



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE ESTRUTURAS DE RETENÇÃO PLUVIAL EM
LOTES URBANOS NO CÓRREGO DOS PINTOS**

Arthur Pinheiro Carvalho de Oliveira

Belo Horizonte

2025

ARTHUR PINHEIRO CARVALHO DE OLIVEIRA

**SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE ESTRUTURAS DE RETENÇÃO PLUVIAL EM
LOTES URBANOS NO CÓRREGO DOS PINTOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Peixoto Amaral

Belo Horizonte
2025



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL - NS



FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC Nº 11 / 2025 - DCTA (11.55.03)

Nº do Protocolo: 23062.038929/2025-49

Belo Horizonte-MG, 22 de julho de 2025.

FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC

ARTHUR PINHEIRO CARVALHO DE OLIVEIRA

SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE ESTRUTURAS DE RETENÇÃO PLUVIAL EM LOTES URBANOS NO CÓRREGO DOS PINTOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 21 de julho de 2025.

Banca examinadora:

Luciana Peixoto Amaral – Presidente da Banca Examinadora

Prof^ª. Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Orientadora

Lilia Maria de Oliveira

Prof^ª. Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG

Frederico Keizo Odan

Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG

(Assinado digitalmente em 22/07/2025 18:13)

FREDERICO KEIZO ODAN

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO DCTA (11.55.03)

Matrícula: 2092847

(Assinado digitalmente em 22/07/2025 19:15)

LILIA MARIA DE OLIVEIRA

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO DCTA (11.55.03)

Matrícula: 1815815

(Assinado digitalmente em 22/07/2025 17:59)

LUCIANA PEIXOTO AMARAL

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO DCTA (11.55.03)

Matrícula: 1808233

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **11**, ano: **2025**, tipo: **FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC**, data de emissão: **22/07/2025** e o código de verificação: **2fc8042acb**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças para seguir firme durante toda essa jornada.

Aos meus pais, que sempre me incentivaram a continuar estudando, mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha esposa Brenda, que com muito carinho e dedicação cuidou dos nossos dois filhos e da casa sempre que foi necessário, permitindo que eu me dedicasse aos estudos.

À minha orientadora, Profa. Dra. Luciana Peixoto Amaral, pelo suporte durante o desenvolvimento deste trabalho e pelas excelentes aulas de Hidráulica I, II e Aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, que foram essenciais para o meu aprendizado.

Ao meu amigo Eros Éder Moura que me apresentou na prática o primeiro sistema de aproveitamento de água pluviais para fins não potáveis, sendo o responsável pela ideia inicial deste estudo.

Aos meus colegas de trabalho do Grupo Projeta, que me ajudaram com inúmeros ensinamentos, principalmente nas etapas práticas de operação e execução dos programas. Em especial, agradeço ao Lucas Lacerda Silveira Rocha, que foi como um segundo orientador para mim, sempre disposto a me auxiliar com paciência e atenção.

Por fim, a todos os professores que me deram aula durante todos estes anos, em especial aos professores do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental que nos acompanham em diversas matérias, todos vocês tiveram uma contribuição enorme da minha formação como cidadão e estudante, muito obrigado!

RESUMO

PINHEIRO, Arthur Carvalho de Oliveira. **Simulação Hidráulica de Estruturas de Retenção Pluvial em Lotes Urbanos no Córrego dos Pintos**. 2025. 57p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

Nas últimas décadas, o adensamento urbano acelerado nas cidades brasileiras tem contribuído para o agravamento de problemas relacionados à drenagem pluvial, como alagamentos e inundações. Em especial, as áreas densamente urbanizadas enfrentam dificuldades na implantação de grandes obras estruturais de controle de cheias, exigindo soluções descentralizadas e de menor impacto. A motivação do estudo surgiu após a observação de inúmeros episódios de inundações na cidade de Belo Horizonte, bem como pela falta de alternativas para áreas onde não é possível construir grandes reservatórios de retenção pluvial, devido ao elevado grau de urbanização. O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma simulação hidráulica de estruturas de retenção pluvial em áreas densamente urbanizadas, com a finalidade de amenizar inundações, com foco na sub-bacia do Córrego dos Pintos, em Belo Horizonte/MG. A metodologia envolveu a delimitação da área de estudo com o auxílio da plataforma BH Map, levantamento de dados hidrológicos e hidráulicos utilizando os softwares QGIS e HEC-RAS, além do cálculo da chuva efetiva pelo método SCS. A partir dos dados obtidos, foi possível simular dois cenários de escoamento superficial e analisar os efeitos da captação da água de chuva proveniente dos telhados, apresentando uma redução na intensidade da chuva de 110,20 mm/h para 80,10 mm/h, além de uma redução da chuva-vazão de 49,63 m³/s para 26,71 m³/s. Os resultados apontaram que, embora a captação pluvial não elimine completamente o risco de inundações, ela contribui para a redução da mancha de inundação.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Microrreservatório domiciliar. Inundações. HEC-RAS.

ABSTRACT

PINHEIRO, Arthur Carvalho de Oliveira. **Hydraulic Simulation of Rainwater Retention Structures in Urban Lots in the Córrego dos Pintos**. 2025. 57p. Undergraduate Thesis (Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

In recent decades, rapid urban densification in Brazilian cities has worsened issues related to urban drainage, such as flooding and waterlogging. Densely urbanized areas, in particular, face challenges in implementing large structural flood control works, which highlights the need for decentralized and low-impact solutions. This study was motivated by the frequent flood events in the city of Belo Horizonte and the lack of alternatives for areas where it is not feasible to build large detention reservoirs due to high urban density. This work aims to present a hydraulic simulation of rainwater retention structures in densely urbanized areas, focusing on flood mitigation in the sub-basin of the Córrego dos Pintos, in Belo Horizonte/MG. The methodology included defining the study area using the BH Map platform, collecting hydrological and hydraulic data through QGIS and HEC-RAS software, and calculating effective rainfall using the SCS method. Based on the collected data, it was possible to simulate two surface runoff scenarios and analyze the effects of rooftop rainwater harvesting. The results showed a reduction in design rainfall intensity from 110.20 mm/h to 80.10 mm/h and a decrease in peak flow from 49.63 m³/s to 26.71 m³/s. Although rainwater harvesting does not completely eliminate the risk of flooding, it contributes significantly to reducing the flood extent.

Keywords: Urban drainage. Household rainwater reservoir. Floods. HEC-RAS.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Urbanização e seus impactos	16
3.2	Drenagem e manejo das águas pluviais	17
3.3	Medidas estruturais e não estruturais de drenagem e manejo de águas pluviais	19
3.4	Microrreservatório Domiciliar	22
3.5	Modelagem Hidráulica	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1	Delimitação da sub-bacia hidrográfica de interesse	25
4.2	Estudos Hidrológicos	27
4.2.1	<i>Tempo de Retorno (Período de Retorno) e Análise de Risco</i>	28
4.2.2	<i>Coeficiente de Escoamento Superficial (CN)</i>	28
4.2.3	<i>Tempo de Concentração</i>	30
4.2.4	<i>Intensidade Pluviométrica (Chuva de Projeto)</i>	30
4.3	Estudo Hidráulicos	32
4.3.1	<i>Determinação de Volumes</i>	32
4.3.2	<i>Modelo de Transformação Chuva-Vazão (Cálculo das vazões máximas)</i>	32
4.3.3	<i>Levantamento Topográfico</i>	33
4.3.4	<i>Modelagem hidráulica no HEC-RAS</i>	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1	Estudo Hidrológico	36
5.2	Estudo Hidráulico	37
5.3	Modelagem hidrodinâmica no HEC-RAS	42
5.3.1	<i>Dados de entrada</i>	42
5.3.2	<i>Simulação do HEC-RAS</i>	45
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES	49
7	REFERÊNCIAS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.2.1 – Exemplo de Microdrenagem e Macrodrenagem.....	18
Figura 3.3.1 – Exemplos de camadas de um telhado verde.....	23
Figura 4 - Fluxograma da metodologia	25
Figura 4.1.1 – Área de Estudo.....	26
Figura 4.1.2 – Demarcação de Telhados e Lajes.....	27
Figura 4.2.2 – Coeficientes de Escoamento Superficial.....	29
Figura 4.3.3 - Modelo Digital de Elevação.....	33
Figura 5.1.1 – Cota início e cota final	36
Figura 5.2.1 – Reservatórios Cilíndricos FIBRABON.....	37
Figura 5.2.2 – Hidrograma Unitário Triangular – SCS – Intensidade = 110,2 mm/h.....	39
Figura 5.2.3 – Hidrograma Unitário Triangular – SCS – Intensidade = 80,1 mm/h.....	40
Figura 5.3.1 – Ajuste Região.....	40
Figura 5.3.2 – Permissões HEC-RAS.....	41
Figura 5.3.3 – Sistema Métrico.....	41
Figura 5.3.4 – MDE importado.....	42
Figura 5.3.5 – Terrain + Google Hybrid + Planta Geral Rede de Drenagem PBH.....	43
Figura 5.3.6 – Cross Sections.....	43
Figura 5.3.7 – Inclusão dos bueiros.....	44
Figura 5.4.1 – Steady Flow Data.....	45
Figura 5.4.2 – Steady Flow Analysis.....	45
Figura 5.4.3 – Perfis da linha d’água	46
Figura 5.4.4 – RAS 3D Viewer.....	47
Figura 5.4.5 – RAS Mapper.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.2.1 – Tempos de Retorno recomendados.....	28
Tabela 4.2.4 – Quantis adimensionais μT_d , correspondentes a probabilidades de não excedência da distribuição de Gumbel.....	31
Tabela 4.3.2 – Valores de K_c	32
Tabela 5.1.1 – CNs	36
Tabela 5.3.1 – Dimensionamento da Rede de Drenagem.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEIS - Área Especial de Interesse Social

Cabas - Coeficiente de aproveitamento básico

CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CN – *Curve Number*

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica

DGAU - Diretoria de Gestão de Águas Urbanas

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes

EUA – Estados Unidos da América

FCO - Fundação Christiano Ottoni

GBI – Green Blue Infrastructure

HEC-RAS - River Analysis System

IDF – Intensidade, duração e frequência

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IPTU - Imposto Predial e Territorial Urbano

KC – Coeficiente de compacidade

MDE – Modelo digital de elevação

NAU - Nova Agenda Urbana

NRCS - Natural Resources Conservation Service

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OODC - Outorga Onerosa do Direito de Construir

PBH – Prefeitura de Belo Horizonte

PDMBH - Plano Diretor do Município de Belo Horizonte

PE – Precipitação efetiva

PPG-SMARH - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte

SCS - Soil Conservation Service

SMS - Serviço de Mensagens Curtas

SI – System International

SUDECAP - Superintendência de Desenvolvimento da Capital

TC - Técnicas Compensatórias

TR – Tempo de Retorno

TVA - Trama Verde e Azul

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

ZEIS - Zona Especial de Interesse Social

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do desenvolvimento urbanístico do Brasil, o sistema de drenagem foi a parcela do saneamento básico que menos recebeu a devida atenção, pois, em geral, a forma de se resolver os problemas da drenagem urbana é a construção de obras estruturais como a construção de reservatórios de retenção, estruturas de infiltração e a adequação e canalização dos corpos d'água; medidas estas que têm por finalidade compensar o aumento do escoamento superficial causado pela impermeabilização dos terrenos (Martins, 2009).

As inundações e enchentes são fenômenos naturais, que ocorrem na maioria dos cursos d'água, e estão associados a chuvas intensas e rápidas e, em raros casos, estão vinculadas a chuvas de longa duração. Contudo, as ações antrópicas estão agravando ainda mais estes eventos climáticos. Dentre as ações, podem-se destacar principalmente a impermeabilização do solo e todos os tipos de construções à margem dos rios, regiões que naturalmente inundavam a cada episódio de chuvas intensas (Cristo, 2002).

Como abordou Martins (2009), o crescimento das cidades modifica o ciclo da água dentro da bacia hidrográfica, pois junto com este adensamento populacional ocorre a construção ruas e avenidas que diminuem a infiltração da chuva, aumentando a impermeabilização do solo, que consequentemente aumenta o escoamento superficial. O resultado deste processo é o aumento das vazões de pico e das cargas poluidoras nos corpos hídricos causando cada vez mais inundações, pois o sistema de drenagem não suporta tal volume hídrico.

Contudo, estas medidas nem sempre são eficientes para todos os casos, pois existem áreas urbanas que já estão totalmente consolidadas e o adensamento populacional é tão grande que a escolha de um lugar para alocar as obras estruturais é uma tarefa quase que impossível. No geral, não há espaço físico para qualquer tipo de interferência por parte de obras civis. De tal forma a falta de garantias de que tais medidas serão totalmente eficientes é outro fator preponderante na escolha de qual será a melhor técnica compensatória (Martins, 2009).

Segundo Cajazeiro (2012), a urbanização em Belo Horizonte não foi diferente, ela também aconteceu de forma rápida e desordenada, sem as devidas adequações estruturais. A cada episódio de elevada intensidade pluviométrica em um curto intervalo de tempo, o sistema de drenagem não suporta o volume d'água, entrando em colapso, ocasionando várias inundações,

alagamentos e enchentes. No ano de 2012, a cidade de Belo Horizonte registrou 2.538 enchentes, inundações e alagamentos, sendo as regionais Norte e Pampulha com maior número de registros de enchentes e inundações, 409 e 214, respectivamente. Em relação aos alagamentos, as regionais Pampulha e Oeste registraram 393 e 372, respectivamente (Lucas, Augusto, Reis e Rocha, 2015).

Na tentativa de sanar estes e outros problemas urbanos, o governo brasileiro tornou obrigatório a elaboração do Plano Diretor para cidades com:

i) mais de 20 mil habitantes; ii) situadas em área de especial interesse turístico; iii) onde o Poder Público municipal pretenda utilizar os instrumentos previstos no §4º do art 182 da Constituição Federal; iv) integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas; v) inseridas na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional; e vi) incluídas no cadastro nacional de Municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos (Art. 41, da Lei Nº 10.257, de 10 de julho de 2001).

O Plano Diretor Municipal deve ser elaborado nos termos do Art. 182 da Constituição Federal de 1988 e do Art. 2º da Lei Federal nº 10.257/2001 - Estatuto da Cidade, bem como nas disposições da Nova Agenda Urbana (NAU) e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que definem as normas fundamentais de ordenamento das cidades, contemplando questões vinculadas à estrutura e desenvolvimento urbano, ao meio ambiente, à habitação social, ao patrimônio histórico e cultural, à mobilidade, bem como ao tratamento e a relação dos espaços públicos e privados (Belo Horizonte, 2019).

