



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA - MG

**PROPOSTA DE UM RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO DE
CHEIA PARA A AVENIDA ZOROASTRO FRANCO DE
CARVALHO EM VARGINHA-MG**

ROMÁRIO THIAGO BUENO

Varginha – MG
2022

ROMÁRIO THIAGO BUENO

**PROPOSTA DE UM RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO DE
CHEIA PARA A AVENIDA ZOROASTRO FRANCO DE
CARVALHO EM VARGINHA-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Campus Varginha, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Valéria Antônia Justino Rodrigues, Dra.

Co-orientador: José Roberto de Campos Costa Júnior, Me.

Varginha – MG

2022

ROMÁRIO THIAGO BUENO

PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE UM RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO DE
CHEIA PARA A AVENIDA ZOROASTRO FRANCO DE CARVALHO EM
VARGINHA-MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas,
Campus Varginha, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Data de aprovação: 15/12/2022

Banca examinadora:



Flávia Castro Faria, Ma.
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas (CEFET – MG) – Unidade
Varginha



José Roberto de Campos Costa Júnior, Me.
Sobre as Águas LTDA – Empresa



Valéria Antônia Justino Rodrigues, Dra.
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas (CEFET – MG) – Unidade
Varginha



Wagner Francisco Marinho da Silva, Dr.
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas (CEFET – MG) – Unidade
Varginha

AGRADECIMENTOS

À Professora Nayara Vilela Avelar, que cordialmente se prontificou a me orientar neste trabalho de conclusão de curso, especialmente na primeira etapa. Muito obrigado por todo o comprometimento e atenção durante toda esta trajetória.

À Professora Valéria Antônia Justino Rodrigues, que cordialmente se disponibilizou a me coorientar na primeira etapa, e orientar na segunda etapa do trabalho de conclusão de curso. Muito obrigado por todos os ensinamentos e pela caminhada até aqui.

Ao Engenheiro José Roberto de Campos Costa Júnior, que cordialmente aceitou me coorientar na fase final do trabalho, e pode contribuir com todo seu conhecimento muito aprofundado na área de recursos hídricos, especialmente na área de macrodrenagem, que foi objeto do presente estudo.

Ao Professor Armando Belato Pereira, que desde o início da ideia de criar esse trabalho, me passou grandes ensinamentos, os quais além de contribuir para este trabalho, também possibilitaram eu conquistar meu primeiro estágio.

Ao secretário de obras de Varginha Willian, pela disposição em transmitir todas as informações, sanar dúvidas e compartilhar informações essenciais para este trabalho.

Aos colegas de turma 2016/2, em especial o Leandro José Penha, que se tornou um grande amigo, e me acompanhou desde o primeiro período, compartilhando seu conhecimento de obra, além claro, de todas as horas estudando juntos para as atividades desenvolvidas ao longo da graduação, no tocante aos trabalhos, provas e apresentações.

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais
voltará ao seu tamanho original”.*

Albert Einstein

RESUMO

A urbanização requer grandes quantidades de recursos e energia para o desenvolvimento das cidades, gerando impactos ao meio ambiente e nos sistemas hídricos. O alto crescimento destas cidades, tem ocorrido em todo o mundo devido à urbanização. Este crescimento muitas vezes não planejado tem contribuído para a ocorrência de graves danos ambientais, tais como as enchentes e inundações. Existem algumas técnicas compensatórias que buscam reduzir as enchentes e inundações, e auxiliam no desenvolvimento urbano de baixo impacto sendo as bacias ou reservatórios de retenção uma delas. A Avenida Zoroastro Franco de Carvalho em Varginha – MG apresenta alagamentos sazonais nos períodos de chuvas intensas, e isto pode se reduzir após a implantação de uma rotatória que aumentou as galerias de drenagem, contudo ainda com essa obra os episódios de cheia no local podem acontecer. Desta forma, o presente estudo avalia o escoamento superficial após a implantação da rotatória e apresenta uma proposta de construção de um reservatório de retenção para a Avenida mencionada com o intuito de controlar e reduzir o escoamento superficial no local.

Palavras-Chave: Escoamento superficial, Controle de cheias, Reservatório de retenção.

ABSTRACT

Urbanization requires large amounts of resources and energy for the development of cities, generating impacts on the environment and water systems. The high growth of these cities has occurred all over the world due to urbanization. This often-unplanned growth has contributed to the occurrence of serious environmental damage, such as floods. There are some compensatory techniques that seek to reduce flooding and are considered techniques that help in low-impact urban development, with detention basins or reservoirs being one of them. Avenida Zoroastro Franco de Carvalho in Varginha – MG has seasonal flooding during periods of heavy rain, and this could be reduced after the implementation of a roundabout that increased the drainage galleries, however even with this work the Flood episodes at the site can happen. In this way, the present study evaluates the surface runoff after the implementation of the roundabout and presents a proposal for the construction of a detention reservoir for the mentioned Avenue to control and reduce the surface runoff at the site.

Keywords: Surface Runoff, Flood Control, Detention Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Inundação na Av. Zoroastro Franco de Carvalho em fev. de 2020	2
Figura 2 – Prejuízos da inundação na Av. Zoroastro Franco de Carvalho em fev. de 2020	3
Figura 3 – Análise temporal da urbanização de Varginha em 1985 e 1995	6
Figura 4 – Análise temporal da urbanização de Varginha em 2005 e 2015	6
Figura 5 – Análise temporal da urbanização de Varginha em 2020 e 2021	7
Figura 6 – Representação do ciclo hidrológico	8
Figura 7 – Representação de uma bacia hidrográfica	10
Figura 8 – Representação de um hidrograma	12
Figura 9 – Representação esquemática de uma vala de infiltração	19
Figura 10 – Representação esquemática de um reservatório de retenção	19
Figura 11 – Representação esquemática de um reservatório de detenção	19
Figura 12 – Representação esquemática de uma trincheira de infiltração	20
Figura 13 – Representação esquemática de um pavimento permeável	20
Figura 14 – Representação esquemática de um telhado de verde	21
Figura 15 – Representação esquemática de um reservatório de detenção in-line	25
Figura 16 – Representação esquemática de um reservatório de detenção off-line	25
Figura 17 – Reservatório de detenção a céu aberto, São Bernado do Campo	26
Figura 18 – Reservatório de detenção enterrado	27
Figura 19 – Estruturas de entrada, típicas de reservatórios de detenção	28
Figura 20 – Orifícios múltiplos	29
Figura 21 – Avenida Zoroastro Franco de Carvalho	34
Figura 22 – Proposta de local de implantação para o reservatório de detenção	36
Figura 23 – Trecho da rotatória antes do projeto	37
Figura 24 – Área demarcada do pré-projeto	38
Figura 25 – Ponte sobre a Avenida Imigrantes antes do projeto da rotatória	38
Figura 26 – Ponte sobre a Avenida Imigrantes após o projeto da rotatória	39
Figura 27 – Saída do exutório da ponte sobre a Avenida Imigrantes	39
Figura 28 – Geometria da aduela retangular monolítica de concreto	40
Figura 29 – Modo de instalação das aduelas no projeto da rotatória	40
Figura 30 – Bacia hidrográfica do Rio Grande	41

Figura 31 – Área de contribuição do Ribeirão Santana delimitada por software	42
Figura 32 – CN delimitado na área de contribuição.....	43
Figura 33 – Exemplo de Lag time.....	47
Figura 34 – Parâmetros da equação IDF para Varginha-MG	49
Figura 35 – Distribuição de Huff	50
Figura 36 – Hietograma para sub-bacia S1	51
Figura 37 – Hietograma para sub-bacia S2.....	51
Figura 38 – Hietograma para sub-bacia S3.....	51
Figura 39 – Hidrograma para sub-bacia S1.....	52
Figura 40 – Hidrograma para sub-bacia S2.....	52
Figura 41 – Hidrograma para a junção J1	53
Figura 42 – Hidrograma para sub-bacia S3.....	53
Figura 43 – Hidrograma final de projeto	54
Figura 44 – Ponte sobre Avenida Imigrantes.....	55
Figura 45 – Página inicial do software	56
Figura 46 – Seleção de seção regular e uniforme	56
Figura 47 – Entrada de dados para canal de seção retangular	57
Figura 48 – Resultados obtidos para o canal	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de retorno para diferentes obras hidráulicas	16
Tabela 2 – Coeficiente de Manning	23
Tabela 3 – CN final para cada sub-bacia.....	44
Tabela 4 – Resultados pós-urbanização pelo Método Racional	59
Tabela 5 – Resultados pós-urbanização pelo Método Urbonas e Ridden	59
Tabela 6 – Resultados pós-urbanização pelo Método do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre.....	60
Tabela 7 – Resultados do dimensionamento preliminar pelos métodos de Baker, Wycoff e Singh e ABT e Grigg.....	60
Tabela 8 – Comparação dos métodos expeditos.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional das Águas

