	0,00	0,00	2,0	0,0	2,0
19mai2020	08:55	0,00	0,00	0,00	1,9	0,0	1,9
19mai2020	09:00	0,00	0,00	0,00	1,7	0,0	1,7

Figura 24: Série de dados com a precipitação, precipitação perdida, excesso de precipitação e fluxo direto da sub-bacia, para uso do solo atual e precipitação com período de retorno de 25 anos.

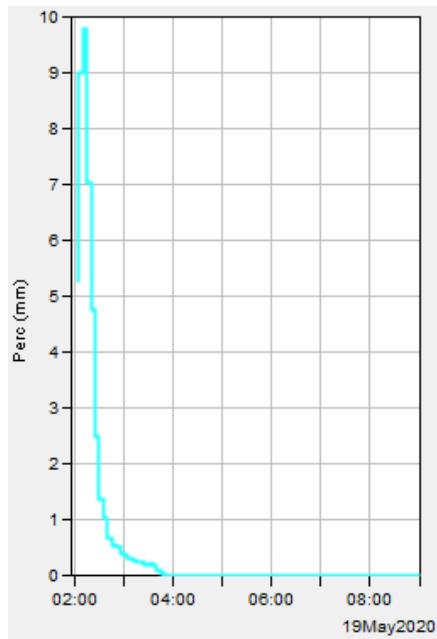
Fonte: Autora, 2020.



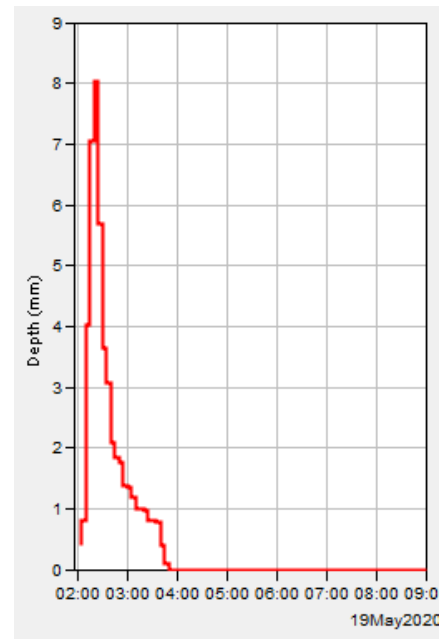
(a) Hietograma da precipitação.



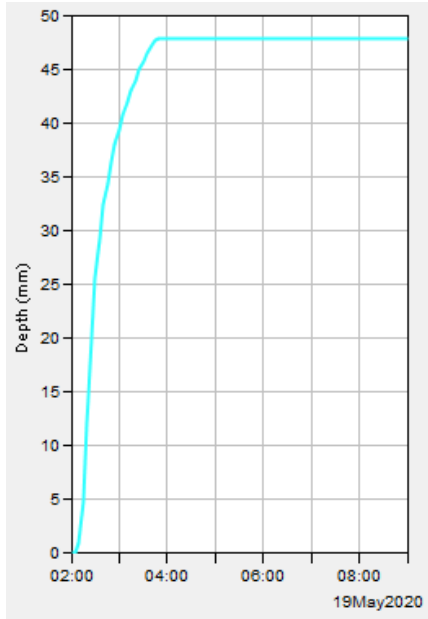
(b) Gráfico com a precipitação acumulada.



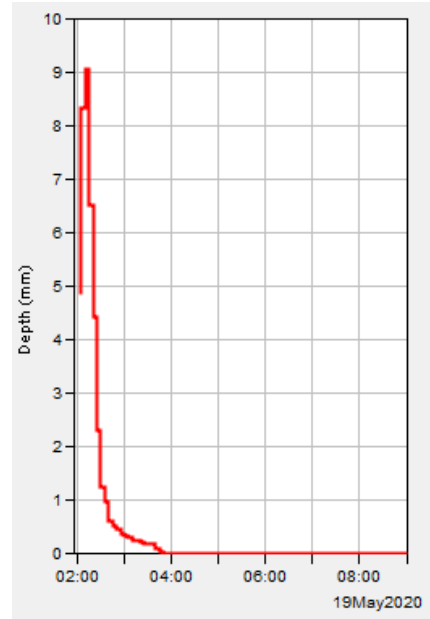
(c) Hietograma da infiltração no solo (soil infiltration).



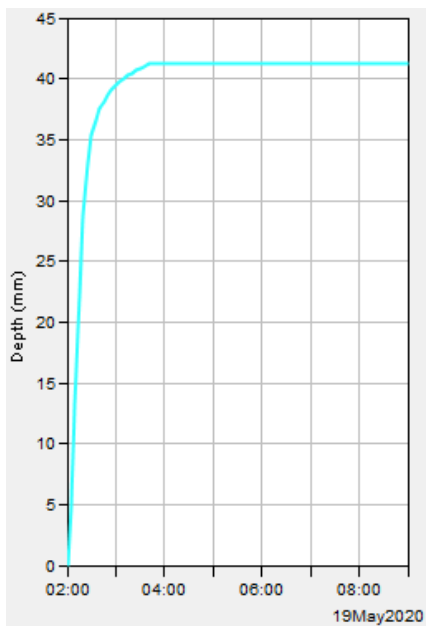
(d) Hietograma com o excesso de precipitação (excess precipitation).



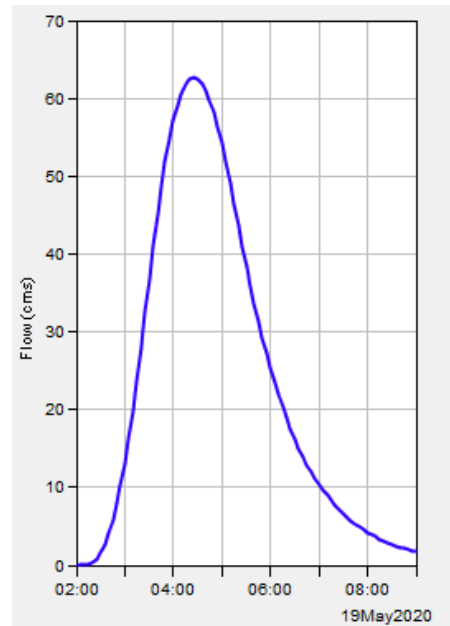
(e) Gráfico com o excesso de precipitação acumulado (*cumulative excess precipitation*).



(f) Hietograma com a precipitação perdida (*precipitation loss*).



(g) Gráfico com a precipitação perdida acumulada (*cumulative precipitation loss*).



(h) Escoamento direto (*direct runoff*).

Figura 25: Resultados com as precipitações e escoamento referentes ao uso do solo no ano de 2020 e precipitação com período de retorno de 25 anos.

Fonte: Autora, 2020.

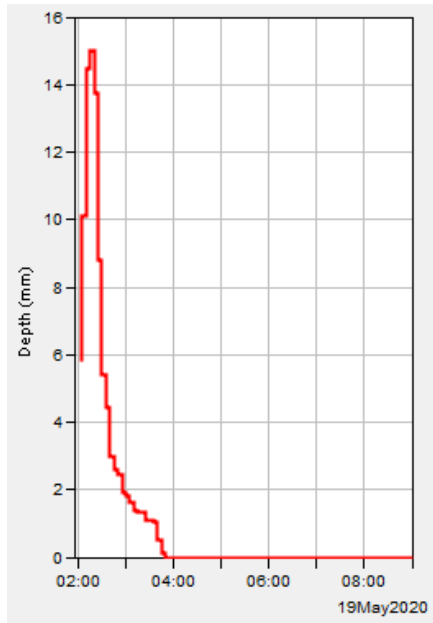
APÊNDICE B – USO DO SOLO ATUAL E PERÍODO DE RETORNO DE 50 ANOS.

Project: simulacao 2020 50 anos Simulation Run: Run 1 Subbasin: Subbasin-1							
				Start of Run: 19mai2020, 02:00		Basin Model: bacia rio ligeiro	
				End of Run: 19mai2020, 09:00		Meteorologic Model: Met 1	
				Compute Time:20mai2020, 10:28:26		Control Specifications:Control 1	
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
19mai2020	02:00				0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:05	5,78	5,35	0,43	0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:10	10,09	9,05	1,04	0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:15	14,46	9,37	5,09	0,1	0,0	0,1
19mai2020	02:20	15,00	6,59	8,41	0,4	0,0	0,4
19mai2020	02:25	13,75	4,39	9,36	1,0	0,0	1,0
19mai2020	02:30	8,80	2,25	6,55	2,0	0,0	2,0
19mai2020	02:35	5,39	1,22	4,17	3,3	0,0	3,3
19mai2020	02:40	4,44	0,92	3,52	5,0	0,0	5,0
19mai2020	02:45	2,96	0,58	2,38	7,0	0,0	7,0
19mai2020	02:50	2,58	0,48	2,10	9,4	0,0	9,4
19mai2020	02:55	2,45	0,44	2,01	12,2	0,0	12,2
19mai2020	03:00	1,91	0,33	1,58	15,4	0,0	15,4
19mai2020	03:05	1,84	0,31	1,53	19,1	0,0	19,1
19mai2020	03:10	1,62	0,27	1,35	23,4	0,0	23,4
19mai2020	03:15	1,36	0,22	1,14	28,1	0,0	28,1
19mai2020	03:20	1,34	0,21	1,13	33,2	0,0	33,2
19mai2020	03:25	1,31	0,20	1,11	38,4	0,0	38,4
19mai2020	03:30	1,07	0,16	0,91	43,5	0,0	43,5
19mai2020	03:35	1,09	0,16	0,93	48,4	0,0	48,4
19mai2020	03:40	1,02	0,15	0,87	53,1	0,0	53,1
19mai2020	03:45	0,53	0,08	0,45	57,3	0,0	57,3
19mai2020	03:45	0,53	0,08	0,45	57,3	0,0	57,3
19mai2020	03:50	0,14	0,02	0,12	61,0	0,0	61,0
19mai2020	03:55	0,00	0,00	0,00	64,3	0,0	64,3
19mai2020	04:00	0,00	0,00	0,00	67,0	0,0	67,0
19mai2020	04:05	0,00	0,00	0,00	69,2	0,0	69,2
19mai2020	04:10	0,00	0,00	0,00	70,9	0,0	70,9
19mai2020	04:15	0,00	0,00	0,00	72,2	0,0	72,2
19mai2020	04:20	0,00	0,00	0,00	72,9	0,0	72,9
19mai2020	04:25	0,00	0,00	0,00	73,1	0,0	73,1
19mai2020	04:30	0,00	0,00	0,00	72,8	0,0	72,8
19mai2020	04:35	0,00	0,00	0,00	72,1	0,0	72,1
19mai2020	04:40	0,00	0,00	0,00	71,0	0,0	71,0
19mai2020	04:45	0,00	0,00	0,00	69,6	0,0	69,6
19mai2020	04:50	0,00	0,00	0,00	67,8	0,0	67,8
19mai2020	04:55	0,00	0,00	0,00	65,6	0,0	65,6
19mai2020	05:00	0,00	0,00	0,00	63,1	0,0	63,1
19mai2020	05:05	0,00	0,00	0,00	60,2	0,0	60,2
19mai2020	05:10	0,00	0,00	0,00	57,0	0,0	57,0
19mai2020	05:15	0,00	0,00	0,00	53,7	0,0	53,7
19mai2020	05:20	0,00	0,00	0,00	50,5	0,0	50,5
19mai2020	05:25	0,00	0,00	0,00	47,3	0,0	47,3
19mai2020	05:30	0,00	0,00	0,00	44,4	0,0	44,4