Mesmo com a existência do Plano Diretor e das Leis Municipais, os problemas de drenagem urbana continuam causando inundações, que além de causarem perdas materiais e financeiras e, em casos extremos, causam a perda de vidas humanas. Um exemplo foi o transbordamento do Ribeirão Arrudas no réveillon de 2008 que causou a morte de quatro pessoas (De Pedro & Drummond, 2011).

Segundo Baptista (1998), desde meados dos anos 70, vem se desenvolvendo várias alternativas aos sistemas de drenagem convencionais, como as Técnicas Compensatórias (TC), que têm a finalidade de reduzir as consequências hídricas provenientes dos intensos processos de urbanização. As TC têm por finalidade privilegiar a água no meio das cidades, propiciando a construção de espaços de convivência para as pessoas ao invés de canalizar os corpos hídricos.

Uma destas técnicas compensatórias está presente no Art. 161, § 9º, do Plano Diretor do Município de Belo Horizonte, que diz respeito à instalação de caixas de captação dentro dos lotes. As novas construções são obrigadas a garantir que o lançamento de águas pluviais de um terreno edificado na rede pública de drenagem seja equivalente à sua vazão em condições naturais (Belo Horizonte, 2019).

Quanto à construção das caixas de captação dentro dos lotes, vale ressaltar que a região no entorno não se encontra mais em condições naturais; a água da chuva que cai sobre ruas e avenidas não se infiltra no solo, sendo levada rapidamente para o ponto mais baixo do terreno que, no passado, eram as margens dos rios, área esta que naturalmente era alagada e que hoje está totalmente urbanizada. Então, fica claro que captar apenas o volume para igualar às condições naturais do terreno não é suficiente para evitar as inundações em todos os casos. Quando as antigas margens estão canalizadas e urbanizadas o volume a ser captado deve ser maior que o determinado pelo PDM, pois a inundação é um processo natural que atinge as margens dos rios. Desta forma, este estudo busca dimensionar um volume de água viável tecnicamente a ser armazenado nos lotes já construídos, baseado no metro quadrado de telhado, na tentativa de se mitigar inundações, diferentemente do que diz o Art. 161, § 9º, do Plano Diretor do Município de Belo Horizonte, que busca apenas a equivalência com a vazão natural do terreno.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica de microrreservatórios em lotes na mitigação de inundações na Avenida Francisco Sá, na cidade de Belo Horizonte.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a área total da sub-bacia Córrego dos Pintos, assim como a área total dos telhados e lajes;
- Determinar e organizar, com base na literatura, as variáveis a serem levadas em consideração para dimensionar os microrreservatórios domiciliares;
- Delimitar a mancha de inundação na Avenida Francisco Sá com o auxílio do software HEC-RAS;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Urbanização e seus impactos

A urbanização brasileira foi caracterizada por enormes movimentos migratórios. Antes dos anos setenta, eles eram predominantemente rural-urbanos, mas depois da década de 70 a migração urbano-urbano se igualou à rural-urbana, principalmente dentro das regiões metropolitanas. Um dos grandes exemplos foi a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), que teve a urbanização da sua capital de forma acelerada e desordenada, sem o devido planejamento infraestrutural (Souza, 2018).

Um dos principais impactos ambientais que a urbanização causa é a diminuição da permeabilidade do solo, pois ela impede a infiltração pluvial que, por consequência, aumenta o escoamento superficial, causando inundações. Esta situação pode ser explicada pelo fato da grande maioria das cidades latino-americanas, em especial as brasileiras, terem passado por um processo de transição urbana muito drástico e uma intensa urbanização, com 85% dos brasileiros residindo na zona urbana. Por isso, a maioria das cidades não conseguiram se preparar para receber esse êxodo rural, fazendo com que muitos problemas fossem se acumulando, pela falta de infraestrutura urbana (Martins, 2009).

No ano de 1998, Baptista, Nascimento, Ramos e Champs (1998) investigaram as inundações em Belo Horizonte para o período entre 1928 e 1997, com base em arquivos do Jornal Estado de Minas e da Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP). Segundo os autores, a causa das inundações foi a má aplicação de técnicas de construção durante a concepção da cidade. Desta forma, pode-se dizer que um dos principais motivos das inundações é a construção em áreas que naturalmente inundam durante períodos chuvosos, associado à impermeabilização do solo e às alterações dos cursos d'água. Barros (2005) observou que muitas cidades brasileiras construíram suas principais ruas e avenidas nas planícies de inundação (várzea) dos rios, regiões que eram naturalmente inundadas nos períodos chuvosos e, como não houve nenhuma ação por parte dos responsáveis, hoje inúmeras fatalidades acontecem.

Conforme preconizou Santos (2007), a impermeabilização do solo diminui o tempo de concentração de uma bacia de 5 a 20 vezes menor que o de uma bacia natural, fazendo com que

as água pluviais chegue na parte mais baixa do terreno mais rápido, esta diminuição do tempo vai depender do seu grau de impermeabilização, quanto maior, menor será o TC. Outro fator que contribui para o aumento da velocidade de escoamento é a baixa cobertura vegetal, além da sua importância no aumento do tempo de concentração ela também é capaz de reduzir a carga poluidora sobre os corpos hídricos, pois funciona como uma barreira física para os resíduos sólidos que entopem os equipamentos da rede de drenagem (Macedo, 2009).

Outro problema causado pela urbanização é o descarte irregular de resíduos sólidos, que tendem a se acumular em um mesmo ponto durante a ocorrência de chuvas intensas. Desta forma, o lixo bloqueia a rede de drenagem, a depender da quantidade de lixo em um mesmo local, a probabilidade da ocorrência de inundações é muito grande, como preconizou Barros (2005).

De modo geral, as consequências da urbanização tendem a piorar as inundações no perímetro urbano, na maioria das vezes, aumentando o nível das cheias e a vazão de pico das águas fluviais. Além disso, a urbanização pode reduzir a capacidade de escoamento das calhas dos rios, comprometendo o escoamento das águas da chuva devido ao acúmulo de sedimentos ou lixo, que causam o assoreamento (Antunes, 2020).

3.2 Drenagem e manejo das águas pluviais

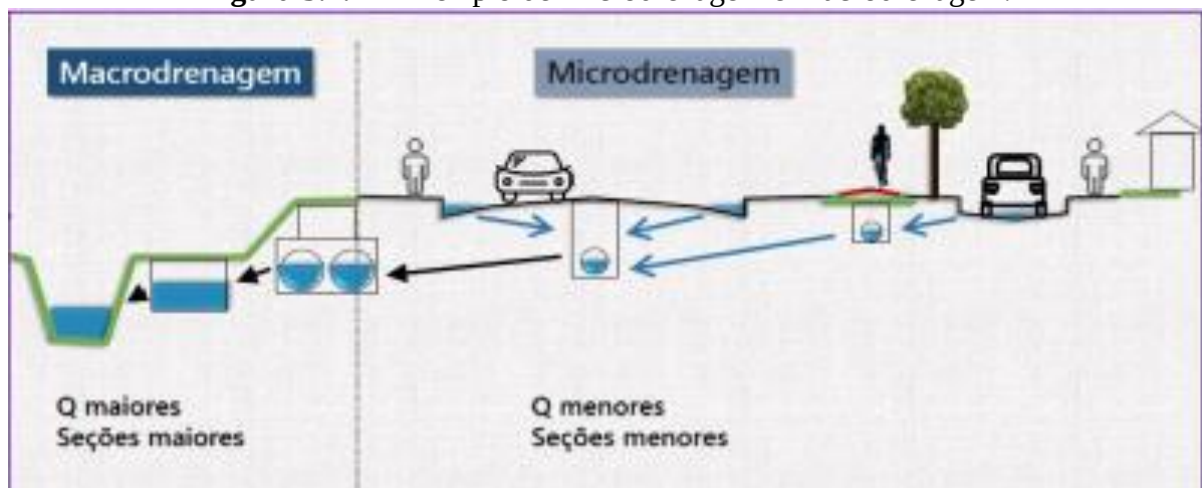
Drenagem urbana é basicamente um conjunto de medidas naturais ou artificiais, que têm por objetivo conduzir as águas pluviais de forma segura, minimizando os riscos que a população do meio urbano está sujeita, possibilitando um desenvolvimento mais harmônico e equilibrado da cidade (Tucci, 2002). A responsabilidade de gerir a drenagem urbana é da Secretaria Municipal, mais especificamente no setor de obras e serviços públicos (Cruz, 2007).

No dia 9 de dezembro de 1969, a Lei municipal nº 1.747 promulgou que a secretaria responsável pela drenagem urbana de Belo Horizonte seria a Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP), que define suas funções para a execução do Plano de Obras e a gestão e implementação de abastecimento de água e esgoto sanitário em paralelo com o Poder Executivo (BELO HORIZONTE, 1969). No dia 02 de março de 2021, foi expedido o Decreto nº 17.566 que ampliou as competências da SUDECAP.

Segundo a SUDECAP (2020), os componentes da drenagem urbana têm como objetivo captar e destinar as águas pluviais que caem sobre a cidade para as áreas apropriadas. Na capital mineira, as redes de drenagem devem seguir o Caderno de Encargos SUDECAP, que determina as diretrizes para construções desses sistemas, bem como o que consta na Instrução Técnica para elaboração de estudos e projetos de drenagem urbana, coordenado pela Diretoria de Gestão de Águas Urbanas (DGAU).

A rede de drenagem é composta basicamente por micro e macrodrenagem. A micro é composta pelos equipamentos considerados menores, que estão em sua maioria presentes nas vias públicas, sendo os mais comuns: bacia de captação, bocas coletoras, pavimento das vias, sarjetas, sarjetões, entre outros. A função deles é captar as águas pluviais escoando-as até os corpos d'água maiores, que são as redes de macrodrenagem, composta por canais, naturais ou artificiais, rios ou corpo de água (Pompêo, 2000).

Figura 3.2.1 – Exemplo de Microdrenagem e Macrodrenagem.



Fonte: Quizlet, Fonseca et al. (2022).

A grande maioria dos sistemas de drenagem brasileiros são classificados como higienistas, e eles recebem essa classificação porque preconizam o rápido escoamento da água da chuva, o que depende da eficiência dos equipamentos citados anteriormente. A desvantagem deste sistema é que seu objetivo é escoar a água pluvial o mais rápido possível, se livrando dela sem se preocupar com o que está nas cotas inferiores; e este manejo das águas gera um aumento de volume em pontos específicos, e isso nada mais é do que alagamentos e inundações (Cruz, 2007; Pompêo, 2000; Souza, 2018).

Uma observação que pode ser feita em paralelo com esses problemas dos sistemas higienistas, é a questão do rápido crescimento urbano, resultando no aumento das áreas impermeáveis e na diminuição da infiltração das águas no solo, sendo mais um fator que prejudica a eficiência da drenagem urbana brasileira, aumentando a probabilidade de ocorrer inundações e enchentes (Alexander et al., 2013; Bastos, 2009; Monteiro, 2020; Mendes, 2020).

Outro cenário mencionado por Antunes (2020) que necessita de mudança é a questão dos resíduos sólidos descartados irregularmente, este lixo acaba assoreando ou obstruindo os corpos d'água, diminuindo sua vazão original; redução esta que pode ser um fator preponderante para a ocorrência de alagamentos e inundações, deixando evidente a necessidade da realização de campanhas de educação ambiental por parte do poder público para toda população.

Para finalizar, como observou Tucci (2005), outra situação que precisa ser revista por parte das instâncias mais altas dos poderes brasileiros é a questão dos recursos financeiros concedidos aos municípios que decretaram situação de calamidade pública, após desastres relacionados a inundações. A forma como acontece o gerenciamento destas questões na atualidade não incentiva os municípios a resolverem os problemas na sua fonte, através de medidas não estruturais, todavia os prefeitos tendem a não escolherem essas alternativas, pois ela não é tão percebida pela população quanto as grandes obras de engenharia, que muitas das vezes são preteridas pois são usadas como propaganda política nas eleições.

3.3 Medidas estruturais e não estruturais para drenagem e manejo de águas pluviais

Como preconizou Canholi (2005), um planejamento adequado para a melhoria do sistema de drenagem consiste no controle de inundações e na combinação de recursos materiais e humanos, além de uma união perfeita de medidas estruturais e não estruturais. Referente aos dois tipos de medidas, as estruturais correspondem a obras de engenharia hidráulicas que proporcionam a drenagem das águas pluviais como, por exemplo, alteração do leito do rio, canalizações, barragens e reservatórios de detenção e retenção (Barros, 2005).

Já as não estruturais são medidas de intervenções indiretas, não envolvendo obras de engenharia. Elas são voltadas para minimizar as consequências das chuvas intensas nas zonas

urbanas como, por exemplo, controle do uso e ocupação do solo, redução da vulnerabilidade de moradores de áreas de risco, criação de leis e desenvolvimento do Plano Diretor (Barros, 2005).

Como afirmaram Caputo, Moura e Nascimento (2012), as medidas estruturais não têm uma preocupação ecossistêmica, o seu objetivo é drenar as águas pluviais a jusante, sem se preocuparem com os riscos de enchentes e inundações, uma visão higienista. O objetivo das medidas estruturais é melhorar os dispositivos de microdrenagem (sarjetas, bocas-de-lobo e redes) e macrodrenagem (galerias e canais), transferindo a água para jusante o mais rápido possível. Estas obras podem ser classificadas em três tipos de ações:

1. Aceleração do escoamento: dentre eles se destacam a construção de diques e pôlderes, canalização de córregos, corte de meandros, entre outros, sempre gerando uma drenagem mais rápida das águas pelo rio.
2. Retardamento do escoamento: compreende as obras de engenharia que buscam reter parte das águas pluviais ou fluviais de forma a reduzir as vazões na calha do rio a jusante. Abarcam os reservatórios e as bacias de amortecimento.
3. Desvio do escoamento: engloba as obras de desvio de parte da vazão do rio, sendo os canais de desvio o exemplo mais marcante (Tucci, 2002, p. 627-628).

À medida que uma bacia ou sub-bacia hidrográfica vai se desenvolvendo, mais áreas vão sendo impermeabilizadas e, por este motivo, mais obras estruturais precisam ser feitas. Desta forma, o escoamento superficial e a vazão de pico vão aumentando, transferindo um grande volume de águas pluviais a jusante. Contudo, há situações em que essa não é mais uma possibilidade, pois toda área a jusante possui uma urbanização consolidada (Canholi, 2005).