CN – Curve Number

GIS – Geographic Information System

HEC – HMS – Hydrology Engineering Center – Hydrology Modeling System

IDF – Intensidade – Duração – Frequência

MDE – Modelo Digital de Elevação

SCS – Soil Conservation Service

SCS – CN – Soil Conservation Service – Curve Number

UDFCD – Urban Drainage and Flood Control District

SUMÁRIO

1) INTRODUÇÃO	1
1.1) Justificativa.....	1
2) OBJETIVOS	4
2.1) Objetivo geral.....	4
2.1) Objetivos específicos.....	4
3) REFERENCIAL TEÓRICO	5
3.1) Impactos da urbanização.....	5
3.2)Análise temporal da urbanização em Varginha-MG.....	6
3.3) Ciclo hidrológico.....	7
3.4) Balanço hídrico.....	9
3.4.1) Bacia hidrográfica.....	9
3.4.1.1) Determinação da vazão de uma bacia.....	10
3.4.2) Precipitação	11
3.4.2.1) Hietograma.....	11
3.4.2.2) Hidrograma	11
3.4.3) Infiltração.....	12
3.4.4) Evapotranspiração	13
3.4.5) Escoamento superficial.....	13
3.4.5.1) Coeficiente de escoamento superficial	14
3.4.5.2) Tempo de concentração.....	15
3.4.5.3) Tempo de retorno.....	15
3.4.6) Interceptação	16
3.4.7) Abstração inicial.....	17
3.5) Inundações em centros urbanos.....	17
3.6) Drenagem urbana.....	17
3.6.1) Drenagem urbana convencional.....	18
3.6.2) Drenagem urbana sustentável.....	18
3.7) Hidráulica de canais.....	21
3.7.1) Regime permanente uniforme.....	21
3.7.2) Condutos livres	22
3.8) Reservatório de detenção.....	23

3.8.1) Reservatório de detenção a céu aberto.....	25
3.8.2) Reservatório de detenção enterrado.....	26
3.8.3) Estruturas de entrada e saída dos reservatórios de detenção.....	27
3.8.3.1) Estruturas de entrada.....	27
3.8.3.2) Estruturas de saída.....	28
3.8.4) Aspectos construtivos e de manutenção de reservatórios de detenção.....	29
3.8.5) Dimensionamento preliminar do reservatório de detenção.....	30
3.8.5.1) Método racional.....	31
3.8.5.2) Método de Urbonas e Gliden.....	31
3.8.5.3) Método do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre.....	31
3.8.5.4) Método de Baker.....	32
3.8.5.5) Método de Wycoff e Singh.....	33
3.8.5.6) Método de ABT e Grigg.....	33
4) METODOLOGIA DA PESQUISA.....	34
4.1) Local de estudo.....	34
4.2) Delimitação da bacia.....	34
4.3) Avaliação do escoamento superficial.....	35
4.4) Determinação da vazão de projeto.....	35
4.5) Instalação do reservatório de detenção.....	36
5) RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1) Projeto da rotatória.....	37
5.2) Caracterização da bacia hidrográfica.....	40
5.2.1) Delimitação da bacia hidrográfica.....	41
5.3) Método SCS-CN (Soil Conservation Service – Curve Number).....	42
5.3.1) Curve Number (Método SCS).....	43
5.3.2) Infiltração potencial máxima.....	44
5.3.3) Abstração inicial (Ia).....	45
5.3.4) Tempo de concentração.....	45
5.3.5) Lag time (tL).....	47
5.3.6) Intensidade máxima de chuva.....	48
5.3.7) Precipitação total.....	50
5.3.8) Hietograma.....	50

5.3.9) Hidrograma final de projeto.....	52
5.3.10) Vazão máxima suportada pelo canal vegetado.....	54
5.3.11) Vazão da ponte.....	55
5.3.12) Vazão excedente.....	58
5.3.13) Volume de armazenamento métodos expeditos.....	59
5.3.13.1) Método racional.....	59
5.3.13.2) Método de Urbonas e Gliden.....	59
5.3.13.3) Método do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre.....	60
5.3.13.4) Métodos de Baker, Wycoff e Singh e ABT e Grigg.....	60
5.3.13.5) Comparação dos métodos expeditos.....	60
6) CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
7) SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1) INTRODUÇÃO

O manejo da água pluvial no meio urbano deve ser capaz de proporcionar qualidade de vida a população, reduzindo os riscos oriundos à impermeabilização causada pelo processo de urbanização e, conseqüentemente, promovendo o bem-estar (RIGHETTO, 2009).

O crescimento das cidades tem ocorrido em todo o mundo devido ao processo de urbanização. Este, muitas vezes, ocorre de forma não planejada e tem contribuído para a ocorrência de graves danos ambientais, tais como inundações, alagamentos e enchentes que, além de acarretarem muitos danos materiais, conferem um alto risco à perda de vidas. Episódios de inundações em áreas urbanas e ribeirinhas têm ocorrido com maiores intensidade e frequência a cada ano no Brasil, devido à crescente impermeabilização do solo, como consequência da urbanização excessivamente acelerada e da ocupação ribeirinha, sendo estas, áreas que antes caracterizavam-se várzeas e planícies de inundação naturais (TUCCI, 2007).

Os conceitos “inovadores” mais adotados para a readequação ou o aumento da eficiência hidráulica dos sistemas de drenagem têm por objetivo promover o retardamento dos escoamentos, de forma a aumentar os tempos de concentração e reduzir as vazões máximas; amortecer os picos e reduzir os volumes de enchentes por meio da retenção e detenção em reservatórios; e conter, tanto que possível, o escoamento superficial no local de precipitação, pela melhoria das condições de infiltração ou ainda em tanques de contenção (CANHOLI, 2014). Existem técnicas compensatórias que buscam reduzir as enchentes e inundações, auxiliando no desenvolvimento urbano de baixo impacto, sendo as bacias de detenção uma alternativa que merece destaque.

1.1 Justificativa

Os projetos de drenagem são dimensionados utilizando informações baseadas na probabilidade de ocorrência, ou seja, tais obras de engenharia podem apresentar incertezas no seu funcionamento. Entretanto, as enchentes e alagamentos são frequentes nas cidades sendo estes eventos de calamidade pública, visto que causam perdas humanas e materiais. Sendo assim, verifica-se a importância de bons profissionais no mercado para propor estruturas de drenagem que diminuam os impactos no local. No Brasil, várias regiões se

encontram expostas a condições de vulnerabilidade que potencializam o impacto das enchentes, combinando aspectos sociais, ambientais, políticos, econômicos e culturais. Ademais, a impermeabilização das áreas urbanas e o descarte de lixo sem o gerenciamento adequado são alguns dos fatores que contribuem para o mal funcionamento das redes de drenagem nas cidades. Neste sentido, observam-se que medidas isoladas não resolvem o problema de forma completa. Salienta-se que projetos que envolvem muitas variáveis necessitam de pesquisadores de diferentes áreas e estudos que abordam tais interferências. As informações e conclusões advindas da literatura servem de referência para execução de projetos com maior probabilidade de eficiência. Diante disto, o estudo visa contribuir com informações para o controle de enchentes em áreas urbanas sujeitas à alagamentos e inundações, mediante a um reservatório de detenção que irá promover o retardamento da água em épocas de chuvas intensas.

Inundações e alagamentos de ruas em áreas urbanas têm sido recorrentes na maioria das cidades brasileiras e tal fato ocorreu recentemente no sul de minas. Uma reportagem realizada pela EPTV, extraída do site *Portal G1*, de fevereiro de 2020, mostrou os prejuízos ocasionados pela inundação do Ribeirão Santana sobre a Avenida Zoroastro Franco de Carvalho (Varginha-MG) em função de uma precipitação elevada em um curto período de tempo.

Figura 1 – Inundação na Av. Zoroastro Franco de Carvalho em fevereiro de 2020.



Fonte: G1 Sul de Minas, <https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2020/02/18/apos-enchente-moradores-reclamam-de-falta-de-limpeza-em-ribeirao-e-bueiros-de-varginha-mg.ghtml>, acessado em outubro de 2022.

Figura 2 – Prejuízos da Inundação na Av. Zoroastro Franco de Carvalho em fevereiro de 2020.



Fonte: G1 Sul de Minas, <https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2020/02/18/apos-enchente-moradores-reclamam-de-falta-de-limpeza-em-ribeirao-e-bueiros-de-varginha-mg.ghtml>, acessado em outubro de 2022.

No local, mostrado nas Figuras 1 e 2, foi construído, pela prefeitura de Varginha, uma rotatória sobre o canal de escoamento superficial da Avenida Zoroastro Franco de Carvalho. Para tanto, foi necessário ampliar a rede de drenagem na ponte que liga as avenidas Zoroastro Franco de Carvalho e Imigrantes e, possivelmente, mesmo com a ampliação da rede, um reservatório de retenção para o controle da cheia deve contribuir para mitigar os episódios de enchente e inundações no local.

Neste contexto, relata-se a importância da realização de obras de engenharia que visam mitigar a ocorrência de alagamentos e evitar os danos causados pelos eventos hidrológicos nas áreas urbanas. Ademais, projetos de drenagem são pouco estudados, fato que impossibilita aos profissionais da área terem referência para tomada de decisão nos projetos.

2) OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Propor a implantação de um reservatório de retenção como medida de controle para o escoamento superficial na Avenida Zoroastro Franco de Carvalho em Varginha-MG.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- Determinar a vazão máxima admissível na Avenida Zoroastro Franco de Carvalho no ribeirão Santana após o projeto da rotatória;
- Determinar a área de contribuição da bacia hidrográfica responsável pelas inundações na Avenida Zoroastro Franco de Carvalho no ribeirão Santana;
- Calcular a vazão de projeto para o dimensionamento do reservatório de retenção.

3) REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Impactos da urbanização

A urbanização é um dos processos antrópicos que mais provocam impactos ao meio, principalmente nos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos. Trata-se de um conjunto de ações que têm consequências preocupantes, tanto sociais quanto ambientais. (TUCCI, 2003). A urbanização faz com que a população se concentre em áreas menores e isso aumenta a competição por recursos naturais e destrói parte da biodiversidade natural.

O meio formado pelo ambiente natural e pela população (socioeconômico urbano) é um ser vivo e dinâmico que gera um conjunto de efeitos interligados que, sem controle, pode levar a cidade ao caos (TUCCI, 2012, p. 108)

De acordo com Tucci (1997), o processo de urbanização acelerado influencia todo o sistema urbano relativo aos recursos hídricos como, por exemplo, o abastecimento de água, o transporte e tratamento de esgoto e a drenagem pluvial.

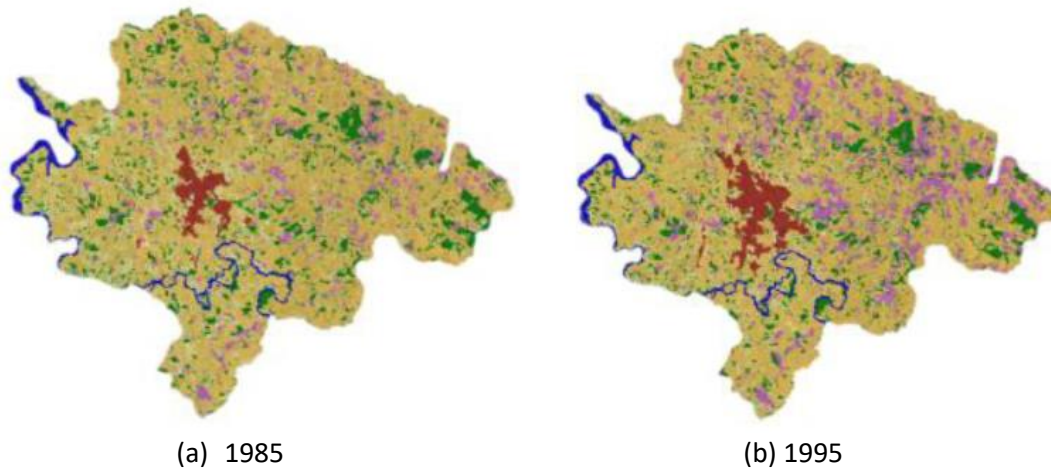
A gestão territorial das áreas planas se reveste de grande importância já que se trata de domínios residuais, em franco processo de ocupação urbana e conseqüentemente da alteração da dinâmica de infiltração destes terrenos, cuja implicação mais imediata pode se traduzir na transferência direta para os vales de uma carga hídrica anteriormente destinada ao freático. Esta nova dinâmica pode influenciar no rebaixamento do nível da calha de algumas pequenas drenagens, potencializando a erosão remontante e acelerando o desmonte dos rebordos erosivos (GOLDER/ FAHMA, 2005, p. 12).

O processo de urbanização nos países em desenvolvimento apresenta grande concentração populacional com deficiências nos sistemas de transporte, de abastecimento e saneamento, problemas de contaminação do ar e da água e as inundações. Estas condições ambientais inadequadas reduzem as condições de saúde e, portanto, afetam a qualidade de vida da população. Este aumento dos impactos ambientais negativos limita o adequado desenvolvimento das cidades (TUCCI, 2003).

3.2 Análise temporal da urbanização em Varginha-MG

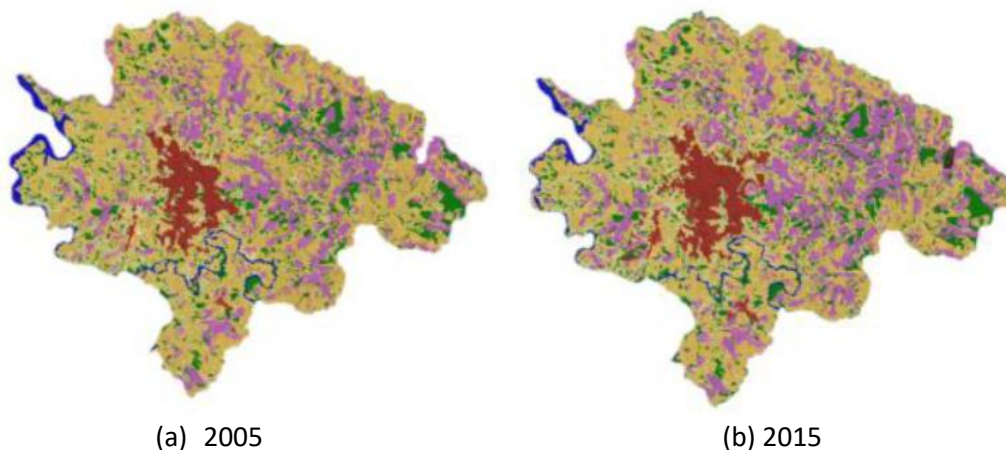
Macedo (2022), empregou uma metodologia para fazer a análise temporal da urbanização do município de Varginha empregando a plataforma gratuita *mapbiomas*, a qual viabilizou a elaboração de mapas de uso e ocupação do solo. Através dessa plataforma foi possível realizar uma análise temporal entre os anos de 1985 e 2021. Nas Figuras 3, 4 e 5, são mostrados o avanço da urbanização no município.

Figura 3 – Análise temporal da urbanização de Varginha em 1985 e 1995.



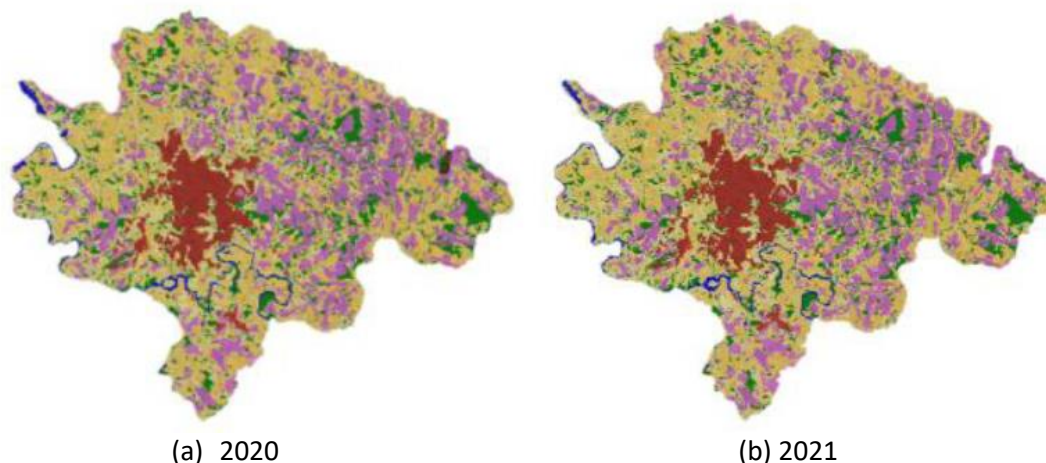
Fonte: Plataforma MAPBIOMAS – Adaptada por Macedo (2022), <https://mapbiomas.org/>, acessado em dezembro de 2022.

Figura 4 – Análise temporal da urbanização de Varginha em 2005 e 2015.



Fonte: Plataforma MAPBIOMAS – Adaptada por Macedo (2022), <https://mapbiomas.org/>, acessado em dezembro de 2022.

Figura 5 – Análise temporal da urbanização de Varginha em 2020 e 2021.



Fonte: Plataforma MAPBIOMAS – Adaptada por Macedo (2022), <https://mapbiomas.org/>, acessado em dezembro de 2022.