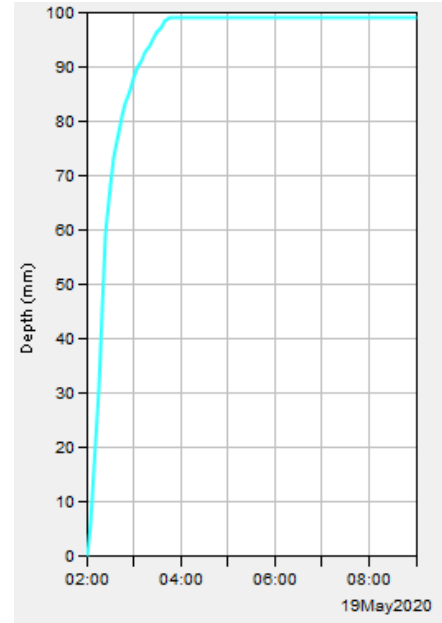
19mai2020	05:30	0,00	0,00	0,00	44,4	0,0	44,4
19mai2020	05:35	0,00	0,00	0,00	41,6	0,0	41,6
19mai2020	05:40	0,00	0,00	0,00	38,8	0,0	38,8
19mai2020	05:45	0,00	0,00	0,00	36,3	0,0	36,3
19mai2020	05:50	0,00	0,00	0,00	33,8	0,0	33,8
19mai2020	05:55	0,00	0,00	0,00	31,5	0,0	31,5
19mai2020	06:00	0,00	0,00	0,00	29,3	0,0	29,3
19mai2020	06:05	0,00	0,00	0,00	27,3	0,0	27,3
19mai2020	06:10	0,00	0,00	0,00	25,4	0,0	25,4
19mai2020	06:15	0,00	0,00	0,00	23,6	0,0	23,6
19mai2020	06:20	0,00	0,00	0,00	21,9	0,0	21,9
19mai2020	06:25	0,00	0,00	0,00	20,3	0,0	20,3
19mai2020	06:30	0,00	0,00	0,00	18,8	0,0	18,8
19mai2020	06:35	0,00	0,00	0,00	17,4	0,0	17,4
19mai2020	06:40	0,00	0,00	0,00	16,1	0,0	16,1
19mai2020	06:45	0,00	0,00	0,00	14,9	0,0	14,9
19mai2020	06:50	0,00	0,00	0,00	13,9	0,0	13,9
19mai2020	06:55	0,00	0,00	0,00	12,9	0,0	12,9
19mai2020	07:00	0,00	0,00	0,00	12,0	0,0	12,0
19mai2020	07:05	0,00	0,00	0,00	11,1	0,0	11,1
19mai2020	07:10	0,00	0,00	0,00	10,3	0,0	10,3
19mai2020	07:15	0,00	0,00	0,00	9,6	0,0	9,6
19mai2020	07:15	0,00	0,00	0,00	9,6	0,0	9,6
19mai2020	07:20	0,00	0,00	0,00	8,9	0,0	8,9
19mai2020	07:25	0,00	0,00	0,00	8,3	0,0	8,3
19mai2020	07:30	0,00	0,00	0,00	7,7	0,0	7,7
19mai2020	07:35	0,00	0,00	0,00	7,1	0,0	7,1
19mai2020	07:40	0,00	0,00	0,00	6,6	0,0	6,6
19mai2020	07:45	0,00	0,00	0,00	6,1	0,0	6,1
19mai2020	07:50	0,00	0,00	0,00	5,7	0,0	5,7
19mai2020	07:55	0,00	0,00	0,00	5,3	0,0	5,3
19mai2020	08:00	0,00	0,00	0,00	4,9	0,0	4,9
19mai2020	08:05	0,00	0,00	0,00	4,5	0,0	4,5
19mai2020	08:10	0,00	0,00	0,00	4,2	0,0	4,2
19mai2020	08:15	0,00	0,00	0,00	3,9	0,0	3,9
19mai2020	08:20	0,00	0,00	0,00	3,6	0,0	3,6
19mai2020	08:25	0,00	0,00	0,00	3,4	0,0	3,4
19mai2020	08:30	0,00	0,00	0,00	3,1	0,0	3,1
19mai2020	08:35	0,00	0,00	0,00	2,9	0,0	2,9
19mai2020	08:40	0,00	0,00	0,00	2,7	0,0	2,7
19mai2020	08:45	0,00	0,00	0,00	2,5	0,0	2,5
19mai2020	08:50	0,00	0,00	0,00	2,3	0,0	2,3
19mai2020	08:55	0,00	0,00	0,00	2,2	0,0	2,2
19mai2020	09:00	0,00	0,00	0,00	2,0	0,0	2,0

Figura 26: Série de dados com a precipitação, precipitação perdida, excesso de precipitação e fluxo direto da sub-bacia, para uso do solo atual e precipitação com período de retorno de 50 anos.

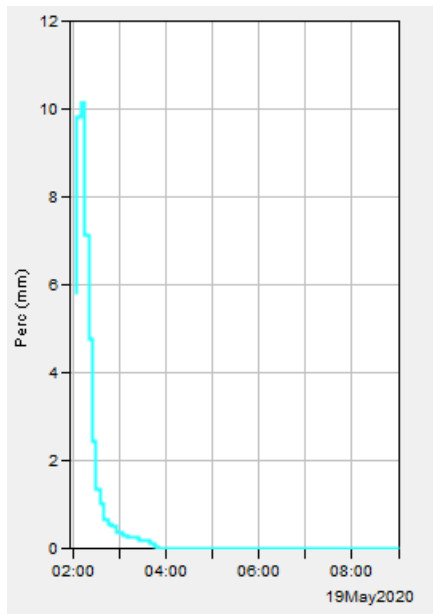
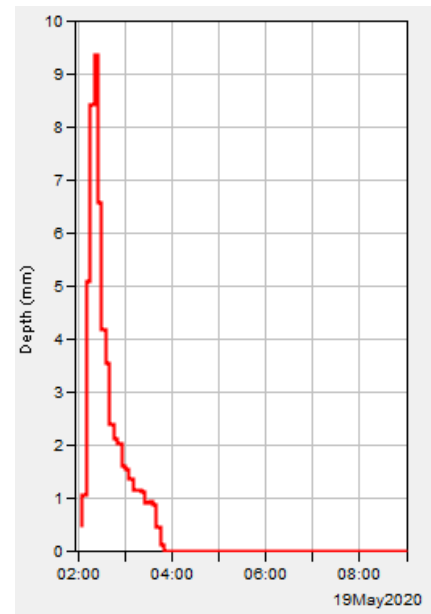
Fonte: Autora, 2020.

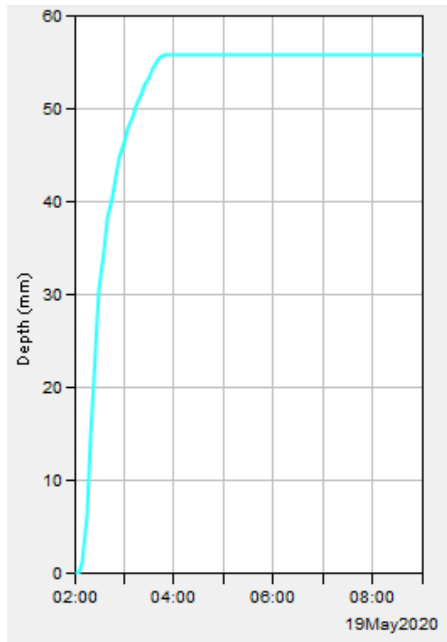


(a) Hietograma da precipitação.

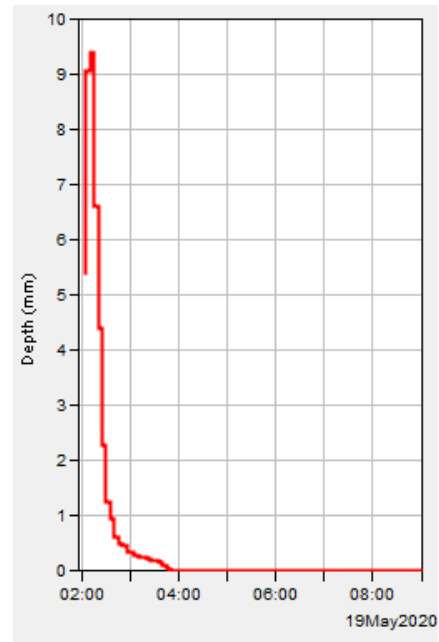


(b) Gráfico com a precipitação acumulada.

