



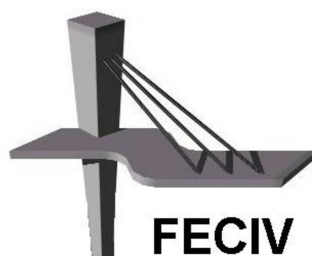
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DE  
INUNDAÇÕES NA AVENIDA GOVERNADOR  
RONDON PACHECO, UBERLÂNDIA-MG.**

RAFAELLA DA SILVA VIEIRA MENDES

UBERLÂNDIA, 01 DE FEVEREIRO DE 2023.



**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**Graduação em Engenharia Civil**



**Rafaella da Silva Vieira Mendes**

**MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DE  
INUNDAÇÕES DA AVENIDA GOVERNADOR RONDON  
PACHECO, UBERLÂNDIA – MG.**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Graduando em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho

Uberlândia - MG  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço à minha mãe Andreia, minha avó Ana Maria e meu avô Ivacir, por nunca terem medido esforços para me proporcionar tudo que tenho hoje. Elas que me ensinaram a importância dos estudos desde criança, e permaneceram ao meu lado durante toda esta etapa, me dando suporte emocional e forças para vencer os dias mais difíceis. A elas dedico este trabalho.

Aos meus familiares, especialmente ao meu irmão Izauro Neto, ao meu padrasto Izauro Júnior, à minha tia Thaís, e às minhas primas Dayane e Vanessa, por todo incentivo e por sempre acreditarem na minha capacidade.

À Deus, pela minha vida e por ter me permitido ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus amigos, Juliana e Renato, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado durante todo o meu período de dedicação a este trabalho.

Aos meus colegas e chefes dos estágios do DMAE, ELISANGELA CASTRO ENGENHARIA e ICCONNE CONSTRUTORA, por todos os ensinamentos diários incentivando-me ser melhor a cada dia e a amar ainda mais essa profissão que tive o privilégio em escolher.

Ao meu orientador, que conduziu o trabalho com paciência e dedicação, sempre disponível a compartilhar todo o seu vasto conhecimento.

## RESUMO

As inundações urbanas são eventos historicamente comuns em grandes centros urbanos. Porém, mesmo em cidades de médio e pequeno porte, o alagamento de ruas e avenidas têm se tornado recorrente devido à ocupação urbana e consequente impermeabilização dos solos. Esse é um problema que tem se tornado frequente na cidade de Uberlândia – MG, especialmente na avenida Governador Rondon Pacheco, pela drenagem de grandes áreas urbanizadas e por constituir-se em uma artéria de tráfego de veículos, esse problema apresenta-se grave. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo estudar o processo de escoamento que ocorre na avenida Governador Rondon Pacheco durante eventos de chuvas intensas. Nesse caso, a avenida foi tratada como um canal e as ruas perpendiculares como afluentes. Com essa analogia e o uso de modelos hidrológicos e hidráulicos, foi feita a simulação de propagação da cheia sobre a referida avenida usando o programa HEC-RAS versão 6 (bidimensional), mapeando as profundidades do escoamento e as tensões cisalhantes, indicando assim os setores de maior e menor lâmina de água, e os setores mais propícios ao arraste de veículos e destacamento de pavimentos. Os resultados obtidos mostram que os trechos mais passíveis de inundação são a região imediatamente a jusante do cruzamento da avenida Anselmo Alves dos Santos com a avenida Governador Rondon Pacheco, e a região compreendida entre o exutório do córrego Lagoinha e o final do trecho. Já em relação ao risco de arraste de veículos e destacamento de pavimento, ao longo do trecho estudado quatro pontos se destacaram, tais regiões se encontram nas proximidades do viaduto da rua Olegário Maciel, viaduto Carlos Saraiva, trecho compreendido entre o exutório do córrego Lagoinha e a avenida dos Municípios, e a região compreendida entre as ruas Javari e Raimundo P Carvalho. Com isso é possível notar o quão a população da cidade de Uberlândia é afetada pelos eventos de enchentes.

**Palavras chave:** Inundação Urbana – Escoamento – Modelos Hidrológicos e Hidráulicos

## ABSTRACT

Urban floods are historically common events in large urban centers. However, even in médium and small cities, the flooding of streets and avenues has become recurrent due to urban occupation and consequent soil sealing. This is a problem that has become frequent in the city of Uberlândia-MG, especially on avenue Governador Rondon Pacheco, due to the drainage of large urbanized areas and because it constitutes a circulation of vehicle traffic, this problem is serious. In this sense, the present work aims to study the runoff process that occurs on avenue Governador Rondon Pacheco during heavy rainfall events. In this case, the avenue was treated as a canal and the perpendicular streets as tributaries. With this analogy and the use of hydrological and hydraulic models, a simulation of the dynamics of the flood on the referred avenue was carried out using the HEC-RAS program version 6 (two-dimensional), mapping the depths of the flow and the shear stresses, thus indicating the sectors of greater and lesser water depth, and the sectors more open to the dragging of vehicles and pavement highlighting. The results showed that the stretches most susceptible to flooding are the region immediately downstream of the intersection of avenue Anselmo Alves dos Santos and avenue Governador Rondon Pacheco, and the region between the outlet of the outlet of the Lagoinha creek and avenue Dos Municípios, and the between Javari and Raimundo P Carvalho streets. Whit this, it is possible to notice how the population of the city of Uberlândia is sustained by flood events.

**Keywords:** Urban Floods – Runoff – Hydrological and Hydraulic Models

# SÍMBOLOS E SIGLAS

## SÍMBOLOS

### Letras romanas

$T_c$	Tempo de concentração;
L	Comprimento do talvegue;
S	Declividade da bacia;
$A_{imp}$	Área impermeável;
$L_g$	Comprimento da galeria;
$L_v$	Comprimento da via;
$L_{axial}$	Comprimento axial da bacia;
$A_i$	Área da bacia

## SIGLAS

CN	“Curver-number”;
VBA	“Visual Basic for Application”;
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Centre – River Analysis System
SCS	Serviço de Conservação do Solo;
UTM	“Universal Transversa de Mercator”;
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia;
UFU	Universidade Federal de Uberlândia.
HUSB	Hidrograma Urbana de Santa Bárbara
SWMM	Storm Water Management Model
MODCEL	Urban Flood Cell Model

## UNIDADES DE MEDIDAS

m	metro;
mm	milímetro;
%	Porcentagem;
Km	Quilômetro.

# ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 - Trecho da avenida em estudo.....	21
Figura 3.2 – Microbacias contribuintes ao trecho estudado da avenida Rondon Pacheco..	23
Figura 3.3 - Mapa geotécnico da bacia hidrográfica do córrego São Pedro: solo retrabalhado argiloso II (I), solo hidromórfico (II), retrabalhado argiloso I (III), e solo residual da formação Marília (IV).....	26
Figura 3.4 - Mapa da bacia hidrográfica de São Pedro com a classificação dos solos, de acordo com o método SCS. ....	27
Figura 3.5 – Classificação hidrológica dos solos da bacia hidrográfica do córrego São Pedro - método SCS. ....	28
Figura 3.6 – Microbacias contribuintes .....	29
Figura 3.7 – Imagem de inundação na avenida Rondon Pacheco no dia 07/12/2019, nas proximidades do viaduto Carlos Saraiva. Total precipitado de 61 mm de chuva em 2h. ....	31
Figura 3.8 – Imagem de inundação na avenida Rondon Pacheco no dia 08/12/2020, nas proximidades do hospital Santa Marta. Entre as 18h e 19h choveu 62,2mm e entre as 19h e 20h, 23mm.....	31
Figura 3.9 – Imagem de inundação na avenida Rondon Pacheco no dia 07/10/2021, nas proximidades do encontro com a avenida Anselmo Alves dos Santos e imagem tomada sobre o viaduto Carlos Saraiva. Total de 35,2 mm de chuva acumulada em 30 minutos.....	32
Figura 3.10 – Imagem de inundação na avenida Rondon Pacheco no dia 22/01/2022, nas proximidades do encontro com a rua Maria Vilela Ribeiro. Total de 75,4 mm de chuva acumulada em 2 h.....	32
Figura 3.11 – Imagem de inundação no dia 22/01/2022, na região do Praia Clube. Note-se o elevado nível do rio Uberabinha, no canto direito da foto. Total de 75,4 mm de chuva acumulada em 2 h.....	33

Figura 3.12 – Hietograma da chuva de 16/01/2022, construído a partir dos registros históricos da estação climatológica da UFU.....	34
Figura 3.13 – Hietogramas adimensionais de Huff para 50% de probabilidade: curva preta (primeiro quartil), curva vermelha (segundo quartil), curva verde (terceiro quartil) e curva azul (quarto quartil).....	34
Figura 3.14 – Distribuição de galerias de água pluvial na bacia do córrego São Pedro.....	42
Figura 3.15 – Seção transversal da galeria subterrânea do córrego São Pedro, no início do trecho analisado .....	43
Figura 3.16 – Seção transversal da galeria subterrânea do córrego Jataí, no encontro com a avenida Rondon Pacheco .....	45
Figura 3.17 – Seção transversal da galeria subterrânea do córrego Lagoinha, no encontro com a avenida Rondon Pacheco .....	45
Figura 3.18 – Janela de cadastro de precipitação e de cálculo do hietograma .....	47
Figura 3.19 – Janela de cadastro dos dados da bacia e de cálculo do tempo de concentração .....	48
Figura 3.20 – Janela com os resultados, com destaque para o hidrograma final.....	49
Figura 3.21 – Planilha EXCEL com resumo dos resultados e dos dados de entrada para uma microbacia.....	50
Figura 3.22 – Relevo gerado a partir do MNT da região de estudo .....	54
Figura 3.23 – Relevo gerado a partir do MNT corrigido da região de estudo.....	55
Figura 3.24 – Detalhe do relevo no trecho final da avenida Rondon Pacheco. Note-se a extensa zona de várzea (já urbanizada) à esquerda .....	56
Figura 3.25 – Detalhe do relevo no trecho final do estudo, com detalhe para o cruzamento entre as avenidas Rondon Pacheco e Anselmo Alves dos Santos .....	56
Figura 3.26 – Ras-Mapper do HEC-RAS 6.3, obtido pela importação do MNT na extensão .flt.....	58
Figura 3.27 – Ras-Mapper do HEC-RAS 6.3, com destaque para a zona de escoamento (flow area) que abrange a área passível de ser afetada pela inundação .....	58



Figura 3.28 – Detalhe das condições de contorno no trecho final da avenida Rondon Pacheco.....	59
Figura 3.29 – Detalhe das condições de contorno no trecho inicial do estudo.....	60
Figura 4.1 - Traçado dos comprimentos axiais das microbacias.....	62
Figura 4.2 - Superposição do mapa de uso do solo (imagem de satélite) e mapa das classes hidrológicas do solo.....	65

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Microbacias contribuintes .....	24
Tabela 3.2 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas .....	36
Tabela 4.1 - Comprimentos axiais e comprimentos das vias principais do lado esquerdo.	63
Tabela 4.2 - Comprimentos axiais e comprimentos das vias principais do lado direito. ....	64
Tabela 4.3 - Comprimentos axiais e comprimentos das vias principais do lado esquerdo.	66
Tabela 4.4 - Comprimentos axiais e comprimentos das vias principais do lado esquerdo.	67
Tabela 4.5 - Declividade das microbacias do lado direito.....	69
Tabela 1 - Declividade das microbacias do lado esquerdo.....	70
Tabela 4.7 - Porcentagem de vazão veiculada nas galerias das microbacias do lado direito. .....	71
Tabela 4.8 - Porcentagem de vazão veiculada nas galerias das microbacias do lado esquerdo.....	72

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
1.1 JUSTIFICATIVAS.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
CAPÍTULO 2 .....	14
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 INUNDAÇÕES URBANAS.....	14
2.2 ESTUDOS CIENTÍFICOS SOBRE SIMULAÇÃO DE INUNDAÇÕES URBANAS .....	15
CAPÍTULO 3 – .....	20
METODOLOGIA.....	20
PARTE I – MODELAGEM HIDROLÓGICA .....	20
3.1 ÁREA DE ESTUDO .....	20
3.2 IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DE MICROBACIAS CONTRIBUINTES	22
3.3 MAPEAMENTO DOS TIPOS DE SOLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DE SÃO PEDRO.....	25
3.4 MAPA DE USO DO SOLO .....	29
3.5 ESCOLHA DA PRECIPITAÇÃO UTILIZADA NO ESTUDO .....	30
3.6 TRANSFORMAÇÃO CHUVA-VAZÃO.....	35
3.7 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DAS MICROBACIAS.....	39
3.8 APROXIMAÇÃO PARA EFICIÊNCIA DAS GALERIAS.....	40
3.9 O MODELO COMPUTACIONAL CHUVA-VAZÃO .....	46
PARTE II – MODELAGEM HIDRÁULICA .....	50
3.10 – EQUAÇÕES GOVERNANTES .....	50
3.11 – O MODELO NUMÉRICO DE TERRENO (MNT) OU MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE).....	52
3.12 - O MODELO COMPUTACIONAL .....	57
CAPÍTULO 4 .....	61

RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
PARTE I – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS.....	61
4.1 COMPRIMENTOS AXIAIS DAS MICROBACIAS CONTRIBUINTES .....	61
4.2 - CÁLCULO DA CURVA NÚMERO DAS MICROBACIAS .....	64
4.3 - DECLIVIDADE DAS MICROBACIAS CONTRIBUINTES .....	67
4.4 – EFICIÊNCIA DAS GALERIAS .....	70
4.5 - HIDROGRAMAS GERADOS PELO MODELO COMPUTACIONAL CHUVA- VAZÃO .....	72
PARTE II – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS .....	73
4.6 – PROFUNDIDADES.....	73
4.7 – VELOCIDADES .....	82
4.8 – TENSÕES CISALHANTES SOBRE O PAVIMENTO .....	86
CAPÍTULO 5 .....	89
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	89
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES .....	89
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>91</b>
ANEXO I – HIDROGRAMA DA MICROBACIA AVENIDA ANSELMO ALVES DOS SANTOS (MONTANTE). .....	94
ANEXO II– HIDROGRAMA DA MICROBACIA DO EXUTÓRIO DO CÓRREGO LAGOINHA. ....	94
ANEXO III – HIDROGRAMA DA MICROBACIA AVENIDA RONDON PACHECO (MONTANTE). ....	94
ANEXO IV – HIDROGRAMAS DAS MICROBACIAS LOCALIZADAS DO LADO DIREITO DA VIA. ....	95
ANEXO V – HIDROGRAMAS DAS MICROBACIAS LOCALIZADAS DO LADO ESQUERDO DA VIA. ....	101
ANEXO VI – MAPA DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS .....	106

# Introdução

## 1.1 JUSTIFICATIVAS

A maioria das cidades brasileiras necessitam de pesquisas que sustentem medidas para prevenir e/ou solucionar problemas relacionados à drenagem de águas pluviais, uma vez que a urbanização aumenta potencialmente as inundações, especialmente através da impermeabilização do solo. A impermeabilização contribui de forma decisiva para amplificar as vazões de cheia, não apenas por dificultar a infiltração e aumentar o escoamento superficial, mas também pela redução dos tempos de concentração das microbacias. Nesse caso, picos de cheia também são antecipados.

O alagamento de vias urbanas põe em risco não só o trânsito, mas também a vida de pedestres, motoristas e motociclistas. Em condições amenas, deixa um rastro de prejuízos econômicos afetando pavimentos, veículos e edificações adjacentes. A veiculação de grandes vazões pela superfície dos pavimentos tende a amplificar as tensões cisalhantes causadas pelo escoamento. O resultado disso é a erosão das camadas superiores do pavimento, como destacamento de placas asfálticas em casos mais críticos. O arraste de veículos e de resíduos sólidos é outro fator de risco durante os eventos de inundações de vias.

A amplificação das inundações urbanas tem origem na impermeabilização dos lotes. No entanto, também existem falhas de planejamento na elaboração, aprovação e execução dos loteamentos. Um loteamento com lotes pequenos, acaba por facilitar a impermeabilização geral de uma gleba. A infiltração da água da chuva é limitada devido à falta de áreas verdes permeáveis, como praças e parques.

Fundos de vales urbanizados normalmente apresentam avenidas que margeiam um curso de água natural. À medida que a área se torna mais urbanizada, esses cursos de água normalmente estão retificados e canalizados, com seções aberta ou fechada. Lateralmente esses canais são alimentados por galerias de água pluvial que drenam as microbacias adjacentes. Todavia, devido à falta de galerias, subdimensionamento ou entupimento das bocas de lobo, uma grande quantidade de água atinge o fundo do vale a partir da superfície, causando inundações nessas avenidas. Dessa forma, mesmo nos fundos de vale,

principalmente com córregos canalizados em seção fechada, é possível haver avenidas funcionando como canais, esse é um problema que ocorre na avenida Rondon Pacheco, na cidade de Uberlândia-MG.

A cidade de Uberlândia vem passando por uma plena expansão, segundo um estudo divulgado no ano de 2022 pelo Centro de Pesquisas Econômico-Sociais da Universidade Federal de Uberlândia, nos últimos 11 anos, a região do município cresceu 1,11% ao ano, ritmo médio acima do registrado em Minas Gerais (0,81% a.a.) e no Brasil (1,03%a.a.), Minuncio (2022). Diante deste cenário, Uberlândia tem apresentado recorrentes episódios de alagamento de ruas e avenidas, principalmente na avenida Rondon Pacheco.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta um estudo do escoamento que ocorre na avenida Rondon Pacheco, partindo de um cenário histórico crítico de chuva intensa. Considerando a avenida como um canal e as ruas perpendiculares como afluentes e usando modelos hidrológicos e hidráulicos, obteve-se a simulação do escoamento de água superficial pela avenida, mapeando os setores onde as profundidades, velocidades e as tensões cisalhantes são mais elevadas. Esse mapeamento é importante por indicar as principais zonas de risco de arraste de veículos, além de indicar os setores de maior e menor lâmina de água.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Principal**

O objetivo principal deste trabalho é simular o escoamento de água de origem pluvial sobre o pavimento da avenida Rondon Pacheco, em Uberlândia-MG. Esse escoamento, comportando a avenida como um canal largo, tem sido verificado frequentemente durante chuvas intensas na cidade.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos citam-se:

Como objetivos específicos citam-se:

- a) Estimativa das vazões geradas nas microbacias contribuintes às avenidas, em decorrência de eventos de precipitação com hietogramas conhecidos (pré-fixados como dado de entrada);
- b) Modelagem digital do terreno das microbacias drenadas pelo córrego São Pedro, que escoam sob a referida avenida. O trecho de análise está limitado entre o cruzamento com a avenida João Naves de Ávila e o exutório do córrego São Pedro, no rio Uberabinha. Trata-se do trecho onde os efeitos das inundações são recorrentemente mais graves.
- c) Estimativa dos hidrogramas gerados nas microbacias.
- d) Mapeamento de profundidades, de velocidades e de tensões cisalhantes ao longo da avenida Rondon Pacheco. Indicação da envoltória de inundação, marcando os locais mais vulneráveis à inundação.

# CAPÍTULO 2

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INUNDAÇÕES URBANAS

As inundações urbanas são cada vez mais agravadas pelo avanço da urbanização, e em cidades brasileiras, os prejuízos causados por esses eventos têm aumentado exponencialmente, diminuindo a qualidade de vida e o valor das propriedades, na medida em que podem amplificar riscos para vida humana.

Faria e Pedrosa (2005) citam que durante o processo de urbanização, a compactação e impermeabilização do solo tem como consequências diretas, a diminuição da infiltração e aumento do escoamento superficial, que pode levar à ocorrência de inundações nas áreas a jusante.

Segundo Tucci (2001), as bacias hidrográficas, em casos extremos, podem ter sua vazão de pico aumentada em até seis vezes o valor verificado em condições naturais, em decorrência de alterações no escoamento superficial, por consequência da urbanização sem planejamento.

Para evitar problemas na drenagem urbana é necessário medidas de caráter preventivo, como, leis de uso e ocupação do solo, disciplinamento da ocupação urbana, fiscalização intensa, manutenção de áreas verdes, sistema eficiente de manutenção de obras de drenagem, sistema de ações civis para minimizar os impactos das inundações, entre outros.

De acordo com Canholi (2005), as medidas de controle e prevenção de fenômenos como enchentes e os seus possíveis danos econômicos e sociais, podem ser classificadas de acordo com a sua natureza, materiais e medidas estruturais aplicadas e outros métodos considerados não estruturais.



Em relação ao contexto de medidas contra inundações urbanas, Tucci (1997) cita que, um Plano Diretor de Drenagem Urbana deve buscar o planejamento da distribuição da água pluvial no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana, compatibilizando esse desenvolvimento e a infraestrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais. Além de controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições nas áreas de alto risco e convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco. O planejamento da drenagem urbana exige o uso de modelos matemáticos para previsão de vazões de projeto, dimensionamento adequado de condutos e áreas destinadas ao amortecimento de cheias. A verificação de sistemas de drenagem pré-existentes, onde se enquadra a estimativa de inundações, também demanda aplicação desses modelos.

Em linhas gerais, esse tipo de cálculo demanda dois tipos de modelos: o hidrológico e o hidráulico. O modelo hidrológico lida com a transformação de chuva em vazão de escoamento superficial. Assim, a chuva é imposta como impulso inicial que alimenta as equações de transformação. O modelo hidráulico utiliza as vazões, calculadas pela modelagem hidrológica, como dados de entrada para quantificar a propagação de cheias ao longo de canais, vias e terrenos. Diante disso, nos itens seguintes, são abordados estudos científicos que aplicaram modelos matemáticos hidrológicos e hidráulicos para previsão de inundações.

## **2.2 ESTUDOS CIENTÍFICOS SOBRE SIMULAÇÃO DE INUNDAÇÕES URBANAS**

A modelagem hidrológica dos processos de escoamento superficial e da produção de sedimentos em bacias hidrográficas tem sido cada vez mais utilizada, dada a possibilidade de poder caracterizar os impactos que as mudanças climáticas e as ações antrópicas têm exercido sobre o meio ambiente (SANTOS, 2009). Por outro lado, têm-se também a importância dos modelos hidráulicos, visto que permitem o envolvimento de uma série de parâmetros variáveis e apresenta resultados confiáveis. Diante disto, percebe-se a importância de estudos de simulações através de modelos hidrológicos e hidráulicos.

Sobre simulações de inundações em áreas urbanas, verificou-se que, Rezende (2012) apresentou uma metodologia numérica para realizar previsões de áreas sujeitas a inundações em sub-bacias urbanas, baseando-se em três tipos de métodos fundamentais,

modelo hidrológico, modelo hidráulico e modelo do terreno. Os modelos hidráulicos utilizados foram o Standard Step Method, que permitiu a obtenção das profundidades iniciais, e o modelo de onda cinemática, que simulou a propagação da cheia do canal.

Essa metodologia utilizou da caracterização da bacia, do uso e ocupação do solo, da equação da chuva, das características geométricas do canal, e da distribuição temporal da tormenta. Assim, foi feito a aplicação do estudo na bacia do córrego Barrinha, localizada na cidade de Rio Verde -GO. Esse trabalho frisa a importância da utilidade da metodologia apresentada na apresentação de Planos Diretores de Drenagem Urbana, visto a possibilidade de se estimar zonas inundadas geradas por vários cenários de urbanização. A dificuldade do estudo se encontrou em coleta de dados, como o mapa completo de curvas de nível, mapa pedológico da área urbana, e a ausência da equação da chuva.

Surwase (2019) também realizou uma simulação de inundação da área de uma pequena bacia urbana localizada na cidade de Hyderabad, em Telangana, utilizando três modelos de diferentes abordagens para avaliação do risco de inundação da área.

Nesse trabalho, para a simulação do comportamento do fluxo de água em canais abertos, utilizou-se o software HEC-RAS. Também utilizaram o modelo PCSWMM que é um modelo hidrológico e hidráulico usado para avaliar o escoamento de um evento de chuva e o comportamento do fluxo de água canalizado. E por fim, utilizaram o modelo chamado HAND, esse baseia-se no terreno e foi usado para identificar as áreas vulneráveis de baixa altitude do local. Os resultados obtidos mostraram que ambos os modelos são eficientes, e que eles se complementam.

Caixeta (2013), estimou e delimitou áreas inundáveis do córrego do Monjolo, em Patos de Minas, e também verificou os efeitos, na macrodrenagem da bacia, de diferentes taxas de áreas permeáveis na ocupação dos loteamentos, a partir da aplicação de modelos hidrológicos pelo método Santa Bárbara, e modelo hidráulico cujo código utiliza o método de onda cinemática, na simulação computacional de enchentes, fazendo isso para diferentes cenários de urbanização da área remanescente a montante da bacia.

Dessa forma simulou situações extremas de enchentes, e constatou o surgimento de inundações adjacentes ao canal artificial, comprovando que, para determinados cenários de

precipitação e urbanização da bacia, ocorre o transbordamento em alguns pontos da sua extensão. A partir dos resultados, sugeriram que a taxa de ocupação mínima da bacia deveria ser de 55%, de forma a evitar inundações na bacia do córrego do Monjolo em um cenário com 100% de urbanização da área remanescente. Nesse trabalho, também se percebeu a carência de dados confiáveis para o monitoramento.

Nota-se a carência de dados dos municípios referentes à drenagem, o que é bem preocupante, visto que esta é uma barreira ao planejamento eficiente da drenagem urbana.

Já Vergütz (2016), apresentou um trabalho o qual avaliou a bacia do córrego de São Pedro, localizada na cidade de Uberlândia-MG, a partir do software HEC-RAS, e fez propostas de instalação de reservatórios de retenção em pontos estratégicos, com auxílio do HEC-HMS, verificando a eficiência desses reservatórios.

Nesse estudo, as simulações foram feitas considerando o cenário de pré-urbanização da época em questão, ano de 2016, e o cenário com a inserção dos reservatórios de retenção propostos. O resultado obtido mostrou que mesmo com a inserção de reservatórios de retenção nas sub-bacias do São Pedro Alto e Lagoinha, o problema de inundação da área não será resolvido.

Para a avaliação de situações de áreas verdes e áreas de preservação permanente, Souza (2008) aplicou seu estudo na bacia do córrego das Lajes, localizada na cidade de Uberaba-MG, e com isso verificou a influência destas áreas na atenuação das vazões de pico e volumes de escoamento superficial. Os hidrogramas de cheia para as bacias que não possuem reservatórios de retenção foram calculados pelo Método Santa Bárbara, já para as bacias que possuem esses reservatórios, além de usar o Método Santa Bárbara, os hidrogramas também foram calculados pelo Método de Pulz, pelas equações de Saint-Venant.

Os resultados obtidos mostram um índice de qualidade ambiental baixo, dessa forma, concluiu que a quantidade de APP e áreas verdes presentes na referida bacia são insuficientes tanto em termos de qualidade ambiental, quanto em termos de macrodrenagem, o que frisa a importância da preservação de outras áreas permeáveis.

Portanto, esse estudo propôs a implantação de novas áreas verdes, o que apresentou uma melhora significativa em relação à situação atual.

Madhuri et al (2021), avaliou a profundidade de inundação e a eficácia de várias estratégias de atenuação da inundação, e analisou o risco das construções. Utilizou-se o software HEC-RAS 2D, para a simulação da propagação da cheia, estimando assim as áreas submersas, a profundidade da lâmina de água, e o risco de construção.

O estudo foi aplicado para um local na comunidade de Hyderabad, localizada na Índia. Os resultados mostraram que há alto risco de construção local, dessa forma o trabalho propõe estratégias que focam em ajudar os residentes da região estudada a permanecerem em alerta e serem avisados sobre calamidades futuras, e combater-las em tempo.

Liang et al (2015) abordou um novo sistema de modelagem hidrodinâmica integrada de alto desempenho (HI-PIMS). Esse é um software que simula inundação urbana, resolvendo equações bidimensionais. No presente trabalho, para efeito de teste de seu desempenho, essa ferramenta foi aplicada para prever inundações devido à eventos de chuva em Glasgow, na Escócia, e também criou um hipotético evento de inundação em Thamesmead.

Esse método possibilitou a obtenção de resultados positivos, que indicaram benefícios potenciais para a modelagem de alta resolução de inundação urbana, e um nível muito melhor de desempenho sem comprometer a qualidade do resultado.

Por outro lado, Miguez et al (2017), apresentaram um modelo de inundação urbana, chamado MODCEL – Urban Flood Cell Model, trata-se de um modelo hidrológico-hidrodinâmico. Esse estudo apresentou a capacidade do modelo o comparando primeiramente com um teste proposto pela Agência Ambiental Britânica, e em seguida com o Modelo de Gestão de Águas Pluviais (SWMM). Foi aplicado na simulação de inundação da cidade de Noale, localizada na bacia hidrográfica do rio Marzenego, em Veneza.

Os resultados indicaram a capacidade do MODCEL em reproduzir resultados adequados e representativos, com baixo custo computacional e menor necessidade de informação. Apenas uma fragilidade do modelo foi verificada, e esta refere-se à aplicação deste modelo

em áreas onde ocorrem níveis significativos de inundações, nesse caso, espera-se que modelos 2D produzam melhores resultados.

No trabalho feito por Kaoje (2017), foi demonstrado a eficiência da aplicação das técnicas HEC-RAS e GIS no mapeamento de áreas suscetíveis a inundação. Os dados foram analisados com o auxílio do aplicativo ArcGIS 10.1 com extensão da ferramenta HEC-GeoRAS e HEC-RAS 4.1.

O estudo foi aplicado na área de Lagos, na Nigéria. Como resultado foi obtido o mapa de vulnerabilidade à inundação, e com isso foi possível concluir que a maioria das áreas em Lagos correm risco de alagamento. Este trabalho é importante, visto que pode ajudar no planejamento, visando evitar esse tipo de desastre.

Diante disso, é possível verificar a variedade de metodologias que podem ser usadas em simulações de inundações urbanas.

---

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA

Em linhas gerais, este trabalho pode ser dividido em duas etapas, uma hidrológica e outra hidráulica. Na primeira, foram levantados os dados de alimentação do modelo hidrológico de transformação chuva-vazão, cujo produto final são os hidrogramas de vazão afluentes à avenida Rondon Pacheco. Na segunda etapa, foi realizada a simulação hidráulica do escoamento transiente sobre a avenida e ruas adjacentes, com modelo computacional baseado nas equações de Saint Venant bidimensionais. Os produtos finais são mapas de profundidades, de velocidade e de tensões cisalhantes.

Cada etapa de modelagem envolve um conjunto de procedimentos que, para serem detalhados, torna conveniente a divisão do capítulo de Metodologia em duas partes. Na primeira parte serão abordados os aspectos relacionados com os modelos hidrológicos, na sua abrangência matemática e computacional. Na segunda parte, serão abordados os aspectos da modelagem hidráulica.

#### PARTE I – MODELAGEM HIDROLÓGICA

### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho é a avenida Rondon Pacheco, localizada na cidade de Uberlândia–MG, que sofre com inundações frequentes. Este estudo faz uma analogia das vias de tráfego comportando-se como uma rede de drenagem em uma bacia urbana. Assim, a avenida Rondon Pacheco comporta-se como um canal principal, cujos afluentes são as ruas e avenidas interligadas a ela.

O presente estudo foi aplicado à avenida Rondon Pacheco, no trecho sob o elevado da avenida João Naves de Ávila até a foz do córrego de São Pedro, no rio Uberabinha, conforme está ilustrado na Figura 3.1. A escolha baseou-se no fato deste ser o trecho com eventos de inundação recorrentemente mais graves, com histórico de arraste de veículos e destruição do pavimento. Fazendo analogia da avenida com um corpo de água superficial, o trecho corresponderia ao médio e baixo curso de um rio, onde são maiores as contribuições laterais acumuladas, ou seja, as vazões que são veiculadas.



**Figura 3.1 - Trecho da avenida em estudo**

**Fonte: Autor (2023).**

A referida avenida possui uma extensão de 6,64 km, com início nos bairros Brasil e Custódio Pereira e término nos bairros Patrimônio e Tabajaras. Encontra-se na bacia hidrográfica do córrego de São Pedro, a qual está localizada numa posição relativamente central no perímetro urbano de Uberlândia. A bacia responde pela drenagem de três córregos, sendo o principal o São Pedro, que recebe água dos córregos Jataí e Lagoinha.

---

O local sofre com inundações frequentes, e as principais causas decorrem da ocupação urbana intensa que levou à impermeabilização excessiva do solo e também devido à morfometria da bacia hidrográfica do córrego de São Pedro. Além do mais, na década de 1980, o córrego de São Pedro mudou de sua forma natural com um canal fechado sobre o qual foi construída a avenida Rondon Pacheco.

A avenida Rondon Pacheco é uma via muito importante, que dá acesso a vários bairros da cidade. Trata-se de uma das principais vias tronco da cidade. Atualmente, além de funcionar como corredor de trânsito, a mesma abriga estabelecimentos voltados ao entretenimento, supermercados, concessionárias de veículos, agências bancárias, quadras esportivas, restaurantes, bares e lanchonetes. Diante disso, eventos severos de inundações nessa via trazem não apenas perdas materiais, mas risco a segurança da população.

### **3.2 IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DE MICROBACIAS CONTRIBUINTES**

De acordo com Tucci (2004):

“A área da bacia hidrográfica é fundamental para definir o potencial de geração de escoamento da bacia hidrográfica, uma vez que o seu valor multiplicado pela lâmina da chuva precipitada define o volume de água recebido pela bacia. É obtida através da projeção vertical da linha do divisor de águas sobre o plano horizontal.”