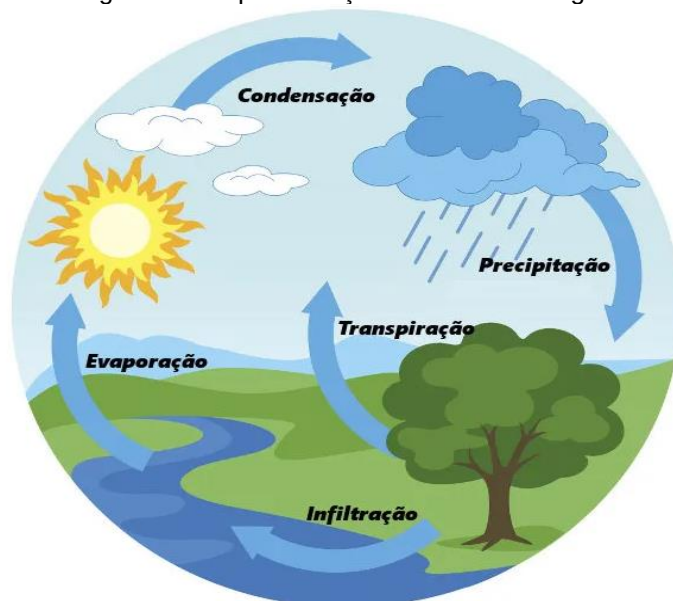
A mancha em vermelho no centro do mapa representa a área impermeabilizada no decorrer dos anos. Macedo (2022) relatou que a plataforma *mapbiomas* fornece também os valores de área, em hectare (ha), de cada classe de campo, o que possibilita a análise quantitativa e a percepção da expansão urbana, bem como determinar qual classe cedeu espaço para a outra e vice-versa. Segundo o autor, ocorreu um aumento expressivo do tecido urbano de Varginha, tendo uma expansão de 261,57% (com variação de 864 ha para 3124 ha) no período entre 1985 e 2021.

Neste sentido, pode-se determinar a área impermeabilizada da cidade mediante a análise temporal da urbanização. Para tanto, deve-se saber a área total do município, que no estudo de Macedo (2022), corresponde a 39540 ha. Dessa forma, a área impermeabilizada da cidade corresponde a 7,9% em 2021.

3.3 Ciclo hidrológico

A água do planeta passa por diferentes lugares e de diferentes formas em um trajeto com circuito fechado. As transformações e caminhos percorridos por ela são complexos e formam o ciclo hidrológico (COSTA, 2001). Quando se estuda os recursos hídricos, o ciclo hidrológico ocupa um espaço fundamental para o entendimento do movimento da água dentro de uma bacia hidrográfica. Na Figura 6, é apresentado o ciclo hidrológico e suas principais fases.

Figura 6 – Representação do ciclo hidrológico.



Fonte: Brasil Escola – UOL (2015), <https://brasilescola.uol.com.br/biologia/ciclo-agua.htm>, acessado em dezembro de 2022.

Este ciclo pode ser entendido, escolhendo-se um ponto inicial, como por exemplo a evaporação da água do mar. O vapor de água por sua vez acumula-se na atmosfera e forma as nuvens. Estas, por sua vez, estão sujeitas ao movimento das massas de ar, através do vento. Em condições específicas, são formadas as gotículas de água que se precipitam originando as chuvas. Então, a chuva atinge a superfície vegetal ou as áreas impermeabilizadas. Uma parte da água infiltra-se no solo e se acumulam nos lençóis freáticos e nos aquíferos, já a água que não se infiltrou escoar pela superfície até encontrar os rios, os lagos ou o mar onde o ciclo é reiniciado mais uma vez.

A modificação do ciclo hidrológico acontece de diferentes formas, uma delas são os problemas gerados a partir de inundações, proporcionado pela urbanização sem controle, provocando a ampliação das vazões máximas. A impermeabilização reduz a infiltração das águas pluviais no solo, o que gera um aumento do escoamento superficial, sendo que o maior escoamento das águas de precipitação, pode provocar, localmente, aumento no pico da vazão de escoamento superficial.

Além disso, as mudanças climáticas já estão causando perturbações generalizadas em toda as partes do mundo com o aquecimento atual de 1,1°C (WRI Brasil, 2022). De acordo com as informações do site WRI Brasil, secas devastadoras, calor extremo e inundações recordes já ameaçam a segurança alimentar e os meios de subsistência de milhões de pessoas. Desde 2008, inundações e tempestades catastróficas forçaram mais de 20 milhões de pessoas por ano a deixarem suas casas. Os riscos mais altos de

inundações podem levar a um adicional de 48 mil mortes de crianças de até 15 anos em decorrência de diarreia em 2030. Espécies e ecossistemas passarão por mudanças dramáticas, como as áreas de mangue se tornando incapazes de conter o aumento do nível do mar, declínio das espécies dependentes do gelo marinho e mortes de árvores em larga escala.

3.4 Balanço hídrico

O balanço hídrico é um dos estudos que podem ser realizados sobre as temáticas ambiental e hídrica. Trata-se de uma análise do ciclo hidrológico, cujos resultados mostram a quantidade de água que o sistema possui apresentando um ciclo fechado (FILL *et al.*, 2005). Ele é um sistema contábil de monitoramento de água do solo obtido a partir aplicação do princípio de conservação de massa para a água. A variação do armazenamento de água no solo, em um intervalo de tempo, é tida pelas entradas e saídas de água em um volume controle (PEREIRA *et al.*, 1997).

O balanço hídrico pode ser compreendido como o somatório das quantidades de água que entram e saem de uma bacia hidrográfica em um determinado intervalo de tempo. Os processos que contribuem para este somatório são basicamente: precipitação, infiltração, evapotranspiração, escoamento superficial, interceptação e armazenamento.

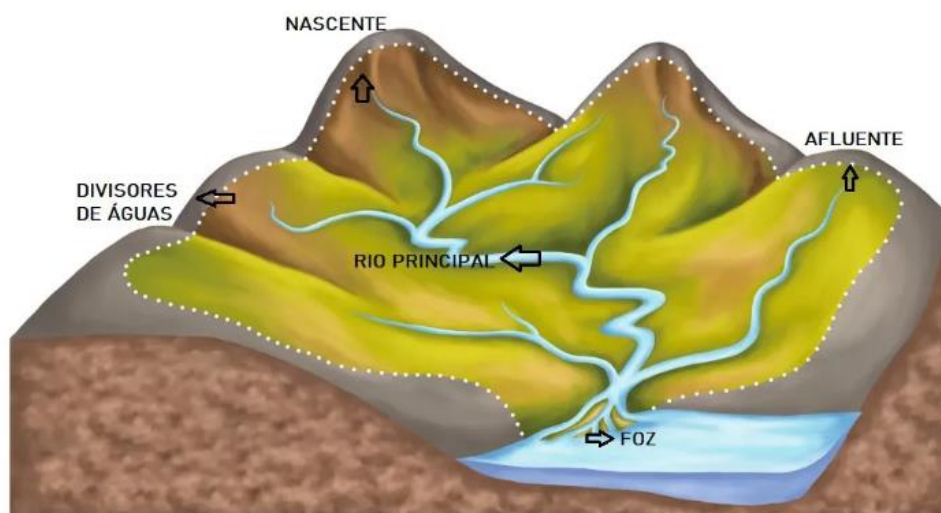
3.4.1 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma área delimitada pelos divisores de água onde a água precipitada escoar para um único ponto, o exutório. (VILLELA; MATTOS, 1975). É nas delimitações desse sistema que se desenvolvem todos os setores da sociedade: as áreas urbanizadas, a agricultura, a pecuária, as indústrias e o ecossistema. Assim, constitui uma área ideal para estudos ambientais, pois proporciona a integração entre os aspectos físicos, sociais e econômicos. (PORTO, 2008).

De forma simplificada, em uma bacia hidrográfica as águas decorrentes da chuva são lançadas em cursos d'água naturais, no oceano, nos lagos ou, no caso de solos bastante permeáveis, espalhadas sobre o terreno por onde infiltram no subsolo. A escolha do destino da água pluvial deve ser feita segundo critérios éticos e econômicos, após análise cuidadosa e criteriosa das opções existentes. Ainda assim, é recomendável que o sistema de drenagem seja tal que o percurso da água entre sua origem e seu destino seja o mínimo possível.

Segundo Gribbin (2014), para a determinação da área de drenagem é preciso definir, primeiramente, o tamanho da área de incidência de chuva e então calcular a vazão no curso. Para todos os cursos d'água, uma área bem definida intercepta a chuva e a transporta até o curso d'água. Toda chuva que incide sobre a área segue seu caminho até o curso d'água. Na Figura 7, é mostrado uma típica área de captação.

Figura 7 – Representação de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Mundo Educação – UOL (2022), <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-baciahidrografica.htm#:~:text=Bacia%20Hidrogr%C3%A1fica%20%C3%A9%20a%20%C3%A1rea,%C3%A1gua%2C%20abastecendo%2Do>, acessado em dezembro de 2022.

3.4.1.1 Determinação da vazão de uma bacia

Segundo TUCCI (2002), a determinação da vazão máxima é importante em uma bacia, pois ela representa a disponibilidade hídrica máxima. Ela é a maior vazão que pode ser regularizada, permitindo a avaliação dos limites superiores do uso da água de um manancial para as diferentes finalidades. Segundo Tomaz (2011), para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo, pode ser utilizado o método racional. Tal método deve ser aplicado somente para pequenas bacias, ou seja, com área de drenagem inferior a 3 km² ou quando o tempo de concentração for inferior a uma hora.

Outro método utilizado para calcular a vazão é o *Soil Conservation Service – Curve Number* (SCS-CN). O método é um dos mais populares e amplamente usado para se estimar o volume escoado gerado a partir de um evento para pequenas bacias hidrográficas e tem sido o foco de muitas discussões (MISHRA; SINGH, 1999).