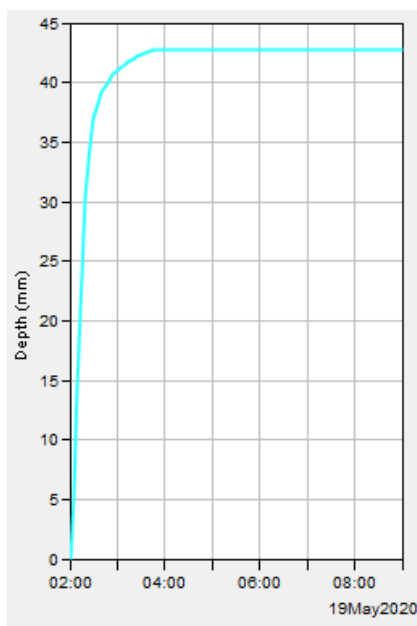
(c) Hietograma da infiltração no solo
(*soil infiltration*).(d) Hietograma com o excesso de precipitação
(*excess precipitation*).



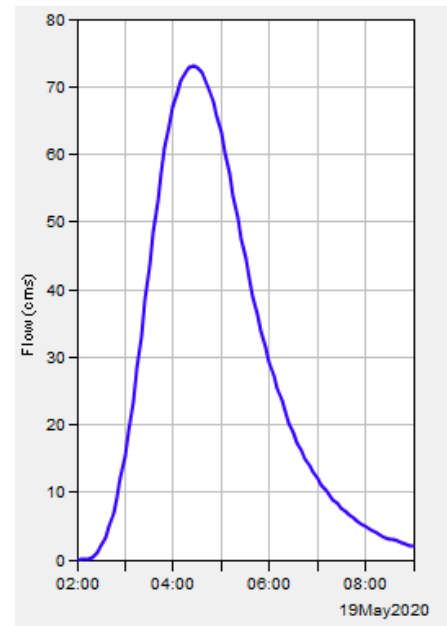
(e) Gráfico com o excesso de precipitação acumulado (*cumulative excess precipitation*).



(f) Hietograma com a precipitação perdida (*precipitation loss*).



(g) Gráfico com a precipitação perdida acumulada (*cumulative precipitation loss*).



(h) Escoamento direto (*direct runoff*).

Figura 27: Resultados com as precipitações e escoamento referentes ao uso do solo no ano de 2020 e precipitação com período de retorno de 50 anos.

Fonte: Autora, 2020.

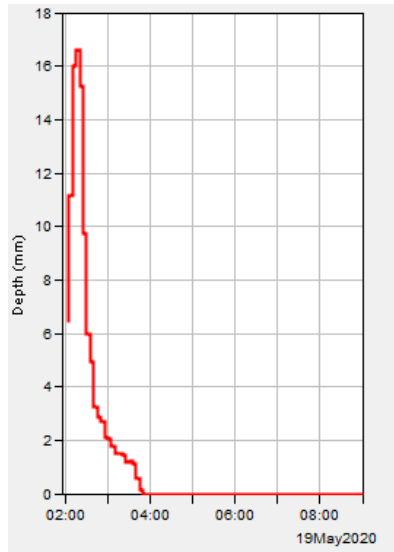
APÊNDICE C – USO DO SOLO ATUAL E PERÍODO DE RETORNO DE 100 ANOS.

Project: simulacao 2020 100 anos Simulation Run: Run 1 Subbasin: Subbasin-1							
Start of Run: 19mai2020, 02:00				Basin Model: bacia rio ligeiro			
End of Run: 19mai2020, 09:00				Meteorologic Model: Met 1			
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE				Control Specifications: Control 1			
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
19mai2020	02:00				0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:05	6,39	5,91	0,48	0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:10	11,16	9,80	1,36	0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:15	15,99	9,69	6,30	0,2	0,0	0,2
19mai2020	02:20	16,60	6,65	9,95	0,5	0,0	0,5
19mai2020	02:25	15,22	4,35	10,87	1,2	0,0	1,2
19mai2020	02:30	9,74	2,21	7,53	2,4	0,0	2,4
19mai2020	02:35	5,96	1,19	4,77	3,9	0,0	3,9
19mai2020	02:40	4,91	0,90	4,01	5,9	0,0	5,9
19mai2020	02:45	3,27	0,56	2,71	8,3	0,0	8,3
19mai2020	02:50	2,86	0,47	2,39	11,1	0,0	11,1
19mai2020	02:55	2,71	0,43	2,28	14,4	0,0	14,4
19mai2020	03:00	2,12	0,32	1,80	18,2	0,0	18,2
19mai2020	03:05	2,03	0,30	1,73	22,6	0,0	22,6
19mai2020	03:10	1,79	0,26	1,53	27,6	0,0	27,6
19mai2020	03:15	1,50	0,21	1,29	33,2	0,0	33,2
19mai2020	03:20	1,49	0,21	1,28	39,1	0,0	39,1
19mai2020	03:25	1,45	0,20	1,25	45,1	0,0	45,1
19mai2020	03:30	1,18	0,16	1,02	51,1	0,0	51,1
19mai2020	03:35	1,21	0,16	1,05	56,8	0,0	56,8
19mai2020	03:40	1,12	0,14	0,98	62,2	0,0	62,2
19mai2020	03:45	0,58	0,07	0,51	67,0	0,0	67,0
19mai2020	03:45	0,58	0,07	0,51	67,0	0,0	67,0
19mai2020	03:50	0,15	0,02	0,13	71,4	0,0	71,4
19mai2020	03:55	0,00	0,00	0,00	75,1	0,0	75,1
19mai2020	04:00	0,00	0,00	0,00	78,2	0,0	78,2
19mai2020	04:05	0,00	0,00	0,00	80,7	0,0	80,7
19mai2020	04:10	0,00	0,00	0,00	82,7	0,0	82,7
19mai2020	04:15	0,00	0,00	0,00	84,1	0,0	84,1
19mai2020	04:20	0,00	0,00	0,00	84,8	0,0	84,8
19mai2020	04:25	0,00	0,00	0,00	85,0	0,0	85,0
19mai2020	04:30	0,00	0,00	0,00	84,6	0,0	84,6
19mai2020	04:35	0,00	0,00	0,00	83,7	0,0	83,7
19mai2020	04:40	0,00	0,00	0,00	82,4	0,0	82,4
19mai2020	04:45	0,00	0,00	0,00	80,7	0,0	80,7
19mai2020	04:50	0,00	0,00	0,00	78,6	0,0	78,6
19mai2020	04:55	0,00	0,00	0,00	76,0	0,0	76,0
19mai2020	05:00	0,00	0,00	0,00	73,0	0,0	73,0
19mai2020	05:05	0,00	0,00	0,00	69,6	0,0	69,6
19mai2020	05:10	0,00	0,00	0,00	65,8	0,0	65,8
19mai2020	05:15	0,00	0,00	0,00	62,0	0,0	62,0
19mai2020	05:20	0,00	0,00	0,00	58,3	0,0	58,3
19mai2020	05:25	0,00	0,00	0,00	54,6	0,0	54,6
19mai2020	05:30	0,00	0,00	0,00	51,2	0,0	51,2

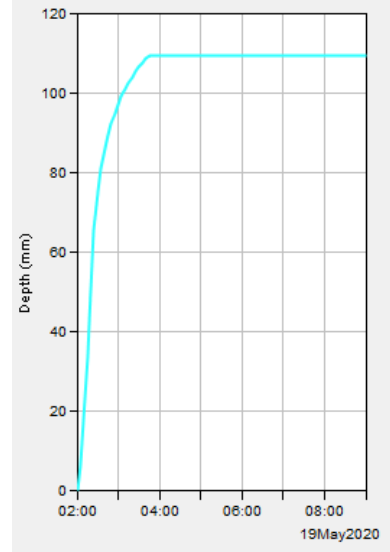
19mai2020	05:30	0,00	0,00	0,00	51,2	0,0	51,2
19mai2020	05:35	0,00	0,00	0,00	47,9	0,0	47,9
19mai2020	05:40	0,00	0,00	0,00	44,8	0,0	44,8
19mai2020	05:45	0,00	0,00	0,00	41,8	0,0	41,8
19mai2020	05:50	0,00	0,00	0,00	39,0	0,0	39,0
19mai2020	05:55	0,00	0,00	0,00	36,3	0,0	36,3
19mai2020	06:00	0,00	0,00	0,00	33,8	0,0	33,8
19mai2020	06:05	0,00	0,00	0,00	31,4	0,0	31,4
19mai2020	06:10	0,00	0,00	0,00	29,2	0,0	29,2
19mai2020	06:15	0,00	0,00	0,00	27,2	0,0	27,2
19mai2020	06:20	0,00	0,00	0,00	25,2	0,0	25,2
19mai2020	06:25	0,00	0,00	0,00	23,4	0,0	23,4
19mai2020	06:30	0,00	0,00	0,00	21,7	0,0	21,7
19mai2020	06:35	0,00	0,00	0,00	20,0	0,0	20,0
19mai2020	06:40	0,00	0,00	0,00	18,6	0,0	18,6
19mai2020	06:45	0,00	0,00	0,00	17,2	0,0	17,2
19mai2020	06:50	0,00	0,00	0,00	16,0	0,0	16,0
19mai2020	06:55	0,00	0,00	0,00	14,8	0,0	14,8
19mai2020	07:00	0,00	0,00	0,00	13,8	0,0	13,8
19mai2020	07:05	0,00	0,00	0,00	12,8	0,0	12,8
19mai2020	07:10	0,00	0,00	0,00	11,9	0,0	11,9
19mai2020	07:15	0,00	0,00	0,00	11,1	0,0	11,1
19mai2020	07:15	0,00	0,00	0,00	11,1	0,0	11,1
19mai2020	07:20	0,00	0,00	0,00	10,3	0,0	10,3
19mai2020	07:25	0,00	0,00	0,00	9,5	0,0	9,5
19mai2020	07:30	0,00	0,00	0,00	8,8	0,0	8,8
19mai2020	07:35	0,00	0,00	0,00	8,2	0,0	8,2
19mai2020	07:40	0,00	0,00	0,00	7,6	0,0	7,6
19mai2020	07:45	0,00	0,00	0,00	7,0	0,0	7,0
19mai2020	07:50	0,00	0,00	0,00	6,5	0,0	6,5
19mai2020	07:55	0,00	0,00	0,00	6,1	0,0	6,1
19mai2020	08:00	0,00	0,00	0,00	5,6	0,0	5,6
19mai2020	08:05	0,00	0,00	0,00	5,2	0,0	5,2
19mai2020	08:10	0,00	0,00	0,00	4,9	0,0	4,9
19mai2020	08:15	0,00	0,00	0,00	4,5	0,0	4,5
19mai2020	08:20	0,00	0,00	0,00	4,2	0,0	4,2
19mai2020	08:25	0,00	0,00	0,00	3,9	0,0	3,9
19mai2020	08:30	0,00	0,00	0,00	3,6	0,0	3,6
19mai2020	08:35	0,00	0,00	0,00	3,4	0,0	3,4
19mai2020	08:40	0,00	0,00	0,00	3,1	0,0	3,1
19mai2020	08:45	0,00	0,00	0,00	2,9	0,0	2,9
19mai2020	08:50	0,00	0,00	0,00	2,7	0,0	2,7
19mai2020	08:55	0,00	0,00	0,00	2,5	0,0	2,5
19mai2020	09:00	0,00	0,00	0,00	2,3	0,0	2,3