Em linhas gerais, as intervenções na drenagem urbana que normalmente acontecem nos dias atuais são medidas estruturais, que vão perdendo sua eficiência com o passar dos anos, por causa dos diversos fatores já mencionados anteriormente (Rezende, 2010). O custo para se

manter um sistema de drenagem operando corretamente tende a ficar cada dia mais elevado. Vale salientar que as atualizações que são necessárias se resumem a ações emergenciais e esporádicas, implementadas após a ocorrência de desastres, o correto é a implementação de medidas baseadas em planejamento e gestão de crise antes das eventualidades (Pompêo, 2000).

Quando não é possível resolver o problema das inundações com obras estruturais, que envolve em sua maioria obras de canalização, tem-se a opção das obras não estruturais, como as apresentadas no Quadro 3.1 (Canholi, 2005).

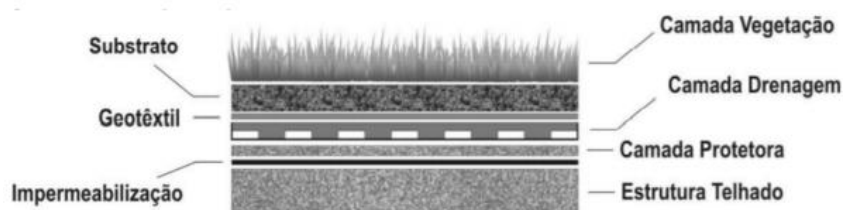
Quadro 3.1 – Comparação entre conceitos de canalização e reservação.

CARACTERÍSTICA	CANALIZAÇÃO	RESERVAÇÃO
Função	Remoção rápida do escoamento	Contenção temporária para subsequente liberação
Componentes principais	Canais abertos/galerias	Reservatório à superfície livre Reservatórios subterrâneos Retenção subterrânea
Aplicabilidade	Instalação em áreas novas Construção por fases Ampliação da capacidade pode se tornar difícil	Áreas novas (em implantação) Áreas existentes (à superfície ou subterrânea)
Impactos nos trechos de Jusante (quantidade)	Aumenta significativamente os escoamentos em relação ao sistema anterior Maiores obras nos trechos a Jusante	Áreas podem ser dimensionadas para impacto zero Reabilitação de sistemas com tomada para a jusante compatíveis com capacidade disponível
Impactos nos trechos de Jusante (qualidade)	Transporta para o corpo receptor toda a carga poluente afluente	Facilita remoção de material retido Futuras áreas de reservação podem ser suspensas no processo
Manutenção/operação	Manutenção em geral pouco frequente (pode ocorrer excesso de manutenção quando há deposição de lixo e assoreamento nas galerias fechadas que têm um acesso difícil)	Necessária limpeza periódica das áreas de reservação Sistemas de bombeamento podem ser necessários Desinfecção eventual (insetos)
Estudos hidrológicos/hidráulicos	Requer definição dos picos de enchentes	Requer definição dos hidrogramas (volumes de enchentes)

Fonte: Canholi (2005)

As medidas não estruturais são dimensionadas para funcionarem em áreas pequenas, com o objetivo de deixar o local com as condições hidrológicas iguais às do ambiente natural, com o intuito de reduzir as vazões e as taxas de escoamento, funcionando como uma zona de amortecimento, como por exemplo: os telhados verdes (Figura 3.2.1), os pavimentos permeáveis e semipermeáveis e os reservatórios de retenção e retenção (Tassi et al., 2014).

Figura 3.3.1 – Exemplos de camadas de um telhado verde.



Fonte: Tassi et al. (2014).

3.4 Microrreservatório Domiciliar (ou dispositivos de retenção)

A partir da impossibilidade de se executar grandes obras estruturais em lugares densamente urbanizados e já consolidados, veio a necessidade de se desenvolver as medidas não estruturais, na tentativa de solucionar parte dos problemas das enchentes e inundações. Para tal, a prefeitura de Belo Horizonte incluiu no seu Plano Diretor, por meio da Lei Municipal nº 11.181/2019, incentivos econômicos para os empreendimentos que incorporassem infraestruturas sustentáveis em suas novas edificações. Estes incentivos estão diretamente ligados com os conceitos de Trama Verde e Azul (TVA) e *Green-Blue Infrastructure* (GBI). O objetivo deles é reduzir os impactos ambientais causados pela urbanização, criando espaços multifuncionais (Augusto, Renan e Nilo, 2023).

O coeficiente de aproveitamento básico (CABas) de Belo Horizonte é no máximo 1, representando a razão entre o quanto se pode construir em uma zona e a área do terreno. Esse valor não pode ser ultrapassado, a menos que seja feito o pagamento de uma taxa chamada Outorga Onerosa do Direito de Construir (OODC). Como forma de incentivo, o novo Plano Diretor de 2019 concede descontos sobre essa taxa para as construções que adotarem as GBI. Estas “gentilezas urbanas” são um incentivo para as futuras edificações que têm a intenção de ultrapassar o CABas (respeitando os outros parâmetros), pois, em certas situações, podem receber descontos muito lucrativos, tornando-se atrativa para as construtoras. O interesse da prefeitura na adoção destas medidas é principalmente quanto aos efeitos positivos sobre a drenagem urbana, pois elas podem devolver ao terreno suas condições naturais de escoamento, como eram antes da construção (Augusto, Renan e Nilo, 2023).

A TVA teve seu surgimento na França, mais especificamente em uma região chamada Nord-Pas-de-Calais, e o contexto do seu desenvolvimento se deu sobre a recuperação ambiental e o incentivo à biodiversidade que, assim como Belo Horizonte, sofre com os impactos ambientais

decorrentes da extração do minério de ferro. Essa técnica tem como fundamento proteger e restaurar os sistemas naturais de uma cidade, ou áreas periurbanas e rurais, objetivando mitigar os efeitos das mudanças climáticas, das ilhas de calor, promover a conservação do solo e água, controlar a poluição atmosférica, criar corredores entre as áreas de preservação permanente e promover a biodiversidade (Oliveira e Costa, 2018).

Já as GBI (*Green-Blue Infrastructure*) têm um conceito mais voltado para áreas urbanas, mas compartilha de alguns conceitos da TVA, como a restauração e proteção do meio ambiente que foi degradado com a urbanização e a criação de corredores verdes que conectam as áreas de preservação ambiental. Suas ações contêm uma compilação de dispositivos e técnicas voltadas para as infraestruturas “verdes” como, por exemplo, as caixas de captação, os microrreservatórios, os telhados verdes, os jardins de chuva (jardim drenante), as valas de retenção e infiltração. Já as técnicas “azuis” são voltadas para o controle de inundações, redução da poluição tanto fluvial quanto atmosférica e o combate da formação de ilhas de calor. As técnicas socioambientais são voltadas para a infraestrutura de lazer e esporte, paisagismo urbano, espaços de convivência, economias solidárias, dentre outros (Drumond, Almeida e Nascimento, 2023).

As caixas de captação já são exigidas em todas novas construções no território de Belo Horizonte, com exceção da Zona Especial de Interesse Social (Zeis) e da Área Especial de Interesse Social (Aeis). O objetivo delas é contribuir com o amortecimento das vazões de escoamento superficial geradas nos lotes, reduzindo assim as cargas de escoamento na rede pública de drenagem, desafogando a rede de drenagem existente (Belo Horizonte, 2019).

Os telhados verdes são dispositivos que contribuem com a retenção e a evapotranspiração da água da chuva, além de não ocuparem uma área do terreno, gerando os mesmos benefícios para a rede de drenagem que as caixas de captação. Essa técnica só é eficiente quando se utiliza a vegetação apropriada, pois algumas plantas não suportam as condições extremas (Tassi et al., 2014). O ponto negativo é o custo de implantação, podendo chegar a custar três vezes mais do que os telhados convencionais. Todavia, a manutenção tem os custos irrisórios se comparados à instalação, trazendo um retorno em pouco tempo (Fernandes, 2018).

O jardim drenante é uma depressão coberta por vegetação, que tem por objetivo permitir a fácil percolação da água pluvial. Ele é composto por camadas de solo arenoso, solo orgânico e substrato, que promovem a infiltração e facilitam a atividade microbiológica. Para o

funcionamento perfeito é recomendado a utilização de plantas nativas que são aclimatadas à região (Cortez, 2019).

Os microrreservatórios domiciliares são pequenos reservatórios instalados dentro dos lotes (controle na fonte), concebidos com a função de amortecimento dos picos de cheia, minimizando o impacto hidrológico causado pela redução das áreas permeáveis. Geralmente são utilizadas caixas d'água dos diversos modelos, mas em alguns casos podem ser construídos em estrutura de alvenaria, instalados ao ar livre ou dentro de uma edificação, conectados ou não ao sistema de drenagem. Eles ainda permitem aproveitar as águas pluviais para fins não potáveis, exercendo assim a dupla função. O descarte da água reservada pode ser feito por infiltração no solo ou por descarga por registro (Augusto, Renan e Nilo, 2023).

3.5 Modelagem Hidráulica

Lengler, Leuck e Mendes (2014) concordam com a criação de um benefício tributário compensatório aos proprietários que optarem pela instalação de reservatórios de amortecimento da vazão em seus lotes, compensado total ou parcialmente os custos relativos às instalações.

Grande parte das cidades brasileiras não possuem uma legislação que trata deste tema, contudo as principais capitais começaram a utilizar medidas de controle com a utilização de reservatórios de contenção de cheias (Drumond; Coelho; Moura, 2011).

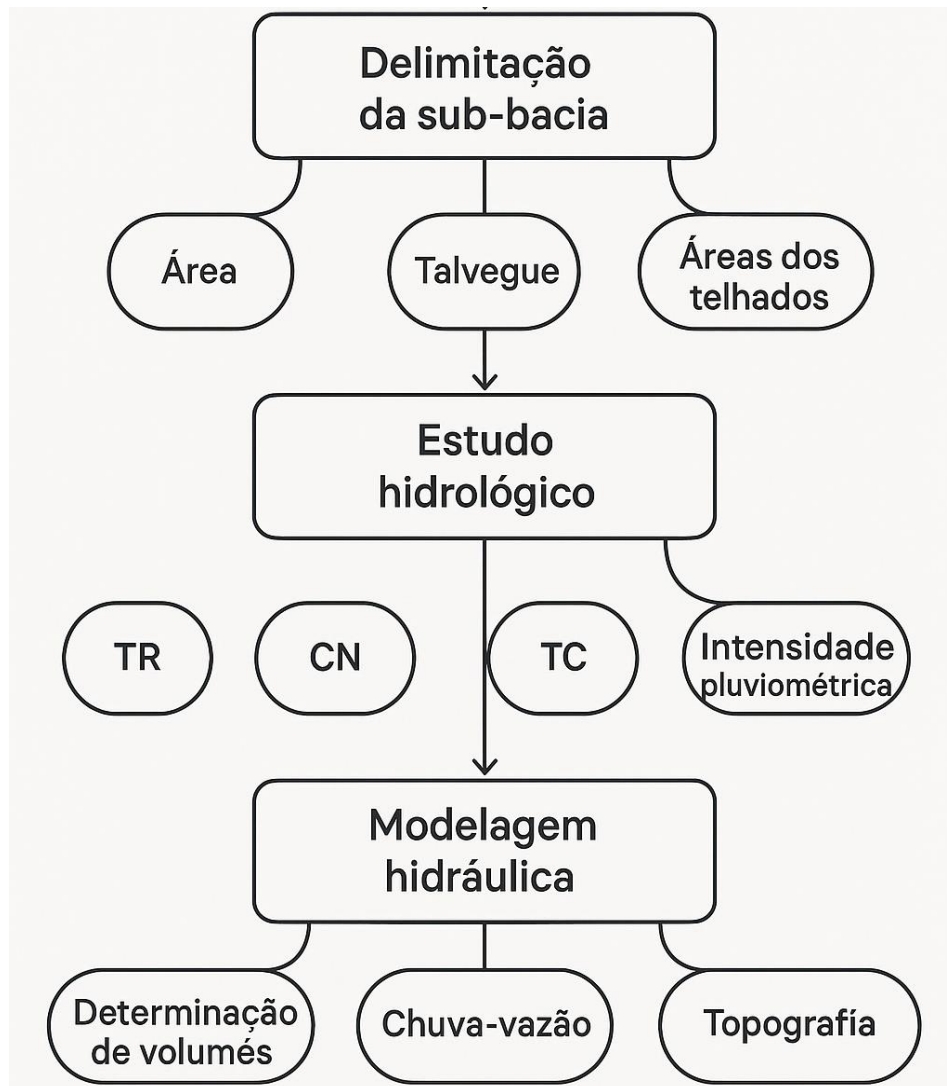
Na capital paranaense já existe um Decreto Municipal (176/07) que trata sobre o volume de reservação de contenção de cheias, calculado a partir da multiplicação de um coeficiente pela intensidade e área (CURITIBA, 2007).

Em que: V (m^3) é o volume do reservatório; k é a constante dimensional fixada pelo decreto no valor de 0,20; i é a intensidade da precipitação fixada pelo decreto no valor de 0,080 m/h; A (m^2) é área impermeabilizada conforme parâmetros do decreto.

Além de uma tabela contendo os valores do diâmetro do orifício regulador de vazão em função do volume calculado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Figura 4 - Fluxograma da metodologia



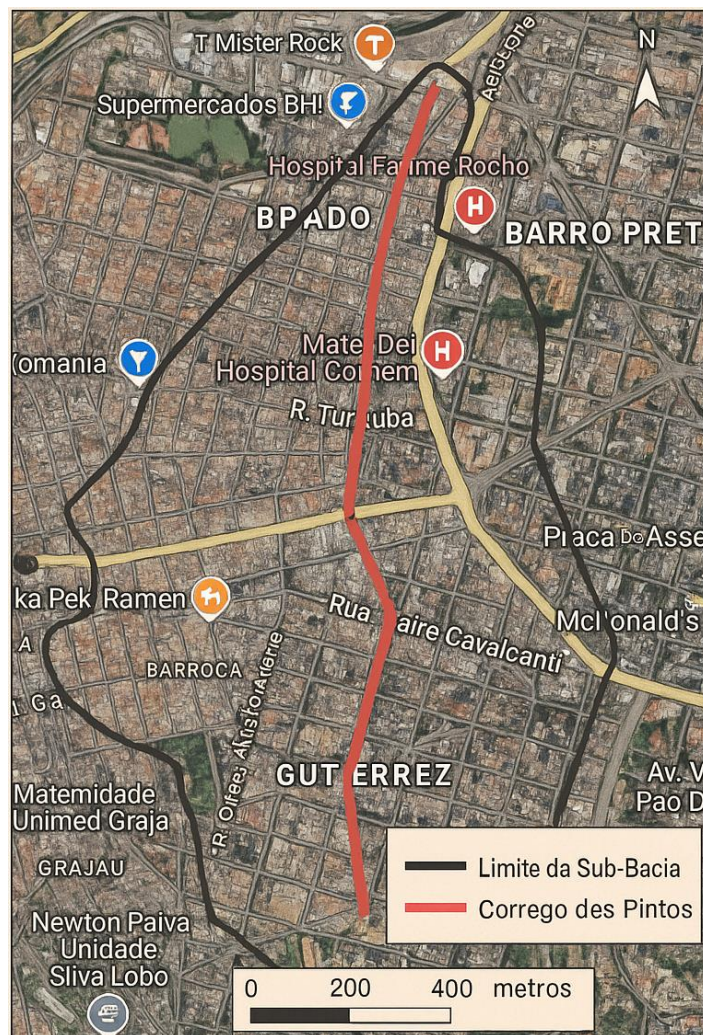
Fonte: O autor.