Ponce e Hawkins (1996), relataram que o método SCS-CN apresenta grande aceitação e entendimento, mesmo com as vantagens e desvantagens, por ser um modelo conceitual suportado por dados empíricos.

3.4.2 Precipitação

Segundo Tucci (1995), um importante processo hidrológico que influencia na vazão de escoamento é a precipitação, a qual é registrada como uma série histórica de dados medida diariamente em estações meteorológicas. A precipitação é definida como sendo toda a água proveniente do meio atmosférico seja na forma de chuva, neve ou granizo.

Ao se realizar um estudo de planejamento de longo prazo do uso de uma ou mais bacias hidrográficas, a precipitação é um dado básico, pois não sofre influências diretas de alterações antrópicas provocadas no meio. As alterações do uso do solo, por exemplo, sobre as vazões escoadas, poderão ser avaliadas por modelos matemáticos que transformam as chuvas em vazões e, que consideram as variações de infiltração em função da área impermeável da bacia.

As principais características da precipitação são a sua totalidade, duração e distribuição temporal e espacial, sendo que o total precipitado não tem significado se não estiver ligado a uma duração. A ocorrência da precipitação é um fenômeno aleatório. Assim, para a grande maioria dos problemas hidrológicos, o tratamento dos dados de precipitação frequentemente é realizado de modo estatística (TUCCI, 2002).

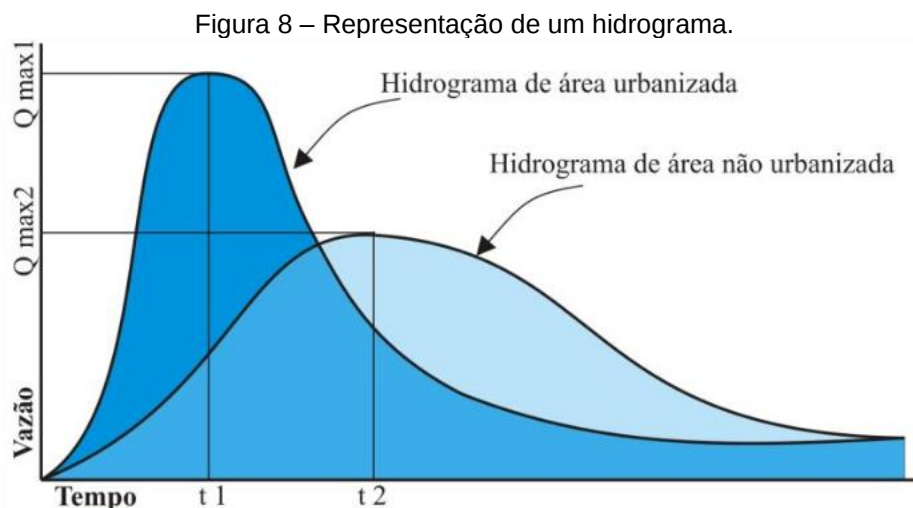
3.4.2.1 Hietograma

Segundo Bemfica, Goldenfum e Silveira (2000), os hietogramas são formas gráficas que demonstram a intensidade da chuva ao longo de sua duração, eles representam uma chuva de projeto que é usada como dado de entrada ao modelo chuva-vazão. Portela, Marcos e Carvalho (2000) definem hietograma como um acontecimento pluviométrico fornecido por meio de diagramas cronológicos discretos dos sucessivos valores da precipitação.

3.4.2.2 Hidrograma

Segundo Tucci, genericamente, o hidrograma é a representação gráfica da variação da vazão em relação ao tempo numa determinada seção de controle do curso de água em

estudo. Um hidrograma é caracterizado pelo seu volume e pela sua forma, que em conjunto, determina o valor da vazão de pico, conforme mostrado na Figura 8.



Fonte: Hidrograma: relação de vazão por tempo de escoamento, adaptado de Tucci (2002), https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Hidrograma-relacao-de-vazao-por-tempo-de-escoamento-adaptado-de-Tucci-2002_fig2_303047819, acessado em dezembro de 2022.

Na Figura 5, foi representado dois hidrogramas, sendo o maior com uma área urbanizada e consequente impermeabilização maior do solo, o que gera uma maior vazão de pico, e o menor com uma área não urbanizada, o que provoca uma menor vazão de pico. É importante relatar que em bacias com área maior que 10 km² deve ser utilizada a metodologia do Hidrograma Sintético Unitário, conhecida como o método do Soil Conservation Service (SCS).

A teoria do Hidrograma Unitário (HU) foi proposta por Sherman (1932), como uma função-resposta linear da bacia hidrográfica a uma chuva efetiva unitária. Assim, uma chuva efetiva com mesma duração da chuva unitária produzirá um hidrograma com mesmo tempo de base do HU e vazões proporcionais à razão com a chuva unitária. A linearidade propicia também a superposição de efeitos, ou seja, os hidrogramas produzidos por blocos independentes sucessivos de chuva, com duração igual à da chuva unitária, são somados para gerar o hidrograma total. Para Carvalho e Chaudrhy (2001), a facilidade de aplicação do HU encontra-se nas suposições simplificadoras de que a bacia hidrográfica se comporta como um sistema linear e invariável no tempo.

3.4.3 Infiltração

A infiltração é definida como a passagem de água da superfície para o interior do solo (TUCCI, 1995). Existem vários modelos que descrevem a infiltração dentre eles, o mais

difundido segundo (AKAN, 1993) é o de Horton, apresentado em 1939, porém há outros modelos como o de SCS e Green-Ampt.

O processo de infiltração se efetua, quando após os eventos chuvosos, parte da água chega até a superfície do terreno, atravessando a vegetação direta ou indiretamente penetrando no solo. A água continuará infiltrando até a capacidade e/ou taxa de infiltração ser atingida, isto é, a partir do instante que todos os espaços entre os grânulos de solo estiverem preenchidos (poros), haverá a obstrução na entrada de água. Assim, a água que não infiltrar nos solos ou rochas, escoará superficialmente; quanto à água infiltrada, depois de preencher o déficit de água no solo, poderá gerar um escoamento subsuperficial (COELHO NETTO, 1994).

3.4.4 Evapotranspiração

Para Barbosa Júnior (2013) é um processo natural que ocorre com a passagem da água do estado líquido para o gasoso, na forma de vapor de água presente na superfície, cursos d'água, lagos e mares.

A evapotranspiração envolve os dois processos combinados responsáveis por abastecer a atmosfera de água: a evaporação e a transpiração. Os dois processos são simultâneos e não há uma maneira fácil de distingui-los. Em uma bacia hidrográfica, na maioria das vezes, a evapotranspiração é o maior consumidor de água e a sua variação influencia a disponibilidade de água e afeta o armazenamento em um sistema hidrológico e o fluxo em um curso d'água. (ALLEN *et al.*, 1998; LI; ZHANG, 2011; RIGHETTO, 1998).

3.4.5 Escoamento superficial

Rodrigues *et al.* (2011), relataram que o escoamento superficial e a sua formação são um dos temas mais complexos da hidrologia, pois envolvem as diversas características da bacia. A água pode tomar vários caminhos, desde o momento em que atinge a superfície, na forma de chuva, até o momento em que chega ao curso d'água. O escoamento superficial direto ou *Runoff* é gerado pelo excesso de precipitação. Após o início da chuva uma porção da água infiltra, abastecendo os lençóis subterrâneos e umedecendo a superfície do solo. Assim que o solo atinge a saturação, a água escoa sobre a superfície, uma vez que foi reduzida a capacidade de infiltração.

O escoamento superficial inicia quando a taxa precipitada excede a capacidade de infiltração, percorrendo as depressões do terreno e suprimindo as demandas iniciais de

armazenamento superficial dessa no solo. Na fase seguinte, há a formação de canais subterrâneos, por onde a água percorre, estabilizando-se no seu encontro com cursos d'água (WISLER, 1959). O escoamento pode ser dividido em superficial, que representa o fluxo sobre a superfície do solo e pelos seus múltiplos canais; subsuperficial, que é definido por alguns autores como o fluxo que se dá junto às raízes dos vegetais, nas camadas superficiais do terreno e; subterrâneo, que é o fluxo devido à contribuição ao aquífero (TUCCI, 1993).

Existem fatores que influenciam o escoamento superficial, podendo ser de natureza climática, relacionados à precipitação ou de natureza fisiográfica ligados às características físicas da bacia (CARVALHO, 2006). Dentre os fatores climáticos, destacam-se a intensidade e a duração da precipitação, pois quanto maior a intensidade, mais rápido o solo atinge a sua capacidade de infiltração provocando um excesso de precipitação que escoará superficialmente. A duração também é diretamente proporcional ao escoamento, pois para chuvas de intensidade constante, irá ocorrer maior contribuição se o tempo de precipitação for maior. Dentre os fatores fisiográficos, os mais importantes são a área, a forma, a permeabilidade e a capacidade de infiltração e a topografia da bacia. A influência da área é clara, pois sua extensão está relacionada à maior ou menor quantidade de água que ela pode captar (SILVA, 2006).

A permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, diminuindo assim a ocorrência de excesso de precipitação (RODRIGUES *et al.*, 2011). As condições da superfície do solo, da constituição geológica e da interferência humana são também fatores de influência sobre o escoamento na bacia. Nas bacias rurais a infiltração do solo é influenciada pela presença da vegetação, já nas bacias urbanas a impermeabilização do terreno e a presença de esgotos pluviais são elementos modificadores do escoamento superficial (MANTOVANI *et al.*, 2013; TUCCI, 1993).

3.4.5.1 Coeficiente de escoamento superficial

Segundo Santos (2010), o coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente *Runoff* ou coeficiente de deflúvio é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Este coeficiente pode ser relativo a uma chuva isolada ou relativo a um intervalo de tempo, onde ocorreram várias chuvas. Conhecendo-se o coeficiente de deflúvio para uma determinada chuva intensa de uma certa

duração, pode-se determinar o escoamento superficial de outras precipitações de intensidades diferentes, desde que a duração seja a mesma.

3.4.5.2 Tempo de concentração

De acordo com Villela e Mattos (1975), o tempo de concentração é o intervalo de tempo contado desde o início da precipitação até o instante em que toda a bacia hidrográfica correspondente contribua para o escoamento, numa dada seção. Da mesma forma que Villela e Mattos, Botelho (2011) conceituou que o tempo de concentração é o intervalo necessário de precipitação para que toda a seção da bacia contribua com a vazão. Entende-se que para saber a máxima vazão que ocorre em uma bacia, basta igualar o tempo de concentração da bacia ao tempo de duração da chuva.

As chuvas que potencialmente podem causar as maiores vazões em uma bacia hidrográfica são aquelas cuja duração é igual ao tempo de concentração da bacia. Isto faz com que exista pelo menos um momento em que toda a bacia esteja contribuindo com a vazão.

3.4.5.3 Tempo de retorno

De acordo com Tomaz (2011), o tempo de retorno é o inverso da probabilidade de acontecer um evento igual ou superior ao calculado. A recomendação do número de anos a ser considerado é bastante variada: alguns autores recomendam período de retorno de 10 anos, para projetos de conservação de solos, outros recomendam o período de retorno de 10 anos somente para o dimensionamento de projetos de saneamento agrícola, em que as enchentes não trazem prejuízos muito expressivos. E ainda, para projetos em áreas urbanas ou de maior importância econômica, recomenda-se utilizar o período de retorno de 50 ou 100 anos.

É um parâmetro fundamental para a avaliação e projeto de sistemas hídricos, como reservatórios, canais, vertedouros, bueiros, galerias de águas pluviais, etc (RIGHETO, 1998, p. 347).

Tucci (1993) afirmou que ao definir o período de retorno para uma obra, automaticamente decide-se o grau de proteção conferido a população. Níveis altos de segurança implicam, portanto, em custos elevados e grandes interferências no ambiente urbano. Por outro lado, minimizar custos e as interferências no meio são critérios para

tomada de decisão em projetos de drenagem, porém o tempo de retorno deve ser fixado de acordo com o tipo de obra hidráulica conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tempo de retorno para diferentes obras hidráulicas.

Obra Hidráulica	Período de retorno (anos)
Bueiros	2 a 10
Galeria de águas pluviais	5 a 20
Pequenas barragens de concreto para abastecimento de água	50 a 100
Canalização a céu aberto trapezoidal	50
Canalização a céu aberto retangular	100
Travessias: pontes, bueiros e estruturas afins	100
Barragem de concreto	500
Extravasador de uma barragem de terra	1.000
Vertedor de grandes barragens	10.000

Fonte: Adaptado de DAEE (2005).

Segundo Hasmann (2013), a fixação do período de retorno para uma obra hidráulica depende do porte da obra e do risco de falha que se deseja assumir durante a sua vida útil.

3.4.6 Interceptação

Segundo Tucci (2000), a precipitação interfere de forma direta em outra variável do ciclo hidrológico: a interceptação, que também depende das condições climáticas, densidade de vegetação, da estrutura e arquitetura da vegetação e do comportamento fisiológico das plantas. A interceptação é um processo capaz de reter a água da chuva em suas copas, diminuindo assim a contribuição do volume de água a escoar. Estimar a interceptação é complexo, em virtude das variáveis envolvidas no processo. Musgrave, (1938) concluiu que uma vegetação de baixo porte, semelhante a uma grama, interceptava 17% do volume das águas da chuva e Clark (1940) determinou para uma vegetação de grande porte uma perda na magnitude de 22 a 36% do volume da água da chuva precipitado.

3.4.7 Abstração inicial

De acordo com Soares (2004), a abstração inicial representa a parcela de água que fica empossada em depressões ou terraços de contenções. Tais unidades são facilmente identificadas por meio das curvas de nível. Com o tempo, parte da água poderá infiltrar ou evaporar, ou caso ocorra um excesso da capacidade máxima de armazenamento nas depressões do terreno, a água irá transbordar e escoar superficialmente sob a ação da gravidade juntando-se assim ao curso d'água.

3.5 Inundações em centros urbanos

Segundo TUCCI (1997), as inundações urbanas são eventos tão antigos quanto às cidades ou aglomerações urbanas. Este episódio pode ocorrer devido ao comportamento natural dos rios, quando o excesso do volume da chuva, que não conseguiu ser drenado, ocupa a várzea e inunda. No mais, as inundações podem ser maiores dependendo da topografia, as áreas próximas aos rios, somada aos efeitos da alteração produzida pelo homem na urbanização devido à impermeabilização das superfícies e canalização dos rios.

Pela visão de Pompêo (2000), as enchentes são fenômenos naturais os quais sempre ocorreram na natureza, provocados por chuvas de elevada magnitude. Já em áreas urbanas, as enchentes normalmente acontecem, por consequência de precipitações intensas com altos períodos de retorno ou devido as mudanças no ciclo hidrológico, nas zonas a montante das áreas urbanas, que causam transbordamento de cursos d'água, ou ainda, devido à urbanização.

As enchentes e as inundações podem ser prevenidas e controladas por meio de mecanismos que reduzam o excesso de escoamento pluvial e/ou amortecem as ondas de cheias em rios urbanos. As medidas de controle de inundação podem ser classificadas em medidas não estruturais e estruturais. (IPEA, 2020).

3.6 Drenagem urbana

Os sistemas de drenagem podem ser classificados quanto a aplicação local, sendo estas, macrodrenagem e microdrenagem. A drenagem local (na fonte) é aquela que coleta o escoamento que ocorre no terreno, ou empreendimento particularizado, como estacionamentos e parques. A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos ou canais que atua em nível de loteamento ou de rede primária urbana. A macrodrenagem são os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem (Tucci, 2003).

Tradicionalmente, o sistema de drenagem é definido como o conjunto de elementos interligados em um sistema, destinado a captar as águas pluviais precipitadas sobre uma região, conduzindo-as, de forma segura, a um destino final (MIGUEZ *et al.*, 2015, p. 144).

3.6.1 Drenagem urbana convencional

Segundo Simons (1977), a drenagem convencional faz parte do projeto de controle de inundações por medidas estruturais e não estruturais. As medidas estruturais são alterações diretas nos elementos da drenagem urbana, elas podem ser subdivididas em extensivas e intensivas. As extensivas são aquelas que agem diretamente sobre a bacia, buscando a intervenção na relação entre a precipitação e a vazão da água precipitada. São alguns dos exemplos das medidas extensivas: o aumento de áreas permeáveis, a inserção de dispositivos de armazenamento disseminados na bacia, a alteração da cobertura vegetal do solo que visa reduzir os picos de enchentes e controlar os processos de erosão na bacia (TUCCI, 2001). Já, as intensivas são as mais usadas e representam as obras de engenharia que agem diretamente nos canais da bacia e nos rios.

Ademais, as medidas não estruturais procuram compatibilizar a relação entre a cidade e os eventos de inundação. Elas representam as medidas de proteção que podem ser divididas em quatro tipos de ações: regulamentação do uso da terra, construções à prova de enchentes, seguro de inundação e sistemas de previsão e alerta de inundações. Estas medidas não demandam grandes obras de engenharia, portanto são mais baratas de serem implementadas (IPEA, 2020; TUCCI, 2001).

3.6.2 Drenagem urbana sustentável

Dentre os conceitos de drenagem urbana temos o sistema de drenagem urbana sustentável. Neste caso, leva-se em conta, no processo de concepção do sistema, a visão de desenvolvimento sustentável, ou seja, os impactos das soluções de drenagem não devem ser transferidos no espaço ou no tempo, assim como devem ser previstas medidas que reduzam os efeitos negativos da urbanização no ciclo hidrológico.