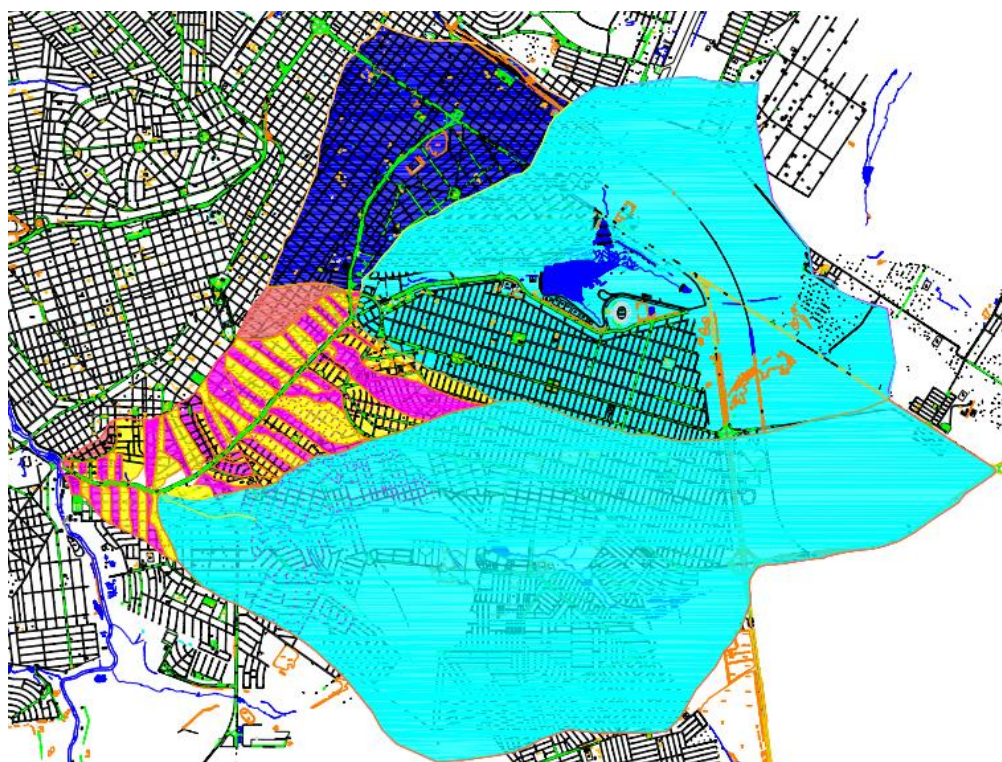
Diante disso, o mapa planialtimétrico de Uberlândia, em arquivo DWG, constituiu a base inicial deste trabalho. Esse mapa foi cedido pela Prefeitura Municipal de Uberlândia (PMU) e apresenta resolução vertical de 1 m para as curvas de nível. Nele, merece destaque a representação do relevo, mediante as curvas de nível, visto que são elas que determinam os divisores de água. Logo, a área de contribuição de cada microbacia foi levantada delimitando-se os divisores de água.



Neste trabalho, a avenida Rondon Pacheco é considerada tendo comportamento de um canal. Diante disso, as ruas que interceptam a avenida foram consideradas como afluentes do canal principal, que no caso é a superfície da referida avenida.

Após a identificação das vias contribuintes e a identificação dos caminhos seguidos pelo escoamento, traçaram-se os divisores de água das microbacias que compõem a bacia do córrego São Pedro. Nesse sentido, o trecho em estudo conta com 76 microbacias contribuintes, configuradas conforme a Figura 3.2 a seguir. Note que as microbacias do exutório do córrego Lagoinha, da Avenida Anselmo Alves dos Santos e a microbacia que fica a montante do trecho estudado, possuem áreas de contribuição elevadas em relação às demais.

**Figura 3.2 – Microbacias contribuintes ao trecho estudado da avenida Rondon Pacheco**



**Fonte: Autor (2023).**

Para padronização das nomenclaturas, o nome da microbacia corresponde à rua ou avenida que está interligada à avenida Rondon Pacheco. Além disso, foram divididas

em dois grupos, microbacias do lado direito da via e microbacias do lado esquerdo da via, como está apresentado na Tabela 3.1. Adotou-se também uma convenção, a qual estabelece que o lado direito da via é o lado referente a quem está seguindo na avenida, no sentido do exutório do córrego São Pedro.

A tabela abaixo auxilia na identificação das microbacias no mapa da figura 3.2, visto que seguem em ordem e de acordo com a convenção e padronização dos nomes adotadas nesse estudo.

**Tabela 3.1 - Microbacias contribuintes**

LADO DIREITO DA VIA	LADO ESQUERDO DA VIA
Rondon - montante	Av. João Naves de Ávila (esquerdo)
Av. João Naves de Ávila (direita)	Rua Modesta Maria
Rua Joaquim F. Braga	Rua Luiz Jesus
Rua Adelino Franco	Av. Anselmo Alves dos Santos
Rua Hort. Morais	Rua João Garcia
Rua Camilo Braga	Rua Edson Barros (Av. Salim Suad)
Rua Segismundo Morais	Av. Ubiratan de Castro
Rua José Morais	Rua Manoel dos Santos
Rua Geraldo Morais	Rua Paraúna
Rua Fco Zunpano/Rua Mário Ribeiro	Rua Vitalino R. Carmo
Rua Maria V. Ribeiro	Rua Nicodemos Alves dos Santos
Rua Joaquim Cordeiro	Rua Armando Lombardi
Rua Resende	Rua Rafael Lourenço
Rua Coronel Antônio Pereira	Rua Coronel Antônio Alves
Rua Quintino Bocaiúva	Rua dos Carrijos
Rua Tenente Virmondos	Rua Machado de Assis
Rua Machado de Assis	Rua Duque de Caxias
Rua Duque de Caxias	Rua Olegário Maciel
Rua Olegário Maciel	Rua Doutor Lacerda
Rua Doutor Lacerda	Rua Rio Preto
Rua Rio Preto	Rua Polidoro Freitas Rodrigues
Rua Padre Mário Porto	Rua Antônio Correia Jr.
Rua Santos Dumont	Rua Raimundo P. Carvalho
Rua Javari	Rua Abrão Calil
Rua Rodolfo Correia	Rua Teófilo Alves
Avenida Nicomedes Alves dos Santos	Avenida Nicomedes Alves dos Santos
Rua Augusto César	Rua Blanche Galassi (exutório do córrego Lagoinha)
Rua General Osório	Rua Belmira
Rua Felisberto Carrijo	Avenida Francisco Galassi
Rua Assaí Supermercados (cont. rua Benjamim M)	Rua Coronel Severiano
Rua Botafogo	Rua Ipanema
Rua Icaraí	Rua Leblon
Rua da Carioca	Rua Botafogo
Avenida dos Municípios	Rua Icaraí
Rua Tijuca	Rua da Carioca
Rua sem nome (Av. Hermes Fonseca Carneiro)	Avenida dos Municípios
Rua Sem. Salgado Filho	Rua da Tijuca
Avenida Afrânio Rodrigues da Cunha	Av. Hermes Fonseca Carneiro (dentro do Praia Clube)

Fonte: Autor (2023).

---

Na Tabela 3.1, algumas observações merecem destaque. A microbacia Rondonmontante refere-se à área drenada pela seção transversal que inicia o trecho em estudo da avenida. Por essa seção será introduzido o hidrograma que, no âmbito do modelo hidráulico de propagação, corresponde à condição de contorno de entrada. Trata-se de uma grande microbacia contribuinte, com área calculada em 5,36 km<sup>2</sup>. Além desta, merecem destaque as microbacias da Av. Anselmo Alves dos Santos e da rua Blanche Galassi, ambas do lado esquerdo, que possuem área de drenagem de 15,91 km<sup>2</sup> e 21,79 km<sup>2</sup>, respectivamente. Os exutórios dessas três grandes microbacias apresentam canal subterrâneo. Todavia, neste estudo, apenas serão consideradas as vazões veiculadas pela superfície das vias. As demais microbacias apresentam áreas pequenas, inferiores a 0,5 km<sup>2</sup>.

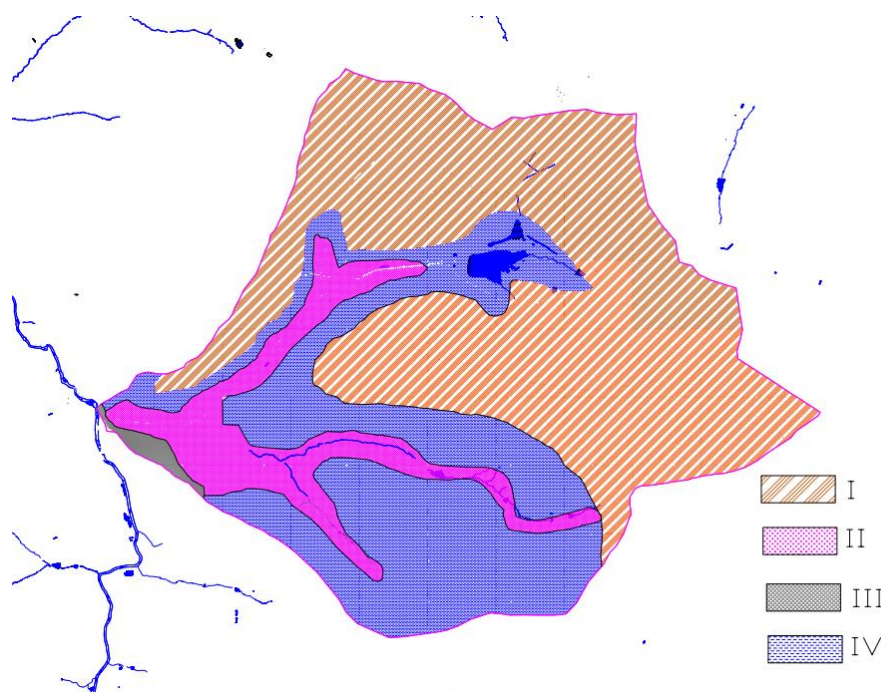
### **3.3 MAPEAMENTO DOS TIPOS DE SOLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DE SÃO PEDRO**

A classificação dos solos constituintes da bacia hidrográfica é importante, visto que influencia decisivamente no processo de infiltração da água e conseqüentemente no escoamento superficial.

A infiltração está relacionada com a passagem da água para o solo, sendo influenciada pelo tipo de solo, que determina a velocidade de infiltração. O mecanismo da infiltração ocorre de cima para baixo, ou seja, a água satura inicialmente a superfície e vai alterando posteriormente o perfil de umidade nas camadas mais profundas (TUCCI, 2004).

O estudo dos solos presentes na bacia hidrográfica de São Pedro baseou-se na dissertação de mestrado intitulada “Mapeamento Geotécnico Preliminar Em Escala De Semi-Detalhe (1:25.000) Da Área De Expansão Urbana De Uberlândia-MG”, elaborada por Andrade (2005). Tal trabalho apresentou o mapa dos materiais inconsolidados do perímetro urbano de Uberlândia, conforme mostrado no anexo VI, permitindo assim a identificação das características dos solos da bacia do córrego São Pedro.

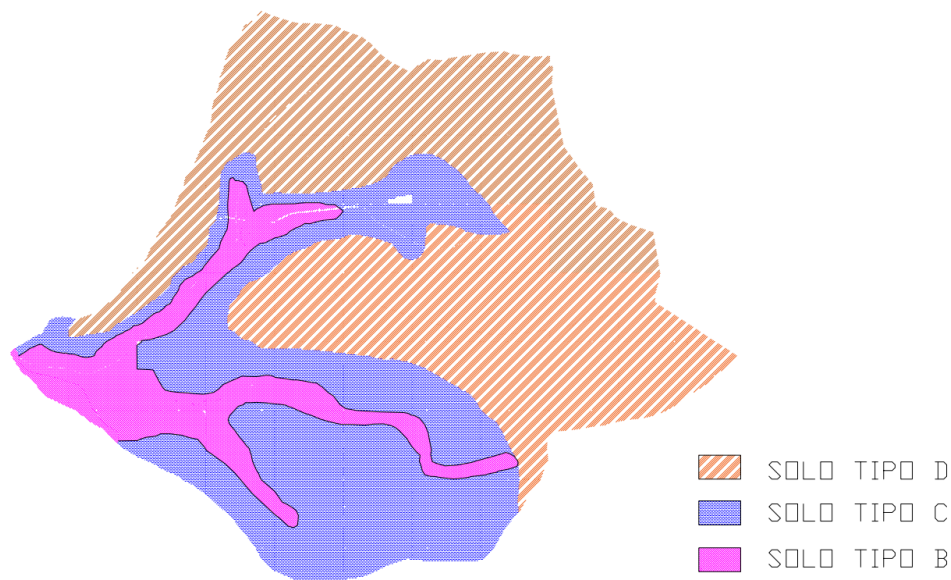
Dessa forma, a partir da superposição do mapa geotécnico e o mapa planialtimétrico de Uberlândia, foram identificados os materiais inconsolidados integrantes das microbacias contribuintes, os quais são, solo retrabalhado argiloso II, solo hidromórfico, retrabalhado argiloso I, e solo residual da formação Marília, conforme é apresentado na Figura 3.3.



**Figura 3.3 - Mapa geotécnico da bacia hidrográfica do córrego São Pedro: solo retrabalhado argiloso II (I), solo hidromórfico (II), retrabalhado argiloso I (III), e solo residual da formação Marília (IV)**

**Fonte: Autor (2023).**

A partir das informações obtidas, foi feita uma correlação das características dos materiais inconsolidados com a classificação de solos baseada no Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, *Soil Conservation Service* (SCS). Essa analogia, foi realizada com o auxílio do estudo de Nishiyama (1998), e indicou que os solos predominantes na bacia hidrográfica do córrego São Pedro, de acordo com o Método SCS, são os solos do tipo B, C e D, como está mostrado na Figura 3.4 a seguir.



**Figura 3.4 - Mapa da bacia hidrográfica de São Pedro com a classificação dos solos, de acordo com o método SCS.**

**Fonte: Autor (2023).**

De acordo com Mockus, 1972 (apud Sartori, 2005):

“As características ou definições dos grupos hidrológicos do solo, apresentadas pelo SCS, são:

Grupo B: Compreende os solos contendo moderada taxa de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa. Taxa mínima de infiltração: 3,81-7,62 mm/h (TR-55, 1986).

Grupo C: Compreende os solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com

textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração. Taxa mínima de infiltração: 1,27-3,81 mm/h (TR-55, 1986).

Grupo D: Compreende os solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão. Pertencem a este grupo, solos com grande permanência de lençol freático elevado, solos com argila dura ou camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície. Taxa mínima de infiltração: < 1,27 mm/h (TR-55, 1986).”

O mapa ilustrado na Figura 3.5, representa a superposição entre a imagem de satélite e os tipos de solos constituintes da bacia hidrográfica de São Pedro, baseado no Método SCS.



**Figura 3.5 – Classificação hidrológica dos solos da bacia hidrográfica do córrego São Pedro - método SCS.**

Fonte: Autor (2023).

### 3.4 MAPA DE USO DO SOLO

O levantamento de uso do solo foi realizado a partir da interpretação de imagem de satélite, pela plataforma Google Earth, como pode-se observar na Figura 3.6.

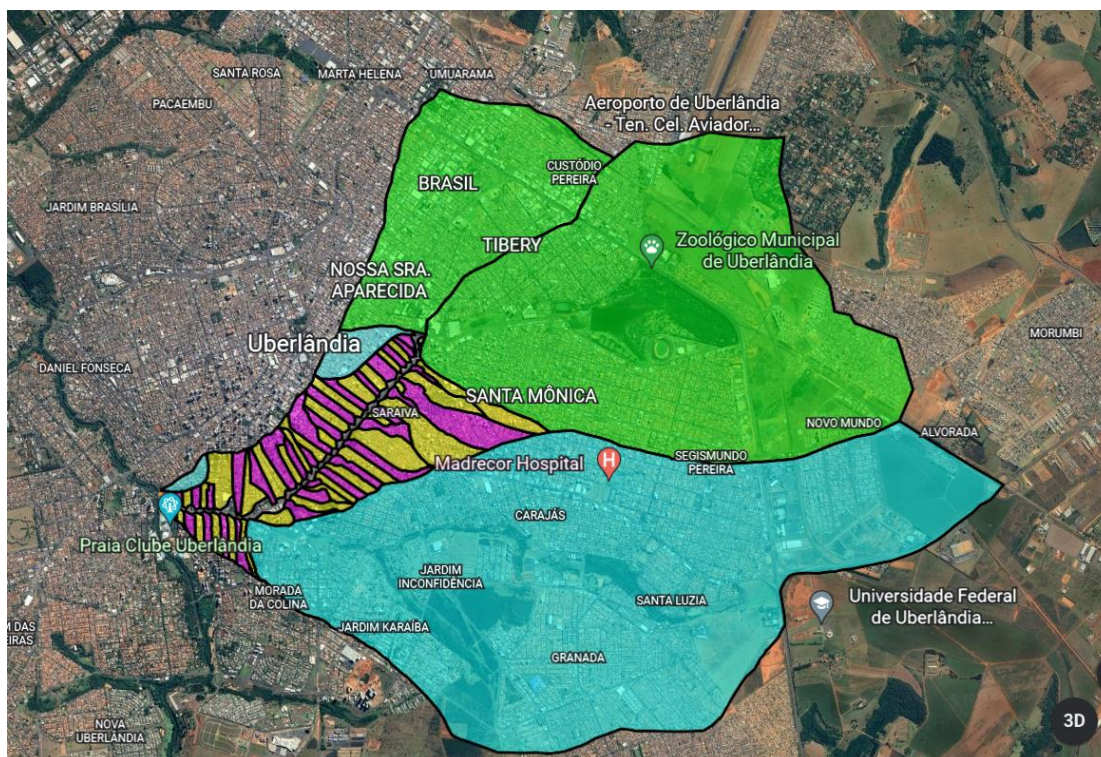


Figura 3.6 – Microbacias contribuintes

Fonte: Autor (2023).

Nas microbacias de pequeno porte (inferiores a  $0,5 \text{ km}^2$ ) identificou-se uso preponderantemente residencial, com elevada fração de área impermeável. Diante da dificuldade de identificação de diminutas áreas permeáveis e da suscetibilidade de impermeabilização das mesmas pela eventual vontade dos proprietários, considerou-se a fração de área permeável corresponde a 20% da área da microbacia. Isso foi obtido por analogia com o código de obras da cidade, que preconiza a impermeabilização máxima de 80% de cada lote, de acordo com a Lei Complementar nº 525, elaborada por Odelmo Leão em 2011. Nas microbacias Rondon-montante (córrego São Pedro), da avenida

---

Anselmo Alves dos Santos (córrego Jataí) e da rua Blanche Galassi (córrego Lagoinha), usos residenciais são preponderantes, porém dividindo espaço com usos comerciais. Nas bacias dos córregos Jataí e Lagoinha há terrenos baldios de grande porte, bem como grandes áreas verdes e parques.

### **3.5 ESCOLHA DA PRECIPITAÇÃO UTILIZADA NO ESTUDO**

Eventos críticos de inundação da avenida Rondon Pacheco têm sido frequentes, com recorrência praticamente anual. Normalmente esses eventos concentram-se entre os meses de outubro e dezembro, onde chuvas de maior intensidade incidem sobre a bacia do córrego São Pedro. A utilização do reservatório do Parque do Sabiá para amortecimento de cheias tem contribuído para reduzir a intensidade da inundação, principalmente no tocante às vazões oriundas da parte alta da bacia do córrego Jataí. Apesar disso, em função de sua localização muito a montante da bacia, o efeito atenuador do reservatório tem sido insuficiente para anular os eventos mais críticos sobre a avenida Rondon Pacheco. Isso porque a avenida recebe muitas contribuições laterais de microbacias intensamente impermeabilizadas, havendo deficiências na cobertura de microdrenagem por bocas de lobo e galerias, as quais veiculariam água para o canal subterrâneo da avenida Rondon Pacheco. Como essa veiculação é insuficiente, grande parte do escoamento superficial gerado extrapola as sarjetas, atingindo a avenida Rondon Pacheco superficialmente.

Na simulação de inundações, a precipitação é o impulso de entrada de qualquer modelo hidrológico. Por precipitação entende-se a altura pluviométrica total  $P(\text{mm})$ , sua duração e distribuição temporal. Essas informações são resumidas no diagrama que representa a variação do precipitado com o tempo, chamado de hietograma.

Apesar de várias equações de chuvas intensas já terem sido desenvolvidas para a cidade de Uberlândia (Justino, 2003; Francischet, 2012; Petrucci, 2019), este estudo optou por usar chuvas que impulsionaram eventos críticos de inundações reais. Nesse sentido, buscou-se por notícias em jornais e mídias locais, sobre os eventos de



inundação na avenida Rondon Pacheco, o que permitiu identificar as datas desses eventos. Alguns deles estão ilustrados no conjunto de imagens das Figuras 3.7 a 3.11.



**Figura 3.7 – Imagem de inundação na avenida Rondon Pacheco no dia 07/12/2019, nas proximidades do viaduto Carlos Saraiva. Total precipitado de 61 mm de chuva em 2h.**

**Fonte: Blog do baldinho (2019).**



Veículos na Rodon Pacheco durante alagamento registrado na via por conta de chuva em Uberlândia — Foto: Pedro Henrique Santana/ Arquivo Pessoal

**Figura 3.8 – Imagem de inundação na avenida Rondon Pacheco no dia 08/12/2020, nas proximidades do hospital Santa Marta. Entre as 18h e 19h choveu 62,2mm e entre as 19h e 20h, 23mm**

**Fonte: G1 Globo (2020).**



Avenida Rondon Pacheco em Uberlândia durante chuvas do último domingo (17) — Foto: Patricia Amaral/g1



**Figura 3.9 – Imagem de inundação na avenida Rondon Pacheco no dia 07/10/2021, nas proximidades do encontro com a avenida Anselmo Alves dos Santos e imagem tomada sobre o viaduto Carlos Saraiva. Total de 35,2 mm de chuva acumulada em 30 minutos.**

**Fonte: G1 Globo (2021).**



**Figura 3.10 – Imagem de inundação na avenida Rondon Pacheco no dia 22/01/2022, nas proximidades do encontro com a rua Maria Vilela Ribeiro. Total de 75,4 mm de chuva acumulada em 2 h.**

**Fonte: G1 Globo (2022).**



**Figura 3.11 – Imagem de inundação no dia 22/01/2022, na região do Praia Clube. Note-se o elevado nível do rio Uberabinha, no canto direito da foto. Total de 75,4 mm de chuva acumulada em 2 h.**

**Fonte: G1 Globo (2022).**

A partir da identificação das datas desses eventos críticos, realizou-se uma consulta ao portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que disponibiliza dados históricos de estações climatológicas disseminadas no território brasileiro. Além das datas noticiadas, também foram averiguados eventos próximos, com elevada altura pluviométrica. No caso específico, foram considerados os registros da estação automática da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), inserida dentro da bacia.

Nesse contexto, selecionou-se a precipitação de 16/01/2022, pois de acordo com os dados do INMET, a mesma indicou ser a mais crítica dos últimos anos, com hietograma ilustrado pela Figura 3.12. Esse hietograma registrou, em duas horas, um total precipitado de 75,4 mm, apresentando intensidade máxima de 0,91 mm/min durante a primeira hora do evento.

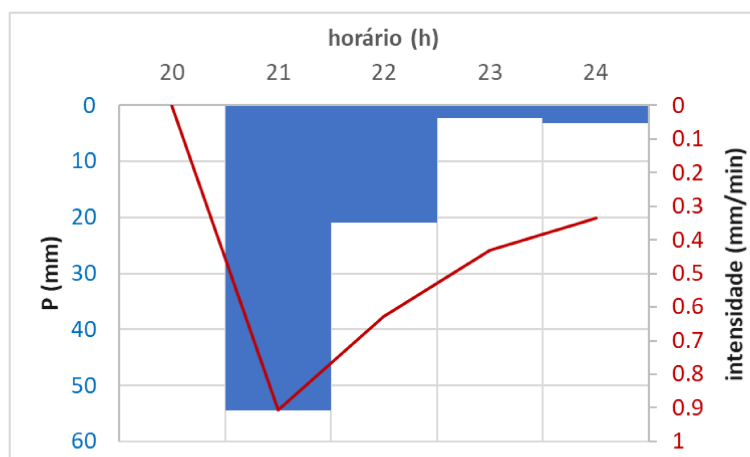


Figura 3.12 – Hietograma da chuva de 16/01/2022, construído a partir dos registros históricos da estação climatológica da UFU

Fonte: Autor (2023).

Considerando o hietograma da Figura 3.12, percebe-se que a maior intensidade ocorre no início do evento, o que condiz com o hietograma adimensional de Huff para o primeiro quartil (Figura 3.13). Esse hietograma foi então aplicado para representar a distribuição temporal da chuva.

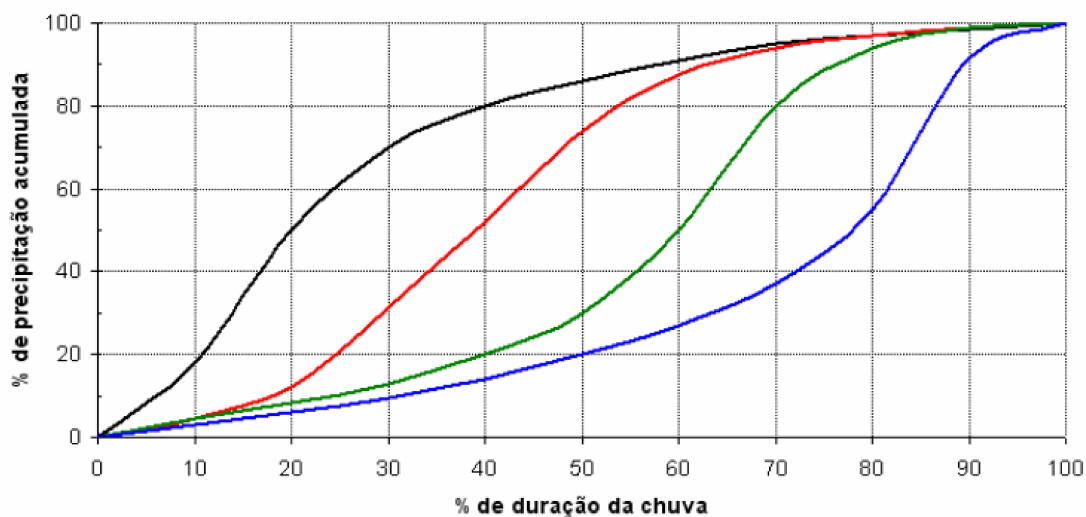


Figura 3.13 – Hietogramas adimensionais de Huff para 50% de probabilidade: curva preta (primeiro quartil), curva vermelha (segundo quartil), curva verde (terceiro quartil) e curva azul (quarto quartil).

---

Em termos espaciais, considerou-se distribuição uniforme da tormenta. Ou seja, o hietograma foi considerado para todas as microbacias contribuintes. Nesse contexto, optou-se por essa consideração face às incertezas quanto às variações da chuva no espaço. Trata-se de um procedimento que, em geral, majora o escoamento superficial gerado na bacia. Por outro lado, essa hipótese vai a favor da segurança quando a intenção é fazer o mapeamento de áreas de risco, o que vai de encontro com a ideia desta pesquisa.

### **3.6 TRANSFORMAÇÃO CHUVA-VAZÃO**

A figura gráfica que relaciona o tempo e a vazão decorrente desse evento em uma dada bacia hidrográfica se chama hidrograma. Neste estudo, a transformação chuva-vazão foi feita através do método Santa Bárbara.

A precipitação definida anteriormente, as áreas, a declividade média e os comprimentos axiais das microbacias, e os valores de CN foram os principais dados de entrada para o modelo chuva-vazão em questão.

O número de deflúvio, mais conhecido como curva número CN, é um parâmetro empírico que está vinculado ao potencial de uma superfície gerar escoamento superficial. Seu valor varia teoricamente de 0 a 100, com 0 representando total permeabilidade da água pluvial pela superfície do terreno, e 100 representando total impermeabilidade da superfície do terreno (Sartori, 2004 apud Rezende, V; Ribeiro, V; Mendes, Y, 2018).

O valor de CN é proporcional à fração impermeabilizada da bacia, assim quanto maior o número CN, mais escoamento superficial tende a ser gerado nessa área. O valor máximo teórico corresponde a CN=100, no entanto é comum limitar este valor em 98, o que somente ocorre em zonas urbanas intensamente impermeabilizadas, como pátios concretados ou setores de estacionamentos asfaltados. O número CN atua como uma espécie de coeficiente de escoamento superficial.

A determinação dos valores de CN são feitas a partir de valores tabelados, amplamente difundidos na literatura especializada, como apresenta a Tabela 3.2.

**Tabela 3.2 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas**

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

Fonte: Tucci et al, 1993.

Nota-se que a obtenção do CN de uma área  $A_i$  parte da combinação entre as classes hidrológicas do solo (A, B, C, D) com os usos do solo. Daí a importância do mapeamento prévio dos tipos de solo e dos usos do solo. O número CN composto é calculado a partir de uma média ponderada entre as diferentes áreas ( $A_i$ ), de acordo com a equação 1. Trata-se de um parâmetro representativo da bacia. Esse cálculo em geral deve ser feito, visto que as bacias possuem diferentes tipos e coberturas de solo.

$$CN_{composto} = CN_1 * \frac{A_1}{A} + CN_2 * \frac{A_2}{A} + \dots + CN_n * \frac{A_n}{A}$$

(1)

Note que as relações entre as diversas sub áreas ( $A_i$ ) e a área total da bacia (A) atuam como pesos de ponderação. Uma vez calculado, o  $CN_{composto}$  é aplicado num conjunto

de equações que calculam a parcela de precipitação que é transformada em escoamento superficial e depois, as que transformam esse escoamento superficial em vazão. Essas expressões foram baseadas no método Santa Bárbara (Stubchaer, 1980).

Em linhas gerais, o Santa Bárbara trata a bacia como uma zona de amortecimento que recebe o impulso da precipitação, estima a parcela de chuva que infiltra no solo e a parcela que é convertida em escoamento superficial. O Método Santa Bárbara é acoplado com o Método do *Soil Conservation Service* (SCS, 1972), utilizando os usos e tipos de solo para estimar o curva-número (CN), fator que regula essa conversão. O escoamento superficial é atenuado na bacia, chegando no exutório com certa defasagem. No caso deste trabalho, são computados os hidrogramas de vazões afluentes ao reservatório, durante e imediatamente após eventos de precipitação.

Além do hietograma que impõe a variação temporal da precipitação, o Método também exige alguns parâmetros das bacias, tais como área total, área impermeável, tempo de concentração ( $t_c$ ). O tempo de concentração é um fator solicitado por muitos modelos concentrados de transformação chuva-vazão. Teoricamente, o  $t_c$  expressa o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento no ponto de interesse.

Para inicializar o método Santa Bárbara, são necessários cálculos preliminares descritos pelas Equações 2 a 5:

$$P = i \cdot t_d \quad (2)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

$$d = A_{imp} / A \quad (4)$$

$$k_r = \Delta t / (2 \cdot t_c + \Delta t) \quad (5)$$

Nessas equações,  $P$  é altura pluviométrica total e  $d$  é a fração de área impermeável da bacia contribuinte. O coeficiente de retardo ( $k_r$ ) representa o atraso do escoamento em chegar até o exutório, enquanto que o potencial máximo de retenção ( $S$ ) representa a parcela de precipitação que fica retida nas depressões do terreno, não gerando, portanto, escoamento superficial. A simulação hidrológica discretiza o tempo em intervalos de 1 minuto e, a partir desses cálculos iniciais, o hidrograma final pode ser computado através de uma sequência iterativa de operações descritas a seguir:

- **Precipitação acumulada:**

$$P_{ac}^{t+\Delta t} = \% P_{ac} \times P/100 \quad (6)$$

- **Precipitação por faixa:**

$$P_{fx}^{t+\Delta t} = P_{ac}^{t+\Delta t} - P_a^t \quad (7)$$

- **Escoamento superficial acumulado:**

$$Q_{ac}^{t+\Delta t} = \frac{(P_{ac}^{t+\Delta t} - 0,2 \cdot S)^2}{P_{ac}^{t+\Delta t} + 0,8 \cdot S}, \text{ quando } P_{ac}^{t+\Delta t} > 0,2 \cdot S \quad (8)$$

$$Q_{ac}^{t+\Delta t} = 0, \text{ quando } P_{ac}^{t+\Delta t} < 0,2 \cdot S$$

- **Escoamento superficial por faixa:**

$$Q_{fx}^{t+\Delta t} = Q_{ac}^{t+\Delta t} - Q_{ac}^t \quad (9)$$

- **Intensidade da chuva efetiva na área impermeabilizada:**

$$i^{t+\Delta t}_{imp} = P_{fx}^{t+\Delta t} / \Delta t \quad (10)$$

- **Intensidade da chuva efetiva na área permeável:**

$$i^{t+\Delta t}_{per} = Q_{fx}^{t+\Delta t} / \Delta t \quad (11)$$

- **Vazão de entrada no reservatório imaginário representado pela bacia:**

$$I^{t+\Delta t} = (i^{t+\Delta t}_{imp} \cdot d + i^{t+\Delta t}_{per} \cdot (1 - d)) \cdot A_{total} \quad (12)$$

- **Vazão de saída do reservatório imaginário (hidrograma de saída):**



$$Q_{ex}^{t+\Delta t} = Q_{ex}^t + k_r \cdot (I^t + I^{t+\Delta t} - 2 \cdot Q_{ex}^t) \quad (13)$$

A vazão  $Q_{ex}^{t+\Delta t}$  corresponde à descarga líquida, decorrente da precipitação, que escoo pela seção final de cada microbacia. No contexto do presente estudo, muitas microbacias apresentam sistema de microdrenagem, com bocas de lobo e galerias de água pluvial. Isso indica que nem toda água atinge a avenida Rondon Pacheco pela superfície, haja vista que há uma parcela que é introduzida diretamente no canal subterrâneo, situado sob a avenida. Sendo assim, a descarga volumétrica que cada microbacia injeta na avenida Rondon Pacheco, via superfície, pode ser calculada como:

$$Q_{sup}^{t+\Delta t} = (1 - E_{gal}/100) \cdot Q_{ex}^{t+\Delta t} \quad (14)$$

Na equação (14),  $E_{gal}$  é a eficiência (%) das galerias em capturar e conduzir a água pluvial, ou seja, a fração de vazão, gerada na bacia, que as bocas de lobo conseguem retirar das sarjetas.