Para avaliar os efeitos da retenção pluvial em lotes urbanos, foram adotadas ferramentas de geoprocessamento e modelagem hidráulica. A metodologia partiu da delimitação da sub-bacia do Córrego dos Pintos, em Belo Horizonte/MG, seguida pelo levantamento de dados topográficos e hidrológicos. Em seguida, foram realizados cálculos de chuva efetiva e simulações no software HEC-RAS, comparando os cenários com e sem estruturas de retenção pluvial nos telhados e lajes. O objetivo foi quantificar a redução da vazão de pico e da mancha de inundação a partir da implantação dos microrreservatórios que fazem a captação pluvial.

4.1 Delimitação da sub-bacia hidrográfica de interesse (Área de Estudo)

O presente estudo foi realizado na sub-bacia Córregos dos Pintos, localizada na região Oeste da capital mineira. Na sub-bacia em estudo estão inseridos cinco bairros, sendo eles: Prado, Gutierrez, Barroca, Barro Preto e Santo Agostinho. Com auxílio do programa QGIS e da ferramenta da Prodabel/Prefeitura o BHMap e das plantas topográfica e de Drenagem, obtidas junto à PBH, estimaram-se a área total da sub-bacia, de aproximadamente 2.165.466,5 m² ou 2,17 km², o talvegue, com aproximadamente 2,172 km e o desnível do mesmo de aproximadamente 58 m. A sub-bacia Córrego dos Pintos (Figura 4.1.1) apresenta um elevado grau de urbanização, com a presença de poucas áreas verdes.

Figura 4.1.1 – Sub-bacia Córrego dos Pintos.



Fonte: BHMap (2024), CPRM (2023). elaborado pelo autor
(2025)

O passo seguinte foi a delimitação da área total de telhados e lajes a partir de um shapefile do BH Map que foi inserido no QGIS, o seu nome é “Edificações”. Esse dado vetorial é composto por vários polígonos que demarcam inúmeros tipos de edificações que vão além de telhados e lajes. Então essa camada precisou de várias edições (excluir tudo que não é telhado e laje e adicionar os que faltaram), pois o objetivo do estudo é captar a água pluvial que cai sobre lajes e telhados, as demarcações podem ser vistas na Figura 4.1.2. A área total dos telhados é de aproximadamente 846.108,5 m², que corresponde a 39,07% da superfície da sub-bacia, demonstrando o seu elevado grau de urbanização.

Figura 4.1.2 – Demarcação de telhados e lajes



Fonte: O autor (2025).

4.2 Estudos Hidrológicos

Para a realização do estudo hidrológico é importante o conhecimento de todas as fases do ciclo hidrológico, principalmente as fases de precipitação e escoamento superficial. Essas fases são de extrema importância para o planejamento e dimensionamento de um sistema com a máxima eficiência e com o menor custo possível.

No projeto em questão, são consideradas as precipitações que ocorrem na área de influência direta, objetivando a determinação das estimativas de cheias máximas prováveis. Entende-se como cheias máximas as fortes precipitações contínuas com duração de no máximo poucas horas ou, segundo o U.S. Corps of Engineers, dos E.U.A, como “a vazão que pode ser esperada em consequência do conjunto mais desfavorável de condições meteorológicas e hidrológicas que podem ser razoavelmente consideradas como características da região geográfica interessada, excluindo as combinações extremamente raras”. Essas cheias máximas são úteis no dimensionamento das obras de engenharia, tal como daquelas relacionadas ao sistema de drenagem.

Para o desenvolvimento dos estudos hidrológicos foram utilizados os critérios (Tempo de retorno, coeficiente de escoamento superficial, tempo de concentração e intensidade pluviométrica) adotados pela Superintendência de Desenvolvimento da Capital – SUDECAP-PBH, Instituto Mineiro de Gestão das Águas -IGAM e do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE.

4.2.1 *Tempo de Retorno*

O conceito de Tempo de Retorno (TR) em um estudo e/ou projeto reflete a probabilidade associada a uma vazão ser igualada ou superada em relação à série histórica e é essencial para determinar a intensidade pluviométrica.

No município de Belo Horizonte, esse parâmetro é estabelecido em virtude do porte dos cursos d'água, das bacias hidrográficas e das estruturas propostas (Tabela 4.2.1).

Tabela 4.2.1 – Tempos de retorno recomendados.

Curso d'Água / Estrutura	Tempo de Retorno recomendado
Ribeirões Arrudas, Isidoro e Onça	100 anos
Afluentes diretos dos Ribeirões Arrudas, Isidoro e Onça	50 anos
Demais córregos e cursos d'água	25 anos
Descidas d'água	25 anos
Bueiros	25 anos, com verificação para 50 anos
Barragens – extravasores de emergência	500 anos, 1.000, 10.000 anos e/ou PMP

Fonte: SUDECAP (2000).

4.2.2 Coeficiente de Escoamento Superficial (CN)

A retenção de parte da chuva na bacia e a infiltração no solo são os principais processos que determinam a quantidade de chuva que se converte em escoamento superficial, ou seja, a precipitação efetiva (PE). A estimativa da precipitação efetiva considera o tipo hidrológico do solo, o uso e ocupação do solo e a condição de umidade anterior, representados pelo parâmetro CN (*Curve Number*), que varia de 0 a 100. Quanto maior o CN, maior a parcela da precipitação que escoar. Com o total precipitado em cada intervalo, calcula-se a chuva excedente, que se torna escoamento superficial direto.

Os mapas, em escala, para os valores de CN atual e futuro a serem utilizados para cada bacia da área de estudo estão apresentados no Sistema BHMap, disponível em <https://bhmap.pbh.gov.br/>.

Para a realização deste estudo foi utilizado o shapefile disponível no site. Cada quarteirão tem um valor de CN (Figura 4.2.3) e com o auxílio do QGIS foi encontrada a área total correspondente a cada coeficiente. Como os coeficientes por padrão só são atribuídos a quarteirões, foi adotado o valor de CN de 95 para as ruas e avenidas, sendo possível determinar o coeficiente médio da sub-bacia por meio da média ponderada, conforme a equação 1.:

$$CN_{ponderado} = \frac{(CN_1 \cdot A_1) + (CN_2 \cdot A_2) + (CN_3 \cdot A_3) + (CN_4 \cdot A_4)}{A_{total}} \quad (1)$$

Em que:

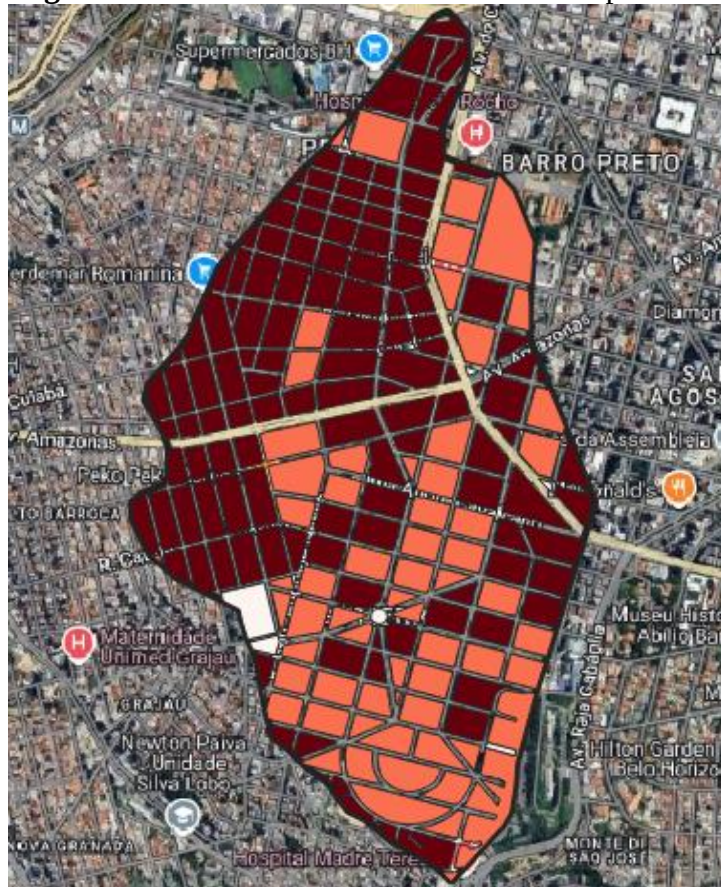
CN – coeficiente *curver number* da área

Ai – área total referente a cada CN, em m²

Atotal – área total, em m²

CNponderado – coeficiente CN ponderado

Figura 4.2.2 – Coeficientes de escoamento superficial.



Fonte: O autor (2025).

4.2.3 Tempo de Concentração

O tempo de concentração pode ser definido como o intervalo de tempo necessário, a partir do início de uma precipitação, para que toda a bacia hidrográfica esteja contribuindo com o escoamento superficial passante em seu exutório.

Para o cálculo do tempo de concentração da bacia, foi utilizada a fórmula de Kirpich, que é recomendada no Manual de Hidrologia Básica do DNIT (BRASIL, 2005), para pequenas, médias e grandes bacias, conforme a equação 2

$$Tc = 57x \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (2)$$

Em que:

Tc é o tempo de concentração, em minutos;

L é a extensão do talvegue principal, em Km;

H é a diferença de cota de topo e vale do talvegue, em metros.

4.2.4 Intensidade Pluviométrica

Conforme o Apêndice 1 do manual da SUDECAP (2020), estudos de chuvas intensas relacionam a intensidade (i), duração (d) e frequência (F) (ou Tempo de Retorno - TR) da precipitação de um determinado local, por meio das chamadas relações IDF. Para a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) são atualmente utilizadas, em estudos e projetos, as relações IDF regionalizadas, desenvolvidas Pinheiro e Naghettini (1997). Esse trabalho baseou-se nas precipitações históricas da Região Metropolitana de Belo Horizonte e hietogramas típicos de distribuição temporal, os quais foram apresentados e compilados por Pinheiro e Naghettini (1998).

Rodrigues (2020) completou a série histórica utilizada por Pinheiro e Naghettini (1998), ampliando-a com dados mais recentes. Nessa avaliação, foi observado que as curvas das equações propostas por Pinheiro e Naghettini (1998) e Rodrigues (2020) são muito próximas para as durações analisadas. Além disso, as relações IDF propostas por Pinheiro e Naghettini (1998) foram obtidas com métodos de inferência estatística mais robustos. Assim, essa nova avaliação recomendou a permanência da aplicação da Equação IDF de Pinheiro e Naghettini (1998) para os casos ordinários.

A duração da chuva, por premissas hidrológicas, é igual ao tempo de concentração. Uma vez definida a duração d (em horas) da precipitação de projeto, o primeiro passo para a determinação da intensidade média da precipitação de projeto é a obtenção da chuva média anual P, a partir do mapa de isoietas da RMBH. A precipitação média anual no município de Belo Horizonte varia entre 1.400 a 1.600 mm. Usualmente, adota-se nos estudos e projetos a precipitação anual de 1.500 mm.

Em seguida, determina-se o quantil adimensional $\mu_{T,d}$, associado ao tempo de retorno TR e à duração d, a partir da Tabela 4.2.4.

Tabela 4.2.4 – Quantis adimensionais $\mu_{T,d}$, correspondentes a probabilidades de não excedência da distribuição de Gumbel.

Durações (minutos)	Período de retorno (anos)										
	1,05	1,25	2	10	20	25	50	100	200	500	1000
10	0,691	0,828	1,013	1,428	1,586	1,620	1,791	1,945	2,098	2,300	2,452
15	0,695	0,830	1,013	1,422	1,578	1,612	1,780	1,932	2,083	2,282	2,432
30	0,707	0,836	1,013	1,406	1,557	1,589	1,751	1,897	2,043	2,235	2,380
45	0,690	0,827	1,013	1,430	1,589	1,623	1,795	1,949	2,103	2,305	2,459
60	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,646	1,823	1,983	2,143	2,353	2,512
120	0,683	0,823	1,014	1,439	1,602	1,637	1,813	1,970	2,128	2,335	2,492
180	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,646	1,823	1,983	2,143	2,353	2,512
240	0,688	0,826	1,013	1,432	1,591	1,626	1,798	1,953	2,108	2,311	2,465
480	0,674	0,818	1,014	1,451	1,618	1,654	1,834	1,996	2,157	2,370	2,531
840	0,636	0,797	1,016	1,503	1,690	1,730	1,931	2,112	2,292	2,530	2,710
1440	0,603	0,779	1,017	1,550	1,754	1,798	2,017	2,215	2,412	2,672	2,868

Fonte: SUDECAP (1994).

O próximo passo consiste na estimativa a intensidade média da precipitação de projeto a partir da expressão geral da Equação IDF de Pinheiro e Naguettini (1998):

$$i_{T,d} = 0,7642 \cdot d^{-0,7059} \cdot P^{0,5360} \cdot \mu_{T,d} \quad (3)$$

Em que:

d - Duração da chuva (em horas).

P - Precipitação média anual no local (em mm).

$\mu_{T,d}$ - Quantil adimensional de frequência regional associado ao período de retorno T e à duração d (tabelado).

4.3 Estudos Hidráulicos

4.3.1 Determinação de Volumes

Para a determinação dos volumes estudados foi utilizada a seguinte expressão:

$$V = i \times A \times t \quad (4)$$

Em que:

V é o volume, em m³

i é a intensidade pluviométrica, m/h

A é a área, em m²

t é a duração da chuva, em h

4.3.2 Modelo de Transformação Chuva-Vazão

No capítulo 5, subtítulo 5.4.2, do manual da SUDECAP (2020), é recomendada a utilização do modelo Hidrograma Unitário Sintético Triangular proposto pelo Soil Conservation Service - SCS, atual Natural Resources Conservation Service - NRCS (NRCS, 1986), para transformação chuva-vazão em áreas maiores que 1 km² (a sub-bacia do estudo tem aproximadamente 2,17 km²). Este modelo é amplamente utilizado em virtude de sua simplicidade de parâmetros e facilidade de aplicação.