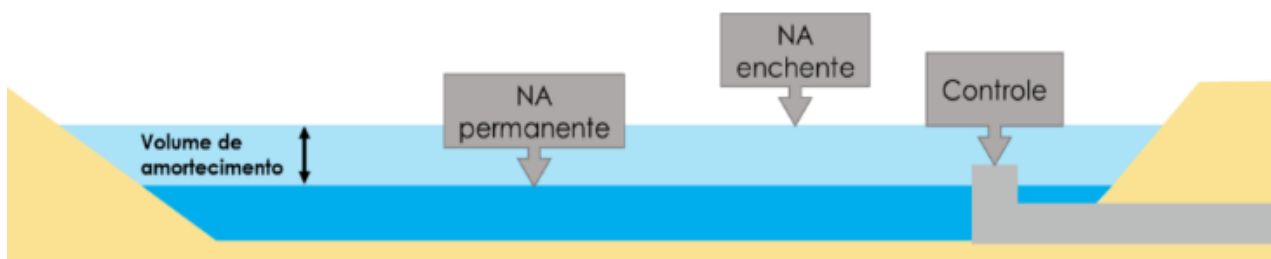
Além de contribuir para o desenvolvimento sustentável, os sistemas de drenagem podem ser desenvolvidos para melhorar o traçado urbano, melhorando o ambiente construído. O SUDS (*Sustainable Urban Drainage System*) visa a redução dos problemas de qualidade e quantidade, além da maximização das oportunidades de revitalização do espaço urbano e incremento da biodiversidade (CIRIA, 2007).

No sistema de drenagem urbana sustentável procura-se aproximar ao máximo o ciclo hidrológico das características que este tinha antes do processo de urbanização. São feitas pequenas intervenções ao longo da bacia hidrográfica que substituem, em parte, o sistema tradicional de drenagem urbana. Segundo o manual de sistema de drenagem sustentável reportado por Ciria (2007), alguns dos elementos básicos de projetos de SUDS são: valas de infiltração (Figura 9), reservatórios de retenção (Figura 10), reservatórios de detenção (Figura 11), trincheiras de filtração (Figura 12), pavimentos permeáveis (Figura 13) e telhados verde (Figura 14).



Fonte: ChiWate (2019), https://www.researchgate.net/figure/Figura-68-Representacao-esquematica-de-valas-de-infiltracao-no-Software-PCSWMM-Fig4_337950979, acessado em dezembro de 2022.

Figura 10 – Representação esquemática de um reservatório de retenção.



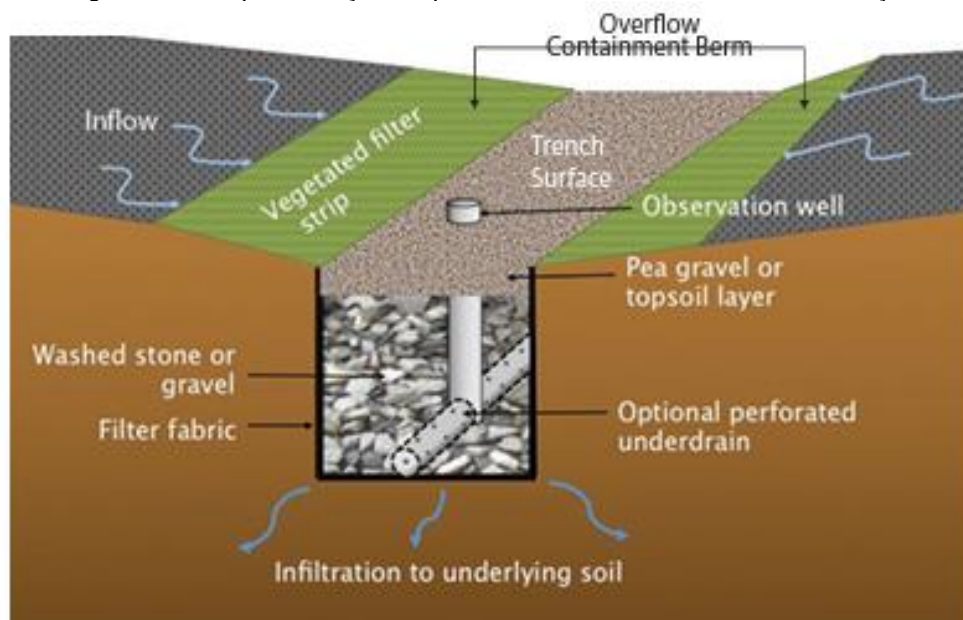
Fonte: Sobre as águas (2022), <https://sobreasaguas.com/2022/11/23/como-estimar-um-volume-de-detencao/>, acessado em dezembro de 2022.

Figura 11 – Representação esquemática de um reservatório de detenção.



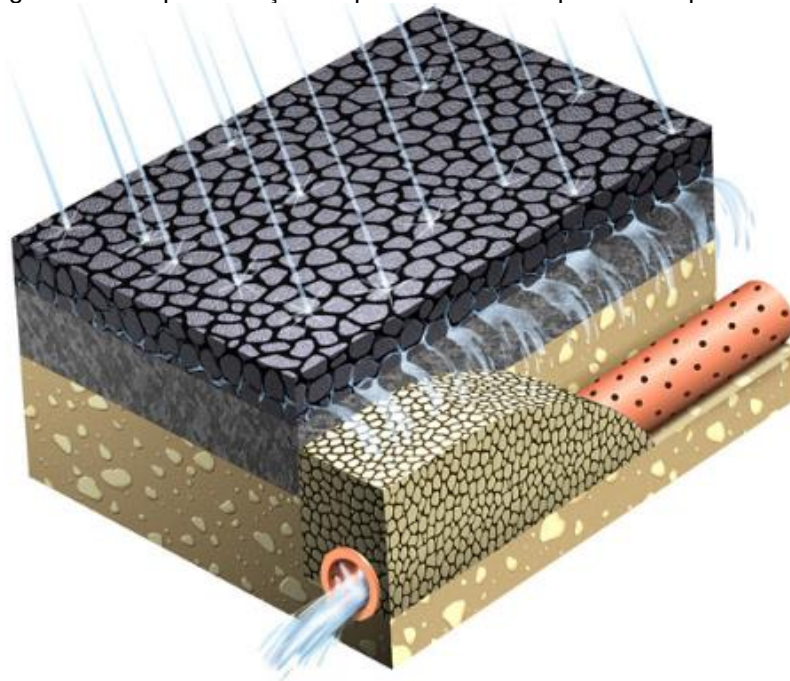
Fonte: Sobre as águas (2022), <https://sobreasaguas.com/2022/11/23/como-estimar-um-volume-de-detencao/>, acessado em dezembro de 2022.

Figura 12 – Representação esquemática de uma trincheira de infiltração.



Fonte: Department of Public Works and Environmental Services (2017), [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcqlclefindmkaj/https://www.fairfaxcounty.gov/publicworks/sites/publicworks/files/assets/documents/pdf/infiltration-trench-inspection-checklist.pdf](https://www.fairfaxcounty.gov/publicworks/sites/publicworks/files/assets/documents/pdf/infiltration-trench-inspection-checklist.pdf), acessado em dezembro de 2022.

Figura 13 – Representação esquemática de um pavimento permeável.



Fonte: Inova Civil (2019), <https://www.inovacivil.com.br/asfalto-permeavel/>, acessado em dezembro de 2022.

Figura 14 – Representação esquemática de um telhado verde.



Fonte: Arkpad (2016), <https://arkpad.com.br/telhado-verde/>, acessado em dezembro de 2022.

3.7 Hidráulica de canais

Segundo Canholi (2014), o dimensionamento hidráulico dos canais constitui importante atividade no projeto dos sistemas de macrodrenagem. Para o correto, o dimensionamento dos sistemas de drenagem, é importante avaliar a capacidade de vazão das canalizações existentes, identificando os eventuais pontos de estrangulamento (gargalos). De acordo com o autor, no campo da drenagem urbana, o escoamento permanente uniforme é frequentemente considerado no dimensionamento e na verificação da capacidade de vazão dos canais. Isso decorre da maior facilidade e simplicidade matemática no cálculo, características da aplicação dessa metodologia.

3.7.1 Regime permanente uniforme

O escoamento em regime uniforme ocorre quando, em um canal com geometria, declividade, profundidade, área molhada e velocidade em todas as seções transversais são constantes, ou seja, há o equilíbrio entre a energia disponível e a despendida pelo fluxo, de tal forma que a linha de energia é paralela à linha d'água. A equação 1 de Chézy,

desenvolvida em 1769, descreve em termos matemáticos o escoamento uniforme para os condutos livres.

$$V = C\sqrt{R_H i} \quad (1)$$

Sendo:

V – Velocidade média do escoamento;

C – Fator de resistência, coeficiente de Chézy;

R_H – Raio hidráulico;

i – Declividade do fundo.

A maior dificuldade na aplicação da equação consiste em obter o valor de C , coeficiente de Chézy. Na prática, esse valor é obtido mediante experimentos de campo e laboratório. Para obtenção de C , a equação 2 de uso mais frequente e muito disseminada no meio técnico, é atribuída aos pesquisadores Manning e Strickler em 1889:

$$C = \frac{1}{n} R_H^{\frac{1}{6}} \quad (2)$$

Por substituição na equação de Chézy, chega-se a denominada equação 3 de Manning, sendo n o coeficiente de resistência de Manning:

$$V = \frac{R_H^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (3)$$

Segundo Canholi (2014), a equação de Manning é válida somente para escoamentos turbulentos rugosos, o que ocorre com maior frequência nos canais naturais e artificiais de drenagem, onde o coeficiente de resistência ao fluxo independe do número de Reynolds. O coeficiente, número de Reynolds é um número adimensional usado em mecânica dos fluidos para o cálculo do regime de escoamento de determinado fluido sobre uma superfície.