### 3.7 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DAS MICROBACIAS

O tempo de concentração é o tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia se desloque até a saída, Teixeira (2010). Em outras palavras, o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica corresponde ao tempo necessário para que toda bacia considerada contribua para o escoamento superficial, ou pode-se entender, de forma simplória, como o tempo que uma gota leva para percorrer do ponto mais distante até a seção considerada como o exutório da bacia.

Visto que o tempo de concentração é um dado de entrada importante e que há uma série de fórmulas empíricas para estimá-lo, é prudente determiná-lo através de vários métodos e verificar os resultados, para que não haja dados com valores muito discrepantes.

O programa de transformação chuva-vazão, adotado no presente estudo, calcula o tempo de concentração a partir das fórmulas de Kirpich (adaptada para áreas urbanas), SCS Lag, Schaake, FAA e Desbordes, considerando também uma média aritmética dos

resultados obtidos por cada fórmula. As fórmulas para o cálculo do tempo de concentração, utilizadas no modelo de transformação chuva-vazão, estão apresentadas a seguir:

- **Kirpich (adaptada p/ zonas urbanas)**

$$t_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot (0,4 \cdot A_{imp} + 2 \cdot (1 - A_{imp})) / S^{0,385}$$

(15)

- **SCS Lag**

$$t_c = 0,057 \cdot \left(\frac{1000}{CN-9}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{L}{1000}\right)^{0,8} \cdot S^{-0,5}$$

(16)

- **Schaake**

$$t_c = 0,0828 \cdot \left(\frac{L}{1000}\right)^{0,24} \cdot S^{-0,16} * A_{imp}^{-0,26}$$

(17)

- **FAA**

$$t_c = 0,37 \cdot [1,1 - (0,9 \cdot A_{imp} + 0,01 \cdot (1 - A_{imp}))] \cdot L^{0,5} \cdot S^{-0,33}$$

(18)

- **Desbordes**

$$t_c = 0,0869 \cdot A^{0,3039} * S^{-0,3832} * A_{imp}^{-0,4523}$$

(19)

Nessas equações,  $t_c$  é o tempo de concentração (minutos),  $L$  é o comprimento axial da bacia (km),  $S$  é a declividade média da bacia (m/m),  $A$  é a área total da bacia (km<sup>2</sup>) e  $A_{imp}$  é a fração de área impermeável (0-1).  $CN$  é a curva número resultante.

### 3.8 APROXIMAÇÃO PARA EFICIÊNCIA DAS GALERIAS

A eficiência do sistema bocas de lobo/ galerias em capturar a água das sarjetas ( $E_{gal}$ ), introduzida no item 3.6, é fator de difícil e incerta determinação, haja vista que é susceptível não só da presença, posição e dimensões das bocas de lobo, como também

das condições de manutenção das mesmas, grau de entupimento, dos depósitos de sedimentos e até mesmo de bloqueios intencionais introduzidos pela população vizinha. Uma quantificação rigorosa dessa eficiência demandaria vários trabalhos de campo que cadastrassem, em tempo real, esses aspectos, nas 76 microbacias consideradas neste estudo. Diante da inviabilidade desse procedimento no horizonte do Trabalho de Conclusão de Curso, outro procedimento, aproximado, foi utilizado.

Assim, para as microbacias laterais, contribuintes ao trecho de estudo da avenida Rondon Pacheco, a eficiência  $E_{gal}$  foi considerada como a relação entre o comprimento de galeria presente na rua principal ( $L_{gal}$ ) e o próprio comprimento da rua principal, ( $L_{rua}$ ) conforme a expressão:

$$E_{gal} (\%) = (L_{gal}/L_{rua}).100 \quad (20)$$

Essa expressão não teve nenhuma referência como base, apenas foi o método que se encontrou para estimar a eficiência das galerias diante a carência de dados.

Trata-se de uma aproximação muito simplista, mas que considera a cobertura de galerias na rua principal, ou seja, aquela que está interligada com a avenida Rondon Pacheco. Se há galeria nessa rua, supõe-se que grande parte da água pluvial dessa microbacia é conduzida diretamente até o canal subterrâneo da avenida. Neste trabalho, limitou-se para  $E_{gal}$  o valor máximo de 90%, considerando que, mesmo diante da cobertura por galerias, pelo menos 10% da água pluvial não seja capturada pelas bocas de lobo, escoando superficialmente pela rua principal, até atingir a avenida Rondon Pacheco. Essa limitação da eficiência das galerias foi feita baseada no fato de que apesar da estimativa da eficiência de algumas galerias ter resultado em 100%, é importante considerar o estado de funcionamento das mesmas, visto isso, para a determinação exata da eficiência das galerias teria que ter sido feito um estudo do estado de funcionamento do sistema de drenagem presente em cada microbacia. Portanto, a limitação da eficiência das galerias em 90% foi feita sugerindo que nenhuma boca de lobo está funcionando 100%.

Essencial para aplicação dessa metodologia foi o mapa de galerias da bacia do córrego São Pedro, obtido de Medeiros (2015) e ilustrado na Figura 3.14. Utilizando o comando ALIGN do Autocad, essa figura foi superposta ao mapa planialtimétrico da cidade, permitindo a identificação de quais ruas e avenidas possuem galeria de água pluvial.

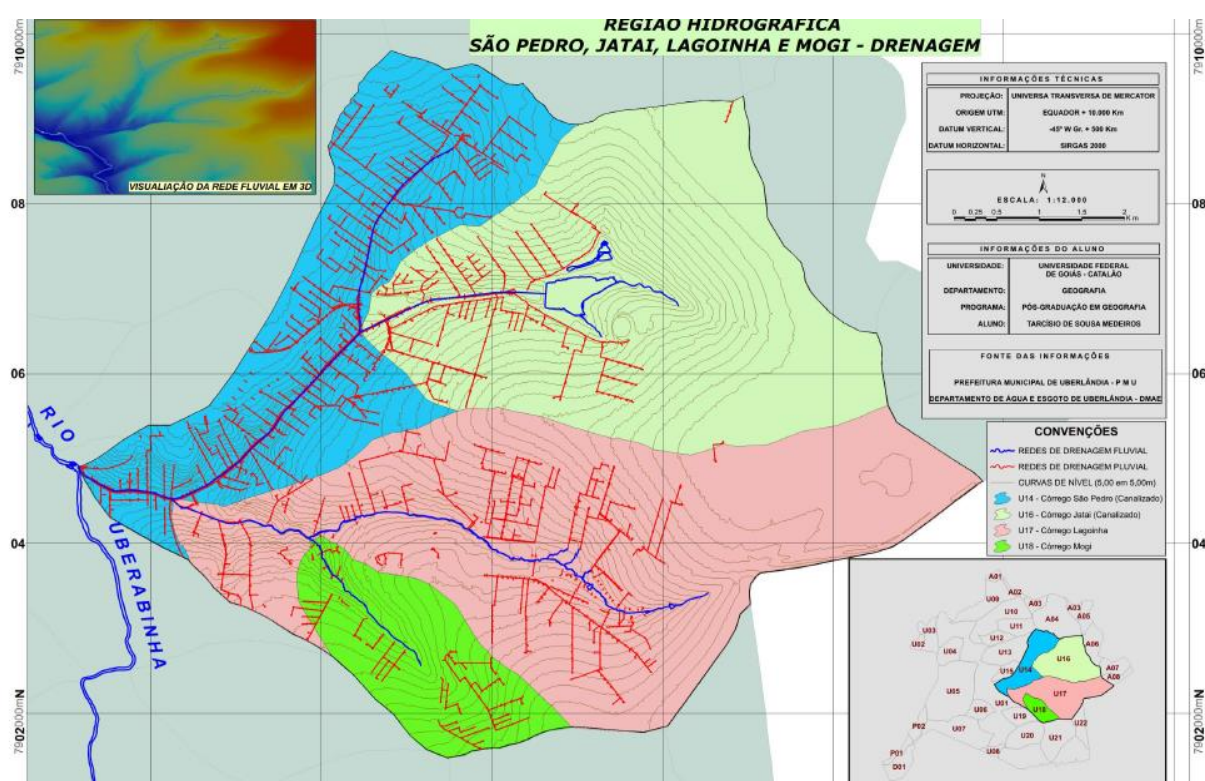


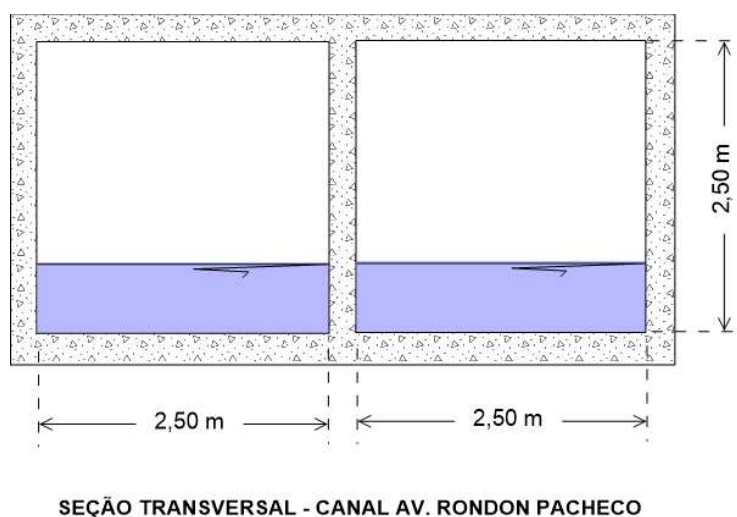
Figura 3.14 – Distribuição de galerias de água pluvial na bacia do córrego São Pedro

Fonte: Medeiros (2015)

Para as grandes bacias de montante (Rondon-Montante, Anselmo Alves dos Santos e Lagoinha), foi utilizado outro procedimento para estimativa da eficiência das galerias. Em linhas gerais, esse parâmetro foi estimado em função da capacidade máxima de transporte dos canais subterrâneos.

Para a microbacia Rondon-Montante, a seção do canal subterrâneo, na posição que marca o início do trecho estudado (cruzamento com a avenida João Naves de Ávila) é ilustrada pela Figura 3.15. Essa seção é baseada nas informações de Ribeiro (2014). Para o cálculo da capacidade de transporte do canal subterrâneo foi utilizada a equação de Manning, com coeficiente de 0,015 (revestimento de concreto em condições médias), Porto (1998), e declividade de 0,46% equivalente à declividade do greide da avenida no local.

A declividade do greide foi obtida através do mapa planialtimétrico do município de Uberlândia, cedido pela Prefeitura Municipal.



**Figura 3.15 – Seção transversal da galeria subterrânea do córrego São Pedro, no início do trecho analisado**

**Fonte: Ribeiro (2020).**

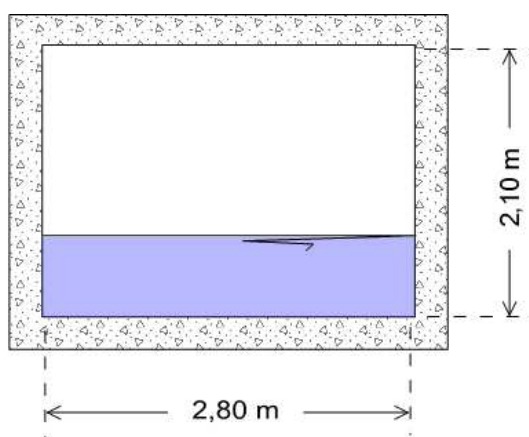
Com essa aproximação, a eficiência das galerias na microbacia Rondon-Montante foi estimada como:

$$E_{gal(RM)} (\%) = (Q_{m\acute{a}x\ canal} / Q_{m\acute{a}x\ hidrograma}) .100 \quad (21)$$

Essa expressão, assim como a expressão de estimativa de eficiência das galerias, não teve nenhuma referência como base, apenas foi o método que se encontrou para estimar a eficiência das galerias diante a carência de dados.

Nessa equação,  $Q_{\text{máx canal}}$  é a vazão em seção plena, transportada pelo canal subterrâneo na seção de interesse ( $64,17 \text{ m}^3/\text{s}$ ).  $Q_{\text{máx hidrograma}}$  é a vazão de pico do hidrograma simulado com a equação (14). Nessa simulação, aplicaram-se as condições impostas para esta pesquisa (hietograma de Huff no primeiro quartil, altura pluviométrica de  $75,4 \text{ mm}$  e duração de duas horas), considerando ainda que a eficiência das galerias fosse nula. Com isso, o hidrograma calculado pela equação (14) representa a vazão gerada na microbacia e que deveria ser veiculada pela seção subterrânea final do canal (na seção de interesse). Nesse caso, o valor encontrado foi de  $19,33 \text{ m}^3/\text{s}$ . Isso é um indicador de que, pelo menos no local, o canal tem capacidade suficiente para transportar, com folga, a vazão gerada na bacia de contribuição. Assim, como a eficiência calculada pela equação (21) superou  $100\%$ , aplicou-se o valor limitante de  $90\%$ , considerando que  $10\%$  da vazão gerada na bacia de contribuição escoaria superficialmente pela avenida Rondon Pacheco.

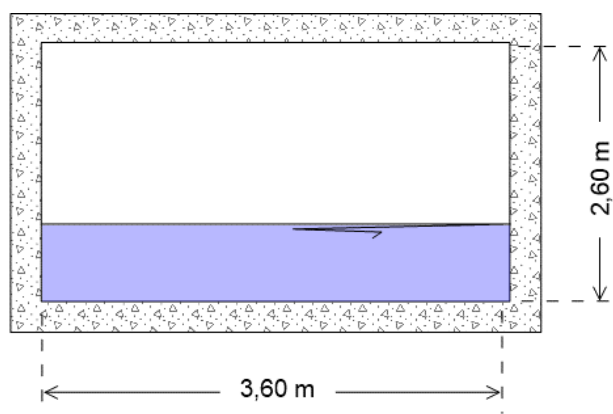
Esse procedimento foi repetido para as outras duas microbacias, da avenida Anselmo Alves dos Santos (córrego Jataí) e do córrego Lagoinha, cujas seções transversais, nas seções imediatamente antes da confluência com o córrego São Pedro, são ilustradas pelas Figuras 3.16 e 3.17.



**SEÇÃO TRANSVERSAL - CANAL AV. ANSELMO ALVES DOS SANTOS**

**Figura 3.16 – Seção transversal da galeria subterrânea do córrego Jataí, no encontro com a avenida Rondon Pacheco**

**Fonte: Calderari (2012)**



**SEÇÃO TRANSVERSAL - CANAL CÓRREGO LAGOINHA**

**Figura 3.17 – Seção transversal da galeria subterrânea do córrego Lagoinha, no encontro com a avenida Rondon Pacheco**

**Fonte: DMAE (2023).**

Para a seção final do córrego Jataí (avenida Anselmo Alves dos Santos), a capacidade de suporte do canal foi estimada em  $32,65 \text{ m}^3/\text{s}$ . O cálculo da vazão gerada na bacia indicou o pico de  $55,77 \text{ m}^3/\text{s}$ . Todavia, ao se considerar o amortecimento de cheia no reservatório do Parque do Sabiá que drena 76% da bacia, a vazão máxima de hidrograma a ser veiculada no canal seria de  $17,53 \text{ m}^3/\text{s}$ . Esses cálculos foram realizados com o programa de amortecimento de cheias que utiliza o método Santa Bárbara e método de Pulz (ALAMY FILHO, 2020) e considerando a curva cota x volume do reservatório do parque do Sabiá (SALLA, PEREIRA, ALAMY FILHO, 2019). Nesse sentido, como a capacidade de transporte superou a vazão de pico gerada pela chuva, também limitou-se em 90% a eficiência das galerias, considerando que 10% da vazão gerada na bacia seria injetada superficialmente na avenida Rondon Pacheco.

Para a microbacia do córrego Lagoinha, com exutório no cruzamento da rua Blanche Galassi com a avenida Rondon Pacheco, a capacidade de transporte foi estimada em

---

51,79 m<sup>3</sup>/s. A vazão de pico, para a chuva imposta, foi calculada em 31,15 m<sup>3</sup>/s. Essa bacia tem a particularidade de apresentar diversas áreas de amortecimento de cheias, como o parque Santa Luzia e as áreas de preservação permanente adjacentes aos córregos Mogi e Lagoinha. Além disso, limitada pela avenida Nicomedes Alves dos Santos, há uma grande depressão de aproximadamente 0,2 hm<sup>3</sup>, com capacidade de funcionar como bacia de detenção. Essas características acentuam o potencial das vazões superficiais serem atenuadas. Todavia, como a vazão de pico estimada foi inferior à capacidade máxima do canal, essas singularidades sequer foram consideradas e a eficiência das galerias também foi limitada em 90%, assim como nos casos das bacias anteriores. Nesse caso, foi imposto o percentual de 10% da vazão gerada na bacia, sendo descarregada pela superfície, na vizinhança do encontro entre a rua Blanche Galassi e a avenida Rondon Pacheco.

### **3.9 O MODELO COMPUTACIONAL CHUVA-VAZÃO**

O programa de transformação chuva-vazão adotado no presente estudo foi elaborado por Alamy Filho (2022) com código em *Visual Basic for Applications* (VBA). O modelo computacional utiliza o método Santa Bárbara como mediador da transformação chuva-vazão. Resumidamente o modelo apresenta duas janelas cujos dados de alimentação precisam ser inseridos. Na primeira tela, ilustrada pela Figura 3.18, um formulário é utilizado para cadastrar os dados de precipitação, permitindo o cálculo do hietograma da simulação. Os hietogramas adimensionais de Huff (primeiro, segundo, terceiro e quarto quartil) são a base da geração dos hietogramas resultantes. Por isso o usuário deve selecionar a opção a ser simulada.



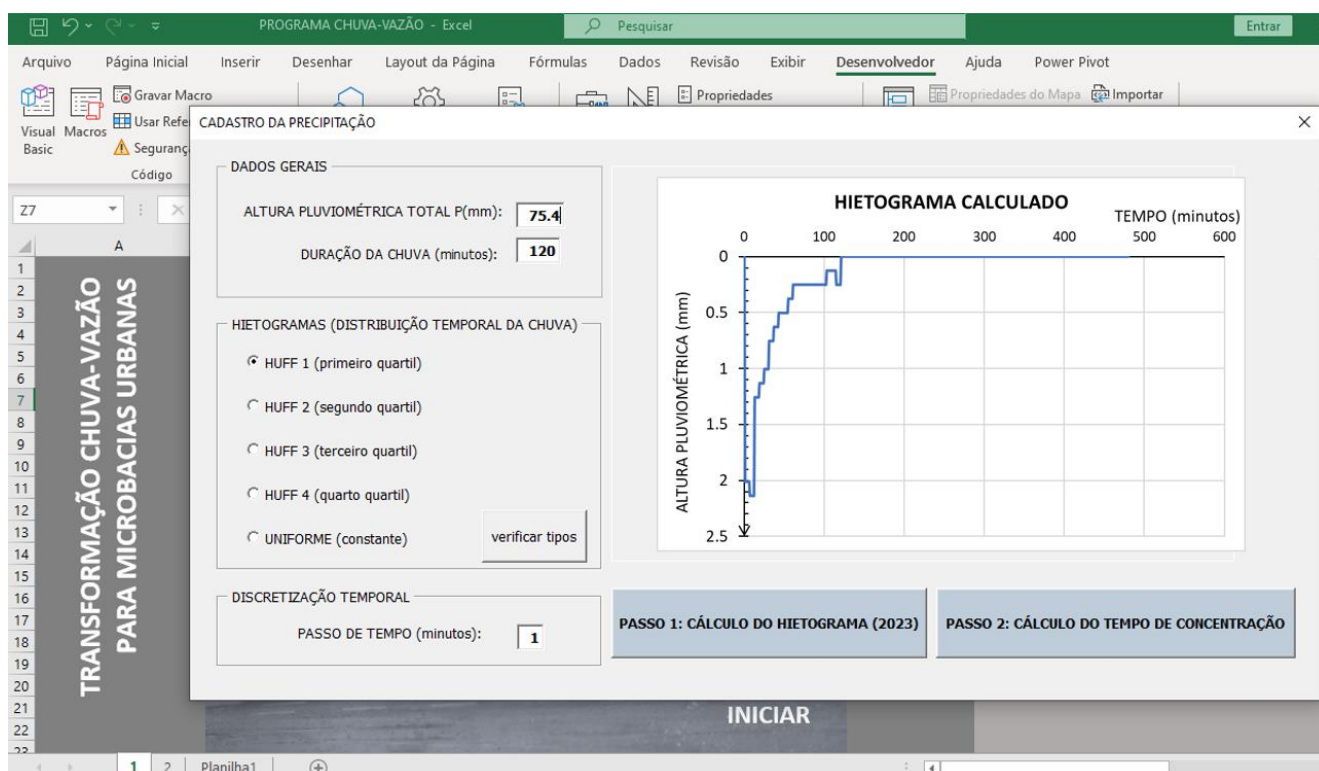


Figura 3.18 – Janela de cadastro de precipitação e de cálculo do hietograma

Fonte: Autor (2023).

O modelo também exige o intervalo de tempo para a discretização temporal que será aplicada não só ao hietograma, como também ao hidrograma final a ser gerado. De acordo com Tucci, 2005 (apud Silveira, 2010), nos modelos de simulação hidrológica, a escolha deste intervalo é função da economia desejada e da precisão dos resultados. À medida que o intervalo de discretização diminui, o custo para calcular os dados da computação aumenta em favor da melhoria da precisão dos resultados. Diante o exposto, esse trabalho considerou o tempo de discretização igual a 1 minuto.

Na segunda janela, o programa pede os dados geométricos da bacia e a curva número resultante. Com isso, podem ser selecionados os diversos métodos para cálculo do tempo de concentração e até mesmo descartados alguns, caso o usuário considere que um método em particular tenha conduzido a um resultado muito discrepante dos demais. Essa janela é ilustrada pela Figura 3.19. Nesse formulário também deve ser cadastrada a

eficiência das galerias, ou seja, a porcentagem de vazão gerada que consegue ser capturada pelas bocas de lobo.

The screenshot shows a software window titled "CADASTRO DA BACIA" (Basin Registration) overlaid on a Microsoft Excel spreadsheet. The spreadsheet has a vertical title "TRANSFORMAÇÃO CHUVA-VAZÃO PARA MICROBACIAS URBANAS" (Urban Rain-Runoff Transformation for Microbasins). The software window is divided into several sections:

- IDENTIFICAÇÃO DA BACIA:** NOME DA BACIA: Rondon-Montante
- DADOS DA BACIA:** A total (km<sup>2</sup>): 5.36; % Área impermeável: 80; Comprimento axial (m): 3264; Declividade média (m/m): 0.024; CN resultante: 78
- FÓRMULAS PARA TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (minutos):**  Kirsch adaptado para áreas urbanas: 29,962179072294;  SCS Lag: 145,3468982552;  Schaake: 12,701190441954;  FAA: 27,66675698747;  Desbordes
- SELEÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO PARA SIMULAÇÃO:**  Kirsch adaptado para áreas urbanas;  SCS Lag;  Schaake;  FAA;  Desbordes;  Média aritmética das fórmulas selecionadas no quadro anterior
- EFICIÊNCIA DAS GALERIAS:** % de vazão gerada que as galerias conseguem veicular: 90

Buttons for "PASSO 3: VERIFICANDO O TEMPO DE CONCENTRAÇÃO" and "PASSO 4: CÁLCULO DO HIDROGRAMA" are visible at the bottom of the window.

Figura 3.19 – Janela de cadastro dos dados da bacia e de cálculo do tempo de concentração

Fonte: Autor (2023).

No exemplo da Figura 3.19, a média aritmética das fórmulas foi selecionada para o cálculo do tempo de concentração resultante. Esse procedimento foi aplicado para todas as microbacias. Depois dessas informações, finalmente o hidrograma final pode ser calculado, gerando resultados como os ilustrados pela Figura 3.20. Note-se que, nessa imagem, o diagrama em preto corresponde ao hidrograma escoado pela superfície e que, portanto, será introduzido sobre a avenida Rondon Pacheco. O diagrama em cinza corresponde ao hidrograma geral da bacia, em que parte dele será capturado pelas galerias eventualmente presentes no sistema de microdrenagem local.

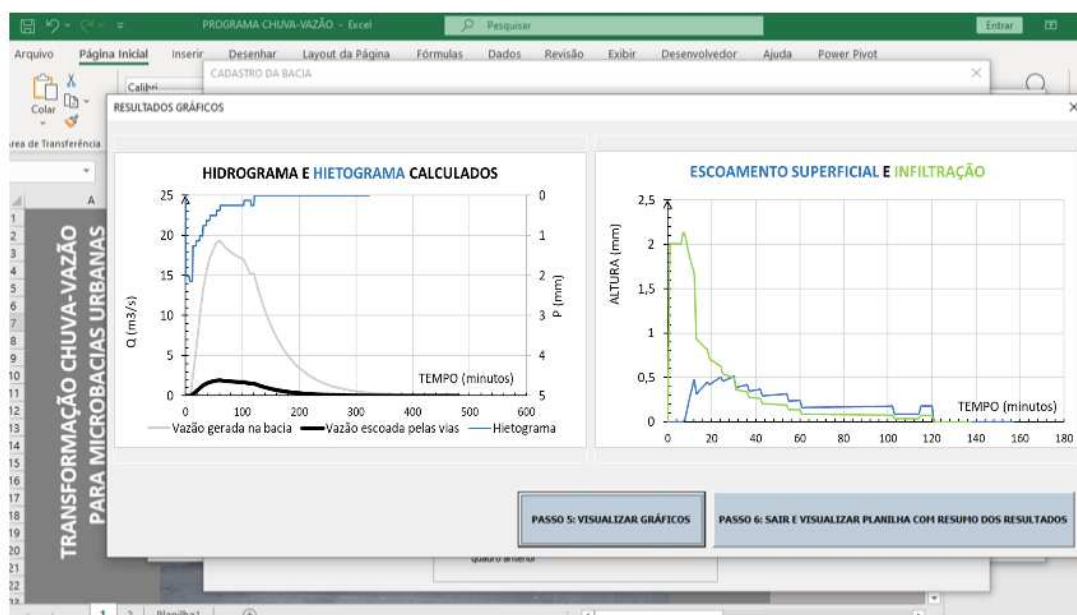


Figura 3.20 – Janela com os resultados, com destaque para o hidrograma final

Fonte: Autor (2023).

Como o domínio deste estudo tem abrangência de 76 microbacias, esse programa é aplicado individualmente para todas essas áreas. A vantagem de se utilizar do VBA com base em Excel, é que os resultados podem ser resumidos em planilha (Figura 3.21), o que torna fácil sua posterior manipulação.

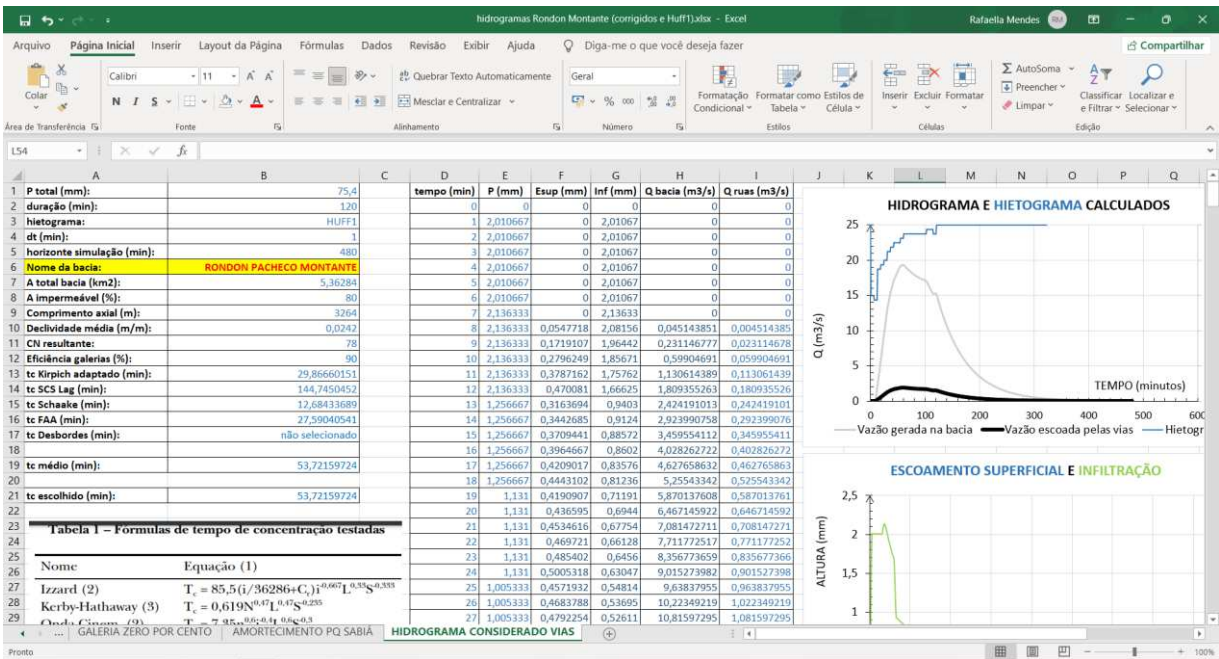


Figura 3.21 – Planilha EXCEL com resumo dos resultados e dos dados de entrada para uma microbacia

Fonte: Autor (2023).

## PARTE II – MODELAGEM HIDRÁULICA

O modelo hidráulico é utilizado para propagar as vazões, introduzidas pelos hidrogramas, a partir das vias interligadas com a avenida Rondon Pacheco. Nesse estudo, um modelo numérico de terreno (MNT) constituirá a base sobre o qual o escoamento ocorrerá. O resultado final são mapas de profundidade, de velocidade e de tensões cisalhantes. Diante do exposto, o presente estudo utilizou o *software* HEC-RAS 6.3 para calcular a inundação e simular a cheia que se propaga na avenida Governador Rondon Pacheco a partir dos dados que foram gerados pela etapa anterior de modelagem hidrológica. Os itens seguintes descrevem detalhes sobre a etapa de modelagem hidráulica.

### 3.10 – EQUAÇÕES GOVERNANTES

Escoamentos em geral são descritos matematicamente pelas equações de Quantidade de Movimento e da Continuidade. Na forma diferencial, as equações de quantidade de

movimento também são conhecidas por equações de Navier-Stokes. Tratam-se de equações de elevado poder preditivo, capazes de considerar escoamentos transientes, gradientes de pressão, transportes advectivos e difusivos de massa, além de termos fonte. Essas equações são acopladas com modelos de turbulência, permitindo aproximar o comportamento desses escoamentos, com introdução da viscosidade turbulenta. Não obstante, a simulação com essas equações demanda muito tempo de processamento computacional. Esse custo computacional inviabiliza, de certa forma, simulação de domínios de grande extensão, da ordem de quilômetros de extensão, como é o caso deste trabalho.

Uma alternativa para escoamentos onde as larguras apresentam ordens de grandeza maiores do que as profundidades, como são escoamentos de inundação, é promediar as equações de Navier-Stokes e da Continuidade ao longo da direção vertical, integrando-as ao longo da profundidade. Surgem, nesse processo, as equações de Navier-Stokes integradas na vertical, também chamadas de equações de Saint Venant bidimensionais (2DH) ou simplesmente equações de águas rasas. Essas equações são a base matemática do modelo hidráulico utilizado nesta pesquisa. Estas equações fundamentais são escritas a seguir:

- Equação da continuidade:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(h \cdot v)}{\partial x} = 0 \quad (22)$$

- Equação da quantidade de movimento na direção horizontal - x

$$\frac{\partial(h \cdot u)}{\partial t} + \frac{\partial(h \cdot u \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(h \cdot v \cdot u)}{\partial y} = -g \cdot h \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( h \cdot v_t \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \cdot v_t \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{Bx}}{\rho} + \frac{\tau_{wx}}{\rho} + f \cdot h \cdot v \quad (23)$$

- Equação da quantidade de movimento na direção horizontal - y

$$\frac{\partial(h \cdot v)}{\partial t} + \frac{\partial(h \cdot u \cdot v)}{\partial x} + \frac{\partial(h \cdot v \cdot v)}{\partial y} = -g \cdot h \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( h \cdot v_t \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \cdot v_t \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{By}}{\rho} + \frac{\tau_{wy}}{\rho} - f \cdot h \cdot u \quad (24)$$

Nas equações (22) a (24) definem-se:

- 
- $\zeta$  = cota da superfície livre [L];
  - $h$  = profundidade do corpo hídrico [L];
  - $u, v$  = componentes das velocidades promediadas ao longo da profundidade, nas direções  $x$  e  $y$  respectivamente [ $LT^{-1}$ ];
  - $x, y$  = coordenadas no plano horizontal [L];
  - $t$  = tempo [T];
  - $\nu_t$  = viscosidade turbulenta [ $L^2 T^{-1}$ ];
  - $\tau_{Bx}, \tau_{By}$  = tensões cisalhantes no fundo do corpo hídrico [ $ML^{-1}T^{-2}$ ];
  - $\tau_{wx}, \tau_{wy}$  = tensões cisalhantes na superfície livre, causadas pelo vento [ $ML^{-1}T^{-2}$ ];
  - $\rho$  = massa específica da água [ $ML^{-3}$ ];
  - $g$  = aceleração da gravidade [ $LT^{-2}$ ];
  - $f = 2\varpi \cdot \text{sen}\Phi$  = parâmetro de Coriolis;
  - $\varpi = 0,000073$  rad/s = velocidade angular da Terra;
  - $\Phi$  = latitude local.

As equações de quantidade de movimento levam em conta os efeitos do cisalhamento entre o escoamento e o fundo, entre o vento e a superfície livre, além das tensões turbulentas entre massas de fluido, com o uso do termo viscosidade turbulenta.