Medidas, estimativas e modelagem de vazão de um rio são princípios fundamentais para a gestão dos recursos hídricos, bem como análises técnicas e científicas no projeto de estruturas hidráulicas, predição de respostas eco-hidrológicas e análise de risco de inundação. Por se tratarem de métodos simples e práticos, os Hidrogramas Unitários Sintéticos passaram a ser amplamente utilizados na realização de estudos hidrológicos (Silveira, 2016).

Os Hidrogramas Unitários Sintéticos Triangulares (HUST) são modelos simplificados usados em hidrologia para estimar o escoamento superficial em uma bacia hidrográfica, especialmente quando dados observados são escassos. Eles aproximam a resposta hidrológica da bacia a uma precipitação efetiva unitária (ex.: 1 cm de chuva) por meio de um triângulo, definido por três parâmetros principais: tempo de pico (T_p , momento de vazão máxima), vazão de pico (Q_p , valor máximo do escoamento direto) e tempo de base (T_b , duração total do escoamento).

O escoamento direto, também conhecido como chuva efetiva, é determinado pela seguinte equação:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (7)$$

Em que:

Q é a chuva efetiva [mm]

P é a precipitação total [mm], dada por: $P = i \times d$, em que i é a intensidade pluviométrica [mm/h] e d é a duração da chuva [h]

S é a capacidade de armazenamento potencial da bacia [mm], dada por: $S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254$, em que CN é o coeficiente de escoamento da bacia.

O volume de escoamento direto (em m³) é dado pela seguinte expressão:

$$V = Q \times A \quad (8)$$

Em que:

Q é a chuva efetiva [m]

A é a área total da bacia [m²]

A determinação do tempo de pico (em horas ou minutos) é dada por:

$$T_p = \frac{d}{2} + T_{lag} \quad (9)$$

Onde:

T_{lag} é 60% do tempo de concentração [h ou min]

d é a duração da chuva [h ou min]

A vazão de pico é calculada pela seguinte equação:

$$Q_p = \frac{2.V}{T_p}$$

Em que:

V é o volume de escoamento direto [m³]

T_p é o tempo de pico [h ou min]

O tempo de base (T_b) é aproximadamente 2,67 do T_p .

Uma variável importante em projeto de drenagem urbana é o coeficiente de compacidade da sub-bacia, que se refere a probabilidade de a bacia ser suscetível a enchentes (Tabela 4.3.2), sendo dado pela relação entre o perímetro e a circunferência correspondente a área da bacia, conforme descrita na equação 5

$$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (5)$$

Em que:

Kc: coeficiente de compacidade

P: Perímetro da bacia, em metros

A: Área da bacia, em metros quadrados

Para a sub-bacia do Córrego dos Pintos, com área total de 2165466,5 m² e perímetro total de 6565,5 m, o coeficiente de compacidade é de 1,24.

Tabela 4.3.2 – Valores do coeficiente de compacidade.

VALORES DE KC	SUSCEPTIBILIDADE A ENCHENTE
1,00 =< KC < 1,25	Bacia com alta propensão a grandes enchentes
1,25 =< KC < 1,50	Bacia com tendência mediana a grandes enchentes
> 1,50	Bacia pouco sujeita a grandes enchentes

Fonte: Villela & Mattos (1975)

Com base na Tabela 4.3.2, a sub-bacia em estudo tem alta propensão a grandes enchentes, pois apresenta Kc entre 1,00 e 1,25.

Outra consideração importante é que a área de estudo se encontra majoritariamente em áreas antropizadas, portanto uma infiltração pequena acarretando em maiores vazões de projeto.

4.3.3 Levantamento Topográfico

Os dados topográficos foram obtidos com o auxílio do BH Map, com base nas “curvas de nível” disponíveis no formato vetorial, dadas de 5 em 5 metros. Elas foram inseridas no QGIS e com o auxílio do método de interpolação TIN (uma ferramenta do QGIS) foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE), como pode ser visto na Figura 4.3.3. O campo de atributo utilizado para a interpolação foi o da cota altimétrica. Após a interpolação, o raster resultante foi recortado à área de estudo e exportado em formato GeoTIFF, que é compatível com o modelo hidráulico HEC-RAS.

Figura 4.3.3 - Modelo Digital de Elevação.



Fonte: O autor (2025).

4.3.4 Modelagem hidráulica no HEC-RAS

A determinação da mancha de inundação foi realizada a partir de modelagem hidráulica realizada com auxílio do software HEC-RAS (River Analysis System) versão 6.7, desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (US Army Corps of Engineers). O

software HEC-RAS é utilizado para simular a veiculação de vazões em rios e canais, em regimes de escoamento permanente, transitório ou gradualmente variado, subcrítico ou supercrítico.

O modelo HEC-RAS analisa o sistema delimitado por meio das seções transversais, tendo a simulação restrita à área demarcada pelas seções e parâmetros construtivos. Um dos dados de entrada do software é o coeficiente de Manning, que representa a rugosidade do canal.

A rede de drenagem é composta por aduela retangular começando com 1,50 x 1,50 metros até alcançar 3,50 x 2,60 metros no trecho final (conforme planta baixa fornecida pelo portal da transparência da PBH). O coeficiente de rugosidade (Manning) comumente utilizado para aduelas de concreto é de $n=0,012$.

Para a execução da simulação os parâmetros que devem ser preenchidos no programa para que a simulação seja possível são: MDE, a rede de drenagem, seções transversais (*cross section*), e a vazão de projeto calculada previamente (vale destacar que o software não identifica se o cálculo está correto).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estudo Hidrológico

Os parâmetros hidrológicos utilizados na modelagem hidráulica foram o tempo de concentração, o período de retorno, a intensidade pluviométrica e os coeficientes de escoamentos CN.

O tempo de retorno, conforme instruções da SUDECAP (2020), é de 50 anos, já que a sub-bacia é um afluente direto do Ribeirão Arrudas.

A determinação do coeficiente de escoamento superficial (CN) da sub-bacia foi obtido por meio do shapefile disponível no BH Map, que apresenta, para cada quarteirão, um valor de CN, juntamente com a área do quarteirão. Na área de estudo, existem três valores de CN (25, 75 e 86). As áreas referentes à cada CN foram somadas, sendo obtidos para os CNs 25, 75 e 85 as áreas de 26.069,519 m², 624.652,196 m² e 939.919,228 m², respectivamente. Como as ruas e avenidas não têm um valor de CN atribuído pela plataforma da prefeitura, adotou-se o valor de 95 (já que as ruas e avenidas têm um alto grau de impermeabilidade), e para encontrar sua área correspondente foi feito a subtração da área total da sub-bacia pela soma das áreas dos três CNs determinados, encontrando uma área de 574.825,572 m².

Após a determinação das áreas e respectivos coeficientes CN, foi feita a média ponderada usando a equação (1) e o resultado encontrado foi de 84,5.

Em seguida, foi determinado o tempo de concentração pela equação de Kirpich (equação 2), sendo o comprimento do talvegue de 2,172 km, determinado com o auxílio da ferramenta “Medir” do QGIS e da rede de drenagem, disponibilizada pela PBH. O desnível de 58 m foi obtido pela subtração da cota do início pela cota do final do terreno. A partir desses dados, estimou-se o tempo de concentração de aproximadamente 30 minutos.

Para finalizar o estudo hidrológico, foi calculada a intensidade pluviométrica pela equação 3 (Pinheiro e Naguezzini, 1998), em que a duração da chuva foi de 0,5 horas (igual ao TC pois é o tempo em que toda bacia está contribuindo para a vazão), a precipitação média anual é equivalente a 1500 mm (porque Belo Horizonte está entre a curva de 1400 mm e 1600 mm) e o quantil adimensional é igual a 1,751. Substituindo estes valores na equação 3, determinou-se a intensidade pluviométrica de 110,2 mm/h.

5.2 Estudo Hidráulico

Com as informações obtidas nos estudos anteriores, foi possível dar início aos estudos hidráulicos, com a determinação de volumes (volume escoado durante a chuva, volume que é possível de se armazenar captando a água que cai sobre os telhados e volume viável de se armazenar) pela equação 4. Considerando a intensidade da chuva de 110,2 mm/h (0,1102 m/h), o tempo de concentração de 30 minutos (0,5 h), a área total da sub-bacia de 2.165.466,5 m² e CN igual a 84,5 (0,845), o volume escoado superficialmente em toda a sub-bacia é de 100.823 m³.

Em seguida, calculou-se o volume armazenado, considerando a captação de toda água que cai sobre os telhados e lajes. Esse volume é igual a 46.620,6 m³, estimado utilizando a equação 4, levando em conta a intensidade da chuva de 110,2 mm/h (0,1102 m/h), o tempo de concentração de 30 minutos (0,5 h), a área total dos telhados e lajes de 846.108,5 m² e CN igual a 100.

De forma a avaliar tecnicamente o potencial de armazenamento da água que cai nos telhados e lajes das edificações presentes na sub-bacia em estudo, realizou-se a divisão do volume armazenado pela área total dos telhados e o resultado encontrado foi de 0,055 m³/m², ou 55L/m² de telhado. Portanto, para um prédio com 300 m² de telhado, seria necessário um reservatório de 16.500 L.

No mercado, têm-se disponíveis reservatórios pré-fabricados com volumes de 110 litros até 25.000 litros. O reservatório com capacidade mais próxima ao dimensionado foi o de 15.000 litros, com 3,30 metros de diâmetro por 2,65 metros de altura, ou seja, um reservatório consideravelmente grande, que não é facilmente alocado em construções já concluídas.

O volume de reservatório que foi considerado viável tecnicamente de ser instalado em uma construção já finalizada foi o de 5.000 litros, com 2,10 metros de diâmetro por 2,05 metros de altura, apresentando-se mais adequado a espaços disponíveis dentro das edificações já construídas, uma vaga de garagem por exemplo segundo a ABNT NBR 12721 deve ter no mínimo 2,20 metros, ou seja, o reservatório pode ser instalado em uma vaga que está disponível.

Deste modo, a nova instrução de armazenamento adotada neste estudo por metro quadrado de telhado passou para 16,67 L/m². Multiplicando esse valor pela área total dos telhados e lajes chegou-se em 14.101,8 m³ (basta dividir este volume pela área total dos telhados para chegar

na instrução de armazenamento). Portanto, este valor passou a ser considerado como o volume viável tecnicamente de ser armazenado, caso seja feita a captação de água em todos os telhados e lajes da sub-bacia. Como a área de estudo é composta por inúmeros tipos de edificações, não é possível estimar uma regra exata para todos.

Subtraindo o volume que escoar superficialmente em toda bacia pelo volume que é possível ser armazenado chegamos ao volume de 86.721,2 m³, ou seja, esse volume é o que passaria a escoar superficialmente após a captação e armazenamento da água dos telhados. Determinou-se, então, a intensidade pluviométrica equivalente ao novo volume escoado, por meio da seguinte equação:

$$i = \frac{V}{A \times t} \quad (6)$$

Em que:

i: Intensidade, em m/h;

V: Volume, em metros cúbicos;

A: Área da sub-bacia, em metros quadrados;

t: Tempo de concentração, em horas.

O resultado da intensidade equivalente foi igual a 0,0801 m/h ou 80,1 mm/h, indicando uma redução de 27,32% da intensidade.

A vazão de projeto, um dos dados de entrada do modelo HEC-RAS, foi estimada pelo método do Hidrograma Unitário Sintético Triangular SCS, para as intensidades pluviométricas de 110,2 mm/h e 80,1 mm/h.

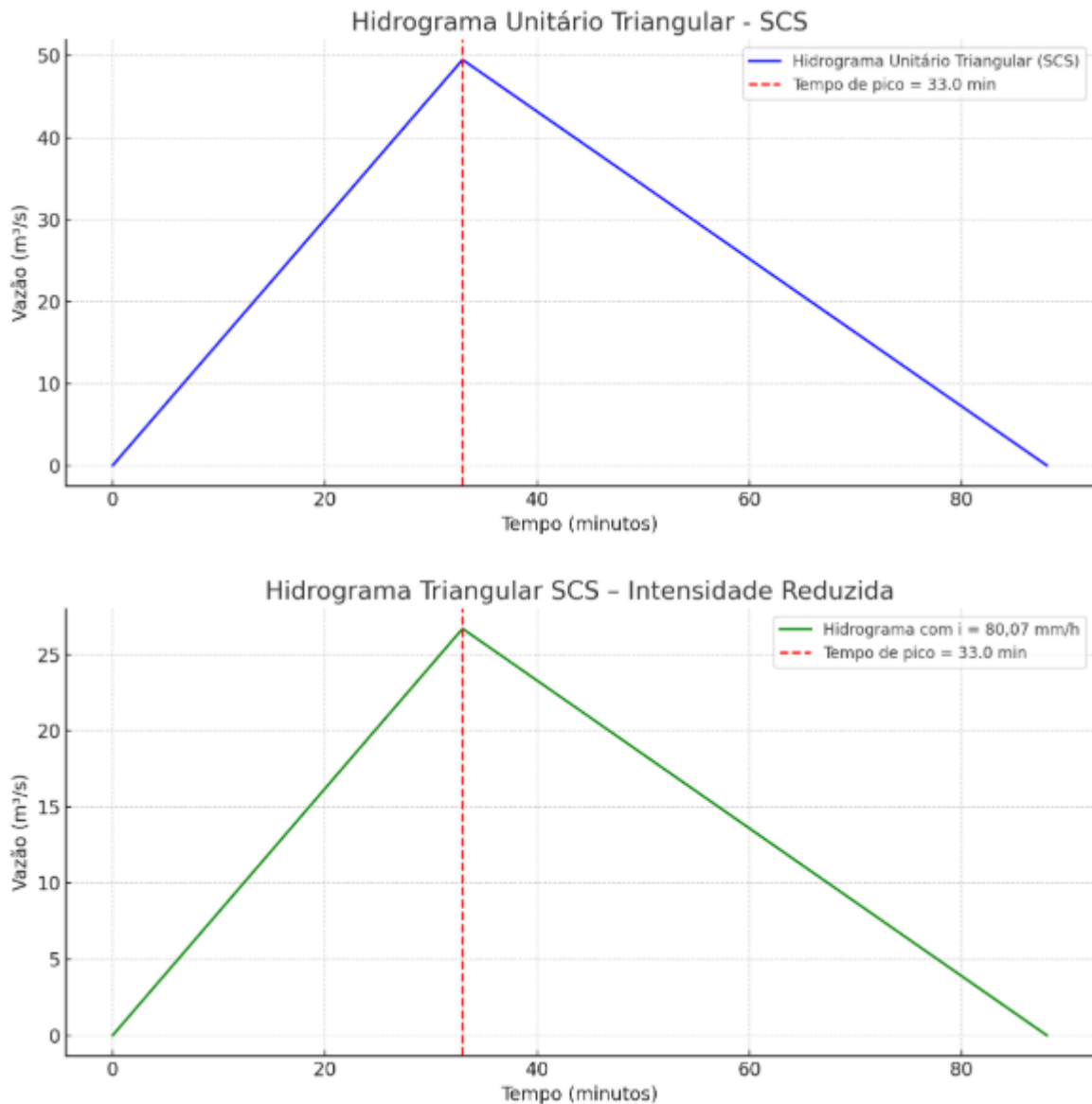
Na Tabela 5.2.1 são apresentados os valores dos parâmetros do HUST para as intensidades pluviométricas de 110,2 mm/h e 80,1 mm/h.