Figura 28: Série de dados com a precipitação, precipitação perdida, excesso de precipitação e fluxo direto da sub-bacia, para uso do solo atual e precipitação com período de retorno de 100 anos.

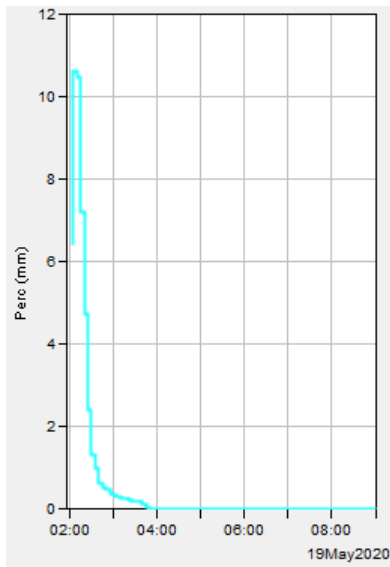
Fonte: Autora, 2020.



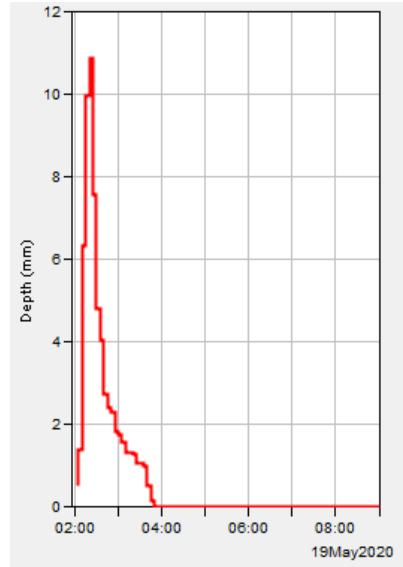
(a) Hietograma da precipitação.



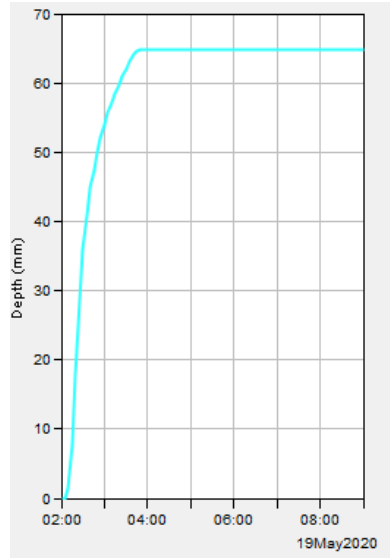
(b) Gráfico com a precipitação acumulada.



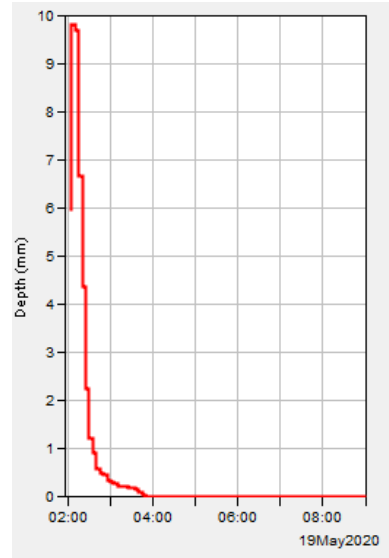
(c) Hietograma da infiltração no solo (soil infiltration).



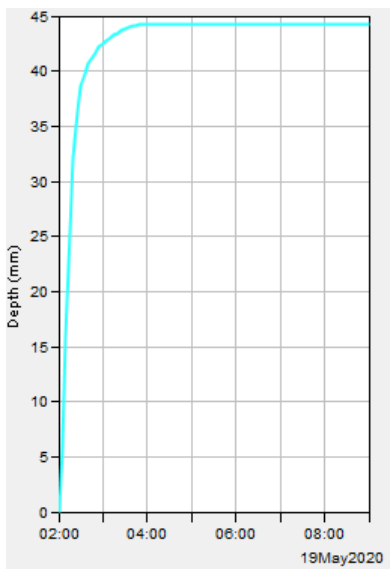
(d) Hietograma com o excesso de precipitação (excess precipitation).



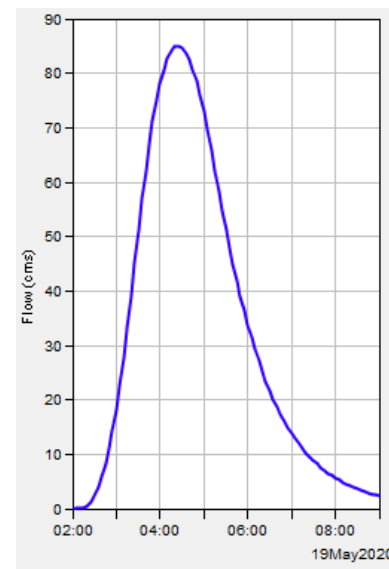
(e) Gráfico com o excesso de precipitação acumulado (*cumulative excess precipitation*).



(f) Hietograma com a precipitação perdida (*precipitation loss*).



(g) Gráfico com a precipitação perdida acumulada (*cumulative precipitation loss*).



(h) Escoamento direto (*direct runoff*).

Figura 29: Resultados com as precipitações e escoamento referentes ao uso do solo no ano de 2020 e precipitação com período de retorno de 100 anos.

Fonte: Autora, 2020.

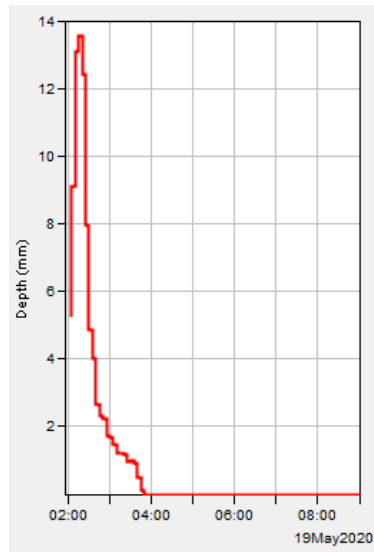
APÊNDICE D – USO DO SOLO FUTURO E PERÍODO DE RETORNO DE 25 ANOS.

Project: futuro 25 anos Simulation Run: Run 1 Subbasin: Subbasin-1							
Start of Run: 19mai2020, 02:00 Basin Model: bacia rio ligeiro							
End of Run: 19mai2020, 09:00 Meteorologic Model: Met 1							
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1							
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
19mai2020	02:00				0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:05	5,22	3,66	1,56	0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:10	9,12	6,23	2,89	0,1	0,0	0,1
19mai2020	02:15	13,07	6,57	6,50	0,3	0,0	0,3
19mai2020	02:20	13,56	4,66	8,90	0,8	0,0	0,8
19mai2020	02:25	12,43	3,12	9,31	1,6	0,0	1,6
19mai2020	02:30	7,96	1,61	6,35	2,8	0,0	2,8
19mai2020	02:35	4,87	0,87	4,00	4,3	0,0	4,3
19mai2020	02:40	4,02	0,66	3,36	6,3	0,0	6,3
19mai2020	02:45	2,67	0,41	2,26	8,7	0,0	8,7
19mai2020	02:50	2,33	0,35	1,98	11,5	0,0	11,5
19mai2020	02:55	2,21	0,32	1,89	14,7	0,0	14,7
19mai2020	03:00	1,73	0,24	1,49	18,4	0,0	18,4
19mai2020	03:05	1,66	0,22	1,44	22,6	0,0	22,6
19mai2020	03:10	1,47	0,19	1,28	27,4	0,0	27,4
19mai2020	03:15	1,23	0,16	1,07	32,6	0,0	32,6
19mai2020	03:20	1,21	0,15	1,06	38,1	0,0	38,1
19mai2020	03:25	1,18	0,15	1,03	43,6	0,0	43,6
19mai2020	03:30	0,96	0,12	0,84	49,0	0,0	49,0
19mai2020	03:35	0,98	0,12	0,86	54,1	0,0	54,1
19mai2020	03:40	0,92	0,11	0,81	58,8	0,0	58,8
19mai2020	03:45	0,48	0,06	0,42	63,0	0,0	63,0
19mai2020	03:50	0,12	0,01	0,11	66,7	0,0	66,7
19mai2020	03:55	0,00	0,00	0,00	69,8	0,0	69,8
19mai2020	04:00	0,00	0,00	0,00	72,4	0,0	72,4
19mai2020	04:05	0,00	0,00	0,00	74,4	0,0	74,4
19mai2020	04:10	0,00	0,00	0,00	75,9	0,0	75,9
19mai2020	04:15	0,00	0,00	0,00	76,9	0,0	76,9
19mai2020	04:20	0,00	0,00	0,00	77,4	0,0	77,4
19mai2020	04:25	0,00	0,00	0,00	77,2	0,0	77,2
19mai2020	04:30	0,00	0,00	0,00	76,6	0,0	76,6
19mai2020	04:35	0,00	0,00	0,00	75,6	0,0	75,6
19mai2020	04:40	0,00	0,00	0,00	74,3	0,0	74,3
19mai2020	04:45	0,00	0,00	0,00	72,5	0,0	72,5
19mai2020	04:50	0,00	0,00	0,00	70,4	0,0	70,4
19mai2020	04:55	0,00	0,00	0,00	67,9	0,0	67,9
19mai2020	05:00	0,00	0,00	0,00	65,0	0,0	65,0
19mai2020	05:05	0,00	0,00	0,00	61,8	0,0	61,8
19mai2020	05:10	0,00	0,00	0,00	58,4	0,0	58,4
19mai2020	05:15	0,00	0,00	0,00	54,9	0,0	54,9
19mai2020	05:20	0,00	0,00	0,00	51,5	0,0	51,5
19mai2020	05:25	0,00	0,00	0,00	48,3	0,0	48,3
19mai2020	05:30	0,00	0,00	0,00	45,2	0,0	45,2