Neste estudo, a solução numérica dessas equações será feita pelo programa HEC-RAS 6.3, versão bidimensional.

### **3.11 – O MODELO NUMÉRICO DE TERRENO (MNT) OU MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)**

Os modelos numéricos de terreno (MNT) são a base para utilização do programa HEC-RAS 6.3. Como o referido programa lida com escoamentos bidimensionais, a utilização de um MNT bem construído permite a delimitação de calhas, onde ocorre o escoamento principal, e de zonas de várzea, passíveis de serem inundadas.

---

Neste trabalho, a base de dados original para construção do MNT foi o mapa planialtimétrico da cidade de Uberlândia, fornecido pela Prefeitura Municipal (PMU). Esse mapa apresenta o desenho das vias da cidade, uma série de equipamentos urbanos, além de curvas de nível espaçadas de 1 em 1 metro. No formato original em DWG, pode-se aplicar o comando DATA EXTRACTION para extrair, na forma de tabela, dados de interesse do mapa. Nesse caso, os dados foram filtrados para que fossem fornecidas as coordenadas UTM e as cotas altimétricas dos pontos que constituem as *polylines* das curvas de nível, além de pontos cotados esparsos no mapa original. Os dados de coordenadas e cotas foram dispostos em uma tabela do EXCEL que serviu de base para interpolação espacial feita pelo programa Surfer 10. Nessa interpolação, feita pelo método de Kriging, foram fixadas as coordenadas limites da zona de interesse e gerada uma malha de 2 x 2 m. Isso permitiu a geração de um MNT inicial, cujo relevo é apresentado na Figura 3.22.

Note-se que o MNT consegue capturar a conformação geral do vale onde se enquadra a avenida Rondon Pacheco. Nele é possível identificar, a nordeste na parte alta, a zona de confluência superficial das avenidas Rondon Pacheco e Anselmo Alves dos Santos (I) onde, dentro dos canais subterrâneos, escoam os córregos São Pedro e Jataí. Na parte baixa, pode-se visualizar uma zona mais plana, passível de inundação, próxima do final da avenida Rondon Pacheco, no baixo curso do córrego São Pedro (II). Antes dessa região, ao sul, também é possível identificar o vale formado pelo córrego Lagoinha. A oeste, pode-se perceber a avenida Getúlio Vargas, onde escoam por canal subterrâneo o córrego Cajubá (III).

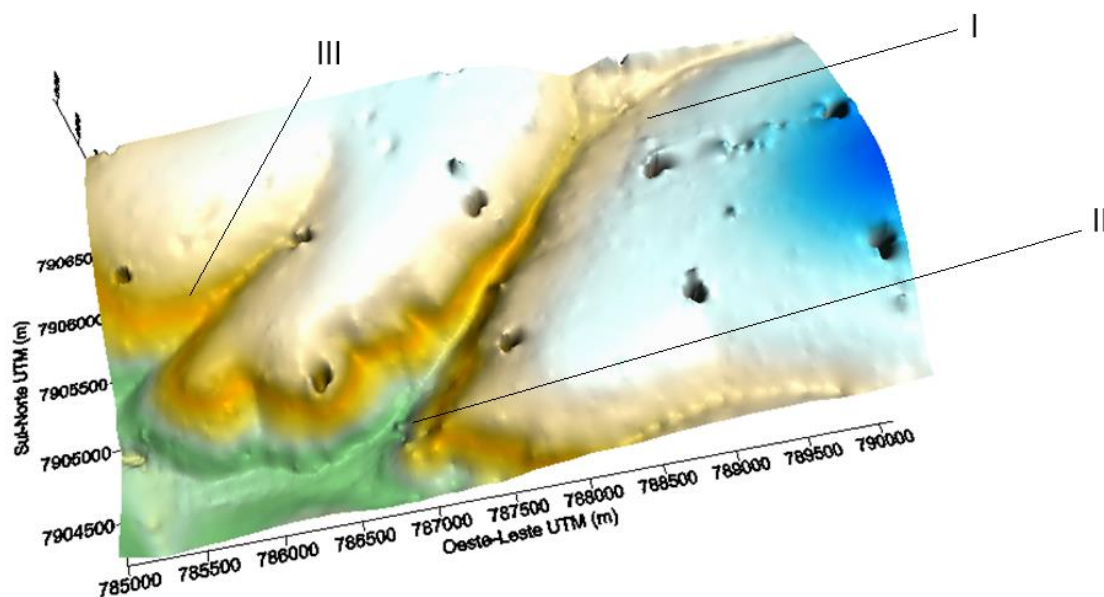


Figura 3.22 – Relevo gerado a partir do MNT da região de estudo

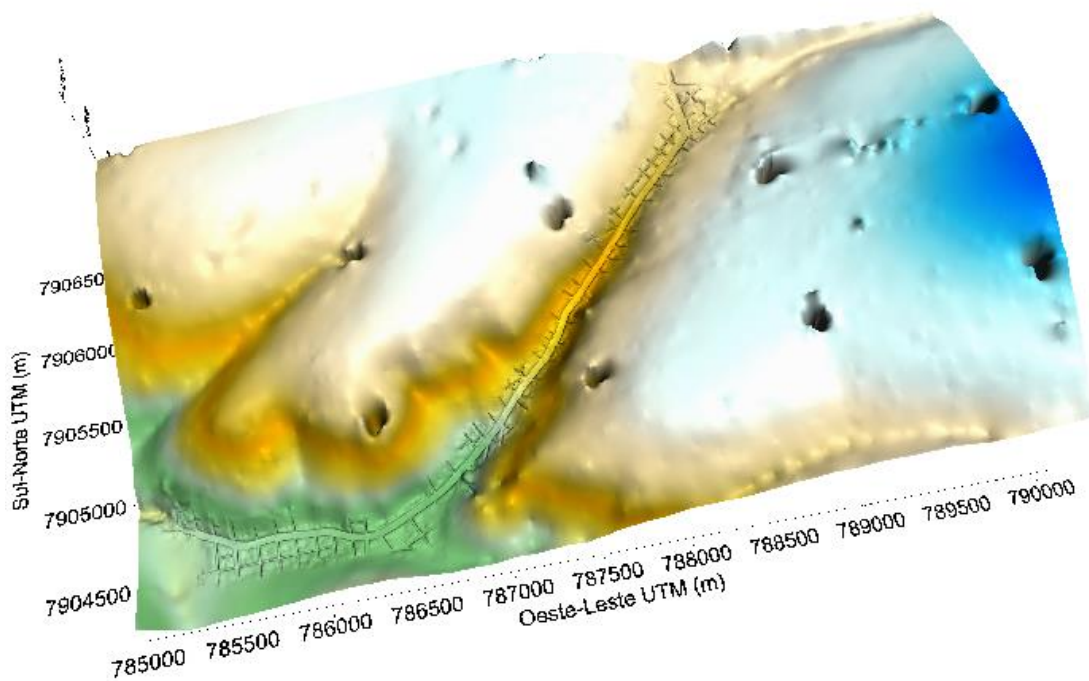
Fonte: Autor (2023).

Ainda no relevo da Figura 3.22 identificam-se alguns pontos anômalos, algumas depressões bruscas, provavelmente decorrentes de erros em casas decimais no processo de extração de dados do Autocad e sua conversão para dados de planilha EXCEL. Apesar disso, essas depressões que obviamente não representam fidedignamente o terreno no seu entorno, não surgiram na zona de interesse deste trabalho, o vale da avenida Rondon Pacheco. Por isso, não se empenhou em corrigir esse defeito, haja vista que ele não interfere no relevo da zona passível de inundação.

O MNT que resultou no relevo ilustrado pela Figura 3.22, apesar de capturar aspectos gerais do relevo, é insuficiente para previsão mais acurada da zona de inundação. Por isso ele foi corrigido, de forma a levar em conta a conformação de calha da superfície da avenida Rondon Pacheco e das vias laterais. Nesse sentido, utilizando a superposição entre os mapas de contorno, curvas de nível do MNT original e o mapa base do Autocad, mais de 50.000 pontos foram digitalizados no interior das vias, gerando nova planilha EXCEL de coordenadas e cotas. Uma vez que esses pontos foram capturados dentro da avenida Rondon Pacheco e nos trechos de ruas próximos, suas cotas foram rebaixadas

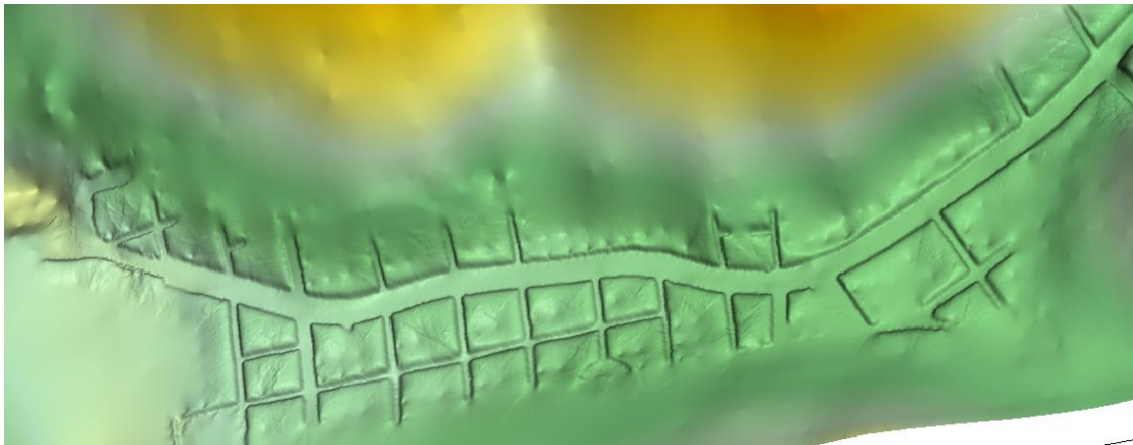


em 30 cm, desnível aproximado para delimitar o meio fio e trazer a forma de calha para as vias. Por essas calhas ocorrerá o escoamento preferencial. Nas laterais das calçadas, pontos foram elevados em 50 cm para representar a divisa entre edificações e calçada, aterros, muretas. Assim, um novo MNT corrigido foi gerado com a adição desses pontos rebaixados, utilizando malha de 2x2 m. Esse MNT corrigido permite a identificação mais clara das vias, conforme ilustra as Figuras 3.23 a 3.25. Isso introduz caminhos preferenciais de escoamento pela avenida e vias laterais, permitindo uma aproximação mais fiel do escoamento real. Apenas quando essas vias são transbordadas, a lâmina de água tende a avançar lateralmente para os lotes nas quadras adjacentes.



**Figura 3.23 – Relevo gerado a partir do MNT corrigido da região de estudo**

**Fonte: Autor (2023).**



**Figura 3.24** – Detalhe do relevo no trecho final da avenida Rondon Pacheco. Note-se a extensa zona de várzea (já urbanizada) à esquerda

**Fonte:** Autor (2023).



**Figura 3.25** – Detalhe do relevo no trecho final do estudo, com detalhe para o cruzamento entre as avenidas Rondon Pacheco e Anselmo Alves dos Santos

**Fonte:** Autor (2023).

O mapa planialtimétrico base fornecido pela PMU não informa o *datum* do sistema de coordenadas. Para permitir a superposição do MNT com imagem de satélite do *Google Maps*, foi preciso realizar uma translação de coordenadas. Essa superposição é interessante, pois permite ilustrar a zona de inundação juntamente com a imagem de

satélite, facilitando a identificação de zonas vulneráveis. Esse procedimento foi realizado com superposição da imagem do Google Maps com o mapa planialtimétrico do Autocad. Para isso, em Autocad, foram usados os comandos ALIGN e MOVE. As equações de transformação de coordenadas, obtidas a partir desse procedimento, foram:

$$X_{wgs} = (x_o - (788387.25 + 48.8579)) / ((785149.67 + 50.898) - (788387.25 + 48.8579)) * (785149.67 - 788387.25) + 788387.25 \quad (25)$$

$$Y_{wgs} = (y_o - (7906748.39 + 36.7)) / ((7904852.66 + 42.8437) - (7906748.39 + 36.7)) * (7904852.66 - 7906748.39) + 7906748.39 \quad (26)$$

Nas equações (25) e (26),  $X_{wgs}$  e  $Y_{wgs}$  são coordenadas corrigidas para o *datum* WGS-84, utilizado pelo *Google Maps*. Nessas equações,  $x_o$  e  $y_o$  são as coordenadas do mapa original fornecido pela PMU. Todos os valores são apresentados em metros. Com essas novas coordenadas, o MNT foi gerado novamente no Surfer 10 e salvo em extensão .flt, a qual pode ser lida pelo programa HEC-RAS 6.3.

### 3.12 - O MODELO COMPUTACIONAL

A simulação do escoamento no programa HEC-RAS 6.3 preconiza a criação de uma zona de escoamento (*flow area*) que deve estar contida dentro do MNT. O MNT é importado do arquivo .flt gerado pelo Surfer 10. Com isso, o HEC-RAS cria o *Ras-Mapper*, que nada mais é do que o relevo gravado pelo programa. A *flow area* abrange apenas a área que tem risco de ter escoamento, no contexto deste trabalho, a área que pode sofrer inundação. A fixação da *flow area* demanda certa sensibilidade do modelador, basicamente em enxergar o terreno para delimitar o polígono alagável. As Figuras 3.26 e 3.27 ilustram o *Ras-Mapper* local e a *flow area* interna.

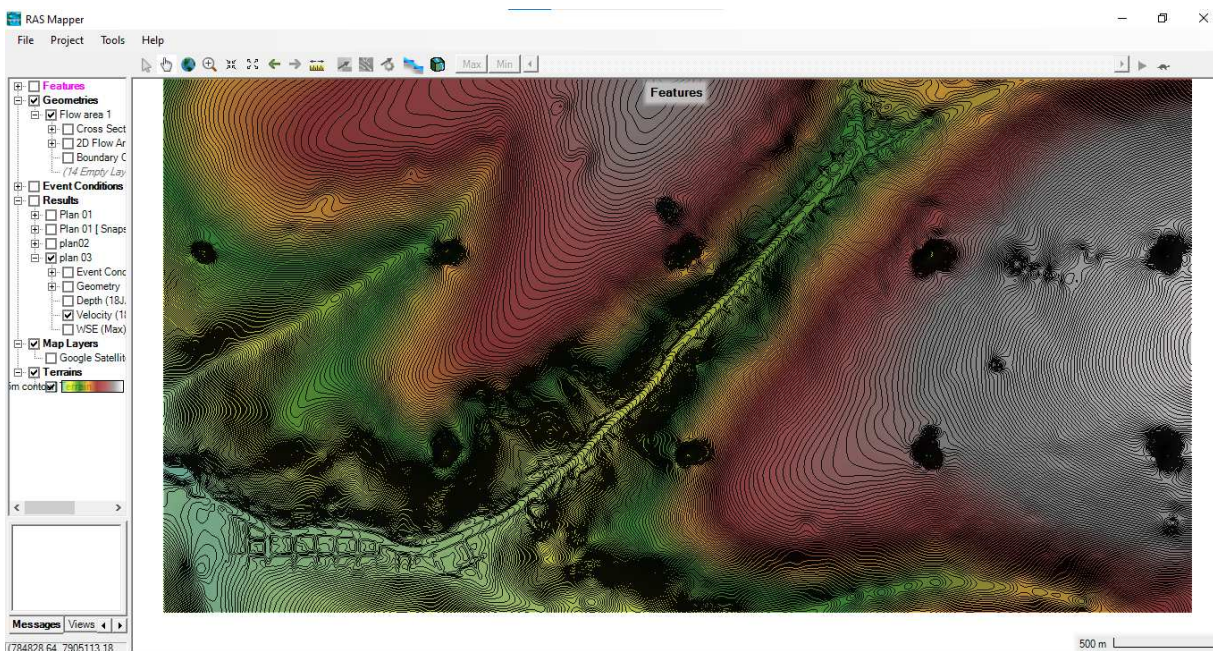


Figura 3.26 – Ras-Mapper do HEC-RAS 6.3, obtido pela importação do MNT na extensão .flt

Fonte: Autor (2023).

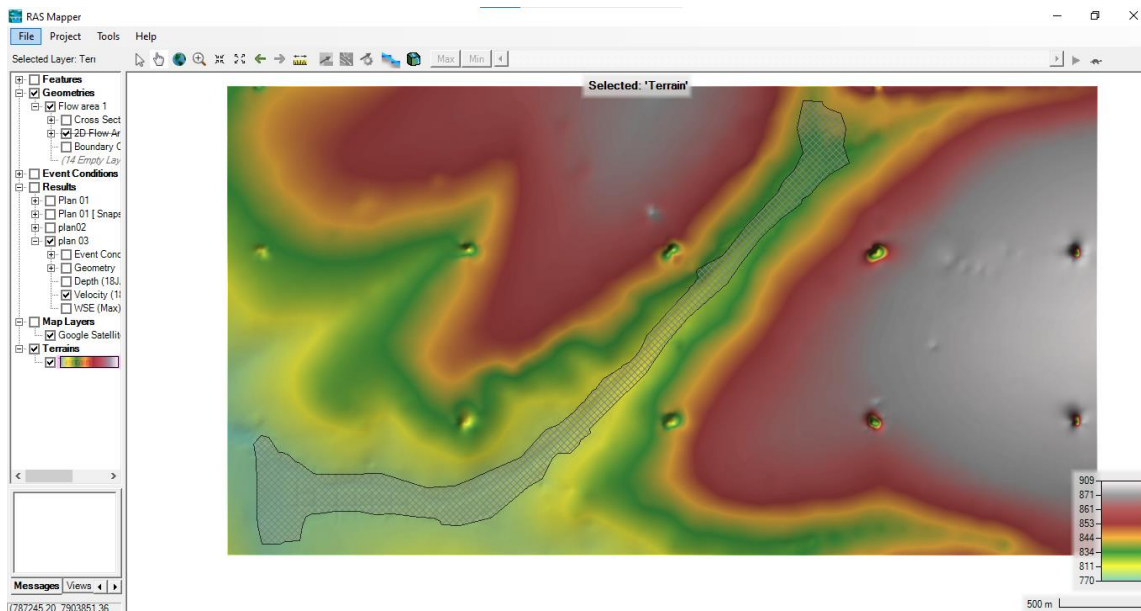
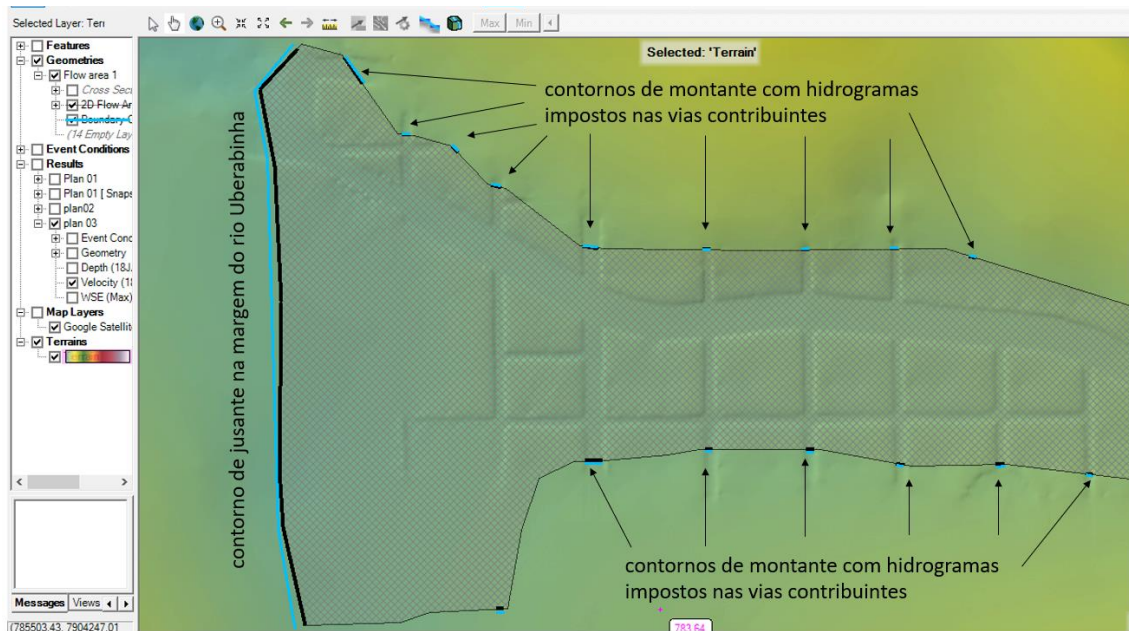


Figura 3.27– Ras-Mapper do HEC-RAS 6.3, com destaque para a zona de escoamento (flow area) que abrange a área passível de ser afetada pela inundação

Fonte: Autor (2023).

Com a zona de escoamento delimitada, o próximo passo consiste em marcar as bordas por onde há condições de contorno. Há condições de montante, por onde ocorre entrada dos hidrogramas. Essas são alocadas nas vias que se unem com a avenida Rondon Pacheco. No âmbito deste trabalho, 76 contornos de montante foram alocados, representando a injeção dos hidrogramas das 76 microbacias contribuintes ao trecho em estudo. Uma condição de contorno de jusante foi aplicada nas laterais do rio Uberabinha. Nesse contorno de jusante a lâmina de água é calculada automaticamente pelo programa, utilizando a equação de Manning e a água é lançada no rio. Salienta-se que o escoamento no rio não fez parte deste estudo. Alguns desses contornos são ilustrados pelas Figuras 3.28 e 3.29.



**Figura 3.28 – Detalhe das condições de contorno no trecho final da avenida Rondon Pacheco.**

**Fonte: Autor (2023).**

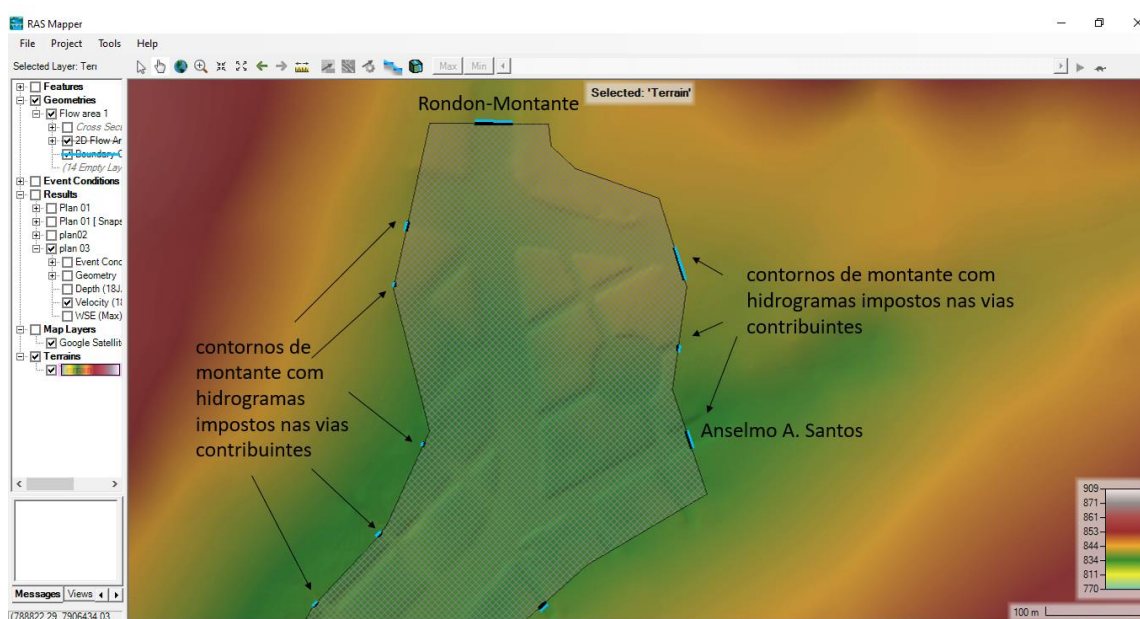


Figura 3.29 – Detalhe das condições de contorno no trecho inicial do estudo.

Fonte: Autor (2023).

Dentro da zona de escoamento, foi gerada a malha numérica com 96.997 células com dimensão média de  $9 \text{ m}^2$  cada célula. O coeficiente de Manning foi imposto como o do asfalto (0,016), baseado em Porto (1998). A solução numérica das equações de águas rasas utiliza o método de volumes finitos. A solução se processa em marcha temporal, com velocidades e profundidades calculadas, progressivamente, até que seja atingido o horizonte de simulação. No presente estudo o horizonte de simulação foi imposto em 8 horas, cobrindo perfeitamente a duração de 2 h de chuva. O passo de tempo dos cálculos foi fixado de 1 em 1 segundo.

# **CAPÍTULO 4**

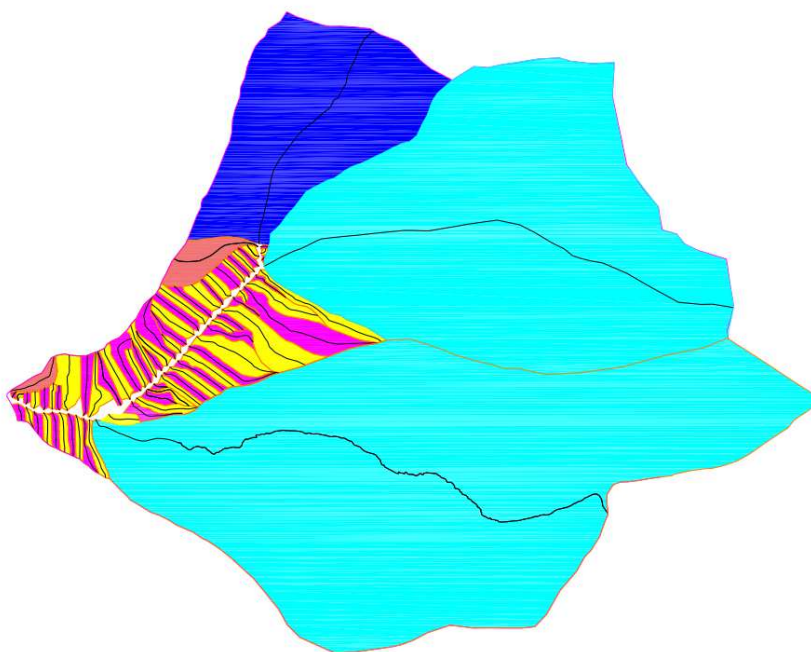
## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações hidrológicas e hidráulicas responsáveis por alimentar e propagar as vazões de cheia sobre a superfície da avenida Rondon Pacheco e das vias adjacentes. Assim, como no capítulo anterior, esses resultados serão divididos entre aqueles obtidos pela simulação hidrológica e, posteriormente, serão apresentados os mapas de inundação decorrentes da simulação hidráulica.

### **PARTE I – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS**

#### **4.1 COMPRIMENTOS AXIAIS DAS MICROBACIAS CONTRIBUINTES**

No presente estudo, o comprimento axial foi definido como a distância entre o fim da rua principal e o divisor de águas, seguindo o eixo da bacia, como mostra a Figura 4.1. Note que os comprimentos axiais das bacias estão representados pelas linhas pretas. Esse parâmetro geométrico é utilizado para cálculo do tempo de concentração das microbacias.



**Figura 4.1 - Traçado dos comprimentos axiais das microbacias**

**Fonte: Autor (2023).**

Note que em alguns casos, principalmente nas microbacias laterais, o comprimento axial é aproximadamente coincidente com o comprimento da via principal, considerada como aquela que está interligada diretamente com a avenida Rondon Pacheco. Nas Tabelas 4.1 e 4.2, é possível observar os comprimentos da via principal e os comprimentos axiais das 76 microbacias contribuintes ao trecho em estudo.

A identificação das microbacias pode ser feita com o auxílio do mapa da figura 4.1 e das tabelas a seguir, visto que estão em ordem e de acordo com a convenção adotada neste trabalho.



Tabela 4.1 - Comprimentos axiais e comprimentos das vias principais do lado esquerdo.

LADO ESQUERDO DA VIA	Lv = L da via (m)	L axial (m)
Av. João Naves de Ávila (esquerdo)	126	103
Rua Modesta Maria	100	96
Rua Luiz Jesus	50	53
Av. Anselmo Alves dos Santos	4061	6459
Rua João Garcia	110	1866
Rua Edson Barros (Av. Salim Suad)	343	512
Av. Ubiratan de Castro	150	1042
Rua Manoel dos Santos	370	2005
Rua Paraúna	122	162
Rua Vitalino R. Carmo	413	422
Rua Nicodemos Alves dos Santos	1306	1372
Rua Armando Lombardi	357	392
Rua Rafael Lourenço	282	313
Rua Coronel Antônio Alves	230	672
Rua dos Carrijos	1000	1194
Rua Machado de Assis	910	1318
Rua Duque de Caxias	736	789
Rua Olegário Maciel	710	716
Rua Doutor Lacerda	670	706
Rua Rio Preto	645	673
Rua Polidoro Freitas Rodrigues	620	638
Rua Antônio Correia Jr.	98	184
Rua Raimundo P. Carvalho	335	624
Rua Abrão Calil	327	466
Rua Teófilo Alves	383	835
Avenida Nicomedes Alves dos Santos	300	731
Rua Blanche Galassi (exutório do córrego Lagoinha)	131	424
Avenida Francisco Galassi	726	796
Rua Coronel Severiano	575	771
Rua Ipanema	552	572
Rua Leblon	550	561
Rua Botafogo	488	524
Rua Icarai	415	476
Rua da Carioca	360	413
Avenida dos Municípios	221	302
Rua da Tijuca	175	279
Av. Hermes Fonseca Carneiro (dentro do Praia Clube)	135	225

Fonte: Autor (2023).

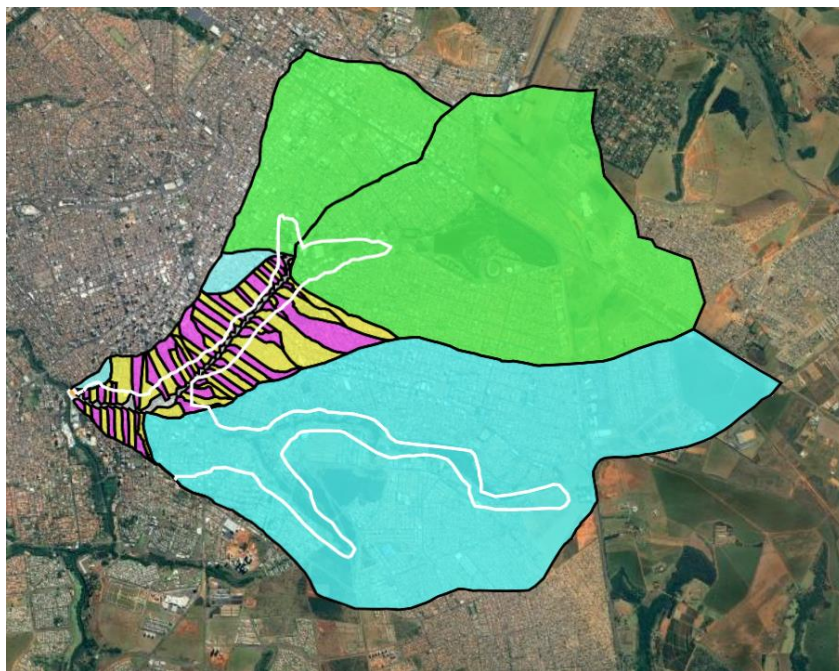
Tabela 4.2 - Comprimentos axiais e comprimentos das vias principais do lado direito.

LADO DIREITO DA VIA	Lv = L da via (m)	L axial (m)
Rondon - montante	2405	3264,00
Av. João Naves de Ávila (direita)	1364	1169,00
Rua Joaquim F. Braga	160	220,00
Rua Hort. Morais	367	362,00
Rua Camilo Braga	378	369,00
Rua Segismundo Morais	388	388,00
Rua José Morais	392	397,00
Rua Geraldo Morais	400	405,00
Rua Fco Zunpano/Rua Mário Ribeiro	418	436,00
Rua Maria V. Ribeiro	423	429,00
Rua Joaquim Cordeiro	490	490,00
Rua Resende	630	627,00
Rua Coronel Antônio Pereira	750	764,00
Rua Quintino Bocaiúva	735	739,00
Rua Tenente Virmondes	683	684,00
Rua Machado de Assis	480	647,00
Rua Duque de Caxias	280	347,00
Rua Olegário Maciel	762	1010,00
Rua Doutor Lacerda	150	612,00
Rua Rio Preto	250	413,00
Rua Padre Mário Porto	554	757,00
Rua Santos Dumont	580	600,00
Rua Javari	570	546,00
Rua Rodolfo Correia	743	864,00
Avenida Nicomedes Alves dos Santos	740	740,00
Rua Augusto César	769	772,00
Rua General Osório	855	919,00
Rua Felisberto Carrijo	771	794,00
Nascente Assaí Supermercados (cont. rua Benja	731	753,00
Rua Botafogo	328	327,00
Rua Icarai	320	344,00
Rua da Carioca	280	289,00
Avenida dos Municípios	220	216,00
Rua Tijuca	150	151,00
Rua sem nome (Av. Hermes Fonseca Carneiro)	110	146,00
Rua Sem. Salgado Filho	45	87,00
Avenida Afrânio Rodrigues da Cunha	915	810,00

Fonte: Autor (2023).

## 4.2 - CÁLCULO DA CURVA NÚMERO DAS MICROBACIAS

No cálculo de CN foi considerado a existência dos diferentes grupos hidrológicos do solo das microbacias e suas respectivas áreas. Sendo assim, foi feita a superposição do mapa das classes hidrológicas de solo com o mapa de uso do solo, basicamente considerado como a imagem de satélite do *Google Maps*. O mapa obtido está ilustrado na Figura 4.2.