Tabela 5.2.1 – Parâmetros do HUST para a área de estudo.

Intensidade pluviométrica	Parâmetro	Variáveis	Valores do parâmetro
110,2 mm/h	Tempo de pico	$T_{lag} = 18 \text{ min}$ $D = 30 \text{ min}$	33 min = 0,55h
	Vazão de pico	CN = 84,5 S = 46,59 P = 55,10 mm $Q = 22,69 \text{ mm} = 0,02269 \text{ m}$ $A = 2.165.466,5 \text{ m}^2$ $V = 49.134,4 \text{ m}^3$	49,63 m ³ /s
	Tempo de base	$T_p = 33 \text{ min}$	88,11 min
80,1 mm/h	Tempo de pico	$T_{lag} = 18 \text{ min}$ $D = 30 \text{ min}$	33 min = 0,55h
	Vazão de pico	CN = 84,5 S = 46,59 P = 40,05 mm $Q = 12,21 \text{ mm} = 0,01221 \text{ m}$ $A = 2.165.466,5 \text{ m}^2$ $V = 26.440,35 \text{ m}^3$	26,71 m ³ /s
	Tempo de base	$T_p = 33 \text{ min}$	88,11 min

Nas Figuras 5.2.1 e 5.2.2 são apresentados os HUST para as intensidades de 110,2 mm/h e 80,1 mm/h, respectivamente.

Figura 5.2.1 – Hidrograma Unitário Triangular – SCS – Intensidade = 110,2 mm/h e 80,10 mm/h respectivamente.



Fonte: O autor (2025).

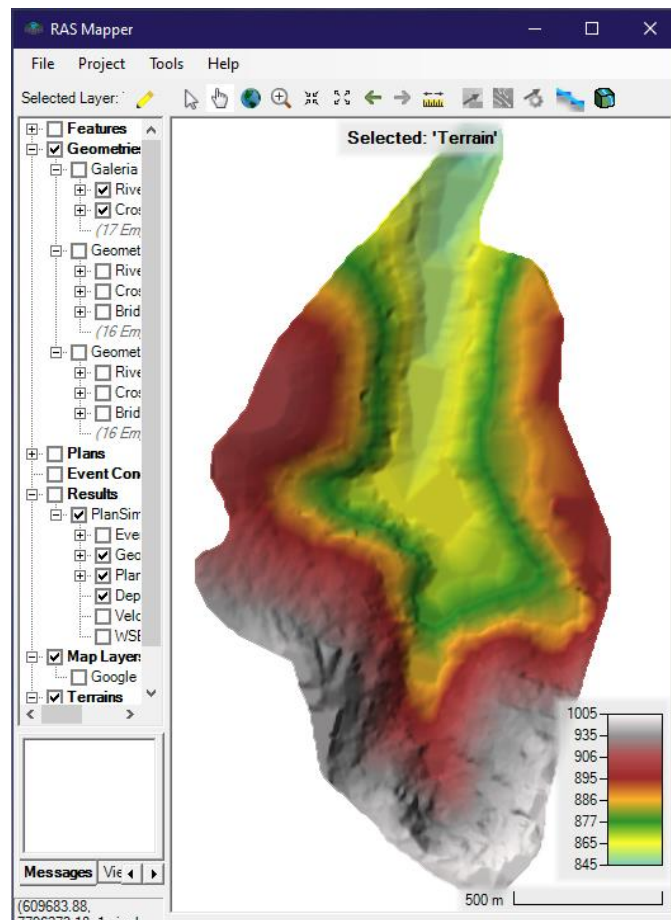
5.3 Modelagem hidrodinâmica no HEC-RAS

O HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, é um dos softwares mais utilizados para modelagem hidrodinâmica de canais naturais e sistemas de drenagem.

5.3.1 Dados de entrada

Inicialmente, foi realizada a importação do arquivo de MDE (Figura 5.3.1), gerado com auxílio do QGIS, usando a ferramenta RAS Mapper, mantendo o mesmo sistema de coordenadas (projeção cartográfica) da região de Belo Horizonte/MG, que é o SIRGAS 2000 / UTM zone 23S. Vale salientar que o terreno não tem um alto grau de precisão, pois as curvas de níveis são de 5 em 5 metros.

Figura 5.3.1 – MDE importado.

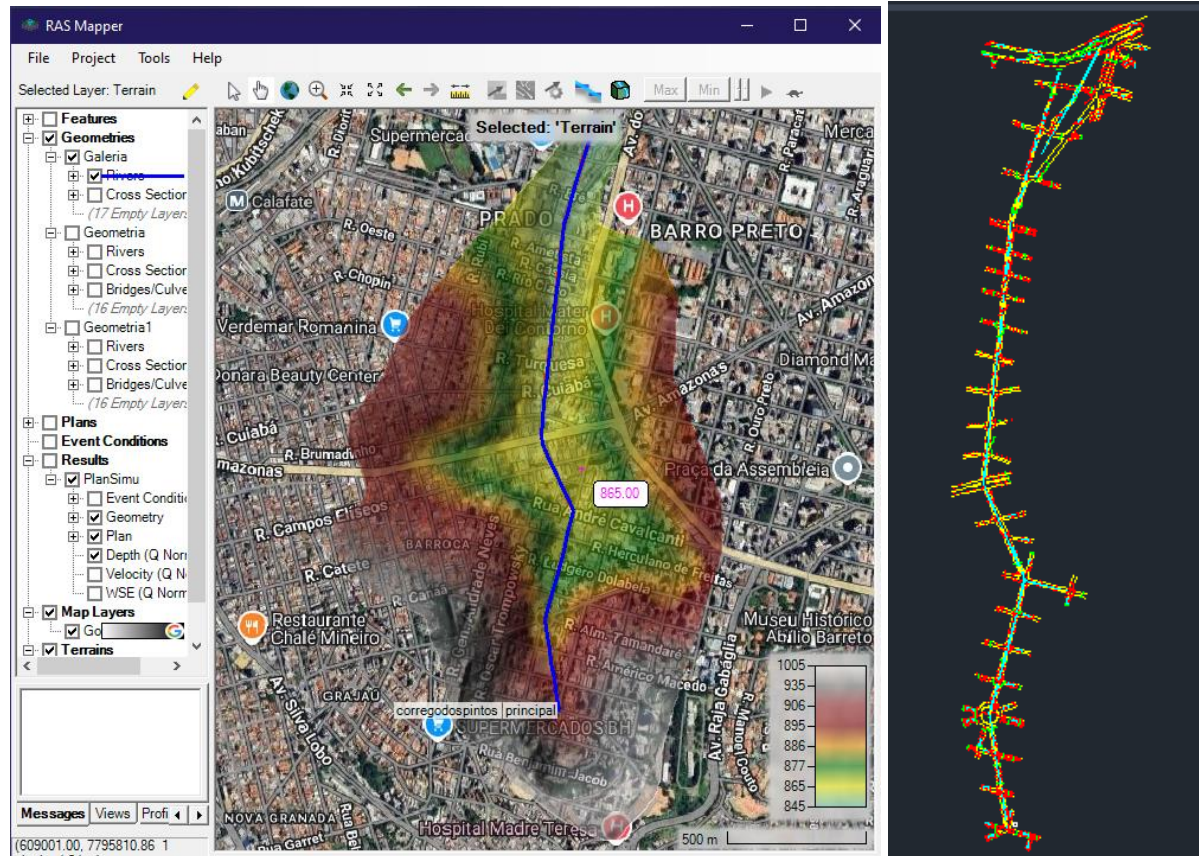


Fonte: O autor (2025).

Após a importação do “Terrain”, o passo seguinte foi a criação da “Geometries” que, em linhas gerais, é o traçado da rede de drenagem. Para que a criação fosse a mais precisa possível, o Google Hybrid foi ativado com uma transparência para que as ruas fossem visualizadas, juntamente com a observação da Planta Geral da Rede de Drenagem fornecida pela PBH (Figura 5.3.2). Para a correta execução do programa, algumas regras devem ser seguidas: a

criação do “River” e “Bank lines” deve ser no sentido montante □ jusante e primeiro se cria a “Bank lines” da margem esquerda e depois a da margem direita.

Figura 5.3.2 – Terrain + Google Hybrid + Planta Geral Rede de Drenagem PBH.



Fonte: O autor (2025).

Posteriormente, foi realizada a criação das “Cross Section” (Figura 5.3.3) que devem cruzar o traçado da rede de drenagem na transversal. A função delas é visualizar o perfil transversal da seção e fazer a interpolação do terreno no local.

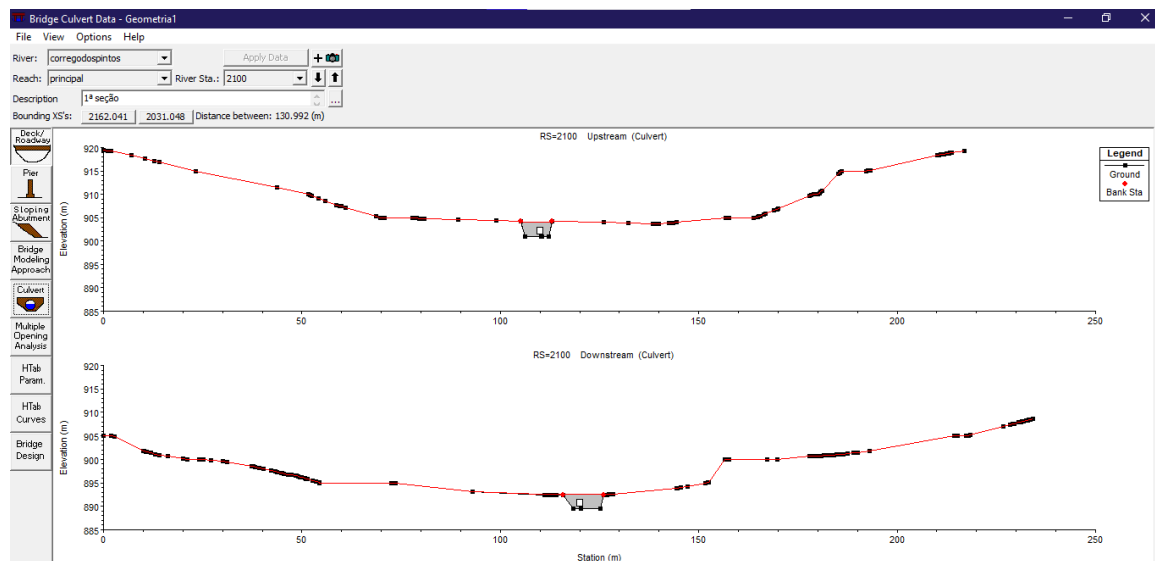
Figura 5.3.3 – Cross Sections.



Fonte: O autor (2025).

Em seguida, a rede de drenagem no terreno foi inserida através do “Geometric Data”. A rede é adicionada no formato de bueiro; adicionando um por vez entre cada “Cross Section”. Após a adição, ele é ajustado como pode ser visto na Figura 5.3.4.

Figura 5.3.4 – Inclusão dos bueiros.



Fonte: O autor (2025).

Como a PBH não forneceu as cotas de altitude da rede de drenagem, a criação das mesmas foi feita seguindo Caderno de Encargos da SUDECAP (Capítulo 19 – Drenagem Urbana) que é usual (uma declividade e recobrimento mínimos de 1% e 0,90 m respectivamente) para uma rede de drenagem pluvial, o que levou a uma confiabilidade relativa na simulação, juntamente com um modelo digital de elevação com baixa precisão (já que os valores são aproximados da realidade local). Vale salientar que a única informação que se tem da rede é a sua dimensão e o seu traçado. Para auxiliar na criação da tubulação foi utilizado uma planilha no Excel onde os únicos valores reais são as dimensões (Tabela 5.3.1).

Tabela 5.3.1 – Dimensionamento da rede de drenagem.