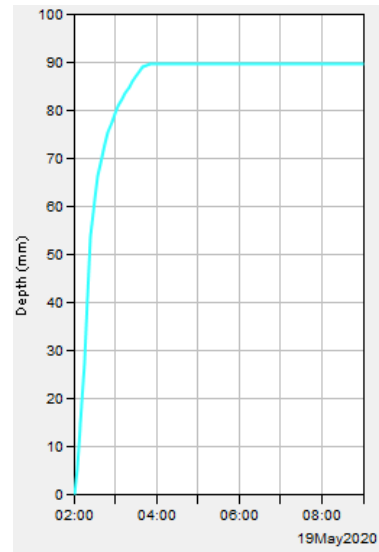
19mai2020	05:35	0,00	0,00	0,00	42,3	0,0	42,3
19mai2020	05:40	0,00	0,00	0,00	39,5	0,0	39,5
19mai2020	05:45	0,00	0,00	0,00	36,8	0,0	36,8
19mai2020	05:50	0,00	0,00	0,00	34,3	0,0	34,3
19mai2020	05:55	0,00	0,00	0,00	32,0	0,0	32,0
19mai2020	06:00	0,00	0,00	0,00	29,8	0,0	29,8
19mai2020	06:05	0,00	0,00	0,00	27,7	0,0	27,7
19mai2020	06:10	0,00	0,00	0,00	25,8	0,0	25,8
19mai2020	06:15	0,00	0,00	0,00	24,0	0,0	24,0
19mai2020	06:20	0,00	0,00	0,00	22,2	0,0	22,2
19mai2020	06:25	0,00	0,00	0,00	20,6	0,0	20,6
19mai2020	06:30	0,00	0,00	0,00	19,1	0,0	19,1
19mai2020	06:35	0,00	0,00	0,00	17,7	0,0	17,7
19mai2020	06:40	0,00	0,00	0,00	16,4	0,0	16,4
19mai2020	06:45	0,00	0,00	0,00	15,2	0,0	15,2
19mai2020	06:50	0,00	0,00	0,00	14,1	0,0	14,1
19mai2020	06:55	0,00	0,00	0,00	13,1	0,0	13,1
19mai2020	07:00	0,00	0,00	0,00	12,2	0,0	12,2
19mai2020	07:05	0,00	0,00	0,00	11,3	0,0	11,3
19mai2020	07:10	0,00	0,00	0,00	10,5	0,0	10,5
19mai2020	07:15	0,00	0,00	0,00	9,8	0,0	9,8
19mai2020	07:20	0,00	0,00	0,00	9,1	0,0	9,1
19mai2020	07:25	0,00	0,00	0,00	8,4	0,0	8,4
19mai2020	07:30	0,00	0,00	0,00	7,8	0,0	7,8
19mai2020	07:35	0,00	0,00	0,00	7,2	0,0	7,2
19mai2020	07:40	0,00	0,00	0,00	6,7	0,0	6,7
19mai2020	07:45	0,00	0,00	0,00	6,2	0,0	6,2
19mai2020	07:50	0,00	0,00	0,00	5,8	0,0	5,8
19mai2020	07:55	0,00	0,00	0,00	5,3	0,0	5,3
19mai2020	08:00	0,00	0,00	0,00	5,0	0,0	5,0
19mai2020	08:05	0,00	0,00	0,00	4,6	0,0	4,6
19mai2020	08:10	0,00	0,00	0,00	4,3	0,0	4,3
19mai2020	08:15	0,00	0,00	0,00	4,0	0,0	4,0
19mai2020	08:20	0,00	0,00	0,00	3,7	0,0	3,7
19mai2020	08:25	0,00	0,00	0,00	3,4	0,0	3,4
19mai2020	08:30	0,00	0,00	0,00	3,2	0,0	3,2
19mai2020	08:35	0,00	0,00	0,00	3,0	0,0	3,0
19mai2020	08:40	0,00	0,00	0,00	2,7	0,0	2,7
19mai2020	08:45	0,00	0,00	0,00	2,6	0,0	2,6
19mai2020	08:50	0,00	0,00	0,00	2,4	0,0	2,4
19mai2020	08:55	0,00	0,00	0,00	2,2	0,0	2,2
19mai2020	09:00	0,00	0,00	0,00	2,0	0,0	2,0

Figura 30: Série de dados com a precipitação, precipitação perdida, excesso de precipitação e fluxo direto da sub-bacia, para uso do solo futuro e precipitação com período de retorno de 25 anos.

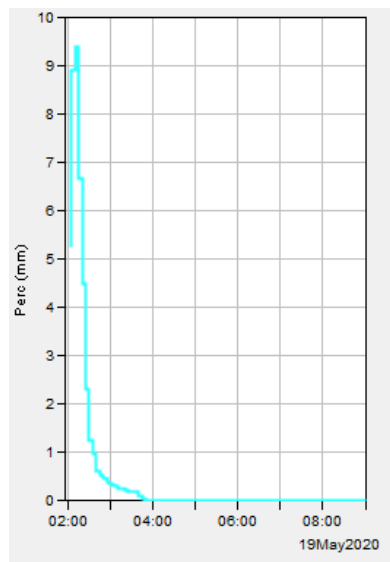
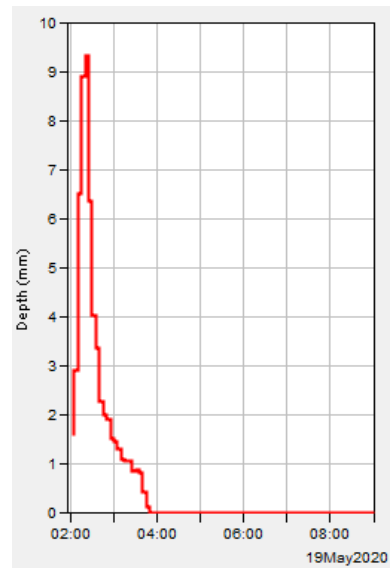
Fonte: Autora, 2020.

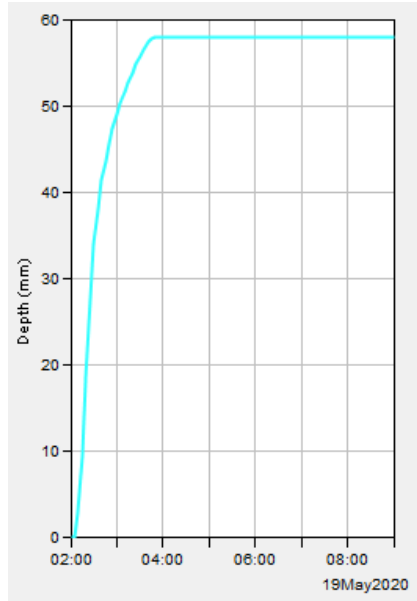


(a) Hietograma da precipitação.

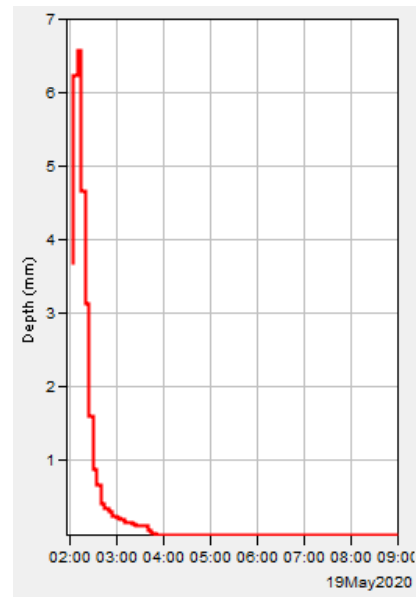


(b) Gráfico com a precipitação acumulada.

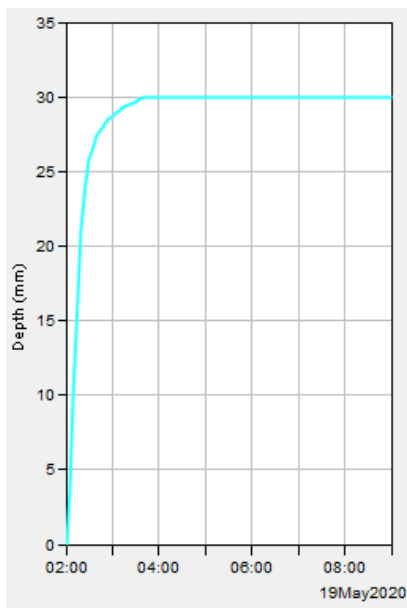
(c) Hietograma da infiltração no solo
(*soil infiltration*).(d) Hietograma com o excesso de precipitação
(*excess precipitation*).