**Figura 4.2 - Superposição do mapa de uso do solo (imagem de satélite) e mapa das classes hidrológicas do solo.**

**Fonte: Autor (2023).**

Nas tabelas a seguir, tem-se os valores de CN obtidos para cada microbacia. Observe que apenas a microbacia do córrego Lagoinha, a maior em área, possui o número CN menor em relação aos demais. Isso porque nesta microbacia ainda há muita área permeável, incluindo áreas de proteção permanente que funcionam como zonas naturais de amortecimento de cheias.

Tabela 4.3 - Comprimentos axiais e comprimentos das vias principais do lado esquerdo.

LADO DIREITO DA VIA	CN
Rondon - montante	78
Av. João Naves de Ávila (direita)	79
Rua Joaquim F. Braga	85
Rua Hort. Morais	85
Rua Camilo Braga	83
Rua Segismundo Morais	82
Rua José Morais	80
Rua Geraldo Morais	79
Rua Fco Zunpano/Rua Mário Ribeiro	80
Rua Maria V. Ribeiro	78
Rua Joaquim Cordeiro	95
Rua Resende	80
Rua Coronel Antônio Pereira	80
Rua Quintino Bocaiúva	77
Rua Tenente Virmondês	78
Rua Machado de Assis	78
Rua Duque de Caxias	80
Rua Olegário Maciel	79
Rua Doutor Lacerda	81
Rua Rio Preto	83
Rua Padre Mário Porto	82
Rua Santos Dumont	82
Rua Javari	82
Rua Rodolfo Correia	81
Avenida Nicomedes Alves dos Santos	83
Rua Augusto César	81
Rua General Osório	84
Rua Felisberto Carrijo	79
Nascente Assaí Supermercados	80
Rua Botafogo	87
Rua Icaraí	87
Rua da Carioca	89
Avenida dos Municípios	91
Rua Tijuca	92
Rua sem nome (Av. Hermes Fonseca Carneiro)	83
Rua Sem. Salgado Filho	86
Avenida Afrânio Rodrigues da Cunha	78

Fonte: Autor (2023).

**Tabela 4.4 - Comprimentos axiais e comprimentos das vias principais do lado esquerdo.**

LADO ESQUERDO DA VIA	CN result
Av. João Naves de Ávila (esquerdo)	97
Rua Modesta Maria	96
Rua Luiz Jesus	96
Av. Anselmo Alves dos Santos	77
Rua João Garcia	84
Rua Edson Barros (Av. Salim Suad)	87
Av. Ubiratan de Castro	88
Rua Manoel dos Santos	77
Rua Paraúna	91
Rua Vitalino R. Carmo	86
Rua Nicodemos Alves dos Santos	78
Rua Armando Lombardi	85
Rua Rafael Lourenço	84
Rua Coronel Antônio Alves	81
Rua dos Carrijos	79
Rua Machado de Assis	79
Rua Duque de Caxias	80
Rua Olegário Maciel	81
Rua Doutor Lacerda	78
Rua Rio Preto	77
Rua Polidoro Freitas Rodrigues	76
Rua Antônio Correia Jr.	72
Rua Raimundo P. Carvalho	76
Rua Abrão Calil	80
Rua Teófilo Alves	72
Avenida Nicomedes Alves dos Santos	84
Rua Blanche Galassi (exutório do córrego Lagoinha)	68
Avenida Francisco Galassi	87
Rua Coronel Severiano	91
Rua Ipanema	87
Rua Leblon	84
Rua Botafogo	88
Rua Icaraí	93
Rua da Carioca	93
Avenida dos Municípios	91
Rua da Tijuca	92
Av. Hermes Fonseca Carneiro (dentro do Praia Clube)	84

**Fonte: Autor (2023).**

Note que, de uma forma geral, o CN das microbacias é elevado, acima de 70. Isso decorre do elevado grau de urbanização da maioria delas, refletindo no maior potencial de gerar escoamento superficial susceptível de ser convertido em vazão de superfície. Mesmo que a maioria das microbacias laterais tenham área inferior a  $0,5 \text{ km}^2$ , as taxas de infiltração tendem a ser prejudicadas em favor do escoamento superficial. Isso pressupõe a injeção, na avenida Rondon Pacheco, de pequenos hidrogramas em série, cujas vazões individuais contribuem para intensificar as descargas volumétricas transportadas pela avenida.

### **4.3 - DECLIVIDADE DAS MICROBACIAS CONTRIBUINTES**

O mapa planialtimétrico de Uberlândia, em arquivo DWG, proporcionou o levantamento de coordenadas dos pontos. Nesse contexto, foi utilizado o sistema UTM, baseado em

---

coordenadas cartesianas métricas que permitem mais facilmente a obtenção da distância entre os diversos pontos. Assim, foram coletadas as cotas de montante (no divisor de águas, na interseção com o comprimento axial) e jusante (no encontro com a avenida Rondon Pacheco) das microbacias, para obtenção da declividade das mesmas.

A declividade das microbacias foi calculada através da equação 27, e as declividades obtidas estão apresentadas na tabela 4.5 e na tabela 4.6.

$$d = \frac{(cota\ montante - cota\ jusante)}{L_{axial}} \quad (27)$$

As declividades são parâmetros geométricos importantes no cálculo dos tempos de concentração. Nas microbacias do Bairro Saraiva (lado esquerdo) e Lídice (lado direito), as elevadas declividades contribuem para redução do tempo de concentração, antecipando os picos dos hidrogramas. Isso faz com que a água pluvial, originada nessas bacias, chegue rapidamente à avenida Rondon Pacheco.

**Tabela 4.5 - Declividade das microbacias do lado direito.**

LADO DIREITO DA VIA	declividade (m/m)
Rondon - montante	0,024203431
Av. João Naves de Ávila (direita)	0,0273738238
Rua Joaquim F. Braga	0,0454545455
Rua Hort. Morais	0,0552486188
Rua Camilo Braga	0,0650406504
Rua Segismundo Morais	0,0695876289
Rua José Morais	0,0705289673
Rua Geraldo Morais	0,0716049383
Rua Fco Zunpano/Rua Mário Ribeiro	0,0711009174
Rua Maria V. Ribeiro	0,0815850816
Rua Joaquim Cordeiro	0,0775510204
Rua Resende	0,0685805423
Rua Coronel Antônio Pereira	0,0602094241
Rua Quintino Bocaiúva	0,0622462788
Rua Tenente Virmondes	0,0657894737
Rua Machado de Assis	0,0710973725
Rua Duque de Caxias	0,1008645533
Rua Olegário Maciel	0,0544554455
Rua Doutor Lacerda	0,0816993464
Rua Rio Preto	0,0895883777
Rua Padre Mário Porto	0,0713342140
Rua Santos Dumont	0,1000000000
Rua Javari	0,1025641026
Rua Rodolfo Correia	0,0717592593
Avenida Nicomedes Alves dos Santos	0,0824324324
Rua Augusto César	0,0803108808
Rua General Osório	0,0707290533
Rua Felisberto Carrijo	0,0780856423
Nascente Assaí Supermercados	0,0717131474
Rua Botafogo	0,0825688073
Rua Icarai	0,1017441860
Rua da Carioca	0,0968858131
Avenida dos Municípios	0,0879629630
Rua Tijuca	0,0993377483
Rua sem nome (Av. Hermes Fonseca Carneiro)	0,0684931507
Rua Sem. Salgado Filho	0,0804597701
Avenida Afrânio Rodrigues da Cunha	0,0654320988

**Fonte: Autor (2023).**

**Tabela 1 - Declividade das microbacias do lado esquerdo.**

LADO ESQUERDO DA VIA	declividade (m/m)
Av. João Naves de Ávila (esquerdo)	0,019417476
Rua Modesta Maria	0,041666667
Rua Luiz Jesus	0,037735849
Av. Anselmo Alves dos Santos	0,0170305
Rua João Garcia	0,03965702
Rua Edson Barros (Av. Salim Suad)	0,0546875
Av. Ubiratan de Castro	0,044145873
Rua Manoel dos Santos	0,037905237
Rua Paraúna	0,067901235
Rua Vitalino R. Carmo	0,059241706
Rua Nicodemos Alves dos Santos	0,039358601
Rua Armando Lombardi	0,076530612
Rua Rafael Lourenço	0,076677316
Rua Coronel Antônio Alves	0,063988095
Rua dos Carrijos	0,04438861
Rua Machado de Assis	0,040971168
Rua Duque de Caxias	0,064638783
Rua Olegário Maciel	0,074022346
Rua Doutor Lacerda	0,075070822
Rua Rio Preto	0,077265973
Rua Polidoro Freitas Rodrigues	0,07523511
Rua Antônio Correia Jr.	0,086956522
Rua Raimundo P. Carvalho	0,075320513
Rua Abrão Calil	0,08583691
Rua Teófilo Alves	0,068263473
Avenida Nicomedes Alves dos Santos	0,064295486
Rua Blanche Galassi (exutório do córrego Lagoinha)	0,007075472
Avenida Francisco Galassi	0,037688442
Rua Coronel Severiano	0,055771725
Rua Ipanema	0,048951049
Rua Leblon	0,037433155
Rua Botafogo	0,030534351
Rua Icaraí	0,021008403
Rua da Carioca	0,016949153
Avenida dos Municípios	0,013245033
Rua da Tijuca	0,010752688
Av. Hermes Fonseca Carneiro (dentro do Praia Clube)	0,004444444

Fonte: Autor (2023).

#### 4.4 – EFICIÊNCIA DAS GALERIAS

O levantamento da rede de galerias de água pluvial existente na região foi feito com base no mapa disponibilizado no estudo de Medeiros (2015). Contudo, é relevante frisar a carência de informações recentes de redes pluviais, dessa forma, esse levantamento de rede foi estimado, e não se tem a certeza do valor exato do comprimento de rede em cada microbacia.

A fração de vazão que as galerias conseguem captar em cada microbacia foi calculada de forma simplista, utilizando a relação entre o comprimento de galeria e o comprimento da rua principal (conforme descrito no capítulo anterior). Para as grandes microbacias de montante - Rondon-Montante (córrego São Pedro), Anselmo Alves dos Santos (córrego



Jataí) e rua Blanche Galassi (córrego Lagoinha) – a estimativa partiu da capacidade máxima de transporte dos canais subterrâneos (ver capítulo anterior).

Na tabela 4.7, observe que algumas microbacias obtiveram valor de 100% da vazão veiculada nas galerias. Nesses casos, no cálculo dos hidrogramas, foi determinado 90% da vazão veiculada nas galerias, considerando assim que as galerias, mesmo que tenham boa cobertura, não conseguem captar toda a água das sarjetas. Sendo assim, considerou-se que pelo menos 10% de vazão é descarregada na avenida Rondon Pacheco por essas vias.

**Tabela 4.7 - Porcentagem de vazão veiculada nas galerias das microbacias do lado direito.**

LADO DIREITO DA VIA	% vazão veiculada nas galerias
Rondon - montante	100
Av. João Naves de Ávila (direita)	100
Rua Joaquim F. Braga	54
Rua Adelino Franco	0
Rua Hort. Morais	73
Rua Camilo Braga	76
Rua Segismundo Morais	33
Rua José Morais	15
Rua Geraldo Morais	69
Rua Fco Zunpano/Rua Mário Ribeiro	30
Rua Maria V. Ribeiro	66
Rua Joaquim Cordeiro	45
Rua Resende	37
Rua Coronel Antônio Pereira	15
Rua Quintino Bocaiúva	27
Rua Tenente Virmondes	55
Rua Machado de Assis	42
Rua Duque de Caxias	100
Rua Olegário Maciel	12
Rua Doutor Lacerda	100
Rua Rio Preto	62
Rua Padre Mário Porto	0
Rua Santos Dumont	91
Rua Javari	69
Rua Rodolfo Correia	42
Avenida Nicomedes Alves dos Santos	100
Rua Augusto César	34
Rua General Osório	46
Rua Felisberto Carrijo	49
Nascente Assaí Supermercados (cont. rua Benja	96
Rua Botafogo	82
Rua Icarai	69
Rua da Carioca	46
Avenida dos Municípios	0
Rua Tijuca	0
Rua sem nome (Av. Hermes Fonseca Carneiro)	0
Rua Sem. Salgado Filho	0
Avenida Afrânio Rodrigues da Cunha	71

**Fonte: Autor (2023).**

Tabela 4.8 - Porcentagem de vazão veiculada nas galerias das microbacias do lado esquerdo.

LADO ESQUERDO DA VIA	% vazão veiculada nas galerias
Av. João Naves de Ávila (esquerdo)	0
Rua Modesta Maria	0
Rua Luiz Jesus	0
Av. Anselmo Alves dos Santos	100
Rua João Garcia	36
Rua Edson Barros (Av. Salim Suad)	100
Av. Ubiratan de Castro	13
Rua Manoel dos Santos	100
Rua Paraúna	0
Rua Vitalino R. Carmo	100
Rua Nicodemos Alves dos Santos	23
Rua Armando Lombardi	34
Rua Rafael Lourenço	100
Rua Coronel Antônio Alves	100
Rua dos Carrijos	33
Rua Machado de Assis	37
Rua Duque de Caxias	24
Rua Olegário Maciel	14
Rua Doutor Lacerda	20
Rua Rio Preto	100
Rua Polidoro Freitas Rodrigues	85
Rua Antônio Correia Jr.	91
Rua Raimundo P. Carvalho	45
Rua Abrão Calil	0
Rua Teófilo Alves	81
Avenida Nicomedes Alves dos Santos	41
Rua Blanche Galassi (exutório do córrego Lagoinha)	100
Rua Belmira	0
Avenida Francisco Galassi	100
Rua Coronel Severiano	77
Rua Ipanema	36
Rua Leblon	28
Rua Botafogo	0
Rua Icaraí	0
Rua da Carioca	0
Avenida dos Municípios	100
Rua da Tijuca	100
Av. Hermes Fonseca Carneiro (dentro do Praia Clube)	0

Fonte: Autor (2023).

#### 4.5 - HIDROGRAMAS GERADOS PELO MODELO COMPUTACIONAL CHUVA-VAZÃO

O método Santa Bárbara, que calcula o hidrograma final de cada microbacia foi automatizado no modelo construído por Alamy Filho (2022), o qual foi aplicado para obter o hietograma que foi imposto em todas as áreas, embasando o cálculo dos hidrogramas resultantes de todas as 76 microbacias.

A quantidade de hidrogramas é muito grande para ser mostrada no corpo principal do texto. Por isso eles serão apresentados nos anexos deste trabalho.

## PARTE II – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS

### 4.6 – PROFUNDIDADES

A partir do software HEC-RAS foi possível simular a onda de cheia da avenida Governador Rondon Pacheco. Abaixo é apresentado o mapa de envoltória de inundação, o qual mostra a região que, ao menos uma vez ao longo do evento de chuva, foi afetada pela inundação. Ou seja, locais onde a profundidade (h) do escoamento ficou maior que zero em pelo menos um instante.



**Figura 4.1 - Mapa de envoltória de inundação da avenida Governador Rondon Pacheco**

**Fonte: Autor (2023).**

Como é possível observar nos mapas a seguir, a avenida Governador Rondon Pacheco apresenta várias zonas adjacentes passíveis de inundação, no entanto, alguns trechos se destacam pela alta profundidade da lâmina de água em pouco tempo de chuva.

Nota-se que no cruzamento da avenida Governador Rondon Pacheco com a avenida Anselmo Alves dos Santos (exutório do córrego Jataí), com apenas 12 minutos após iniciar o evento de chuva já surgem manchas de inundação no encontro das avenidas. O mesmo

ocorre com a região compreendida entre o exutório do córrego Lagoinha e o trecho final da avenida.

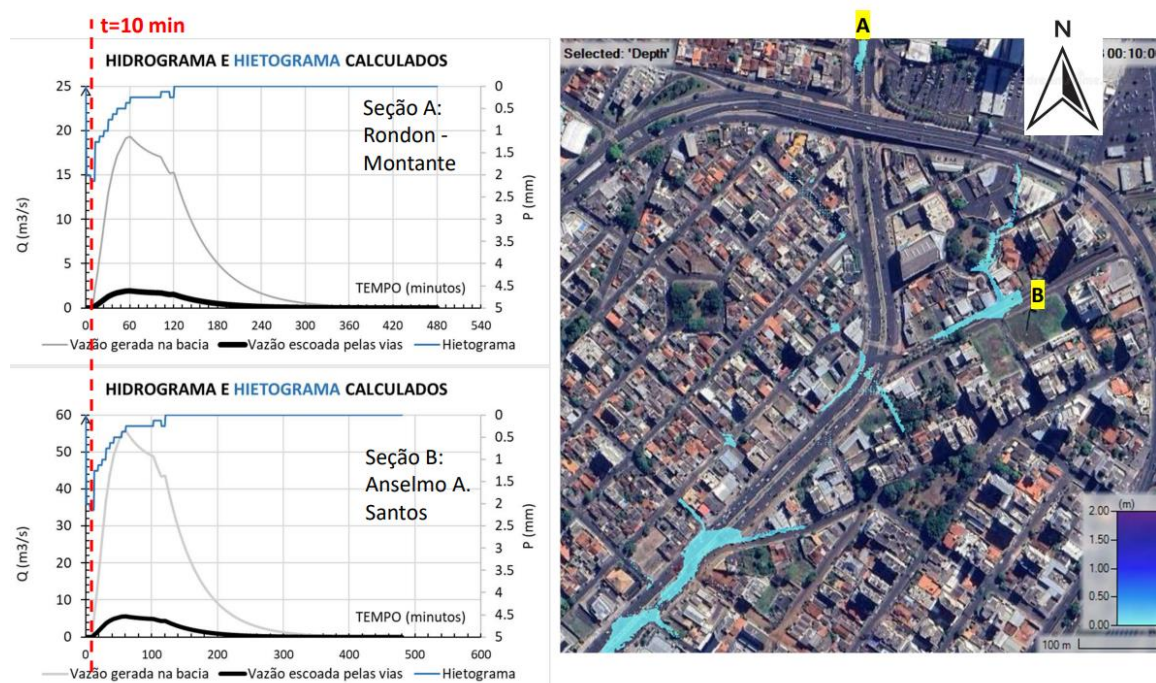


Figura 4.2 - Mapa de profundidade do início do trecho para um tempo de chuva de 10 minutos.

Fonte: Autor (2023).

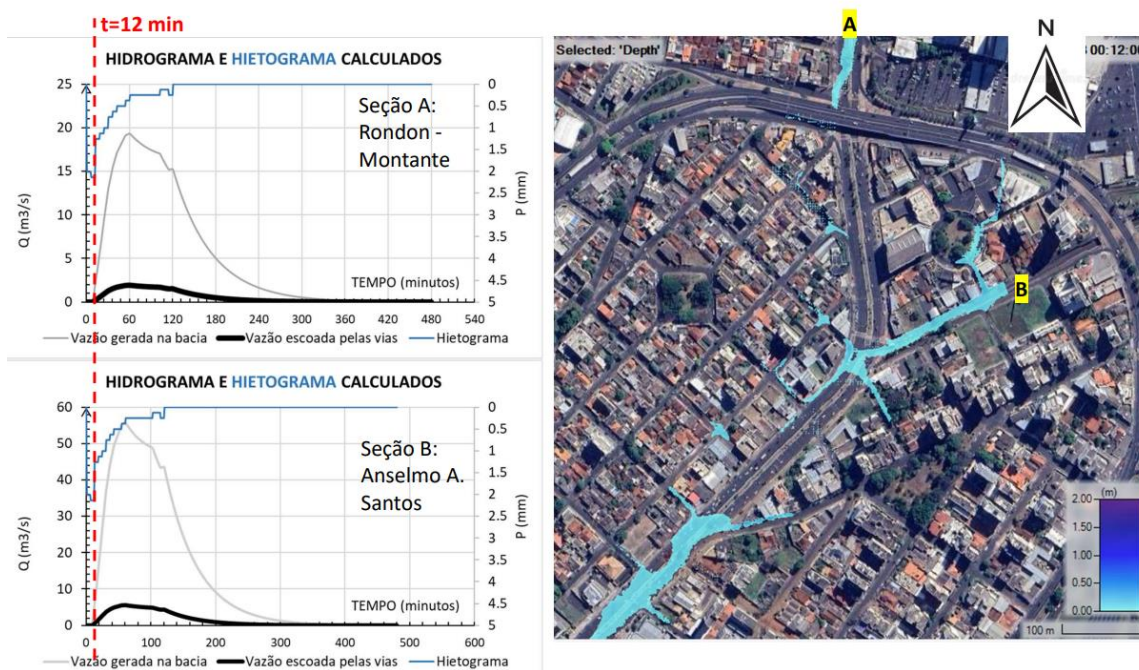


Figura 4.3 - Mapa de profundidade do início do trecho para um tempo de chuva de 12 minutos.

Fonte: Autor (2023).

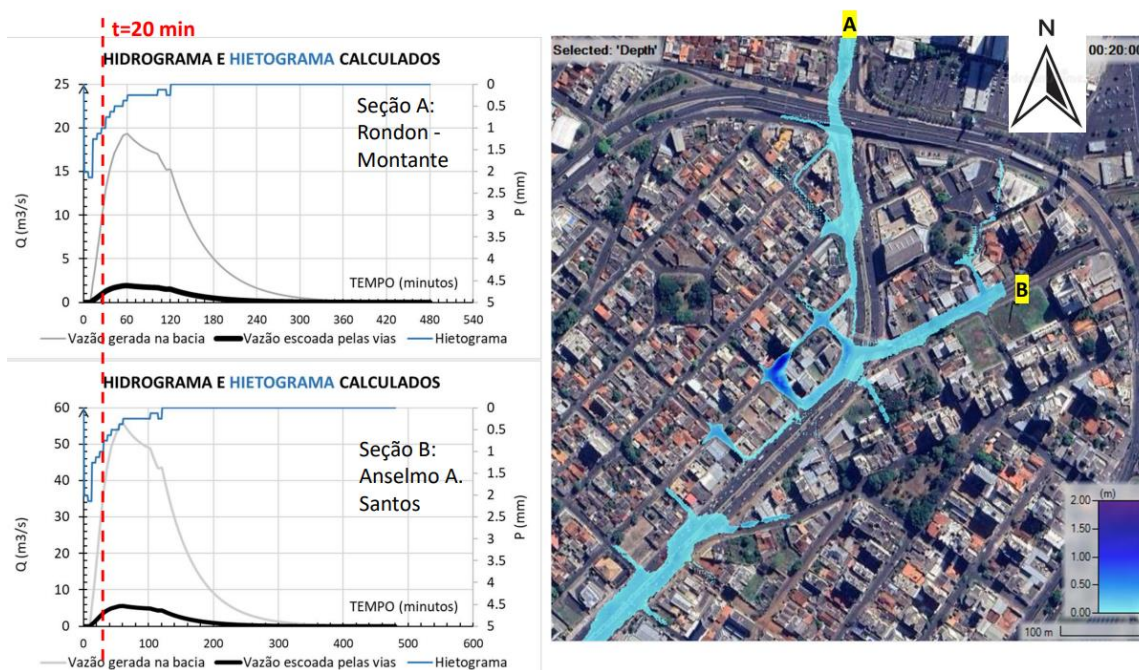


Figura 4.4 - Mapa de profundidade do início do trecho para um tempo de chuva de 20 minutos.

Fonte: Autor (2023).

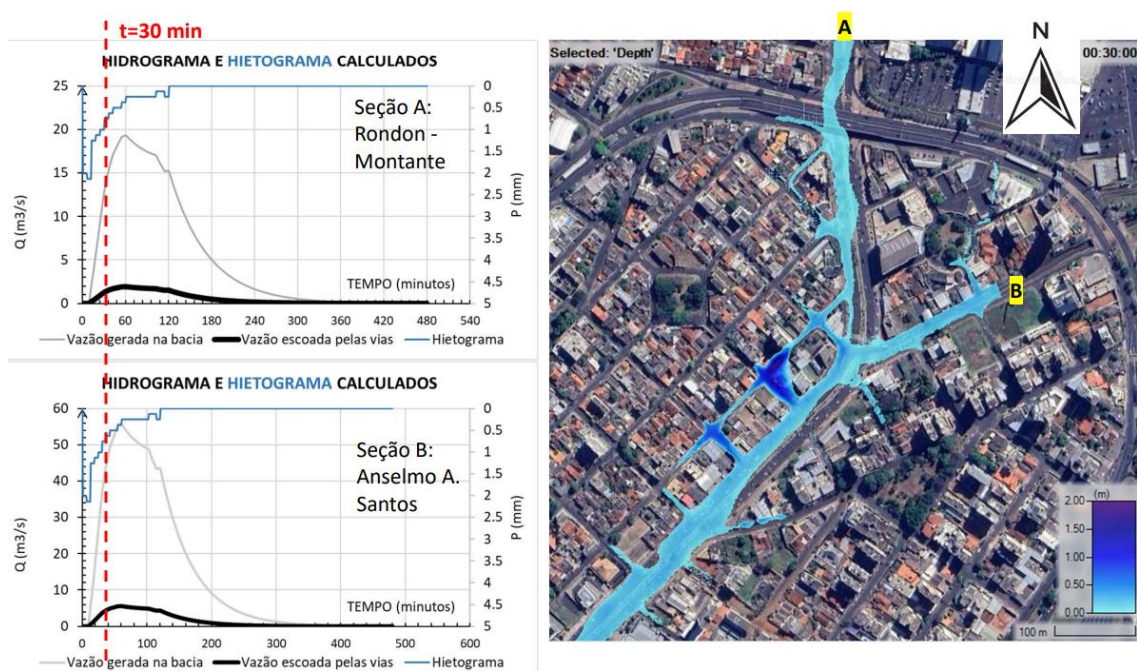


Figura 4.5 - Mapa de profundidade do início do trecho para um tempo de chuva de 30 minutos.

Fonte: Autor (2023).

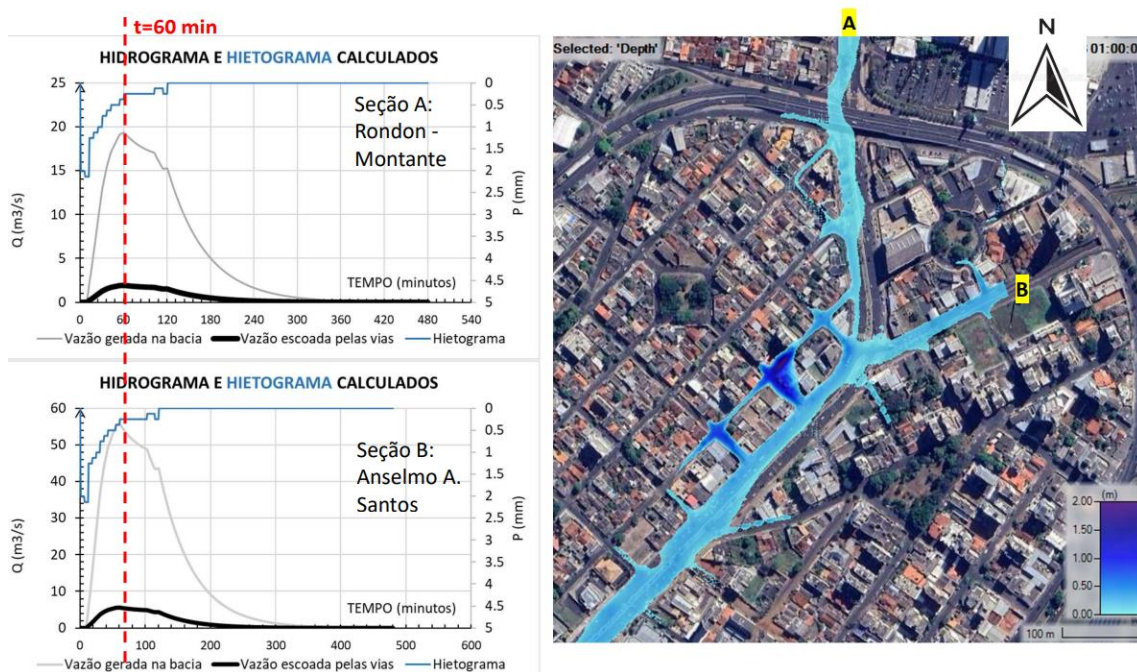


Figura 4.6 - Mapa de profundidade do início do trecho para um tempo de chuva de 60 minutos.

Fonte: Autor (2023).

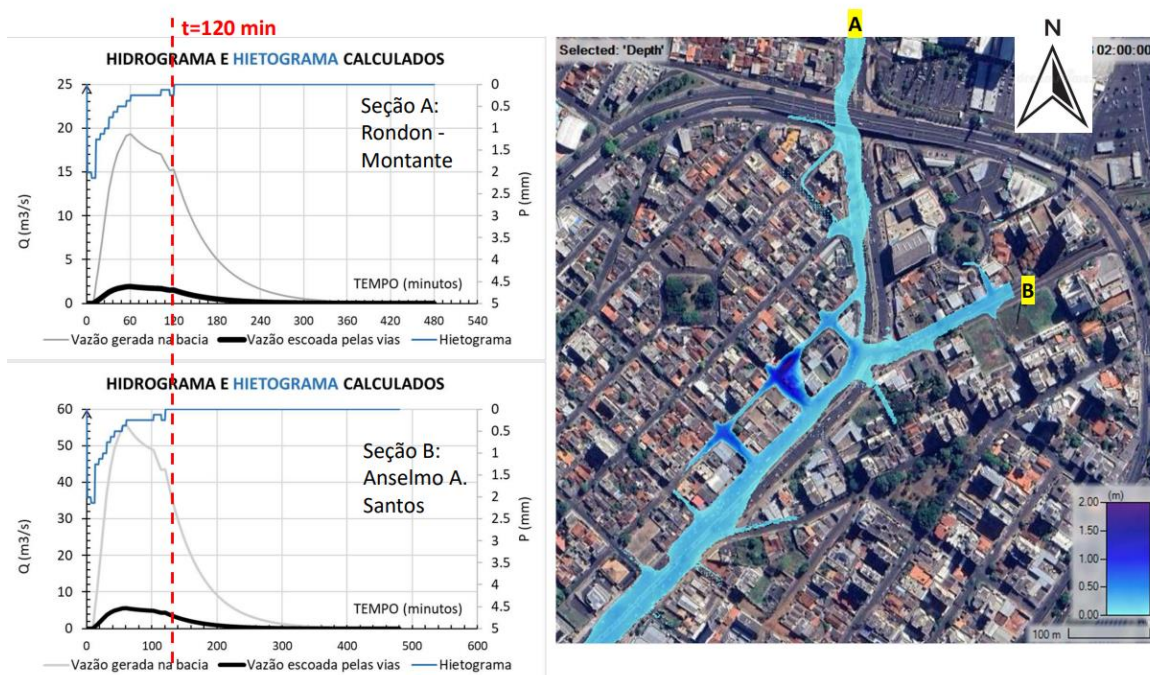


Figura 4.7 - Mapa de profundidade do início do trecho para um tempo de chuva de 120 minutos.

Fonte: Autor (2023).

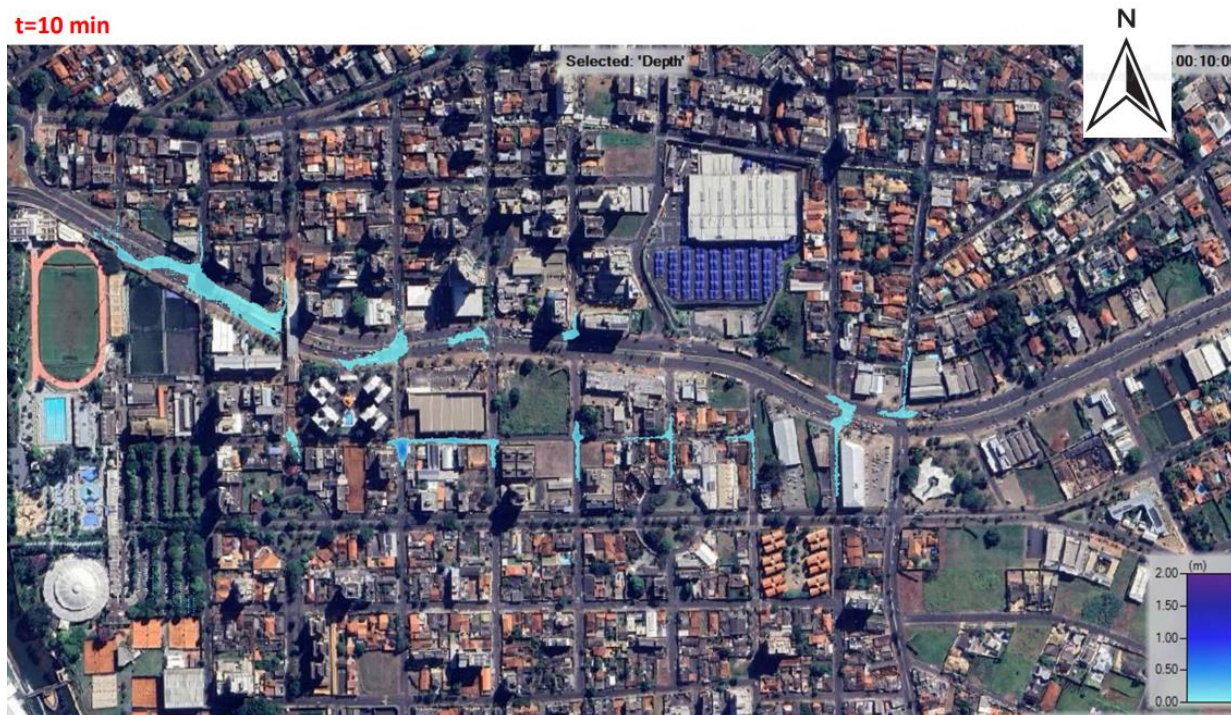


Figura 4.8 - Mapa de profundidade do final do trecho para um tempo de chuva de 10 minutos.