Cross Section	Comprimento width/length	Bridge boeiro	Span largura	Rise altura	Upstream topo vala	Dowstream " " baixo	Desnível entre BASES	Declividade (%)	Recobrim enterrada	Base da vala	Colchão da aduela	Up Invert base aduela	Elev Down Invert da cross	Elev de baixo	US Sta	Ds Sta	prof
2162,041	130,993	2100	1,5	1,5	904	892,5			1	901	0,5	901,5	890		110	120	
2031,048	174,56	1900	1,5	1,5	892,5	883,3	11,5	8,78	1	889,5	0,5	890	880,5		120	145	2,5
1856,488	159,494	1800	2	1,8	883,3	875	9,5	5,44	1	880	0,5	880,5	872,2		145	145	2,8
1696,994	172,558	1600	2	1,8	875	869,6	8,3	5,20	1	871,7	0,5	872,2	866,8		145	154	2,8
1524,436	69,417	1500	2	1,8	869,6	866	5,4	3,13	1	866,3	0,5	866,8	863		154	131	2,8
1455,019	197,674	1300	2,5	2	866	864,2	3,8	5,47	1	862,5	0,5	863	860,7		131	123	3
1257,345	65,641	1200	2,5	2	864,2	862,15	2,3	1,16	1,5	860,2	0,5	860,7	859,15		123	88	3,5
1191,704	26,441	1180	2,5	2	862,15	861,22	1,05	1,60	1	859,15	0	859,15	858,32		88	104	3
1165,263	158,228	1100	2,5	2	861,22	860	0,83	3,14	0,9	858,32	0	858,32	857		104	128	2,9
1007,035	166,088	900	2,5	2	860	858	1,82	1,15	1	856,5	0,5	857	855		128	142,5	3
840,947	142,621	800	2,5	2	858	855	2	1,20	1	854,5	0,5	855	852		142,5	151	3
698,326	114,443	600	2,5	2	855	854	3	2,10	1	851,5	0,5	852	851		151	107,5	3
583,883	131,187	500	2,5	2	854	852,4	1,5	1,31	1	850	1	851	849,4		107,5	100	3
452,696	57,274	400	2,5	2	852,4	850,5	2,6	1,98	1	847,4	2	849,4	847		100	83	3
395,422	85,869	350	3,5	2,6	850,5	850	0,5	0,87	0,9	846,9	0,1	847	846,5		83	86	3,5
309,553	99,134	300	3,5	2,6	850	848,5	0,8	0,93	0,9	846,1	0,4	846,5	845,2		86	84,8	3,5
210,419	120,015	100	3,5	2,6	848,5	847	0,9	0,91	0,7	845,2	0	845,2	844		84,8	84,5	3,3
90,404	80,09	50	3,5	2,6	847	846,2	1,2	1,00	0,4	844	0	844	843,3		84,5	42,4	3
10,314			3,5	2,6	846,2		0,7	0,87	0,3	843,3	0	843,3			42,4		2,9

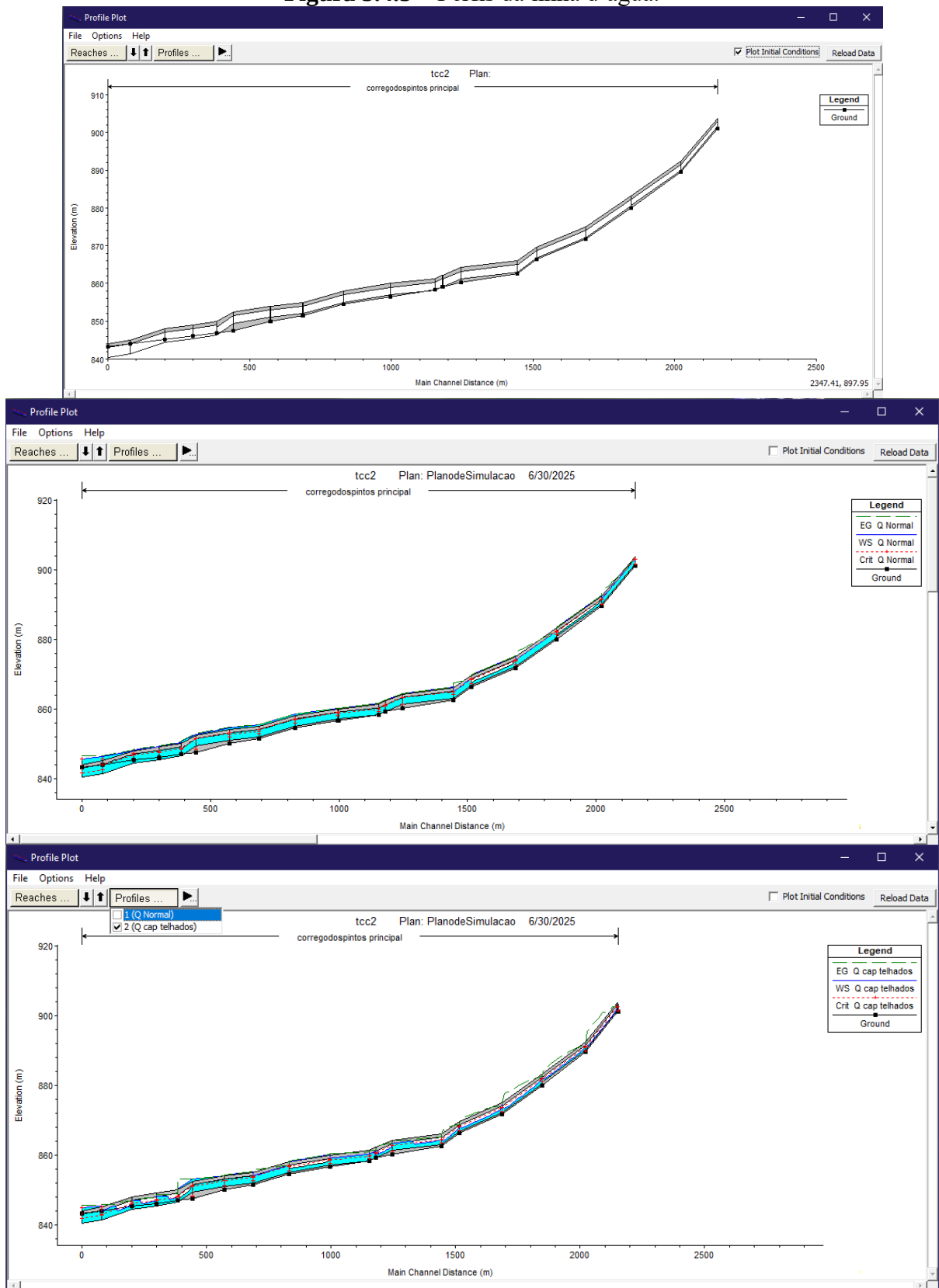
Fonte: O autor (2025).

Com todos os elementos físicos adicionados no programa, foram adicionadas as condições de contorno, que envolvem as declividades a montante e a jusante, que são, respectivamente, 0,063633 m/m e 0,02831 m/m, ambas foram obtidas no próprio programa HEC-RAS, e as vazões de projeto para as duas situações estudadas, que são 49,63 m³/s (i = 110,2 mm/h) e 26,71 m³/s (i = 80,1 mm/h). Steady Flow Data

5.3.2 Simulação no HEC-RAS

Um dos resultados obtidos na simulação foi o Perfil da linha d'água (Figura 5.3.5) para 3 condições: a) condição inicial (primeiro gráfico), sem chuva; b) vazão natural (segundo gráfico) e c) vazão resultante da captação e armazenamento pluvial dos telhados (terceiro gráfico). No último perfil é possível visualizar algumas áreas brancas entre a tubulação e o recobrimento, indicando que não houve inundação no trecho diferente da situação natural.

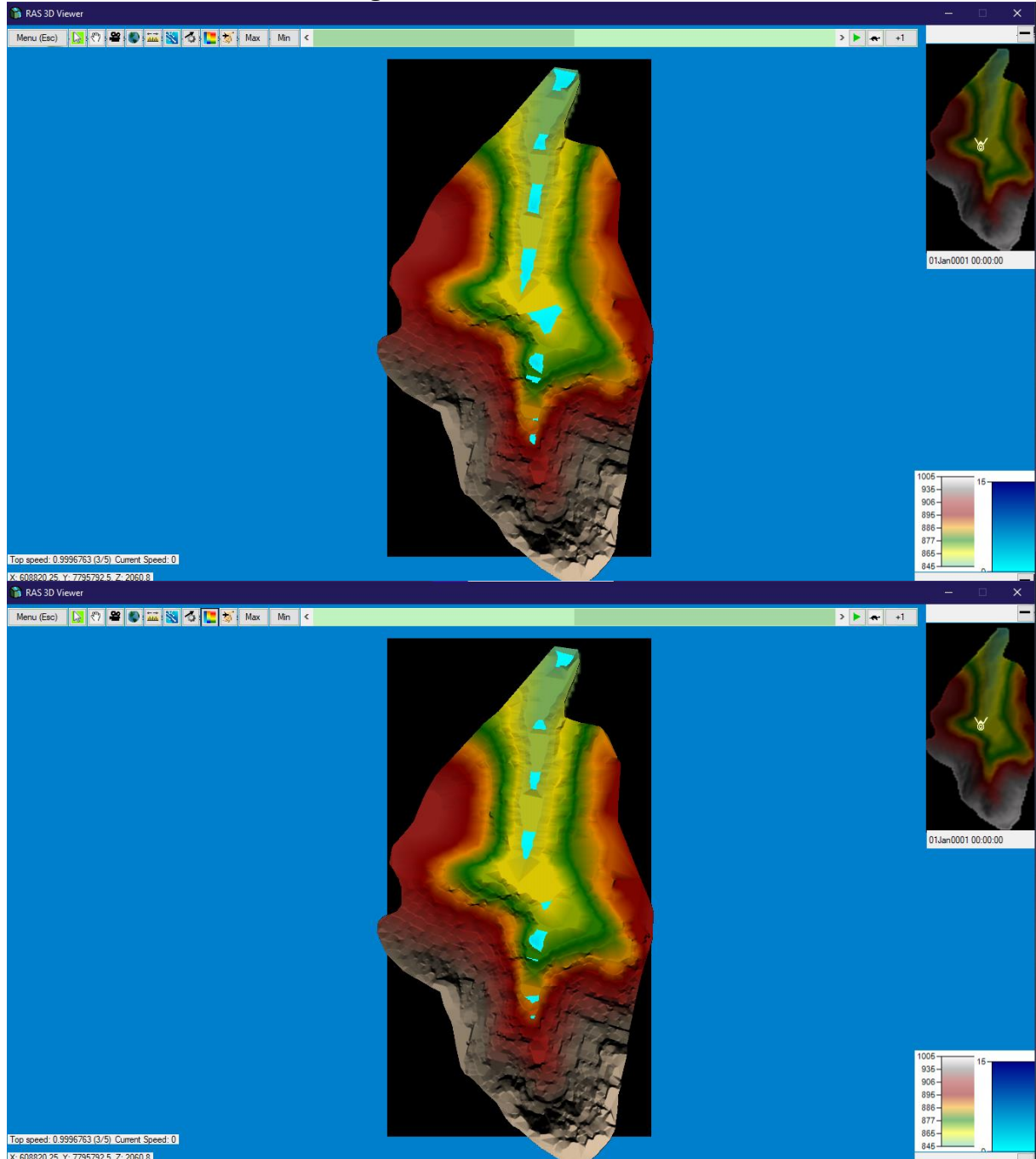
Figura 5.4.5 – Perfis da linha d'água.



Fonte: O autor (2025).

Os resultados da simulação hidrodinâmica foram as seções onde a linha d'água extravasou o limite da seção do canal, ou seja, onde houve a inundação. Os dados de cada seção com transbordamento foram exportados para o software Quantum GIS para a elaboração dos mapas das áreas inundáveis do canal (Figura 5.4.4), na mesma ordem da Figura 5.4.3.

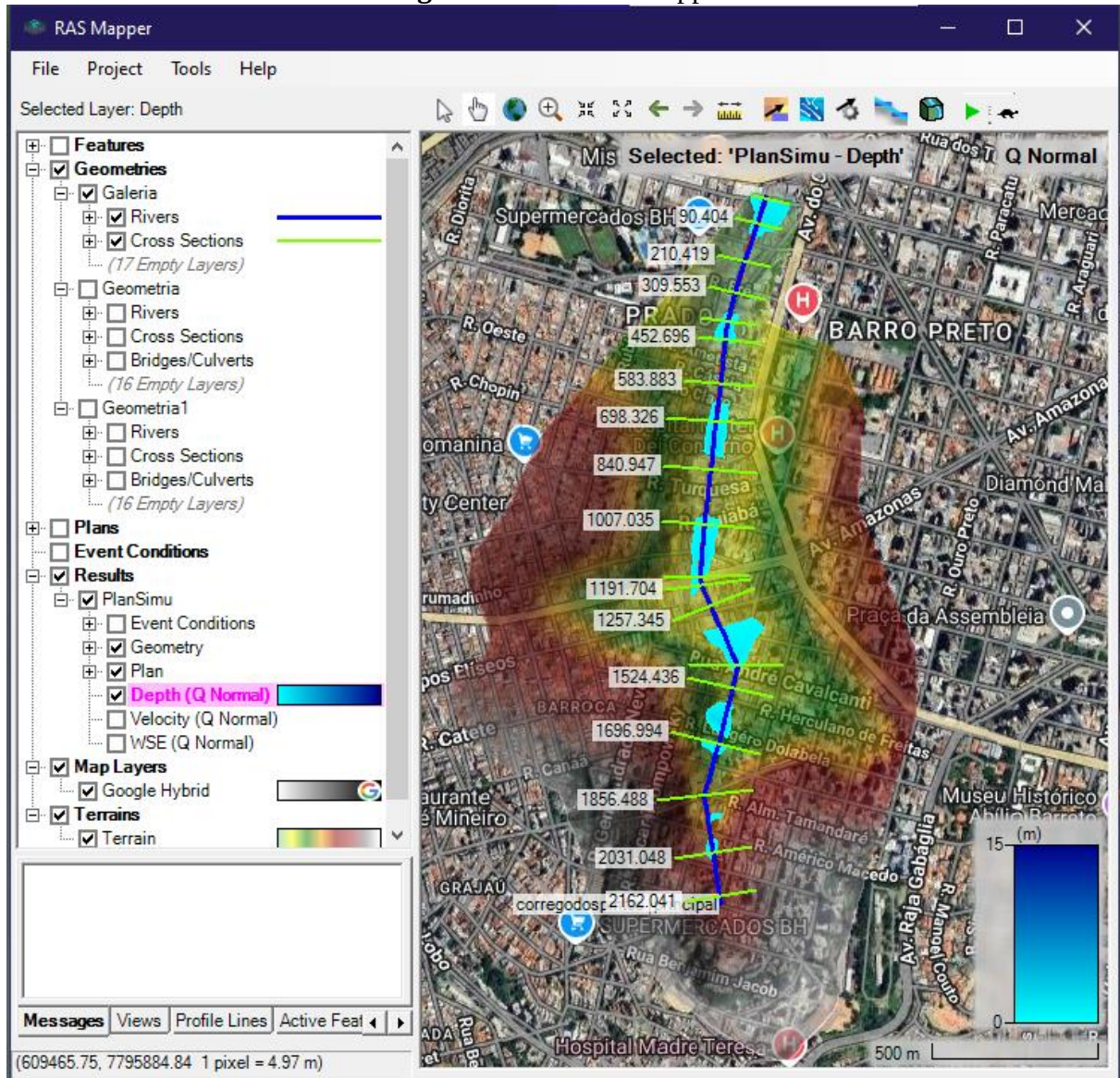
Figura 5.4.4 – RAS 3D Viewer.