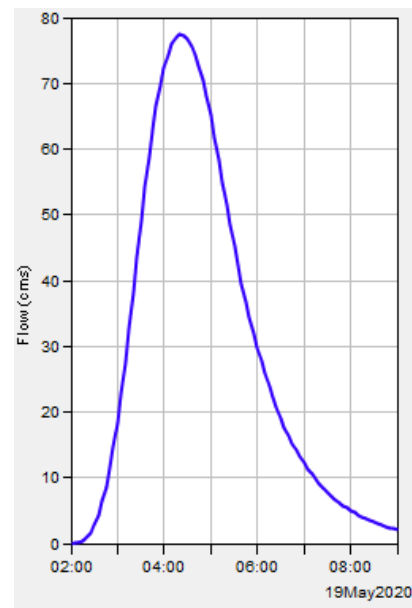
(e) Gráfico com o excesso de precipitação acumulado (*cumulative excess precipitation*).



(f) Hietograma com a precipitação perdida (*precipitation loss*).



(g) Gráfico com a precipitação perdida acumulada (*cumulative precipitation loss*).



(h) Escoamento direto (*direct runoff*).

Figura 31: Resultados com as precipitações e escoamento referentes ao uso do solo no ano de 2020 e precipitação com período de retorno de 25 anos.

Fonte: Autora, 2020.

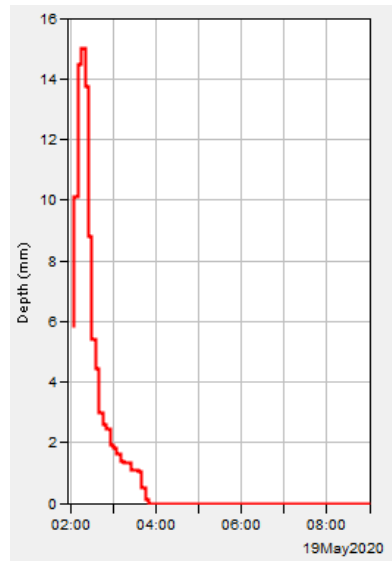
APÊNDICE E – USO DO SOLO FUTURO E PERÍODO DE RETORNO DE 50 ANOS.

Project: futuro 50 anos Simulation Run: Run 1 Subbasin: Subbasin-1							
				Start of Run: 19mai2020, 02:00		Basin Model: bacia rio ligeiro	
				End of Run: 19mai2020, 09:00		Meteorologic Model: Met 1	
				Compute Time: 20mai2020, 11:12:29		Control Specifications: Control 1	
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
19mai2020	02:00				0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:05	5,78	4,05	1,73	0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:10	10,09	6,76	3,33	0,1	0,0	0,1
19mai2020	02:15	14,46	6,80	7,66	0,4	0,0	0,4
19mai2020	02:20	15,00	4,71	10,29	0,9	0,0	0,9
19mai2020	02:25	13,75	3,10	10,65	1,8	0,0	1,8
19mai2020	02:30	8,80	1,58	7,22	3,2	0,0	3,2
19mai2020	02:35	5,39	0,85	4,54	5,0	0,0	5,0
19mai2020	02:40	4,44	0,64	3,80	7,3	0,0	7,3
19mai2020	02:45	2,96	0,40	2,56	10,0	0,0	10,0
19mai2020	02:50	2,58	0,34	2,24	13,2	0,0	13,2
19mai2020	02:55	2,45	0,31	2,14	16,9	0,0	16,9
19mai2020	03:00	1,91	0,23	1,68	21,2	0,0	21,2
19mai2020	03:05	1,84	0,22	1,62	26,0	0,0	26,0
19mai2020	03:10	1,62	0,19	1,43	31,5	0,0	31,5
19mai2020	03:15	1,36	0,15	1,21	37,5	0,0	37,5
19mai2020	03:20	1,34	0,15	1,19	43,8	0,0	43,8
19mai2020	03:25	1,31	0,14	1,17	50,1	0,0	50,1
19mai2020	03:30	1,07	0,11	0,96	56,2	0,0	56,2
19mai2020	03:35	1,09	0,11	0,98	62,0	0,0	62,0
19mai2020	03:40	1,02	0,10	0,92	67,4	0,0	67,4
19mai2020	03:45	0,53	0,05	0,48	72,2	0,0	72,2
19mai2020	03:50	0,14	0,01	0,13	76,4	0,0	76,4
19mai2020	03:55	0,00	0,00	0,00	79,9	0,0	79,9
19mai2020	04:00	0,00	0,00	0,00	82,9	0,0	82,9
19mai2020	04:05	0,00	0,00	0,00	85,2	0,0	85,2
19mai2020	04:10	0,00	0,00	0,00	86,9	0,0	86,9
19mai2020	04:15	0,00	0,00	0,00	88,0	0,0	88,0
19mai2020	04:20	0,00	0,00	0,00	88,5	0,0	88,5
19mai2020	04:25	0,00	0,00	0,00	88,3	0,0	88,3
19mai2020	04:30	0,00	0,00	0,00	87,6	0,0	87,6
19mai2020	04:35	0,00	0,00	0,00	86,4	0,0	86,4
19mai2020	04:40	0,00	0,00	0,00	84,8	0,0	84,8
19mai2020	04:45	0,00	0,00	0,00	82,8	0,0	82,8
19mai2020	04:50	0,00	0,00	0,00	80,4	0,0	80,4
19mai2020	04:55	0,00	0,00	0,00	77,5	0,0	77,5
19mai2020	05:00	0,00	0,00	0,00	74,2	0,0	74,2
19mai2020	05:05	0,00	0,00	0,00	70,5	0,0	70,5
19mai2020	05:10	0,00	0,00	0,00	66,6	0,0	66,6
19mai2020	05:15	0,00	0,00	0,00	62,6	0,0	62,6
19mai2020	05:20	0,00	0,00	0,00	58,7	0,0	58,7
19mai2020	05:25	0,00	0,00	0,00	55,0	0,0	55,0
19mai2020	05:30	0,00	0,00	0,00	51,5	0,0	51,5

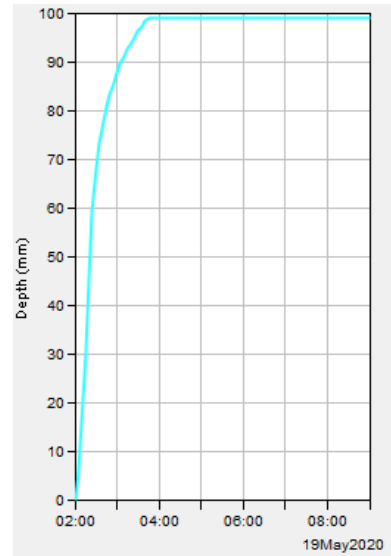
19mai2020	05:35	0,00	0,00	0,00	48,2	0,0	48,2
19mai2020	05:40	0,00	0,00	0,00	45,0	0,0	45,0
19mai2020	05:45	0,00	0,00	0,00	42,0	0,0	42,0
19mai2020	05:50	0,00	0,00	0,00	39,1	0,0	39,1
19mai2020	05:55	0,00	0,00	0,00	36,4	0,0	36,4
19mai2020	06:00	0,00	0,00	0,00	33,9	0,0	33,9
19mai2020	06:05	0,00	0,00	0,00	31,6	0,0	31,6
19mai2020	06:10	0,00	0,00	0,00	29,4	0,0	29,4
19mai2020	06:15	0,00	0,00	0,00	27,3	0,0	27,3
19mai2020	06:20	0,00	0,00	0,00	25,3	0,0	25,3
19mai2020	06:25	0,00	0,00	0,00	23,5	0,0	23,5
19mai2020	06:30	0,00	0,00	0,00	21,7	0,0	21,7
19mai2020	06:35	0,00	0,00	0,00	20,1	0,0	20,1
19mai2020	06:40	0,00	0,00	0,00	18,7	0,0	18,7
19mai2020	06:45	0,00	0,00	0,00	17,3	0,0	17,3
19mai2020	06:50	0,00	0,00	0,00	16,1	0,0	16,1
19mai2020	06:55	0,00	0,00	0,00	14,9	0,0	14,9
19mai2020	07:00	0,00	0,00	0,00	13,9	0,0	13,9
19mai2020	07:05	0,00	0,00	0,00	12,9	0,0	12,9
19mai2020	07:10	0,00	0,00	0,00	12,0	0,0	12,0
19mai2020	07:15	0,00	0,00	0,00	11,1	0,0	11,1
19mai2020	07:20	0,00	0,00	0,00	10,3	0,0	10,3
19mai2020	07:25	0,00	0,00	0,00	9,6	0,0	9,6
19mai2020	07:30	0,00	0,00	0,00	8,9	0,0	8,9
19mai2020	07:35	0,00	0,00	0,00	8,2	0,0	8,2
19mai2020	07:40	0,00	0,00	0,00	7,6	0,0	7,6
19mai2020	07:45	0,00	0,00	0,00	7,1	0,0	7,1
19mai2020	07:50	0,00	0,00	0,00	6,6	0,0	6,6
19mai2020	07:55	0,00	0,00	0,00	6,1	0,0	6,1
19mai2020	08:00	0,00	0,00	0,00	5,7	0,0	5,7
19mai2020	08:05	0,00	0,00	0,00	5,3	0,0	5,3
19mai2020	08:10	0,00	0,00	0,00	4,9	0,0	4,9
19mai2020	08:15	0,00	0,00	0,00	4,5	0,0	4,5
19mai2020	08:20	0,00	0,00	0,00	4,2	0,0	4,2
19mai2020	08:25	0,00	0,00	0,00	3,9	0,0	3,9
19mai2020	08:30	0,00	0,00	0,00	3,6	0,0	3,6
19mai2020	08:35	0,00	0,00	0,00	3,4	0,0	3,4
19mai2020	08:40	0,00	0,00	0,00	3,1	0,0	3,1
19mai2020	08:45	0,00	0,00	0,00	2,9	0,0	2,9
19mai2020	08:50	0,00	0,00	0,00	2,7	0,0	2,7
19mai2020	08:55	0,00	0,00	0,00	2,5	0,0	2,5
19mai2020	09:00	0,00	0,00	0,00	2,3	0,0	2,3

Figura 32: Série de dados com a precipitação, precipitação perdida, excesso de precipitação e fluxo direto da sub-bacia, para uso do solo futuro e precipitação com período de retorno de 50 anos.