Fonte: Autor (2023).

t=12 min

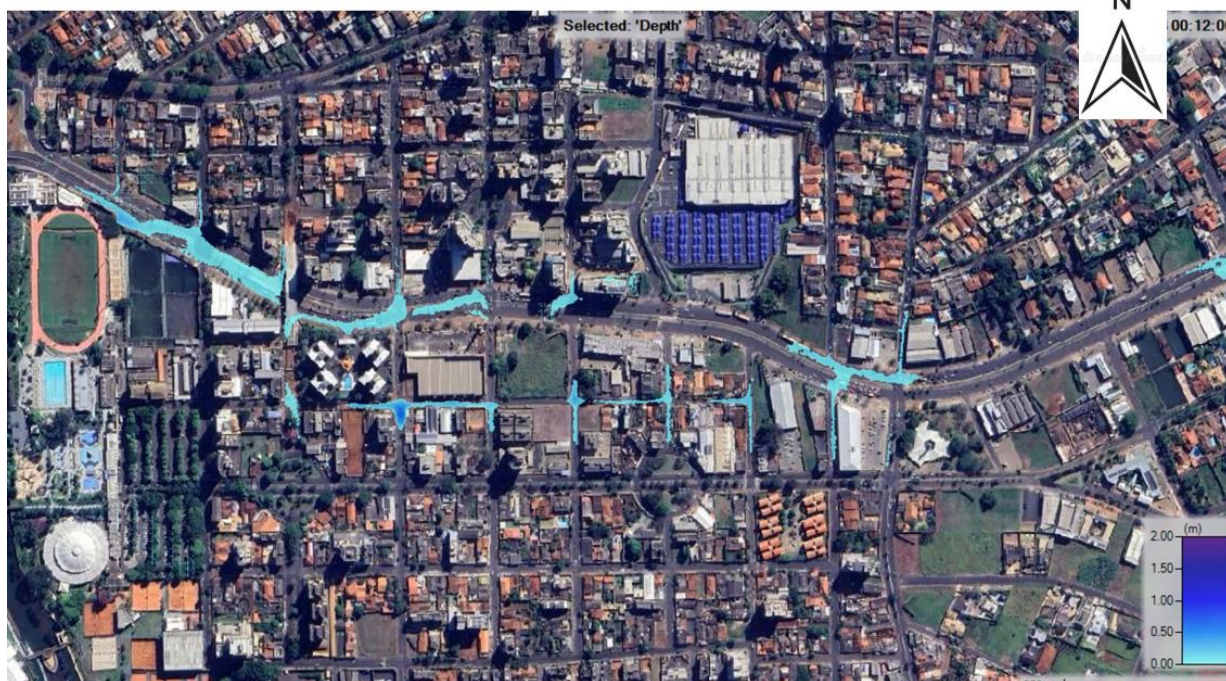


Figura 4.9 - Mapa de profundidade do final do trecho para um tempo de chuva de 12 minutos.

Fonte: Autor (2023).

t=20 min

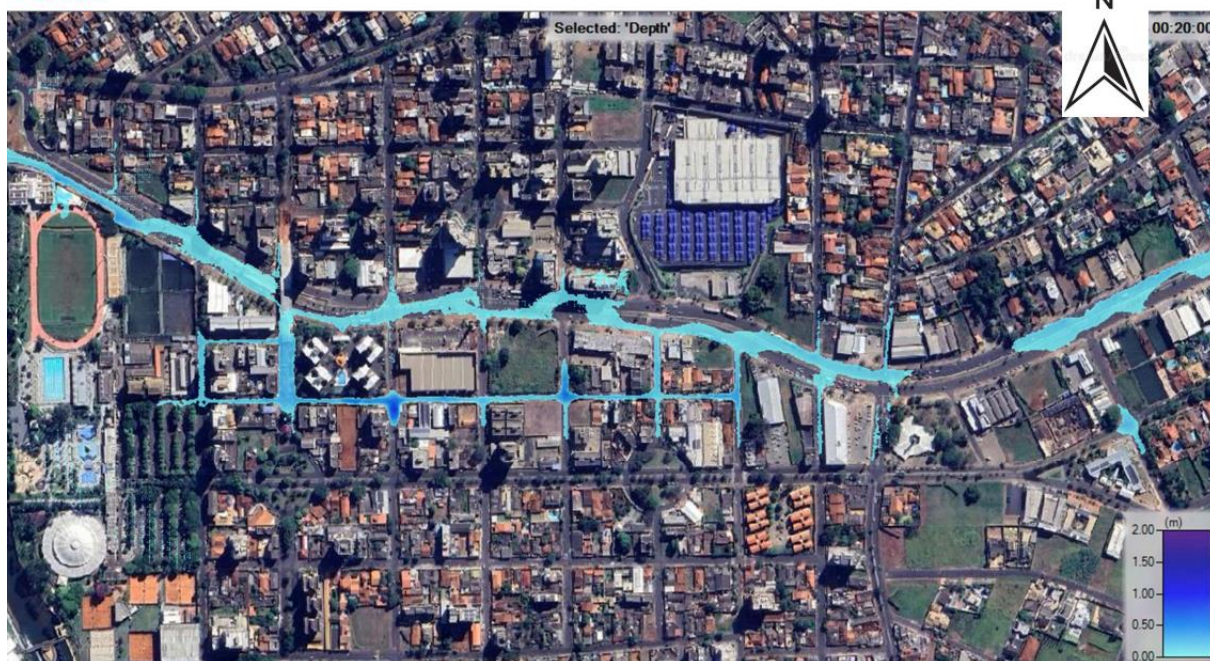


Figura 4.10 - Mapa de profundidade do final do trecho para um tempo de chuva de 20 minutos.

Fonte: Autor (2023).



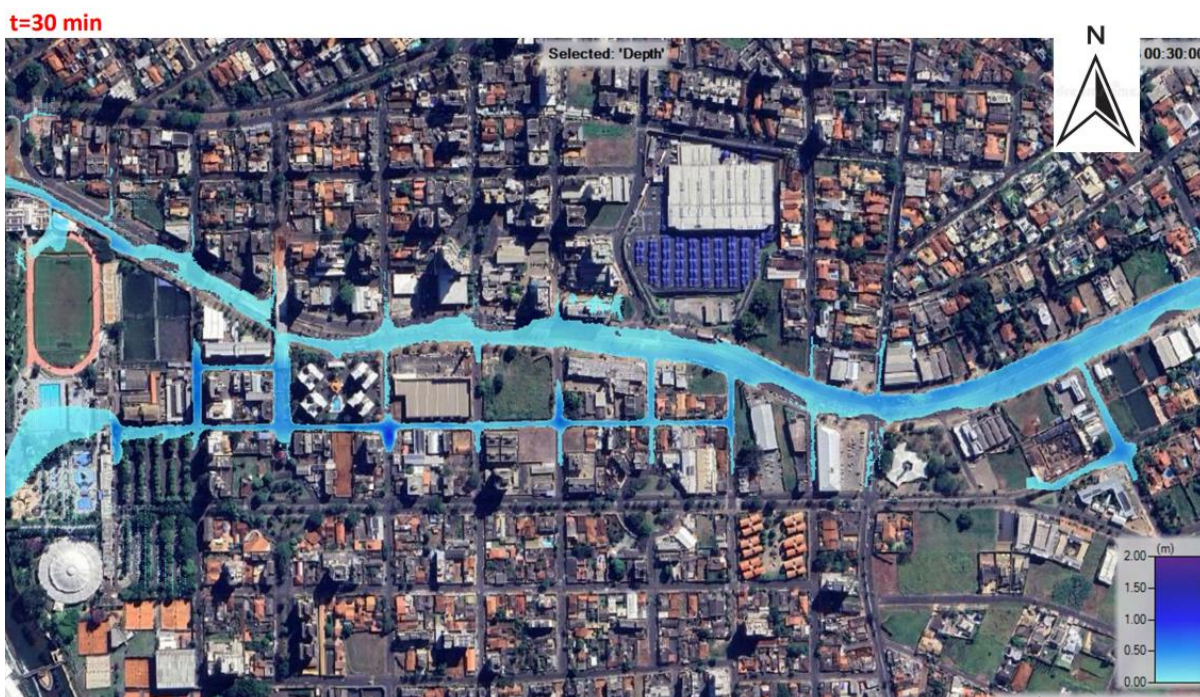


Figura 4.11 - Mapa de profundidade do final do trecho para um tempo de chuva de 30 minutos.

Fonte: Autor (2023).

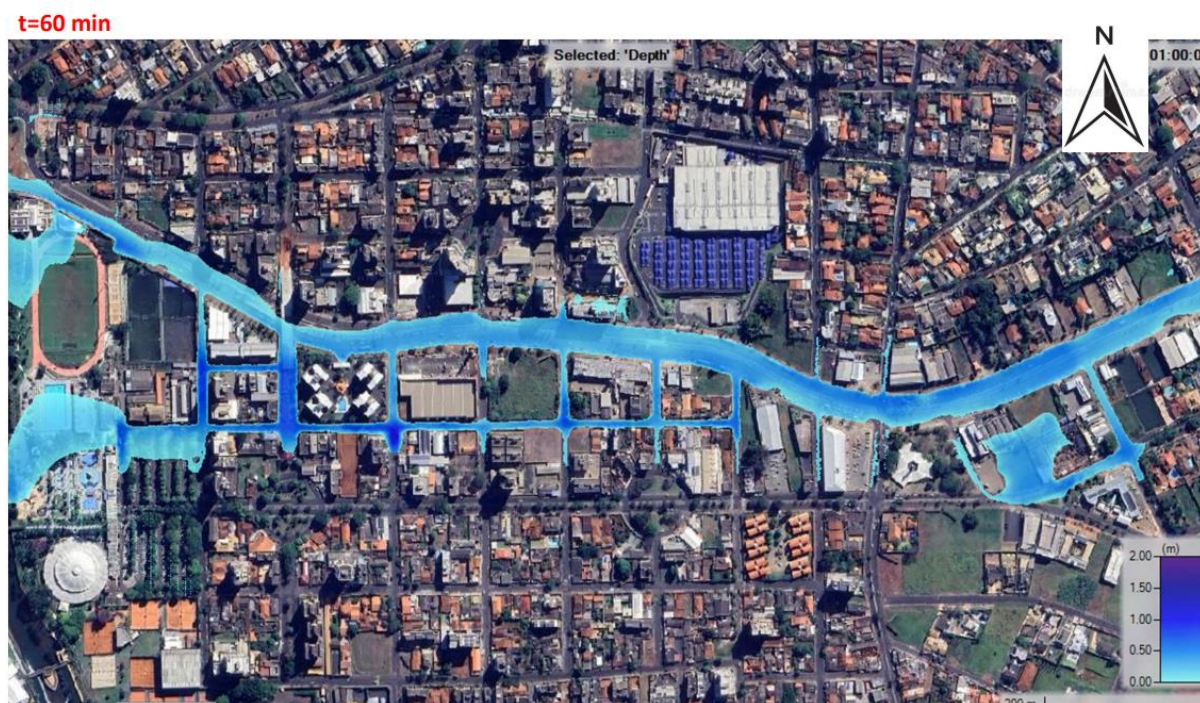
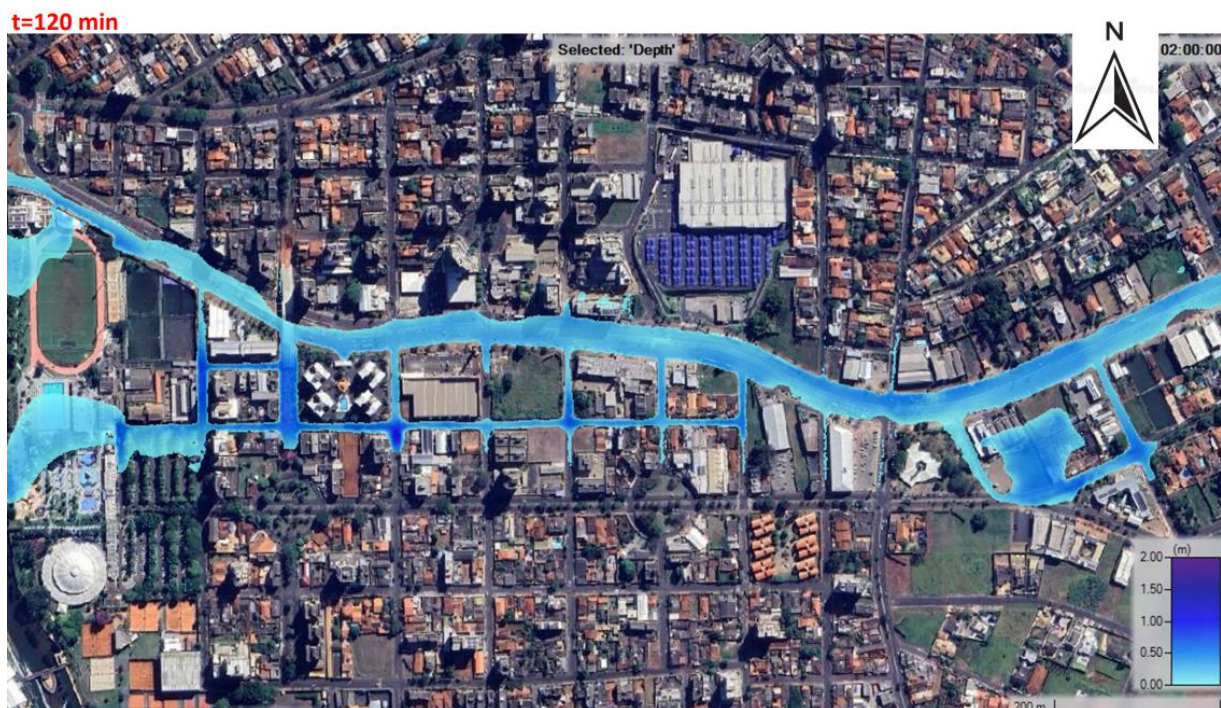


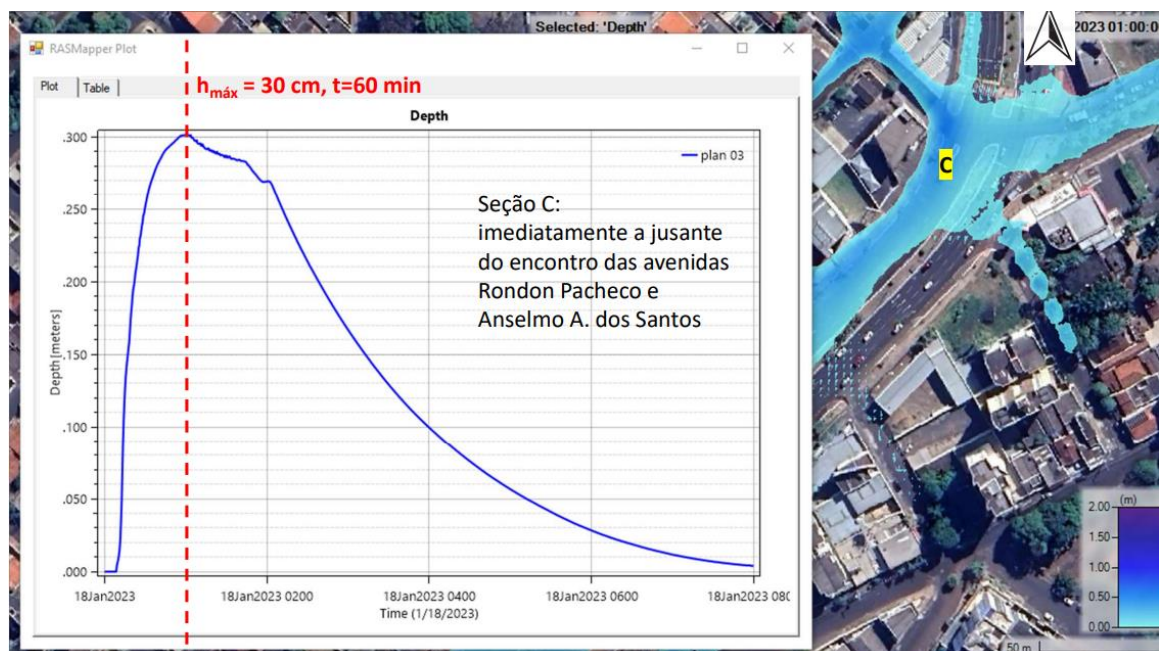
Figura 4.12 - Mapa de profundidade do final do trecho para um tempo de chuva de 60 minutos.

Fonte: Autor (2023).



**Figura 4.13 - Mapa de profundidade do final do trecho para um tempo de chuva de 120 minutos.**

Fonte: Autor (2023).



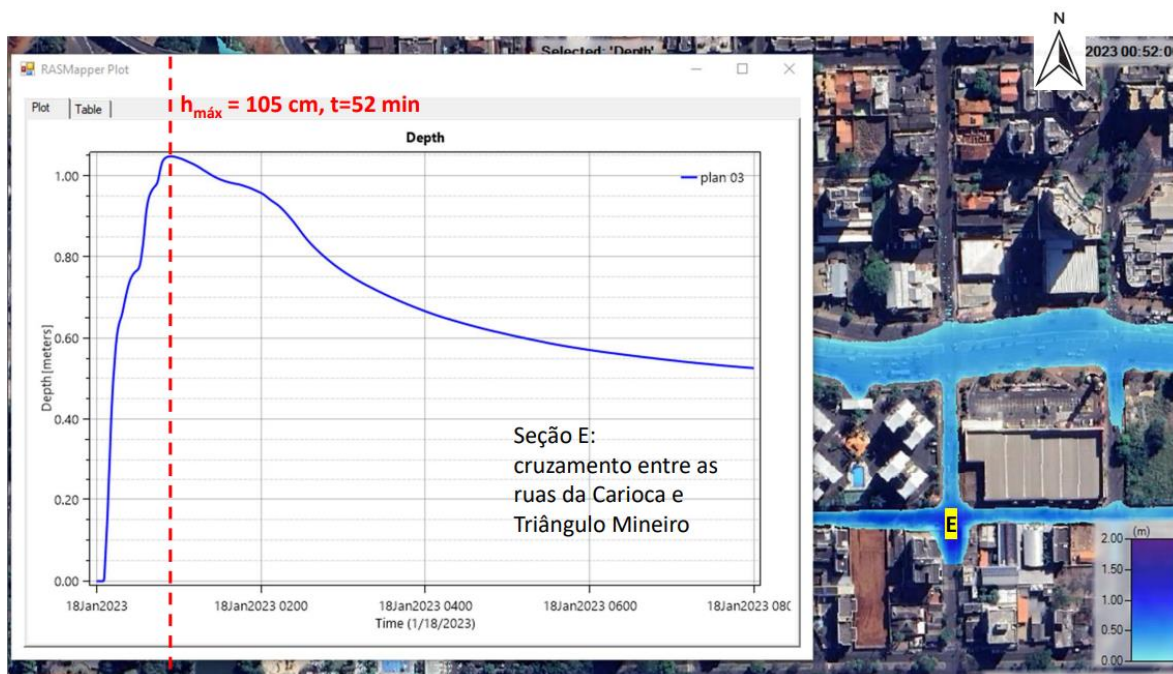
**Figura 4.14 - Profundidade da lâmina de água no trecho de encontro das avenidas Governador Rondon Pacheco e Anselmo Alves dos Santos.**

Fonte: Autor (2023).



**Figura 4.15 - Profundidade da lâmina de água no trecho de cruzamento da avenida Governador Rondon Pacheco com a rua General Osório.**

Fonte: Autor (2023).



**Figura 4.16 - Profundidade da lâmina de água no cruzamento entre as ruas da Carioca e Triângulo Mineiro.**

Fonte: Autor (2023).

---

Conforme os hidrogramas e mapas de inundações mostrados, o cruzamento das ruas Da Carioca e Triângulo Mineiro, é o local do trecho final mais afetado pela inundação, visto que pode apresentar uma lâmina de água com profundidade de 1,05 metros em apenas 52 minutos após a chuva ter iniciado.

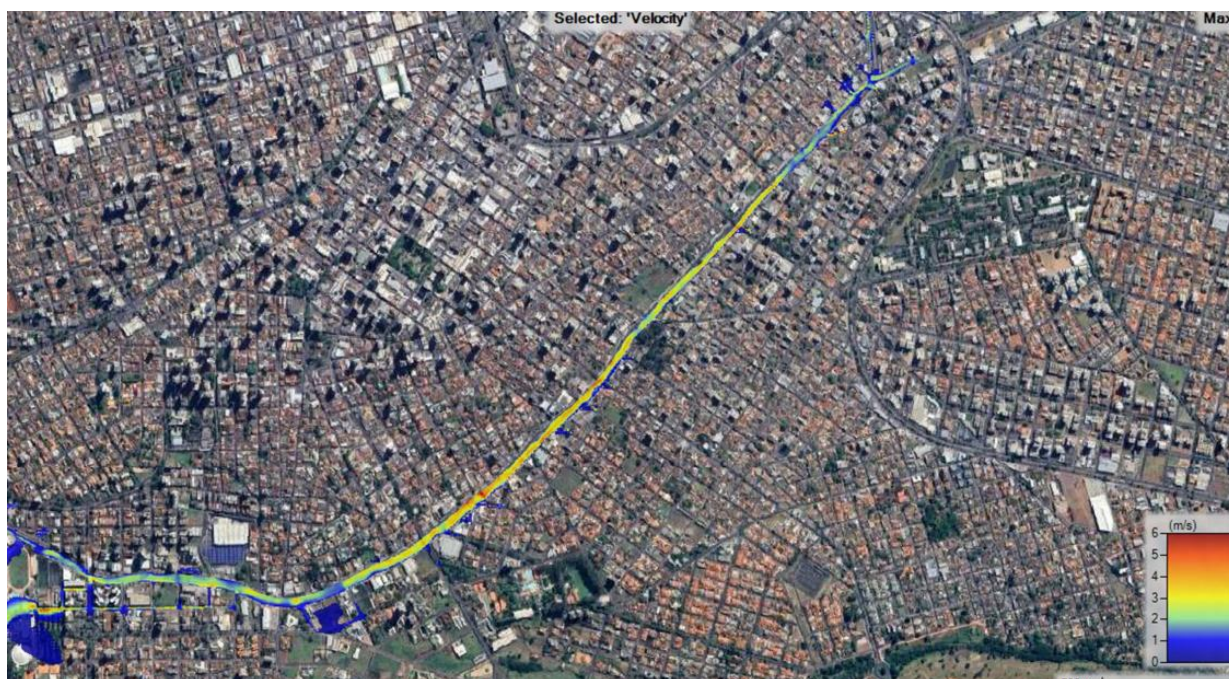
Não só como o trecho no final da via, mas também na região dos cruzamentos da avenida Rondon Pacheco com a avenida Anselmo Alves dos Santos e com a rua General Osório, é notável a situação crítica em relação à profundidade, que apesar de não se apresentar tão grave como no trecho de encontro das ruas Cariocas e Triângulo Mineiro, indicam o surgimento de manchas de inundação com lâmina de água de até 53 centímetros em apenas 60 minutos de chuva.

Acredita-se que essas áreas apresentam zonas de profundidade mais intensas devido às suas conformações planas e às suas localizações em pontos baixos em relação à avenida Governador Rondon Pacheco.

#### **4.7 – VELOCIDADES**

Assim como foi possível gerar os mapas de inundação, o software usado para modelagem hidráulica permite o mapeamento da velocidade do escoamento. A seguir, é apresentado esse mapa de velocidades máximas do escoamento para o trecho da avenida em estudo.

Observe no mapa que as cores do escoamento variam de azul a vermelho, indicando velocidade mínima e máxima, respectivamente.



**Figura 4.17 - Mapa de velocidades máxima do escoamento.**

**Fonte: Autor (2022).**

Nota-se no mapa vários trechos de cor vermelha, são regiões, que por sua vez, apresentam maiores riscos de arraste de veículo e destacamento asfáltico, visto que nesses locais a velocidade do escoamento é maior que nos demais, chegando a 6 m/s.

Esses pontos críticos podem ser observados nos mapas a seguir, e se localizam nas proximidades do viaduto Carlos Saraiva, no viaduto da Rua Olegário Maciel, no trecho entre as ruas Javari e Raimundo P Carvalho, e na região compreendida entre o exutório do córrego Lagoinha e a Avenida dos Municípios.



Figura 4.18 - Mapa de velocidades máximas do escoamento no trecho do viaduto Carlos Saraiva.

Fonte: Autor (2023).

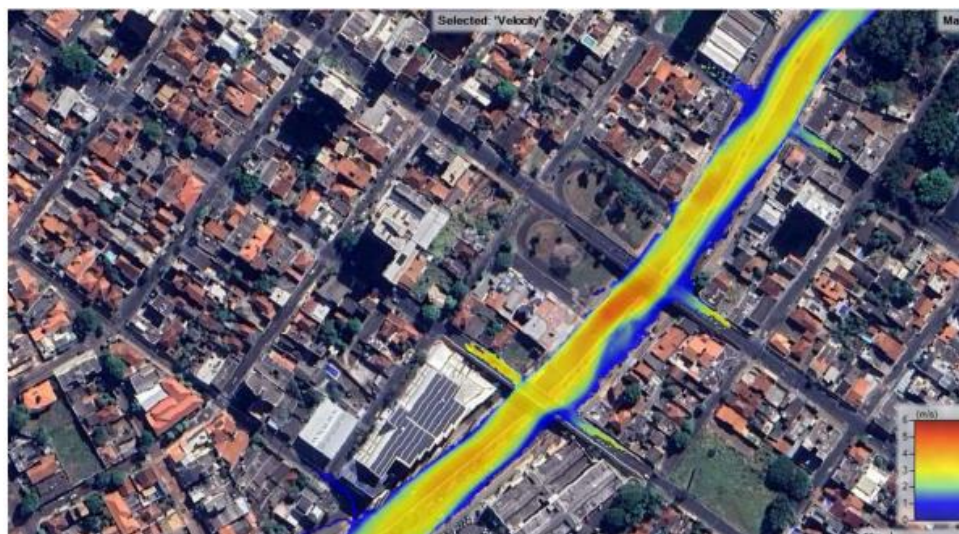


Figura 4.19 - Mapa de velocidades máximas do escoamento no trecho do viaduto da rua Olegário Maciel.

Fonte: Autor (2023).



**Figura 4.20 - Mapa de velocidades máximas do escoamento no trecho entre as ruas Javari (lado direito) e Raimundo P Carvalho (lado esquerdo).**



**Figura 4.21 - Mapa de velocidades máximas do escoamento no trecho entre o exutório do córrego Lagoinha (lado esquerdo) e avenida dos Municípios (lado esquerdo).**

**Fonte: Autor (2023).**

Percebe-se também manchas de alta velocidade do escoamento, não só na própria avenida Governador Rondon Pacheco, mas também em ruas adjacentes.

Diante disso, notou-se que a velocidade do escoamento é maior onde a declividade da via é mais intensa. Neste sentido, é possível observar que as regiões críticas em relação às

profundidades não apresentam problemas em relação a alta velocidade do escoamento, isso porque essas áreas geralmente são mais planas.

#### 4.8 – TENSÕES CISALHANTES SOBRE O PAVIMENTO

Para efeitos de comparação da resistência ao cisalhamento do pavimento, as características da mistura asfáltica são relevantes para sua definição.

DANTAS, M. M. V. (2017), em seu estudo de resistência ao cisalhamento de misturas asfálticas, realizou ensaios em corpos de prova de mistura asfáltica, e obteve como resultado, a resistência ao cisalhamento da mistura asfáltica. Para esse material que foi ensaiado, a resistência ao cisalhamento foi de 1,08 MPa.

No mapa abaixo é possível observar as tensões cisalhantes presentes ao longo do trecho em momento de inundação da via. Note que em um determinado trecho, as cores que indicam tensões cisalhantes máximas são marcantes, este trecho crítico é compreendido entre a rua Machado de Assis e avenida Nicomedes Alves dos Santos.

Portanto, é notável que as regiões que apresentam uma maior velocidade de escoamento consequentemente apresentam maiores tensões de cisalhamento, que por sua vez indica um maior risco em relação ao arraste de veículo e destacamento do pavimento.

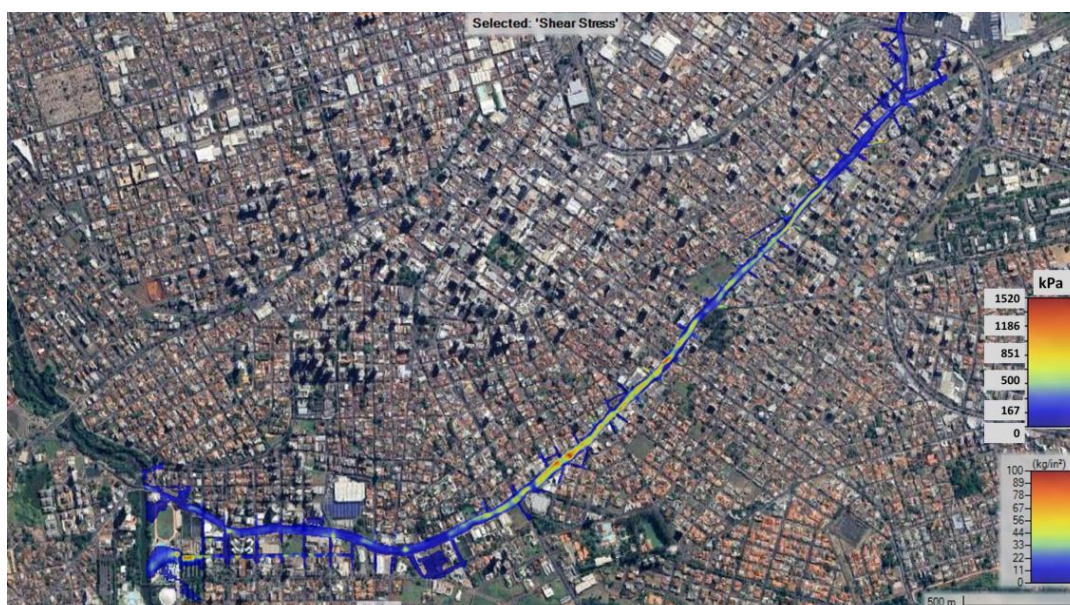


Figura 4.22 - Mapa de tensões cisalhantes máximas.



Fonte: Autor (2023).



Figura 4.23 - Trecho crítico em relação ao arraste de veículo e destacamento de pavimentos.

Fonte: Autor (2023).

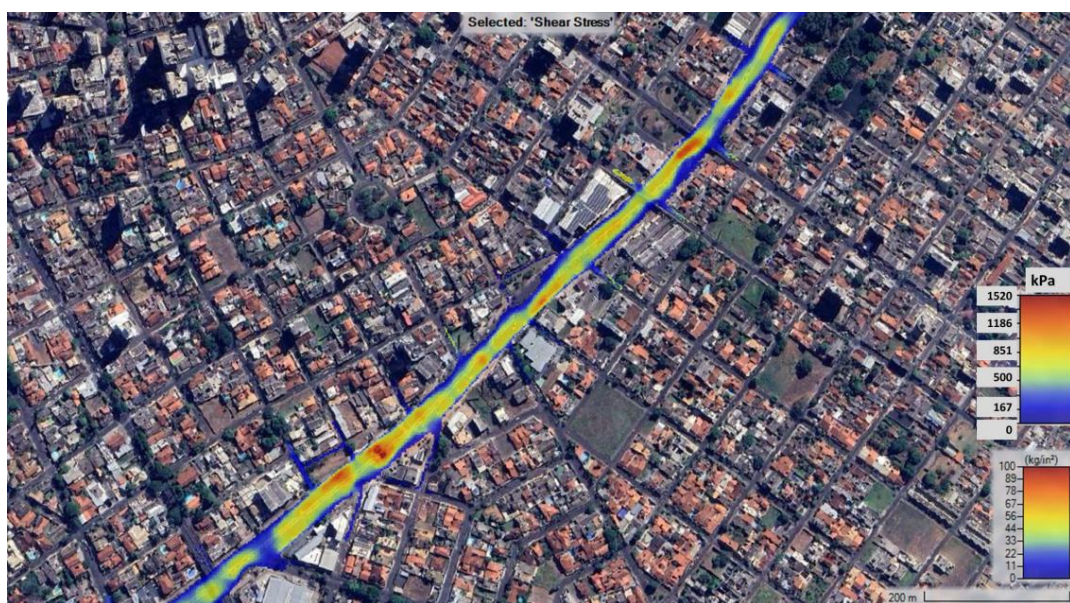


Figura 4.24 - Trecho entre a rua Machado de Assis e avenida Nicomedes Alves dos Santos.

Fonte: Autor (2022).

Para efeitos de comparação, considerando o valor de resistência ao cisalhamento do asfalto citado por DANTAS (2017), igual a 1080 KPa, durante o episódio de inundação da avenida Governador Rondon Pacheco é bem provável que haja destacamento asfáltico, visto que as tensões cisalhantes na via chegam a 1520 KPa, valor maior ainda ao de comparação.

Diante o exposto, é notável o prejuízo e risco que a população da cidade de Uberlândia sofre com esses eventos de enchente.

---

# CAPÍTULO 5

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A avaliação e determinação de inundações urbanas são informações de suma importância para o planejamento urbano, uma vez que as simulações de onda de cheia podem auxiliar na elaboração do plano diretor de drenagem urbana, estimando por exemplo o ideal necessário de área permeável por lote.

O espaço urbano vem sofrendo modificações com a frequente urbanização, e com isso elevando a taxa de impermeabilização do solo, causando assim episódios de enchentes e inundações durante eventos de chuvas intensas. Com isso, o presente trabalho teve intuito de estimar as áreas, adjacentes a avenida Governador Rondon Pacheco, mais propícias a inundação, utilizando modelos hidráulicos e hidrológicos.

Na simulação realizada verificou-se o surgimento de manchas de inundação em todo o trecho estudado em pouco tempo de chuva, porém alguns pontos são mais críticos que os demais. Em geral, a avenida apresenta duas regiões mais afetadas, tais se localizam no trecho final da avenida em estudo, e nas proximidades do encontro da via com a avenida Anselmo Alves dos Santos.