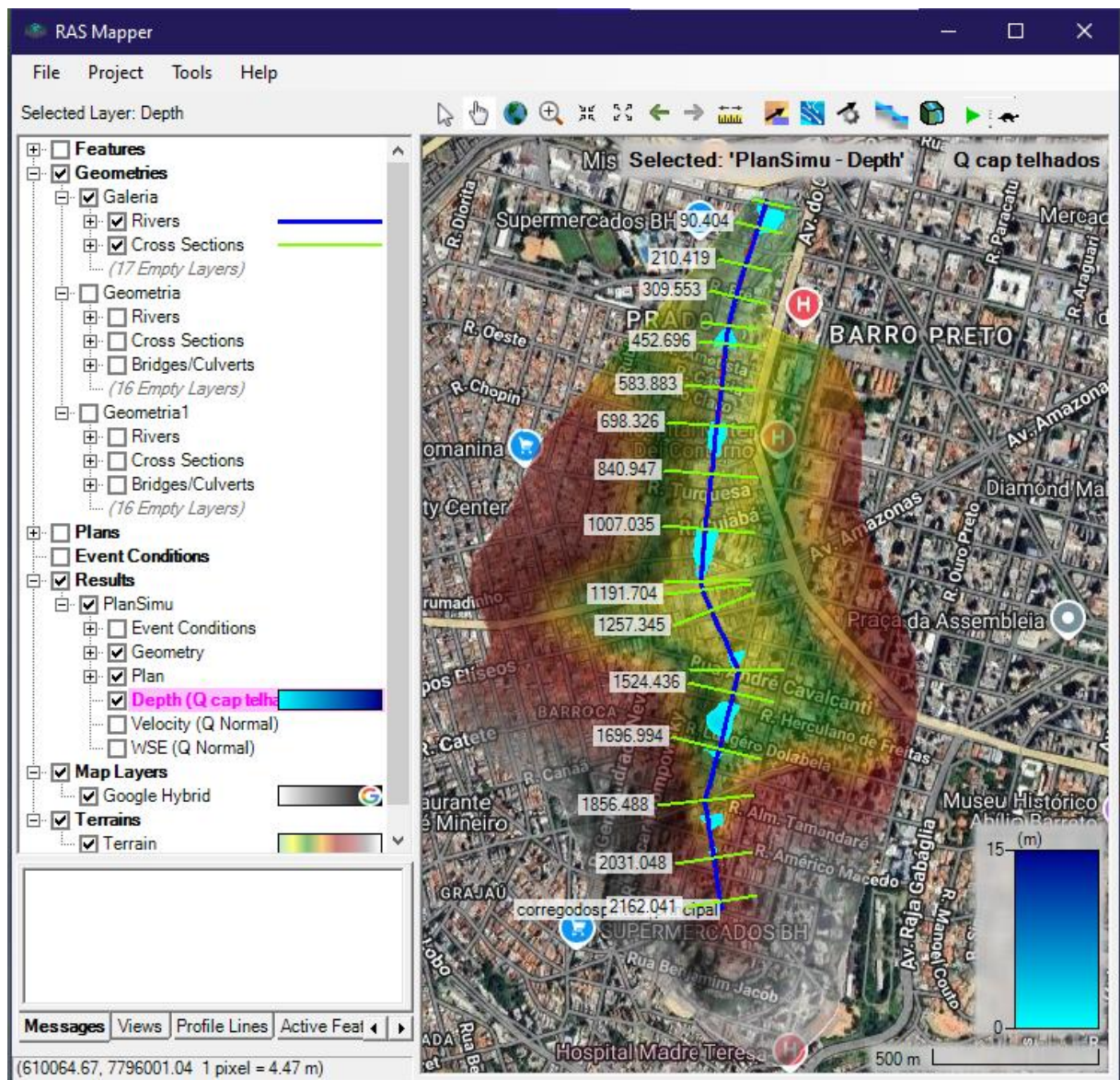


Fonte: O autor (2025).

A última visualização de resultados obtida pelo RAS Mapper é mostrada na Figura 5.4.5, onde são apresentados todos os elementos que envolvem a construção da modelagem (River, Cross Section e o MDE)

Figura 5.4.5 – RAS Mapper.





Fonte: O autor (2025).

É possível observar na última figura de cada um dos resultados uma pequena redução da área inundável, indicando que sozinha a captação pluvial não é capaz de evitar as inundações, apenas reduzir, vale salientar que elementos importantes para a simulação não estão precisos.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Como se pode observar pelos resultados da simulação, a implantação de microrreservatórios nos lotes, com o objetivo de retardar e reduzir a vazão de pico, não se mostrou totalmente eficiente para evitar as inundações na sub-bacia do Córrego dos Pintos, embora tenha possibilitado uma redução na mancha de inundação. Contudo, esses resultados não são totalmente conclusivos, pois o Modelo Digital de Elevação (MDE) foi construído a partir de cotas do terreno com espaçamento de 5 metros entre si, sendo que o ideal para este tipo de projeto seriam cotas com distância de 1 metro. Outro fator que reduz a confiabilidade da simulação é a ausência de informações precisas sobre as cotas da rede de drenagem, que precisaram ser aproximadas.

Para uma maior precisão da simulação, seria necessário realizar um levantamento topográfico mais detalhado da sub-bacia, com foco nas ruas e avenidas por onde passa a rede de drenagem, bem como um levantamento completo de todas as estruturas da rede pluvial.

Outra medida que pode contribuir para a redução das inundações é a construção de reservatórios de retenção em praças e lotes vagos, bem como o incentivo à instalação de reservatórios maiores do que os dimensionados no presente estudo, limitado ao volume de captação de chuva com TR de 50 anos.

A instalação dos microrreservatórios pode apresentar um custo relativamente elevado para algumas pessoas, em razão da necessidade de aquisição de materiais e contratação de mão de obra especializada. Uma possível solução para viabilizar economicamente essa medida seria o abatimento de parte do IPTU como forma de subsídio para a instalação do sistema.

Por fim, mesmo após a implantação de todos os reservatórios, um problema que pode ocorrer é o não esvaziamento dos mesmos após chuvas de baixa intensidade, de modo que o volume retido comprometa a eficiência do amortecimento em eventos subsequentes. Uma possível solução para esse problema seria a atuação conjunta com a Defesa Civil, que poderia enviar alertas por SMS, antes de chuvas de maior intensidade, lembrando os moradores da região da necessidade de esvaziar os reservatórios para garantir a máxima eficiência do sistema.

7 REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M. **Uma linguagem de padrões: a pattern language**. Tradução: Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ANDRADE, Sidgley Camargo, "**Geo-social media as a proxy for hydrometeorological data for streamflow estimation and to improve flood monitoring**", *Computers and Geosciences*, v. 111, n. October 2017, p. 148–158, 2018. DOI: 10.1016/j.cageo.2017.10.010.

ANTUNES, Lorrany. **Impacto do processo de urbanização na formação de enchentes e alagamentos em Belo Horizonte, MG**. Ufmg.br, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/36383>>. Acesso em: 6 set. 2024.

AUGUSTO, Rafael; ALMEIDA RENAN PEREIRA; Nascimento NILO. **Mudanças climáticas e Plano Diretor: mitigação de inundações em Belo Horizonte**. Cadernos Metrópole, v. 25, n. 58, p. 899–922, 2023. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cm/a/KjDDdSjZX3tCvXkbxx5yLfK/?lang=pt>>. Acesso em: 10 set. 2024.

AUGUSTO, Flávio; ALVES, Oliveira; FREDERICO; **ESTIMATIVA DE VOLUME PARA MICRO-RESERVATÓRIO DOMICILIAR NO CONTROLE DE CHEIAS URBANAS**. [s.l.: s.n.,]. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/7441876ae8cfea5c149dcb70ef9c83f4_8ac017e59cdefbb1775127ebd8f185a9.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

BARROS, M. T. L. **Drenagem Urbana: Bases Conceituais e Planejamento**. In: PHILIPPI J. A. (org.). Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, (SP): Manole, USP, 2005. P. 221 - 265.

BASTOS, Patrícia Covre. **Efeitos da Urbanização sobre Vazões de Pico de Enchente. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)** – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2009.

BELO HORIZONTE (Município). Constituição (1969). **Lei nº 1747, de 9 de dezembro de 1969. Autoriza a constituição da Superintendência de Desenvolvimento Da Capital - SUDECAP. Belo Horizonte, MG**, Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/mg/b/belo-horizonte/lei-ordinaria/1969/174/1747/lei-ordinaria-n-1747-1969-autoriza-a-constituicao-da-superintendencia-de-desenvolvimento-da-capital-su-decap>. Acesso em: 8 set. 2024.

BELO HORIZONTE (2019). **Lei n. 11.181, aprova o Plano Diretor do município de Belo Horizonte e dá outras providências**. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/11181/2019> Acesso em: 10 set 2024.

Belo Horizonte. Plano Diretor de Belo Horizonte - MG. **Leismunicipais.com.br**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-belo-horizonte-mg>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

Belo Horizonte. Plano Diretor - **Lei 11.181/19** | Prefeitura de Belo Horizonte. Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/plano-diretor/proposta>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

Brasil. Plano diretor é obrigatório. **Senado Federal**. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/especiais/especial-cidadania/estatuto-das-cidades/plano-diretor-e-obrigatorio>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

CAJAZEIRO, J. M. D. **Análise da susceptibilidade à formação de inundações nas bacias e áreas de contribuição do ribeirão Arrudas e córrego da Onça em termos de índices morfométricos e impermeabilização**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-8THHT4>>. Acesso em: 8 set. 2024.

CANHOLI, A. P.; **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302p.

CAPUTO, U. K.; MOURA, P. M.; NASCIMENTO, N. de O. **Avaliação do potencial de utilização de trincheiras de infiltração em espaços com urbanização consolidada/ estudo de caso do município de Belo Horizonte - MG**. 2012. 138 f. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/BUOS-95WFD9>>. Acesso em: 07 set. 2024.

CORTEZ, R. M. V., (2019). **Análise do desempenho das melhores práticas de manejo para constituição de corredores verdes em Fortaleza. Paisagem e Ambiente**. São Paulo, v. 30, n. 43, p. e146647-e146647.

CRUZ, Marcus Aurélio Soares; SOUZA, Christopher Freire; TUCCI, Carlos EM. **Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Anais. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos–ABRH, 2007.

DE, Pedro; DRUMOND, Paula; COELHO, Márcia; *et al.* **ANÁLISE DO VOLUME DE RESERVAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM LOTES: COMPARAÇÃO DO CASO DE BELO HORIZONTE COM...** ResearchGate. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/336605507_ANALISE_DO_VOLUME_DE_RESERVAÇÃO_DE_AGUAS_PLUVIAIS_EM_LOTES_COMPARACAO_DO_CASO_DE_BELO_HORIZONTE_COM_OUTRAS_CIDADES_BRASILEIRAS>. Acesso em: 25 jul. 2025.

Drenagem urbana. Disponível em: <<https://quizlet.com/br/492728263/drenagem-urbana-flash-cards/?funnelUUID=0efbb598-3cfb-45d1-b77e-19913a2628fd>>. Acesso em: 25 jul. 2025.

FARR, D. (2008). **Sustainable urbanism: urban design with nature**. Nova Jersey, John Wiley & Sons.

FERNANDES, C. (2018). **Inserção de trama verde e azul em ocupações urbanas consolidadas orientada pela participação social. Dissertação de mestrado.** Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais.

HENRIQUE, João ; MELO, Rodrigo. **BH registra primeira morte de 2016 provocada por alagamento.** Estado de Minas. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2016/02/13/interna_gerais,733866/bh-registra-primeira-morte-de-2016-provocada-por-alagamento.shtml>. Acesso em: 25 jul. 2024.

INSTRUÇÃO TÉCNICA PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS E PROJETOS DE DRENAGEM | Prefeitura de Belo Horizonte. Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/publicacoes/instrucao-estudos-e-projetos-de-drenagem>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

LEGLER, Cristina; LEUCK, Moema Felske ; ANDRÉ, Carlos. **Modelo para criação de incentivo fiscal ao amortecimento de vazão em lote : simulação para o município de Porto Alegre, RS. Ufrgs.br, 2025.** Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/230353?>>. Acesso em: 26 jul. 2025.

LUCAS; AUGUSTO, Pollyanna; STEFANY DOS REIS; et al. **IMPACTOS HIDROMETEÓRICOS EM BELO HORIZONTE-MG.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 16, 2015. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13801>>. Acesso em: 26 jul. 2024.

MACEDO, D. R. **Avaliação de projeto de restauração de curso d'água em área urbanizada: estudo de caso no Programa Drenurbs em Belo Horizonte.** 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado em Análise Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/MPBB-7SVN2H>>. Acesso em: 07 set. 2024.

MARTINS, R. D. (2009). **População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais.** *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 12, n. 2, pp. 399-403.

MONTEIRO, Pablo Rhuan Ataíde; MENDES, Thiago Augusto. **Avaliação e diagnóstico de sistema de drenagem urbana consolidado.** *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, p. e961986516-e961986516, 2020.

OLIVEIRA, A. M.; COSTA, H. S. DE M. (2018). **A trama verde e azul no planejamento territorial: aproximações e distanciamentos.** *RBEUR*. São Paulo, v. 20, n. 3, pp. 538-555.

PINHEIRO, M. G.; NAGHETTINI, M. C. **Análise Regional de Frequência e Distribuição Temporal das Tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 4, p. 73-88, 1998.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem. Apêndice 1: Intensidade, Duração e Frequência (IDF) para a Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH.**

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem. Capítulo 5: Sistema de Drenagem Fluvial: Macrodrenagem, Tratamento de Fundo de Vale e Mitigação de Inundações.** POMPEO, Cesar Augusto. Drenagem urbana sustentável. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

ROSA, D. W. B.; SILVA, T. F.G.; CHONG, J.; GIURCO, D.; NASCIMENTO, N. (2022b). **Hydrological response of implementing green and blue infrastructure - study of a Brazilian metropolis.** Urban Water Journal, v. 00, pp. 1-13.

SANTOS, R. F. (org.) Vulnerabilidade Ambiental. 2.ed. Brasília: MMA, 2007. 192 p.

SILVEIRA, A. L. L da. **Fator de Pico para Hidrogramas Unitários Sintéticos Triangulares.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 21 n. 1, p. 46 - 52, jan./mar. 2016.

SOUZA, Ricardo Cesar Conrado de. **Método para dimensionamento eficiente de reservatórios de contenção de cheias para a cidade de Curitiba-PR.** 2018. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SUDECAP - Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP, 2020). **Caderno de Encargos Sudecap: Capítulo 19 Drenagem. 4ª Edição, 2020.** Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/Capitulo_19_R13.pdf. Acesso em: 7 set. 2024.

TASSI, Rutinéia; CAMARGO, Lucas; GUSTAVO, Daniel; *et al.* **Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais.** Ambiente Construído, v. 14, n. 1, p. 139–154, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/SLTzVMTPCbKMQxxTb37FzCr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 27 jul. 2025.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002.** 943p
VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.