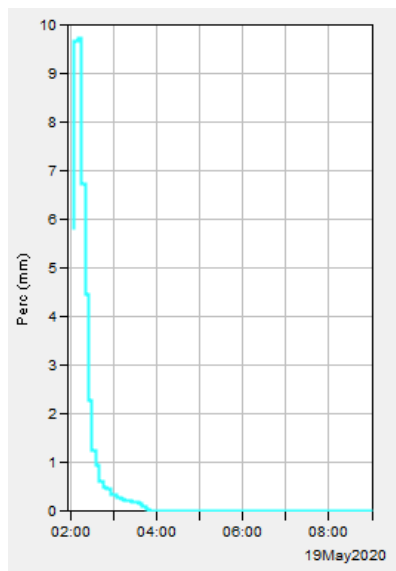
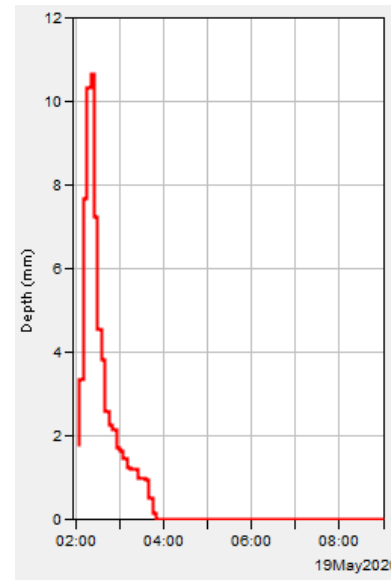
Fonte: Autora, 2020.

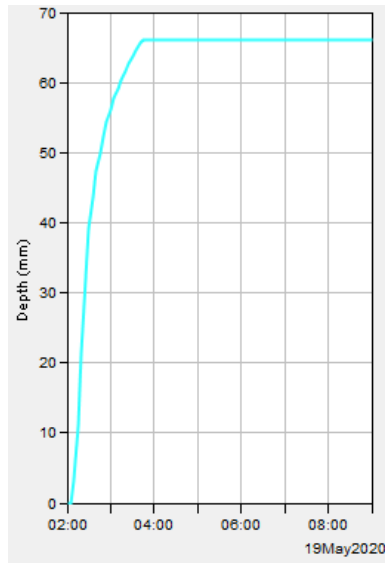


(a) Hietograma da precipitação.

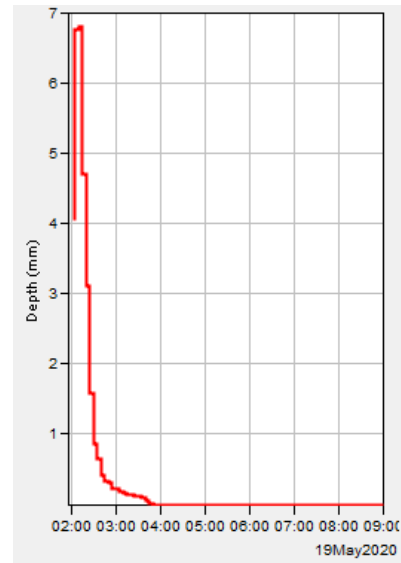


(b) Gráfico com a precipitação acumulada.

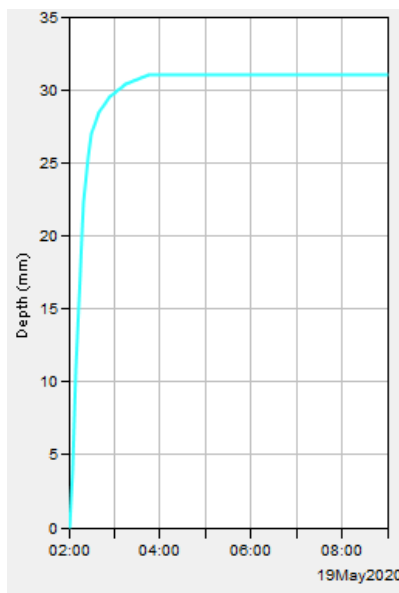
(c) Hietograma da infiltração no solo
(soil infiltration).(d) Hietograma com o excesso de precipitação
(excess precipitation).



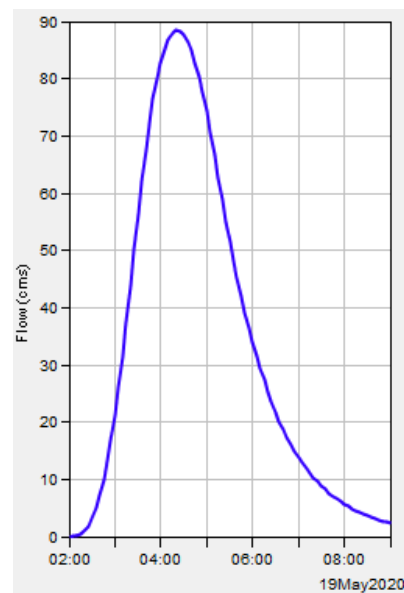
(e) Gráfico com o excesso de precipitação acumulado (*cumulative excess precipitation*).



(f) Hietograma com a precipitação perdida (*precipitation loss*).



(g) Gráfico com a precipitação perdida acumulada (*cumulative precipitation loss*).



(h) Escoamento direto (*direct runoff*).

Figura 33: Resultados com as precipitações e escoamento referentes ao uso do solo no ano de 2020 e precipitação com período de retorno de 50 anos.

Fonte: Autora, 2020.

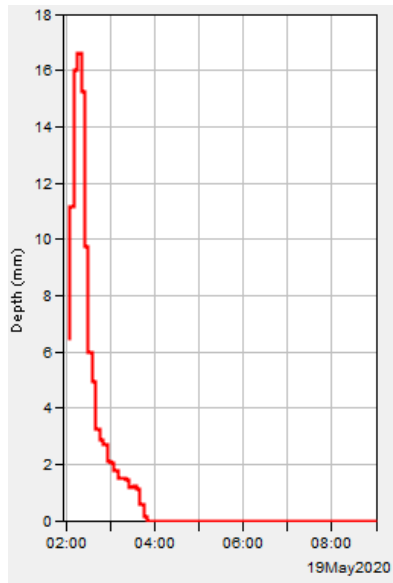
APÊNDICE F – USO DO SOLO FUTURO E PERÍODO DE RETORNO DE 100 ANOS.

Project: futuro 100 anos Simulation Run: Run 1 Subbasin: Subbasin-1							
				Start of Run: 19mai2020, 02:00 Basin Model: bacia rio ligeiro End of Run: 19mai2020, 09:00 Meteorologic Model: Met 1 Compute Time:20mai2020, 11:19:35 Control Specifications:Control 1			
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
19mai2020	02:00				0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:05	6,39	4,47	1,92	0,0	0,0	0,0
19mai2020	02:10	11,16	7,29	3,87	0,1	0,0	0,1
19mai2020	02:15	15,99	7,01	8,98	0,4	0,0	0,4
19mai2020	02:20	16,60	4,73	11,87	1,0	0,0	1,0
19mai2020	02:25	15,22	3,07	12,15	2,1	0,0	2,1
19mai2020	02:30	9,74	1,55	8,19	3,7	0,0	3,7
19mai2020	02:35	5,96	0,83	5,13	5,8	0,0	5,8
19mai2020	02:40	4,91	0,63	4,28	8,4	0,0	8,4
19mai2020	02:45	3,27	0,39	2,88	11,5	0,0	11,5
19mai2020	02:50	2,86	0,33	2,53	15,2	0,0	15,2
19mai2020	02:55	2,71	0,30	2,41	19,4	0,0	19,4
19mai2020	03:00	2,12	0,22	1,90	24,3	0,0	24,3
19mai2020	03:05	2,03	0,21	1,82	29,9	0,0	29,9
19mai2020	03:10	1,79	0,18	1,61	36,2	0,0	36,2
19mai2020	03:15	1,50	0,15	1,35	43,0	0,0	43,0
19mai2020	03:20	1,49	0,14	1,35	50,2	0,0	50,2
19mai2020	03:25	1,45	0,14	1,31	57,4	0,0	57,4
19mai2020	03:30	1,18	0,11	1,07	64,4	0,0	64,4
19mai2020	03:35	1,21	0,11	1,10	71,1	0,0	71,1
19mai2020	03:40	1,12	0,10	1,02	77,1	0,0	77,1
19mai2020	03:45	0,58	0,05	0,53	82,6	0,0	82,6
19mai2020	03:50	0,15	0,01	0,14	87,4	0,0	87,4
19mai2020	03:55	0,00	0,00	0,00	91,4	0,0	91,4
19mai2020	04:00	0,00	0,00	0,00	94,7	0,0	94,7
19mai2020	04:05	0,00	0,00	0,00	97,3	0,0	97,3
19mai2020	04:10	0,00	0,00	0,00	99,2	0,0	99,2
19mai2020	04:15	0,00	0,00	0,00	100,5	0,0	100,5
19mai2020	04:20	0,00	0,00	0,00	100,9	0,0	100,9
19mai2020	04:25	0,00	0,00	0,00	100,7	0,0	100,7
19mai2020	04:30	0,00	0,00	0,00	99,9	0,0	99,9
19mai2020	04:35	0,00	0,00	0,00	98,5	0,0	98,5
19mai2020	04:40	0,00	0,00	0,00	96,7	0,0	96,7
19mai2020	04:45	0,00	0,00	0,00	94,4	0,0	94,4
19mai2020	04:50	0,00	0,00	0,00	91,6	0,0	91,6
19mai2020	04:55	0,00	0,00	0,00	88,2	0,0	88,2
19mai2020	05:00	0,00	0,00	0,00	84,4	0,0	84,4
19mai2020	05:05	0,00	0,00	0,00	80,2	0,0	80,2
19mai2020	05:10	0,00	0,00	0,00	75,7	0,0	75,7
19mai2020	05:15	0,00	0,00	0,00	71,2	0,0	71,2
19mai2020	05:20	0,00	0,00	0,00	66,7	0,0	66,7
19mai2020	05:25	0,00	0,00	0,00	62,5	0,0	62,5
19mai2020	05:30	0,00	0,00	0,00	58,5	0,0	58,5