Em relação ao arraste de veículo e destacamento asfáltico, a avenida apresenta um alto risco aos usuários, uma vez que em eventos de chuvas a velocidade do escoamento sobre a superfície da avenida alcança altas velocidades, propiciando assim o arraste de veículo, e maior probabilidade de rompimento asfáltico por tensão cisalhante.

Diante o exposto, notou-se a importância da elaboração de um plano diretor de drenagem pluvial, visando melhorar e aumentar áreas permeáveis nos futuros loteamentos.

Foi perceptível também a carência de dados mais confiáveis. Haja vista que, com dados confiáveis seria possível um melhor monitoramento de inundações, gerando resultados mais confiáveis e conseqüentemente colaborando para melhorar o planejamento urbano.

Diante disso, poderia ser feito um estudo aprofundado da eficiência do sistema de drenagem existente na bacia do Córrego de São Pedro, visando complementar este trabalho.

No entanto, a partir dos resultados obtidos por esse estudo, é possível elaborar um zoneamento de áreas adjacentes a avenida Governador Rondon Pacheco mais suscetíveis a inundação, arraste de veículos e destacamento asfáltico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MINUNCIO, M. Regiões intermediárias de Uberlândia e Uberaba superam o ritmo de crescimento populacional estimado para Minas Gerais e para o Brasil. Comunica UFU. 2022. Disponível em: < <https://comunica.ufu.br/noticia/2022/01/regioes-intermediarias-de-uberlandia-e-uberaba-superam-o-ritmo-de-crescimento>>. Acesso em: 09 de dez. de 2022.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 943 p.

TUCCI, C. E. M. (1993). Hidrologia: Ciência e Aplicação. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH, 952 p.

SANTOS, R.F.dos. Planejamento ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 pp.

MEDEIROS, T. S. A geografia como base para um plano diretor de drenagem pluvial em Uberlândia-MG. Tese (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás. Catalão, Goiás, 2015.

SARTORI, A. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. RBRH, São Paulo, v. 10, n.4, p. 05-18, Dezembro, 2005.

ANDRADE, R. F. Mapeamento Geotécnico Preliminar em Escala de Semi-Detalhe da Área de Expansão Urbana de Uberlândia. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2005.

TOMAZ, P. Infiltração Usando o Método do número da curva CN do SCS. Infiltração e Dry Well, 14 p. Agosto, 2011.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Página inicial. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 16 de dez. de 2022.

REZENDE, V. S.; RIBEIRO, V. O. e MENDES, Y. S. Determinação dos Valores de Número de Deflúvio (CN) Para o Perímetro Urbano de Dourados-MS. In: 7º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL – INPE, Mato Grosso do Sul, 2018. 10 p.

VERGÜTZ, L. A. A. Análise da implantação de reservatórios de retenção na bacia São Pedro e modelagem hidrodinâmica da avenida Governador Rondon Pacheco. 103 p. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

ABREU, F. G., SOBRINHA, L. A. e BRANDÃO, J. L. B. Análise de distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos. Eng Saint Ambient, São Paulo, v. 22, n.2, p. 239-250, março, 2017.

---

RIBEIRO, E. Requalificação urbana da avenida Rondon Pacheco. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2020.

TEIXEIRA, C. A. Apostila de Hidrologia Aplicada. Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC. Curitiba, 2010.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS – USACE. (2004) Basin-level digital elevation models: availability and applications. The Red River of the North basin case study. IWR Report,04-R-1.

TOMAZ, P. Cálculos hidrológicos hidráulicos para obras municipais. São Paulo: Editora Navegar, 2002.

SILVEIRA, G. M. Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta. 244 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

ALVES, G. J. Aplicabilidade do método CN-SCS a uma bacia hidrográfica representativa dos latossolos no sul de MG. Tese (Mestrado em Recursos hídricos em sistemas agrícolas) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2016.

SANTOS, L. L. Modelos hidráulicos-hidrológicos: conceito e aplicações. Revista Brasileira de Geografia Física. Recife-PE, v. 2, n. 3, set. de 2009. p. 01-19.

CAIXETA, A. C. M. Simulações computacionais para estimativa da influência do crescimento urbano na formação de zonas inundáveis adjacentes ao córrego do Monjolo, em Patos de Minas, MG. 227 p. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

REZENDE, G. B. M. Modelo hidrológico e hidráulico para estimativa e delimitação de áreas inundadas: uma ferramenta de auxílio à elaboração de Planos Diretores de Drenagem Urbana. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

ARGOLO, E. D.; GIUSTINA, C. C. D. Simulações e modelagem hidrológica de microbacia urbana para previsão de inundações: o caso do rio Das Antas na cidade de Anápolis-GO. Journal of Social, Technological and Environmental. v.5, n.3, julho de 2016.

SOUSA, J. S. Áreas de preservação permanente urbanas: mapeamento, diagnósticos, índices de qualidade ambiental e influência no escoamento superficial – Estudo de caso: Bacia do córrego das Lajes, Uberaba-MG. 2008. 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

MIGUEZ, M. G. et al. Urban Flood Simulation Using MODCEL – An Alternative Quasi-2D Conceptual Model. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Junho de 2017.

---

SURWASE, T. ; MANJUSREE, P. Urban Flood Simulation – a case study of Hyderabad city. Hyderabad, maio de 2019.

KAOJE, I. U. Urban flood vulnerability mapping of lagos, Nigeria. International Journal of Science and Technology. Federal University Birnin Kebbi State. Nigeria, maio de 2017.

LIANG, Q.; SMITH, L. S. A high-performance integrated hydrodynamic modelling system for urban flood simulations. Journal of Hydroinformatics. China, 2015.

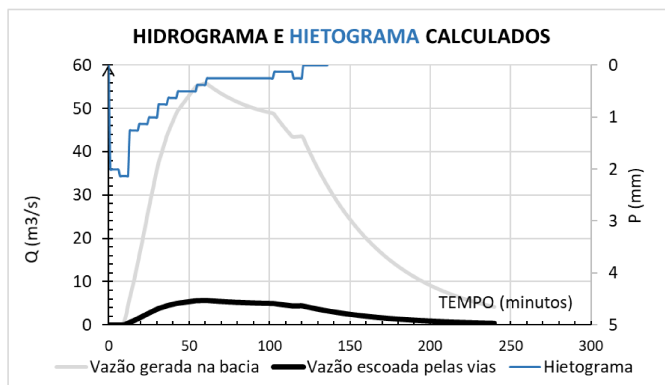
MADHURI, R. et al. Urban flood analysis of buildings using HEC-RAS 2D in climate change framework. H2Open Journal. V. 4, n. 1. Índia, 2021.

NISHIYAMA, L. Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1: 100.000: aplicação do município de Uberlândia-MG. (Tese de doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Paulo, 1998.

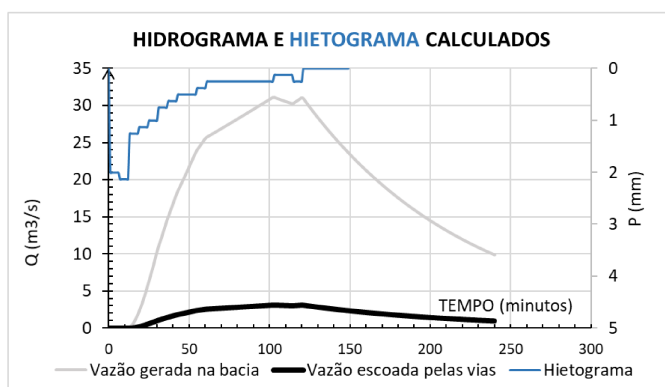
DANTAS, M. M. V. Estudo da resistência ao cisalhamento de misturas asfálticas a partir de ensaios com aplicação de cargas repetidas com o pórtico modular. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal da Paraíba, UFPB, 2017.

LEÃO, ODELMO. Lei Complementar n° 525. Leis Municipais de Uberlândia, Minas Gerais. Uberlândia, abril de 2011.

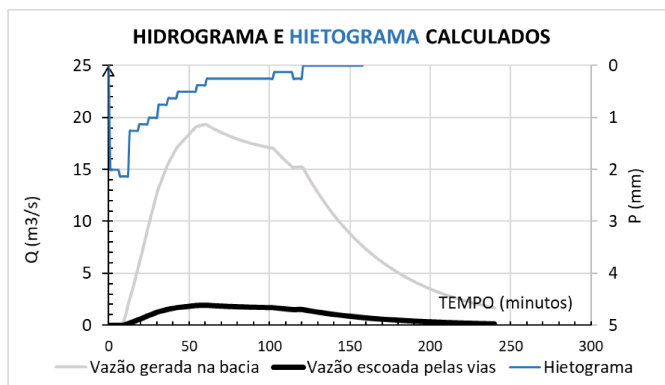
ANEXO I – Hidrograma da microbacia avenida Anselmo Alves dos Santos (montante).



ANEXO II – Hidrograma da microbacia do exutório do córrego Lagoinha.

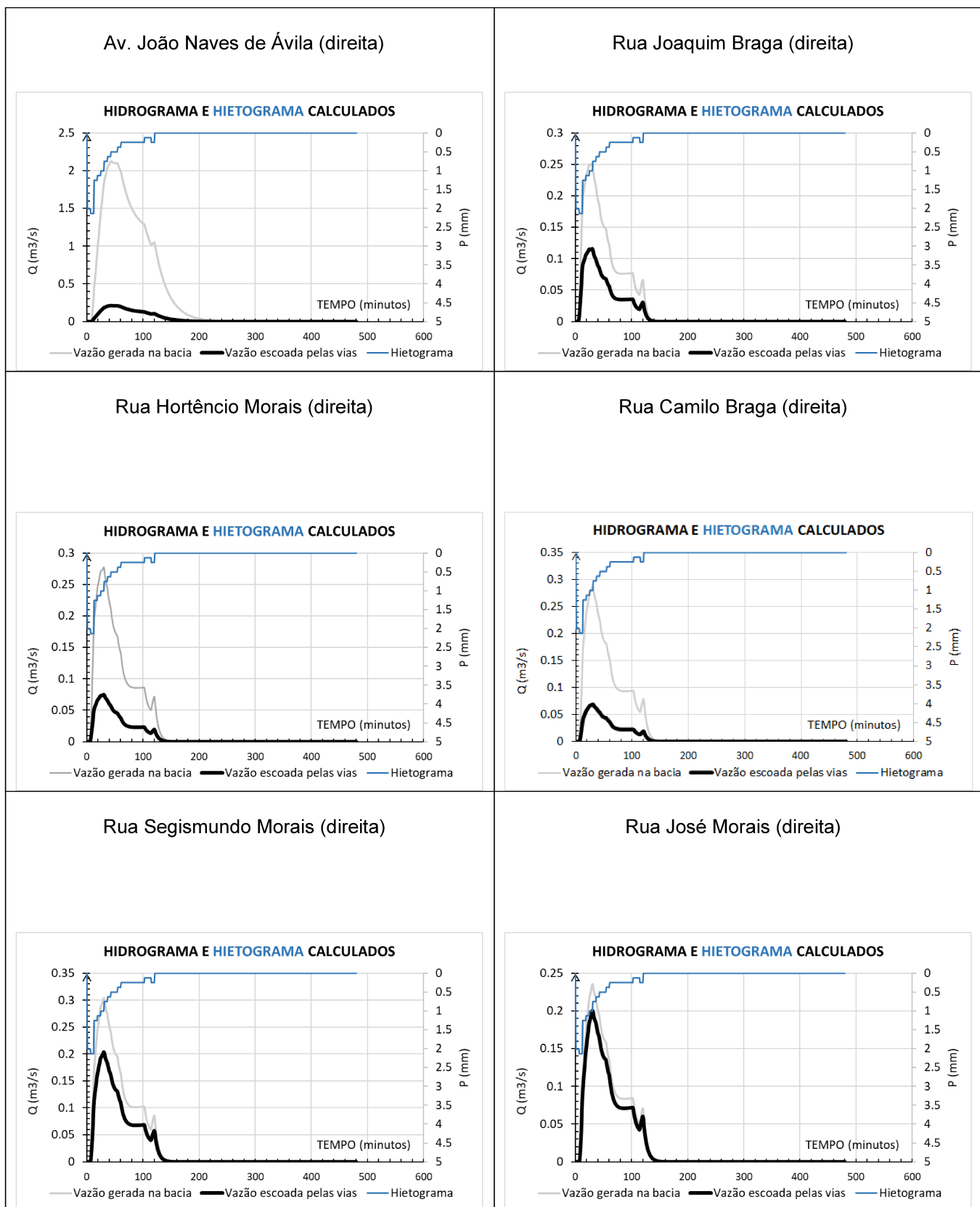


ANEXO III – Hidrograma da microbacia avenida Rondon Pacheco (montante).

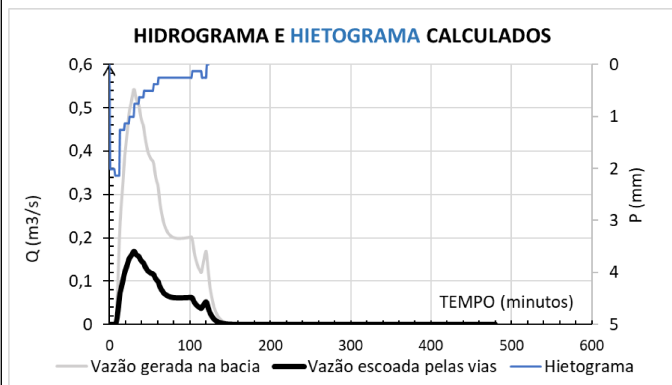




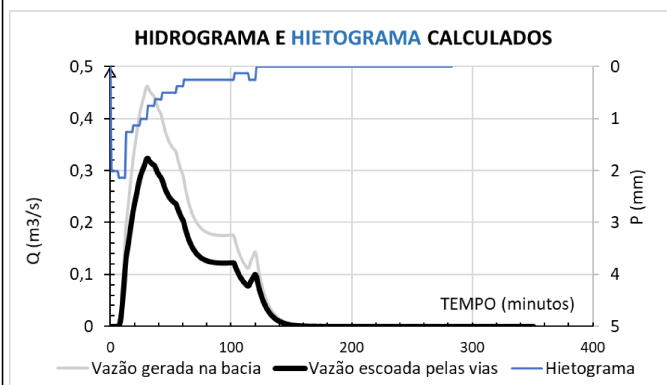
ANEXO IV – Hidrogramas das microbacias localizadas do lado direito da via.



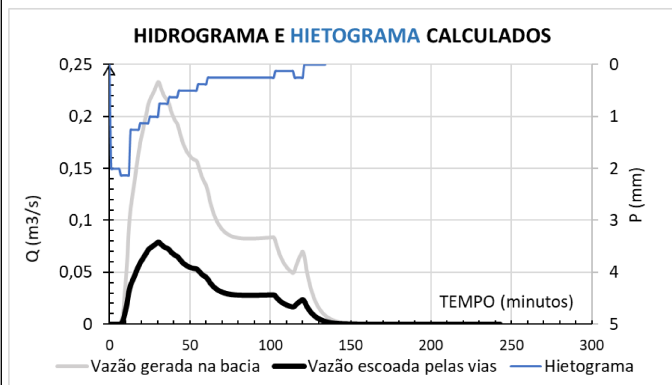
Rua Geraldo Moraes (direita)



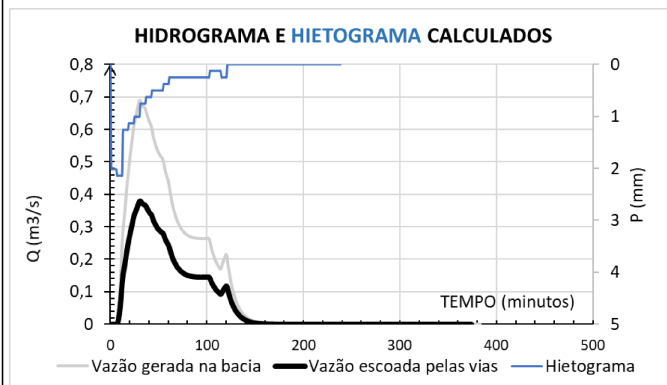
Rua Francisco Zunpano (direita)



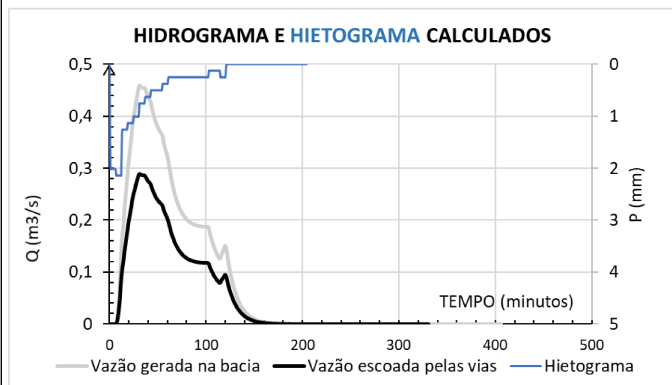
Rua Maria V. Ribeiro (direita)



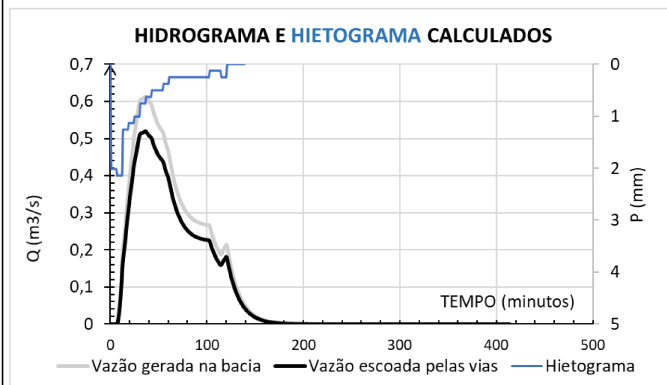
Rua Joaquim Cordeiro (direita)



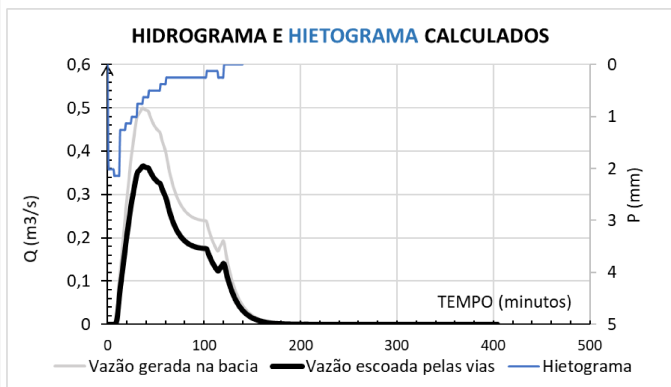
Rua Resende (direita)



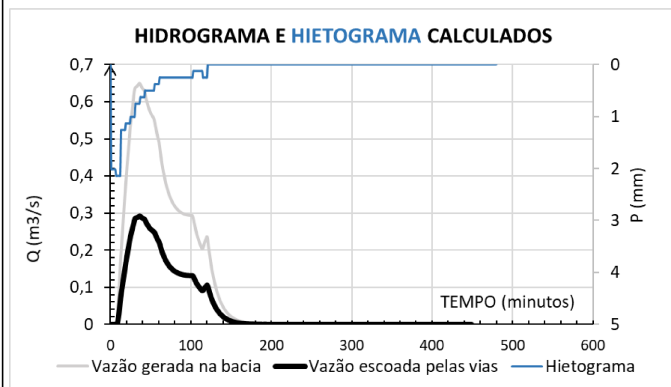
Rua Cel Antônio Pereira (direita)



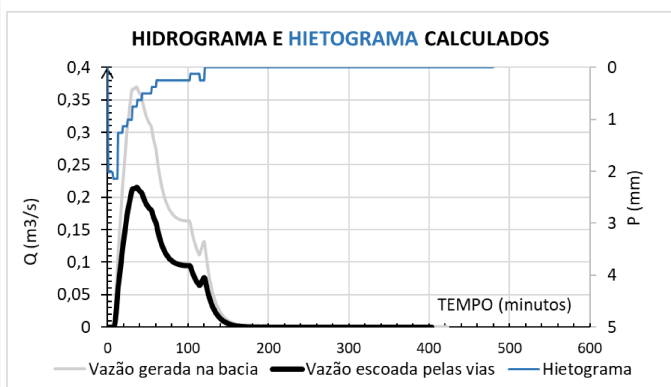
Rua Quintino Bocaiúva (direita)



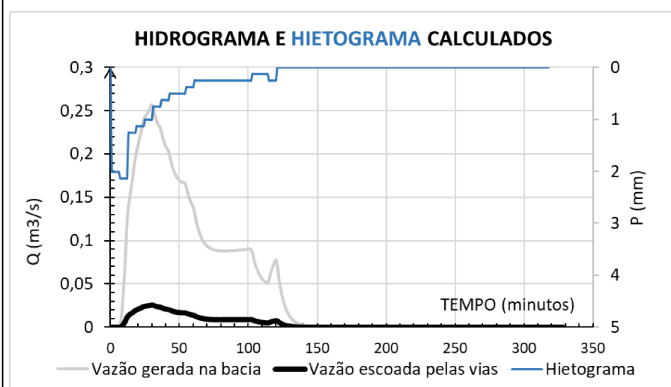
Rua Tenente Virmondes (direita)



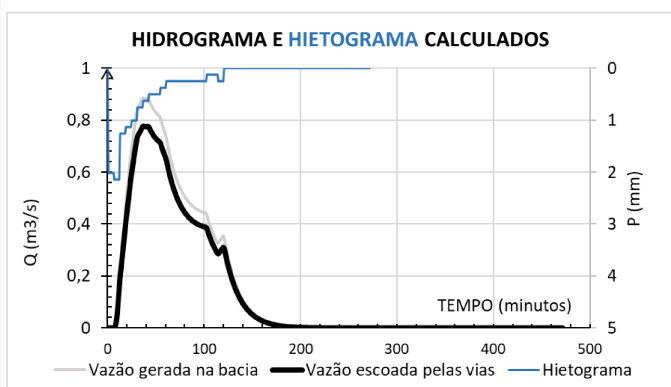
Rua Machado de Assis (direita)



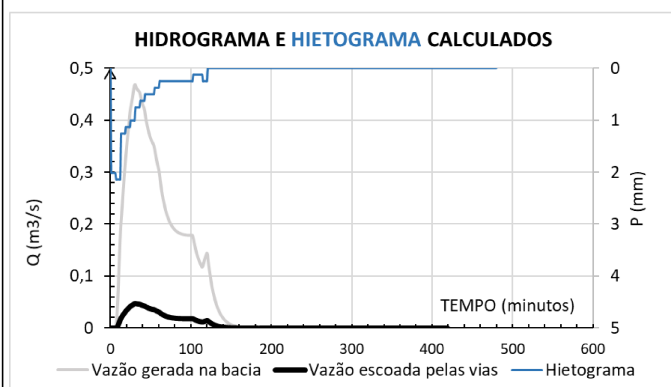
Rua Duque de Caxias (direita)



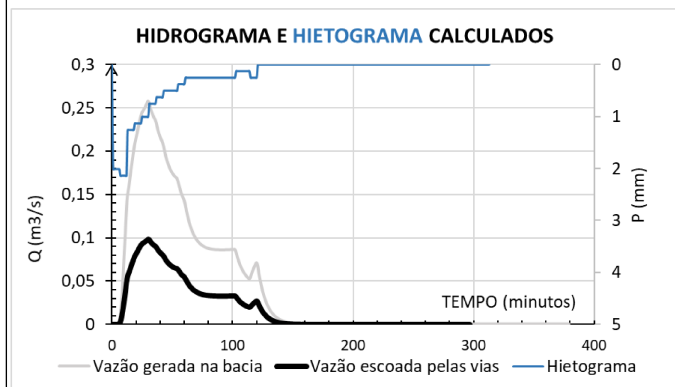
Rua Olegário Maciel (direita)



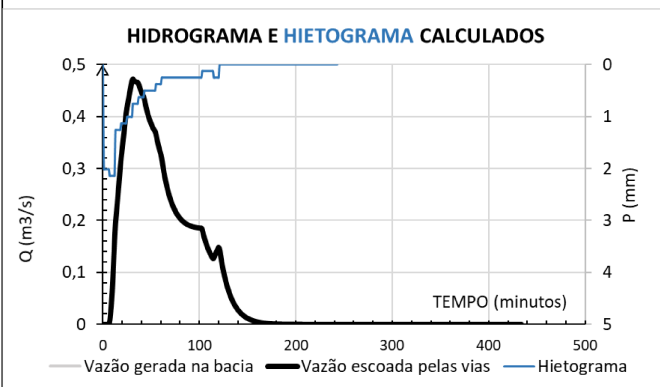
Rua Doutor Lacerda (direita)



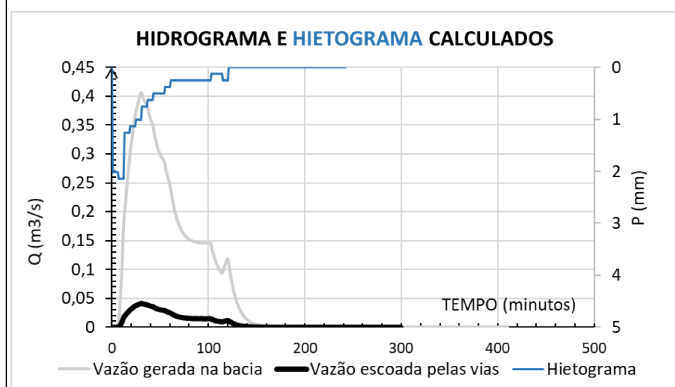
Rua Rio Preto (direita)



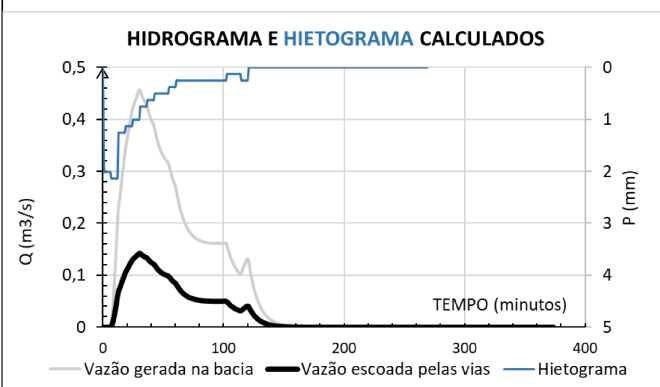
Rua Padre Mario Porto (direita)



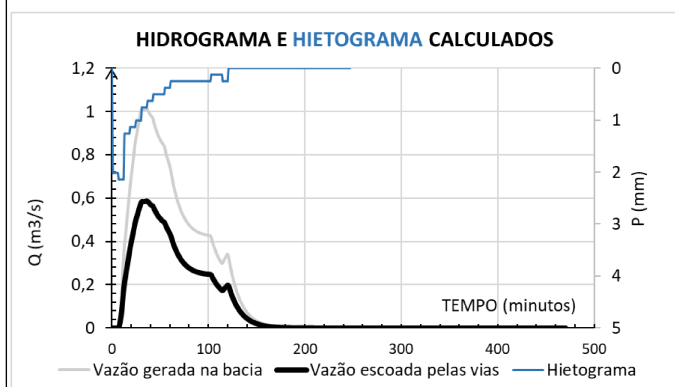
Rua Santos Dumont (direita)



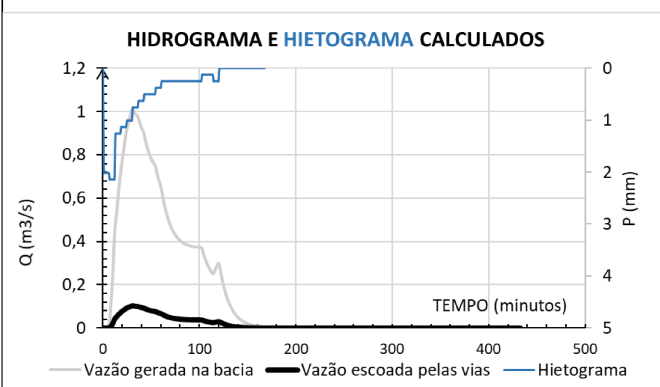
Rua Javari (direita)



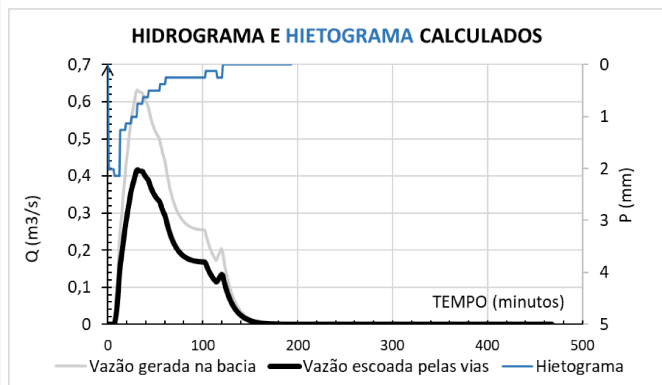
Rua Rodolfo Correia (direita)



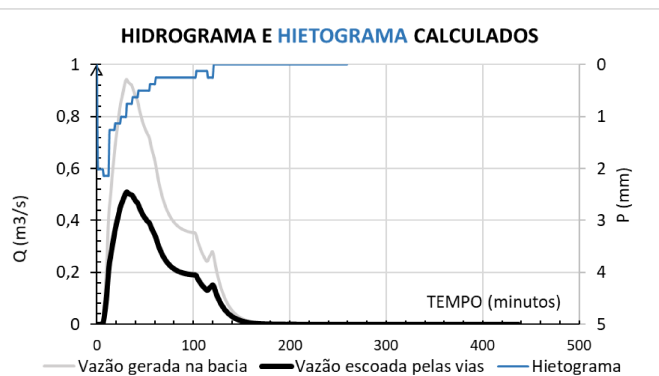
Av Nicomedes Alves dos Santos



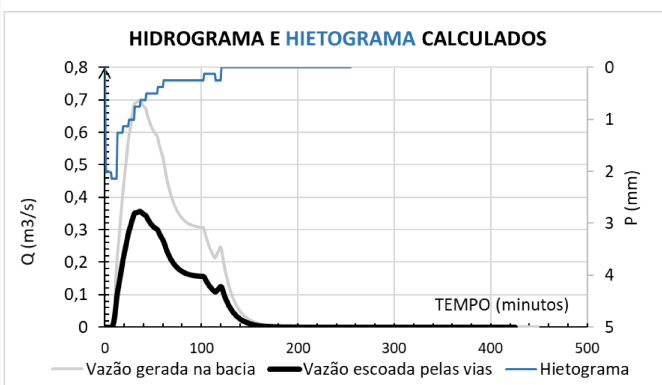
Rua Augusto Cesar (direita)



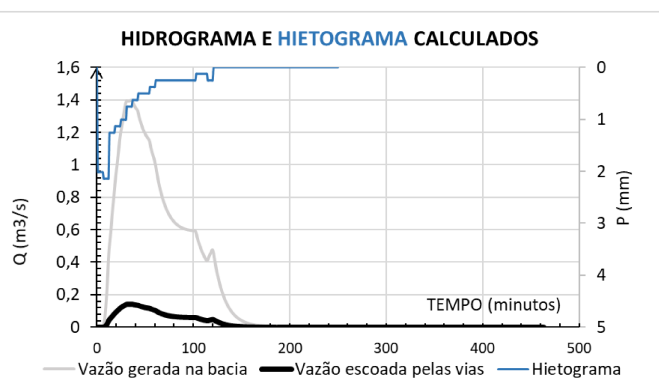
Rua General Osório (direita)



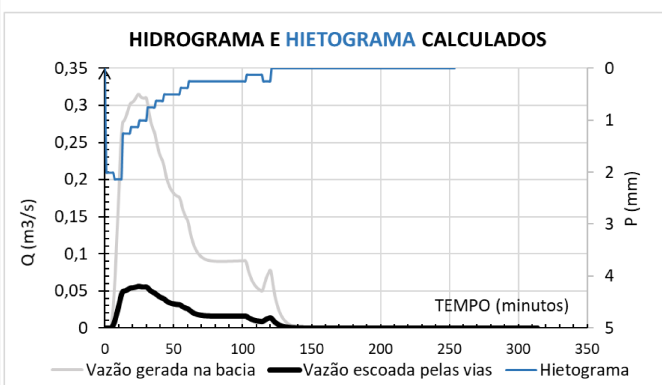
Rua Felisberto Carrijo (direita)



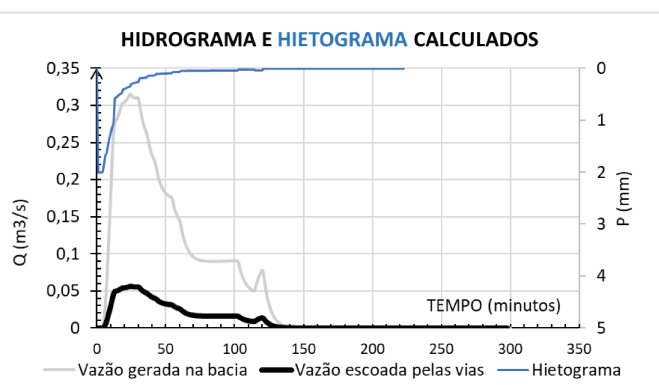
Assaí Supermercado (direita)



Rua Botafogo (direita)