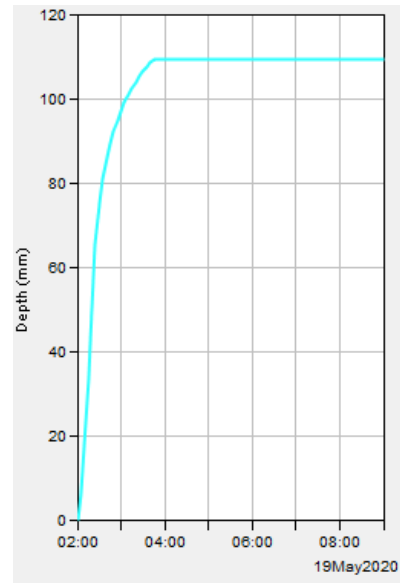
19mai2020	05:35	0,00	0,00	0,00	54,7	0,0	54,7
19mai2020	05:40	0,00	0,00	0,00	51,1	0,0	51,1
19mai2020	05:45	0,00	0,00	0,00	47,7	0,0	47,7
19mai2020	05:50	0,00	0,00	0,00	44,4	0,0	44,4
19mai2020	05:55	0,00	0,00	0,00	41,4	0,0	41,4
19mai2020	06:00	0,00	0,00	0,00	38,5	0,0	38,5
19mai2020	06:05	0,00	0,00	0,00	35,9	0,0	35,9
19mai2020	06:10	0,00	0,00	0,00	33,4	0,0	33,4
19mai2020	06:15	0,00	0,00	0,00	31,0	0,0	31,0
19mai2020	06:20	0,00	0,00	0,00	28,8	0,0	28,8
19mai2020	06:25	0,00	0,00	0,00	26,7	0,0	26,7
19mai2020	06:30	0,00	0,00	0,00	24,7	0,0	24,7
19mai2020	06:35	0,00	0,00	0,00	22,9	0,0	22,9
19mai2020	06:40	0,00	0,00	0,00	21,2	0,0	21,2
19mai2020	06:45	0,00	0,00	0,00	19,6	0,0	19,6
19mai2020	06:50	0,00	0,00	0,00	18,2	0,0	18,2
19mai2020	06:55	0,00	0,00	0,00	16,9	0,0	16,9
19mai2020	07:00	0,00	0,00	0,00	15,7	0,0	15,7
19mai2020	07:05	0,00	0,00	0,00	14,6	0,0	14,6
19mai2020	07:10	0,00	0,00	0,00	13,6	0,0	13,6
19mai2020	07:15	0,00	0,00	0,00	12,6	0,0	12,6
19mai2020	07:20	0,00	0,00	0,00	11,7	0,0	11,7
19mai2020	07:25	0,00	0,00	0,00	10,9	0,0	10,9
19mai2020	07:30	0,00	0,00	0,00	10,1	0,0	10,1
19mai2020	07:35	0,00	0,00	0,00	9,3	0,0	9,3
19mai2020	07:40	0,00	0,00	0,00	8,7	0,0	8,7
19mai2020	07:45	0,00	0,00	0,00	8,0	0,0	8,0
19mai2020	07:50	0,00	0,00	0,00	7,5	0,0	7,5
19mai2020	07:55	0,00	0,00	0,00	6,9	0,0	6,9
19mai2020	08:00	0,00	0,00	0,00	6,4	0,0	6,4
19mai2020	08:05	0,00	0,00	0,00	6,0	0,0	6,0
19mai2020	08:10	0,00	0,00	0,00	5,5	0,0	5,5
19mai2020	08:15	0,00	0,00	0,00	5,1	0,0	5,1
19mai2020	08:20	0,00	0,00	0,00	4,8	0,0	4,8
19mai2020	08:25	0,00	0,00	0,00	4,4	0,0	4,4
19mai2020	08:30	0,00	0,00	0,00	4,1	0,0	4,1
19mai2020	08:35	0,00	0,00	0,00	3,8	0,0	3,8
19mai2020	08:40	0,00	0,00	0,00	3,6	0,0	3,6
19mai2020	08:45	0,00	0,00	0,00	3,3	0,0	3,3
19mai2020	08:50	0,00	0,00	0,00	3,1	0,0	3,1
19mai2020	08:55	0,00	0,00	0,00	2,8	0,0	2,8
19mai2020	09:00	0,00	0,00	0,00	2,6	0,0	2,6

Figura 34: Série de dados com a precipitação, precipitação perdida, excesso de precipitação e fluxo direto da sub-bacia, para uso do solo futuro e precipitação com período de retorno de 100 anos.

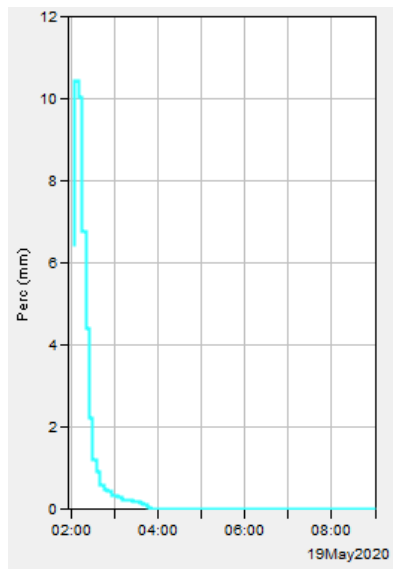
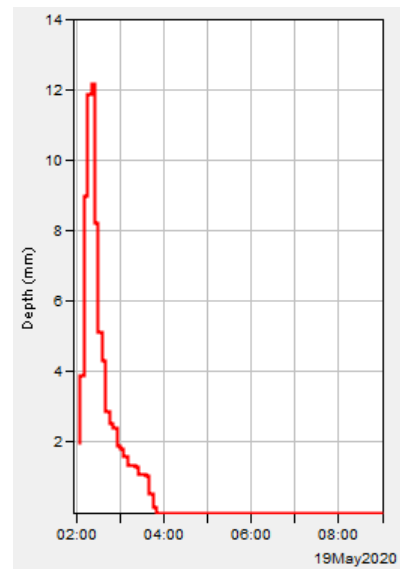
Fonte: Autora, 2020.

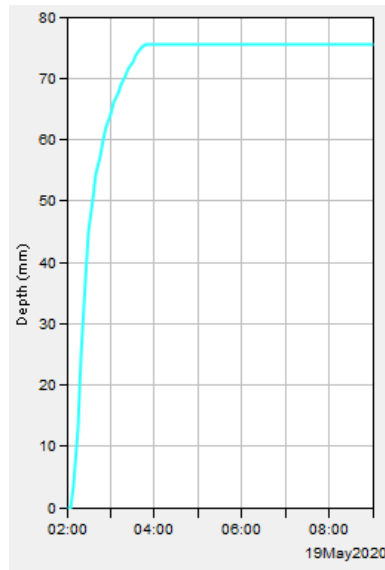


(a) Hietograma da precipitação.

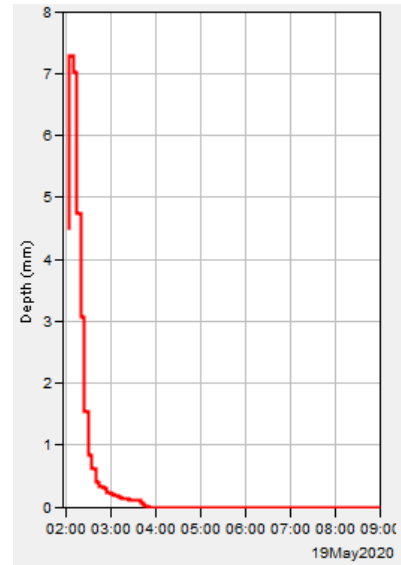


(b) Gráfico com a precipitação acumulada.

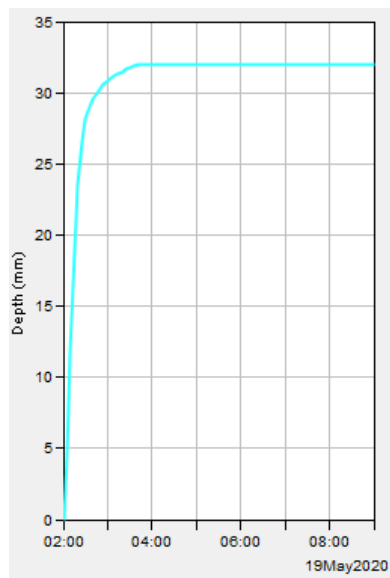
(c) Hietograma da infiltração no solo
(soil infiltration).(d) Hietograma com o excesso de precipitação
(excess precipitation).



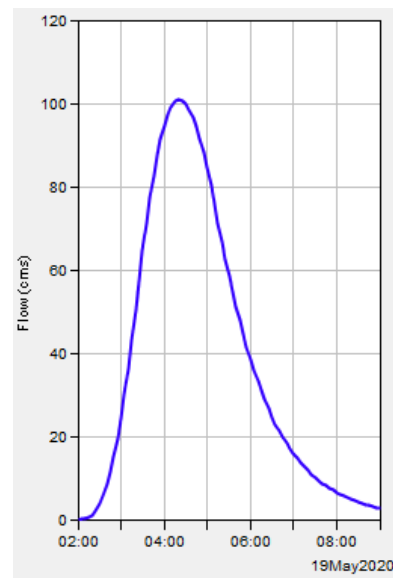
(e) Gráfico com o excesso de precipitação acumulado (*cumulative excess precipitation*).



(f) Hietograma com a precipitação perdida (*precipitation loss*).



(g) Gráfico com a precipitação perdida acumulada (*cumulative precipitation loss*).



(h) Escoamento direto (*direct runoff*).

Figura 35: Resultados com as precipitações e escoamento referentes ao uso do solo no ano de 2020 e precipitação com período de retorno de 100 anos.

Fonte: Autora, 2020.