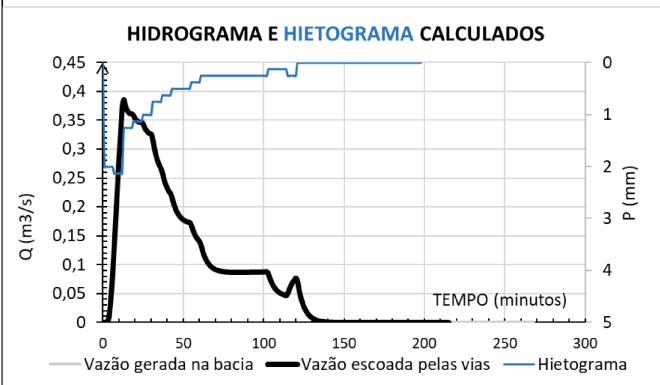
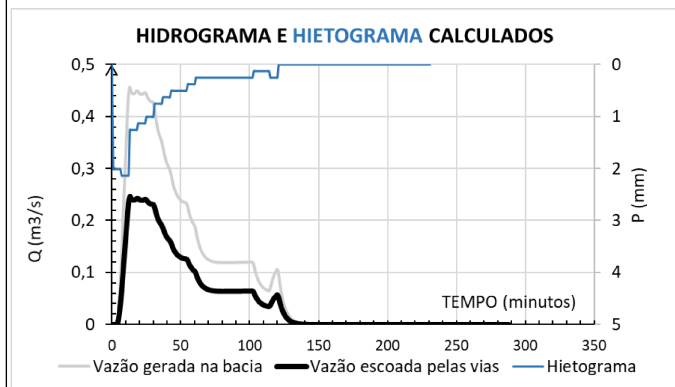


Rua Icaraí (direita)



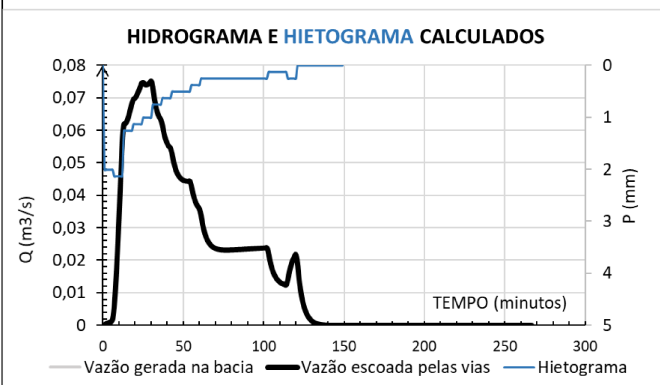
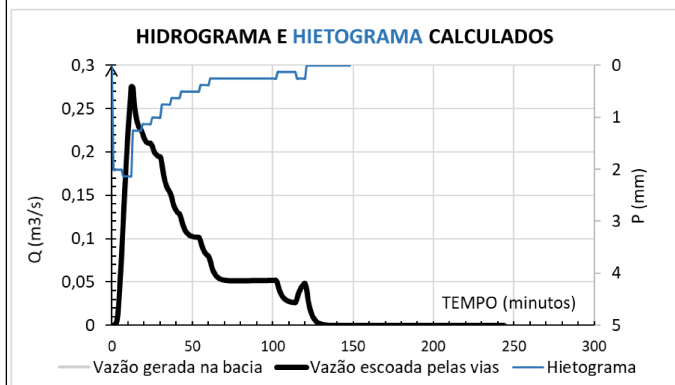
Rua da Carioca (direita)

Av dos Municípios (direita)



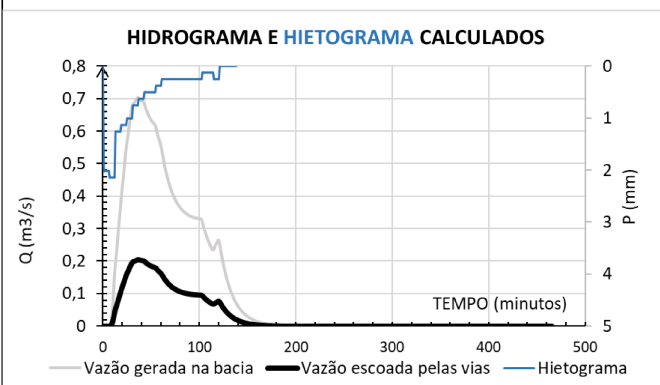
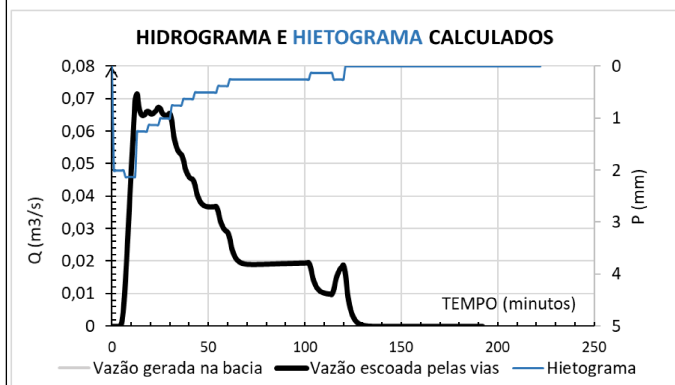
Rua Tijuca (direita)

Rua Hermes Fonseca (direita)



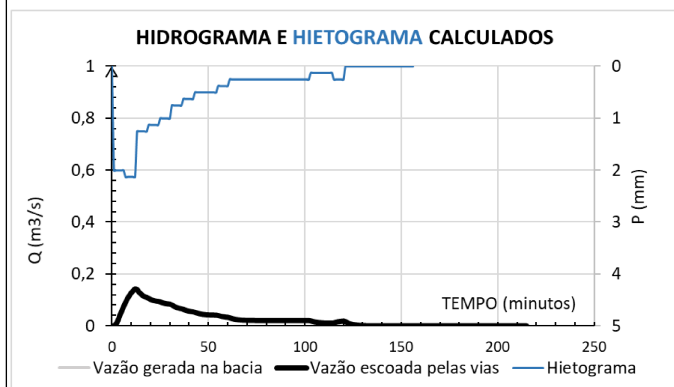
Rua Senador Salgado Filho (direita)

Av Afrânio R Cunha (direita)

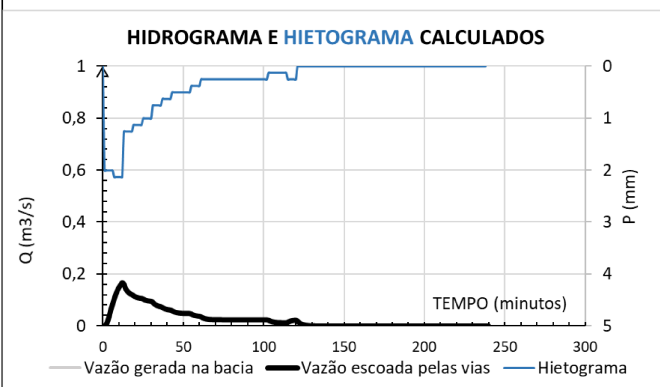


## ANEXO V – Hidrogramas das microbacias localizadas do lado esquerdo da via.

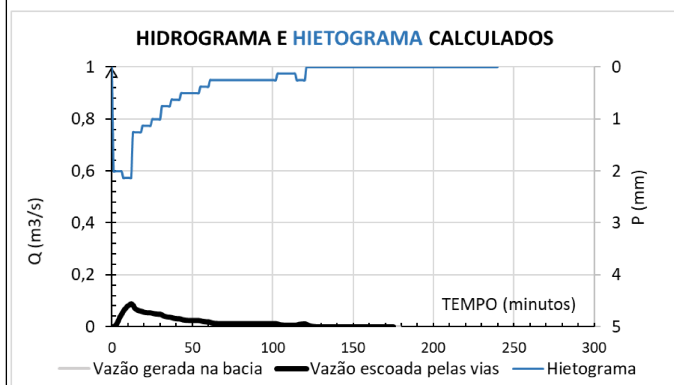
Av João Naves de Ávila (esquerda)



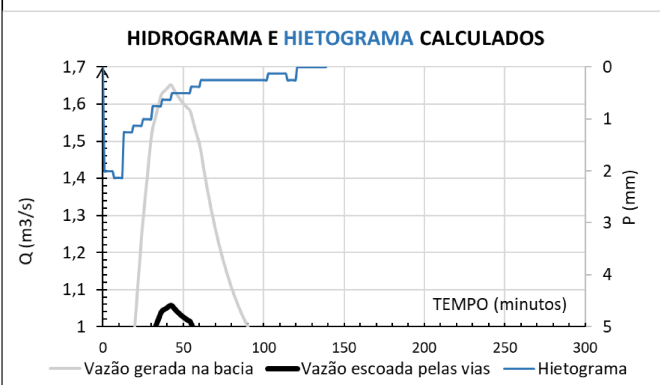
Rua Modesta Maria (esquerda)



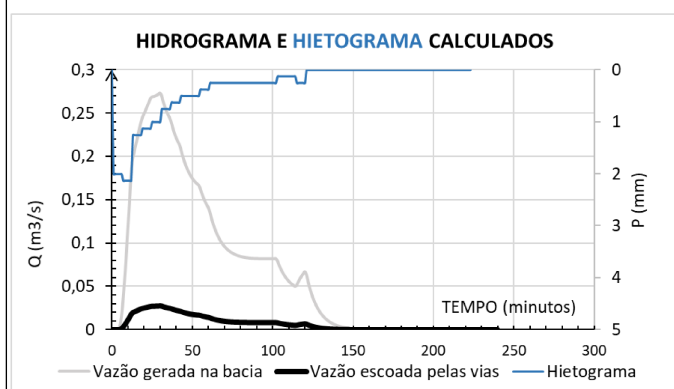
Rua Luiz Jesus (esquerda)



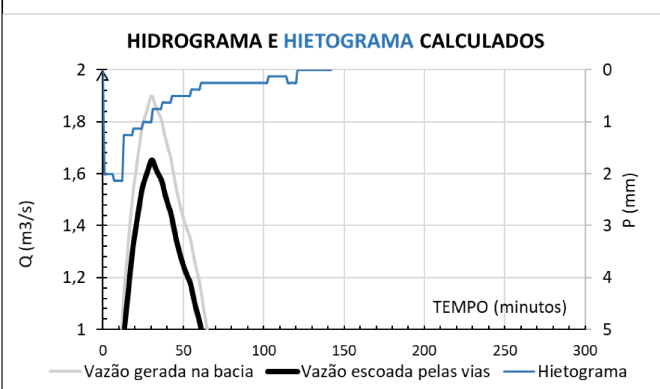
Rua João Garcia (esquerda)



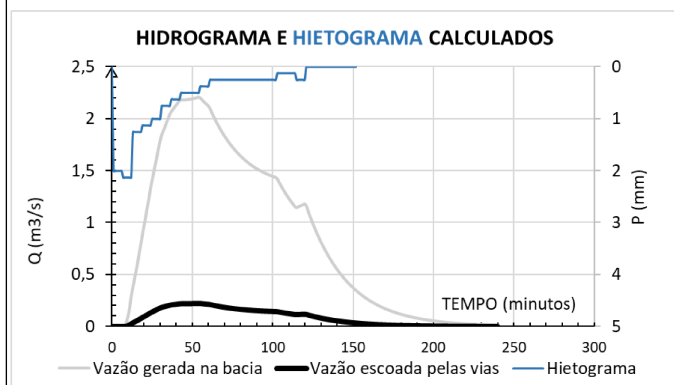
Rua Edson Barros (esquerda)



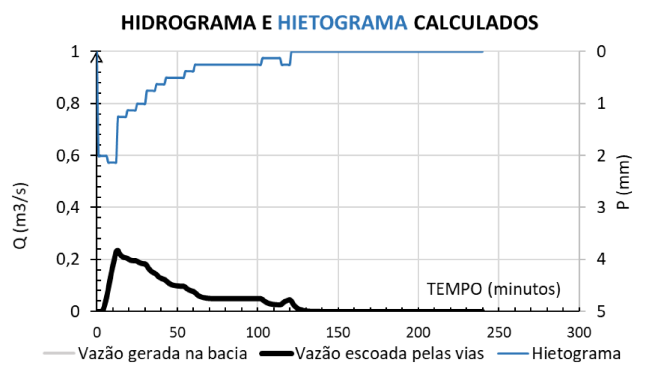
Rua Ubiratan Castro (esquerda)



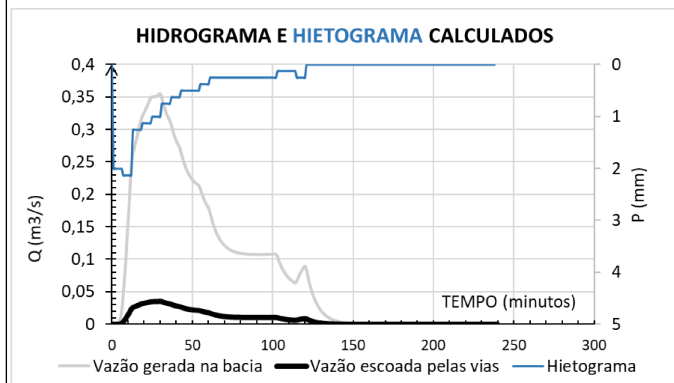
Rua Manoel Santos (esquerda)



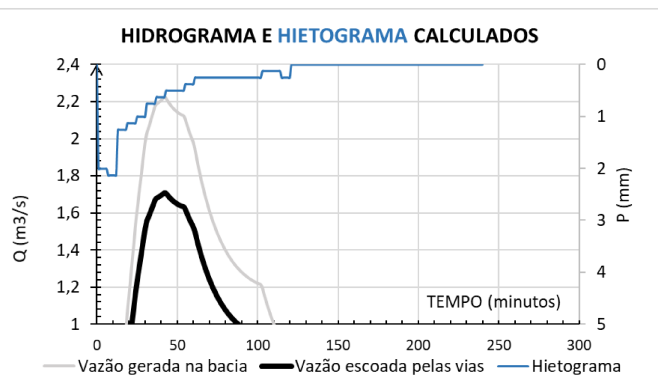
Rua Paraúna (esquerda)



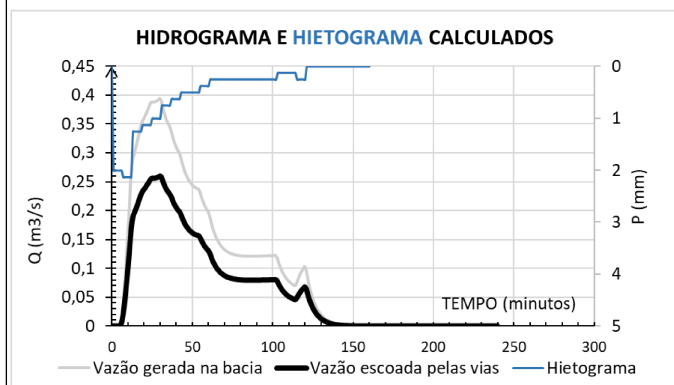
Rua Vitalino R Carmo (esquerda)



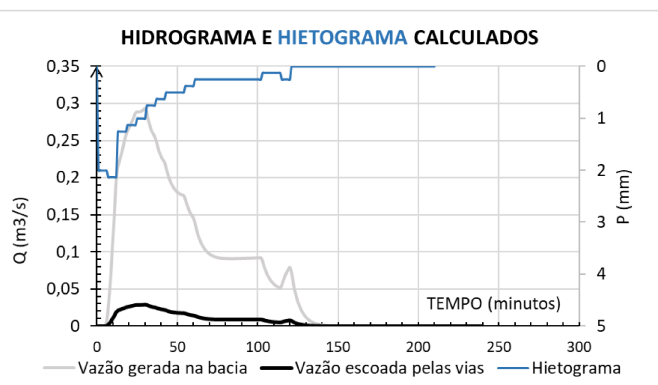
Av Nicodemos Alves dos Santos (esquerda)



Rua Armando Lombardi (esquerda)

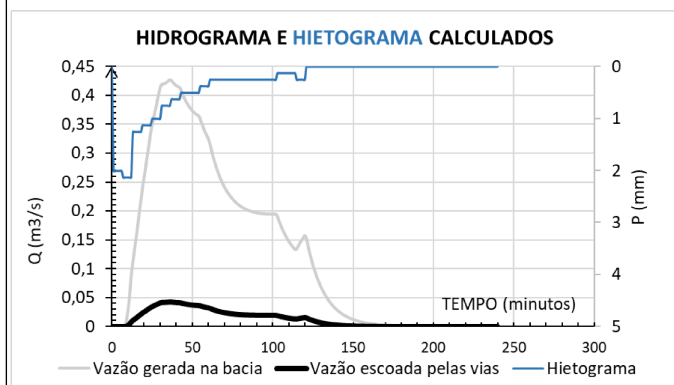


Rua Rafael Lourenço (esquerda)

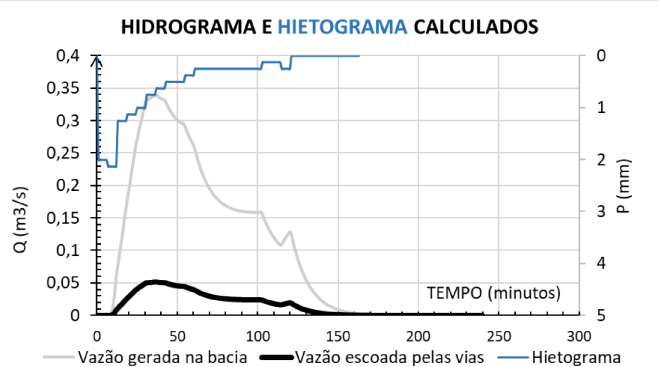




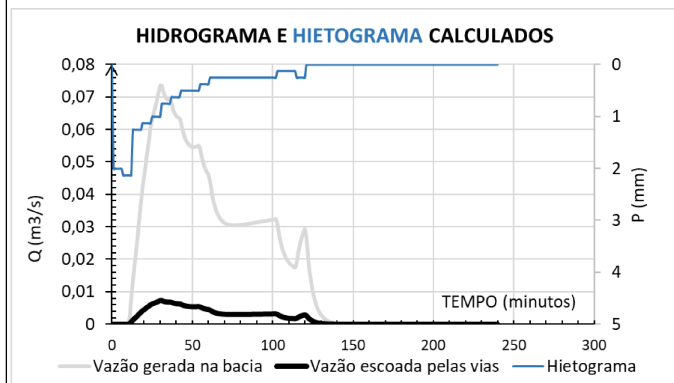
Rua Rio Preto (esquerda)



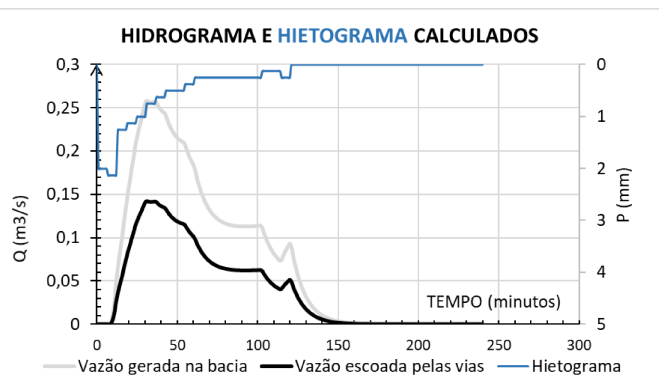
Rua Polidoro F Rodrigues (esquerda)



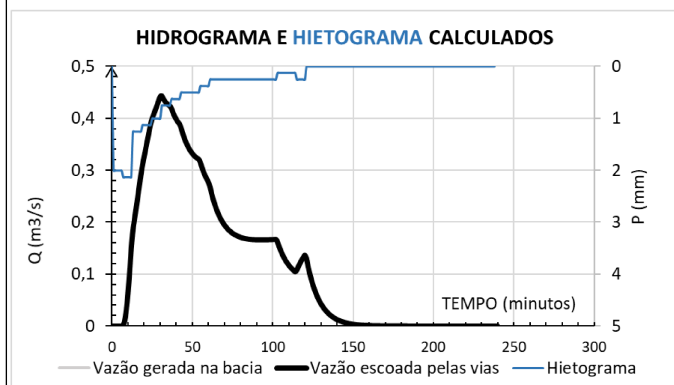
Rua Antonio Correia (esquerda)



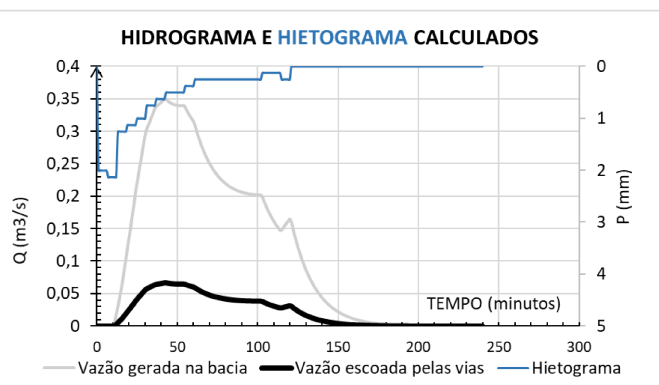
Rua Raimundo P Carvalho (esquerda)



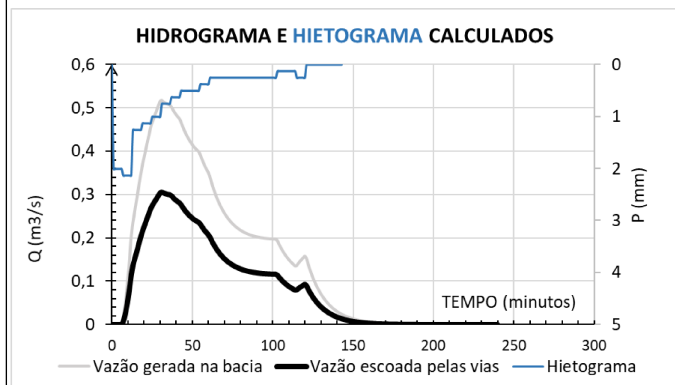
Rua Abrão Calil (esquerda)



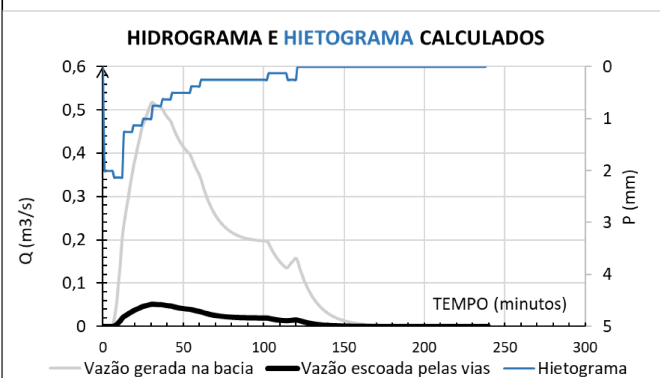
Rua Teófilo Alves (esquerda)



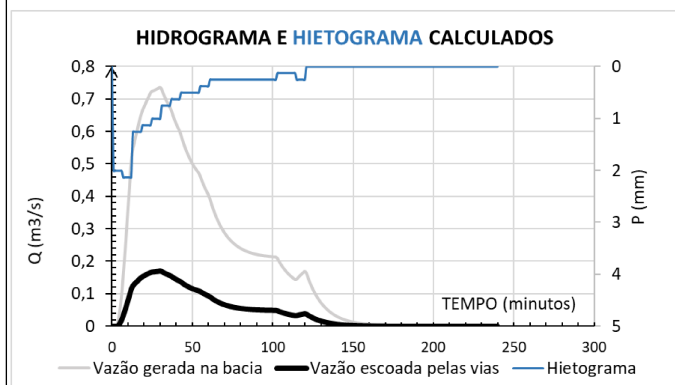
Av Nicomedes Alves dos Santos (esquerda)



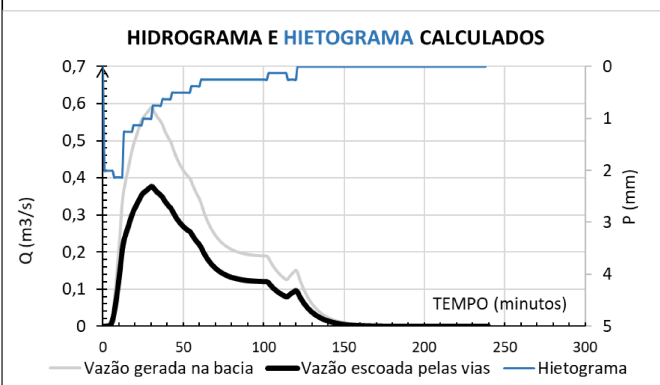
Av Francisco Galassi (esquerda)



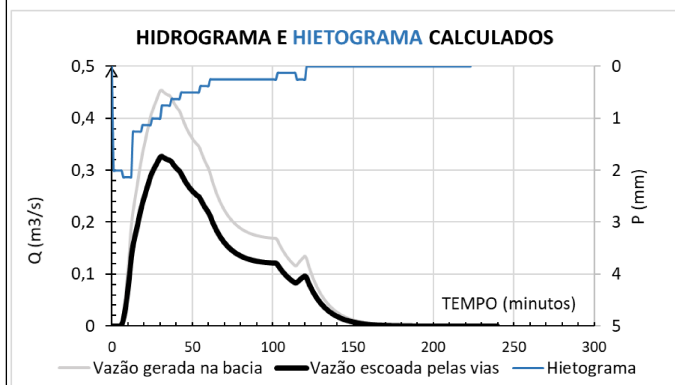
Rua Cel Severiano (esquerda)



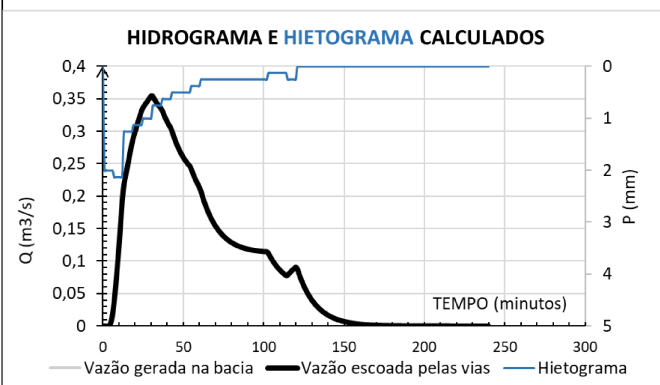
Rua Ipanema (esquerda)



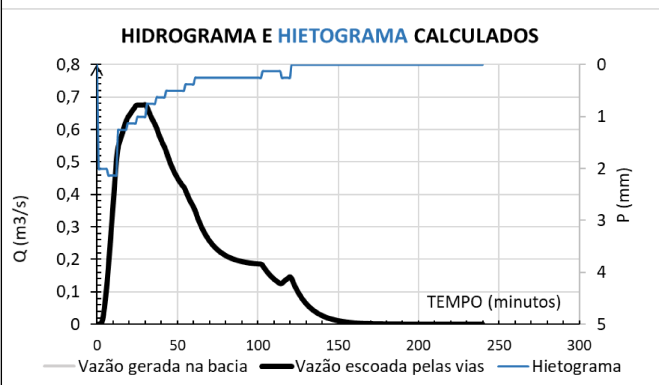
Rua Leblon (esquerda)



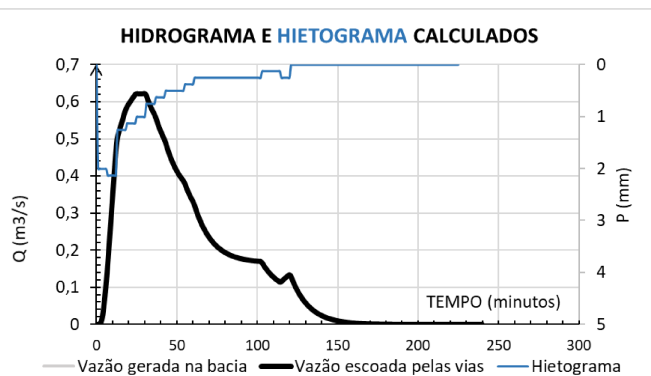
Rua Botafogo (esquerda)



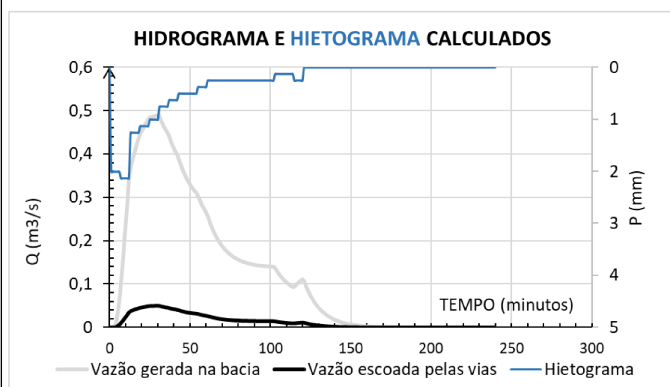
Rua Icarai (esquerda)



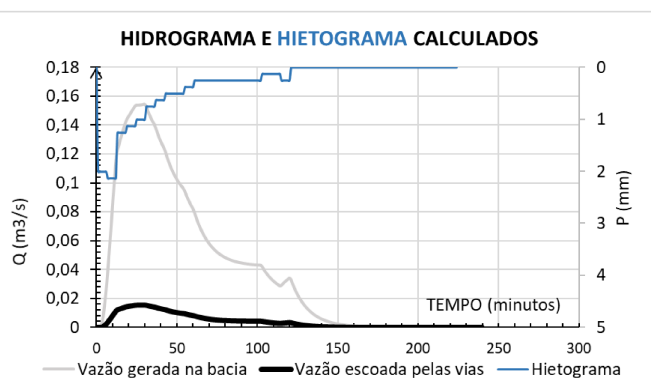
Rua da Carioca (esquerda)



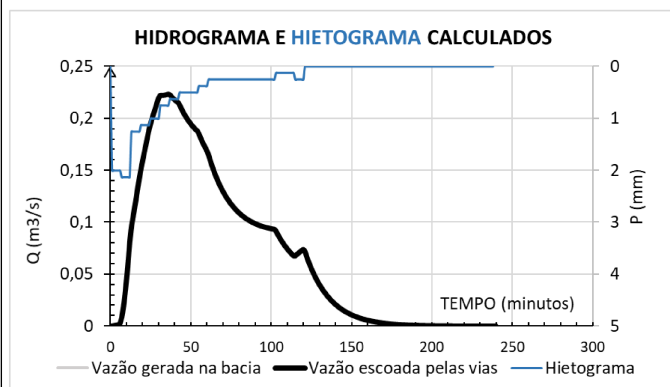
Av dos Municípios (esquerda)



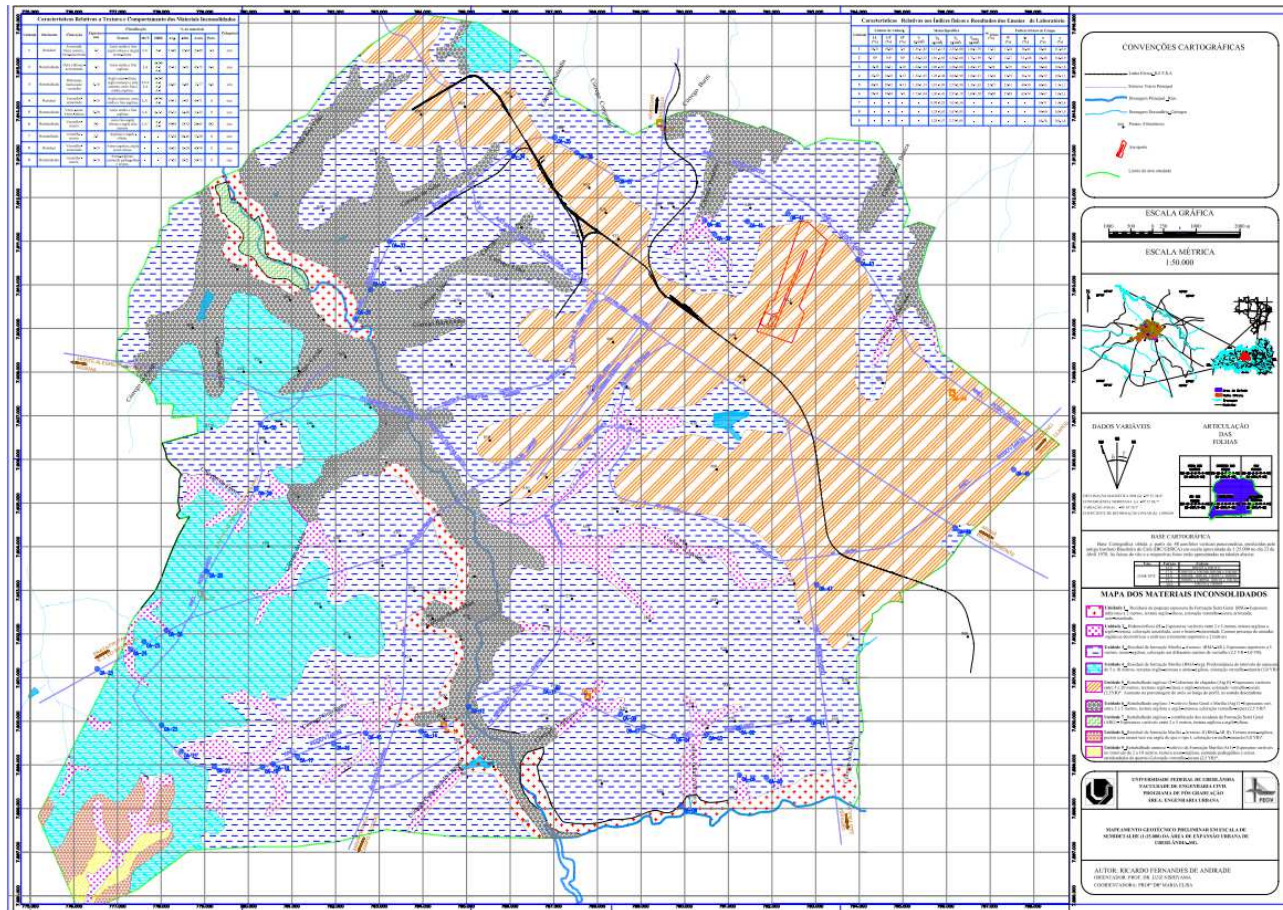
Rua Tijuca (esquerda)



Rua Hermes Fonseca (esquerda)



ANEXO VI – Mapa dos materiais inconsolidados



Fonte: Andrade, R. F. (2005).