3.7.2 Condutos livres

De acordo com Botelho (2011), quando a água escoar em um conduto com pressão atmosférica na borda superior do líquido temos o escoamento em canal, também chamado escoamento livre. Os condutos são livres quando a parte superior do líquido está sujeita à pressão atmosférica, ou, pelo menos, um ponto da superfície líquida. O movimento não depende da pressão interna, mas da inclinação do fundo do canal e da superfície do líquido.

A fórmula mais conhecida para dimensionamento de condutos livres usada no Brasil é a fórmula experimental do Engenheiro irlandês R. Manning elaborada em 1981. A razão do uso é a facilidade de estimar a rugosidade de Manning para cada caso (TOMAZ, 2011). Os valores do coeficiente de rugosidade Manning são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Coeficiente de Manning.

Natureza das paredes	Coeficiente de Manning
Condutos de barro de drenagem	0,014
Superfícies de cimento liso	0,012
Canais com revestimento de concreto	0,016
Canais de terra, retilíneos e uniformes	0,023
Canais dragados	0,030
Canais com fundo de terra e taludes empedrados	0,033
Arroios com vegetação e pedras	0,035
Arroios com meandros, bancos e poços pouco profundos	0,045
Arroios com águas baixas, declividade fraca e pedras	0,055

Fonte: Porto – Adaptada pelo autor (1993).

3.8 Reservatório de retenção

Baptista (2005) definiu reservatório de retenção como uma estrutura hidráulica que tem por objetivo regular as vazões pluviais efluentes de uma bacia hidrográfica, sendo que a infiltração não é o aspecto principal da bacia e sim a retenção do escoamento, permitindo a transferência de vazões compatíveis com o limite tolerado pela rede de drenagem ou curso d'água existente.

De acordo com Bahiense (2013), o reservatório de retenção consiste em uma estrutura de armazenamento temporário que pode direcionar a água ao sistema de drenagem ou a outro reservatório, de forma que sua principal função é a acumulação de escoamento excedente gerado pela impermeabilização, deixando escoar através de orifícios ou vertedores uma vazão similar à existente na condição natural do terreno.

Segundo Curitiba (2002), o reservatório de retenção pode ser aplicado junto ao sistema de macrodrenagem da cidade. Em relação aos loteamentos, ele visa ampliar o

controle de geração de escoamento superficial restrito a estes, assim como aliviar o sistema de macrodrenagem a jusante. Junto aos cursos d'água, tem como objetivo o controle de cheias, sendo ferramenta relevante para o planejamento da bacia como um todo.

De acordo com Castro (2002), os reservatórios de retenção têm por função principal o controle de inundações, sendo a redução de cargas poluentes de origem pluvial um objetivo complementar. Por esse motivo, o armazenamento de águas de escoamento provenientes de um evento se faz por tempo relativamente curto. Um dispositivo de esvaziamento instalado no fundo da bacia (descarga de fundo) permanece em operação durante todo o evento. Reservatórios de retenção armazenam, sobretudo, os escoamentos que produzem as vazões mais elevadas de um evento.

Vale destacar, que os benefícios da implantação desse mecanismo é a atenuação do pico de vazão e o retardo do tempo de pico, dois fatores fundamentais para o controle de enchentes urbanas. Além disso, uma das vantagens atribuíveis ao reservatório de retenção é que ele pode assumir múltiplos propósitos. Além do controle de cheias, esses equipamentos podem servir para práticas esportivas durante o período seco.

Em contrapartida, existem alguns pontos negativos que merecem destaque, sendo o custo de manutenção um deles, bem como os odores oriundos dos detritos que serão acumulados no reservatório, uma vez que será carregado e depositado uma grande quantidade de materiais até o reservatório e, neste sentido, a remoção destes é de extrema importância para não haver até mesmo desvalorização dos lotes vizinhos ao local de implantação do reservatório.

Segundo ABCP (2013), com relação aos aspectos construtivos do reservatório de retenção, estes dependem da área disponibilizada para a sua construção. Em regiões densamente ocupadas, opta-se por sua construção em paralelo (off-line), capaz de armazenar volumes maiores pela possibilidade de ser mais profundo que o leito do córrego. Quando há espaço disponível, a opção é a sua construção em série (in-line) com o leito do rio. A representação esquemática de um reservatório de retenção in-line e off-line são apresentados nas Figuras 15 e 16, respectivamente.

Figura 15 – Representação esquemática de um reservatório de retenção in-line.



Fonte: ABCP (2013), https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Reservatorios%20Deten_web.pdf, acessado em dezembro de 2022.

Figura 16 – Representação esquemática de um reservatório de retenção off-line.



Fonte: ABCP (2013), https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Reservatorios%20Deten_web.pdf, acessado em dezembro de 2022.

3.8.1 Reservatório de retenção a céu aberto

Os reservatórios de retenção a céu aberto são construídos para estarem vazios a maior parte do tempo, armazenando água apenas nos períodos de cheia, correspondentes à ocorrência de precipitações mais significativas. Eles têm por objetivo armazenar o volume excessivo de água escoada pela bacia por certo período, geralmente 24 horas, impedindo

assim a inundação do trecho a jusante, para depois lançá-lo novamente a rede de drenagem (MANO, 2008).

Existem algumas restrições que podem ser reconhecidas em relação à disponibilização de espaço físico conveniente e aos custos de aquisição de terreno, além de sua integração a outros equipamentos do sistema urbano. Além do controle de cheias, esses equipamentos podem servir para práticas esportivas durante o período seco ou parques recreativos para a população.

Esses reservatórios são localizados em áreas de baixa densidade populacional, estando integrados com a valorização paisagística e social, pois contemplam em sua época de seca a possibilidade de uso como áreas de lazer, parques ou campos de futebol, como observado na Figura 17. Tais reservatórios são atualmente os mais utilizados, por serem normalmente de menor dimensão exigindo menores investimentos. Sua manutenção é mais rápida e econômica devido a serem menos afetados pela acumulação de sedimentos e no mais, o seu acesso é livre e os equipamentos necessários são facilmente obtidos no mercado (DEP, 2000).

Figura 17 – Reservatório de retenção a céu aberto, São Bernardo do Campo.



Fonte: DEP (2000),

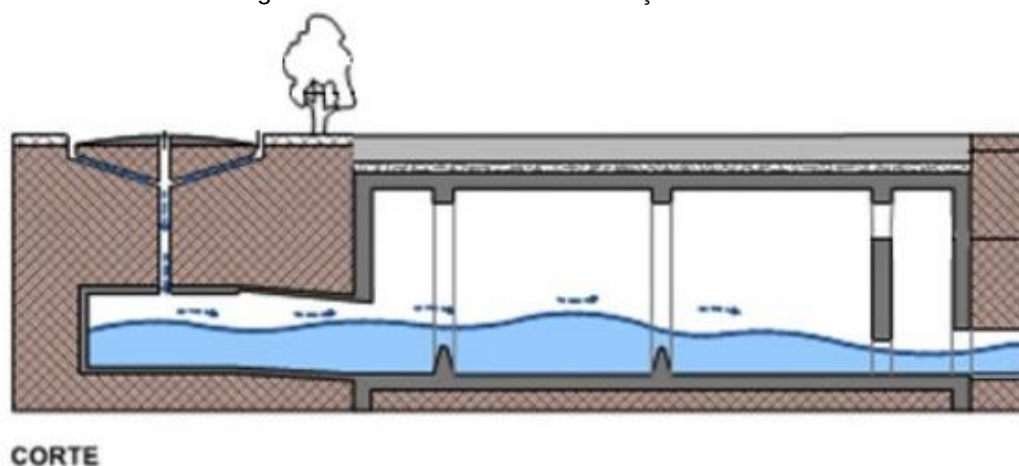
<https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/8162/6891>,
acessado em dezembro de 2022.

3.8.2 Reservatório de retenção enterrado

De acordo com Livinali (2017), os reservatórios de retenção enterrados são idealizados nos casos em que a construção a céu aberto não se torna viável, devido a

indisponibilidade topográfica do local ou em áreas urbanas densamente ocupadas. Além disso, por se tratar de um sistema com custo elevado de instalação, cerca de 3 a 5 vezes mais alto que o de reservatórios a céu aberto, tem sua implantação dificultada. Estes sistemas são reservatórios temporários situados abaixo do nível do solo, utilizados para controlar o volume de cheias, que recebem a descarga de escoamento superficial em excesso e o acumulam durante um determinado tempo. Normalmente, são construídos em concreto armado e devido a sua localização inferior ao solo, torna-se indispensável a utilização de sistema de bombeamento da água para o seu esvaziamento após o período de chuva (Figura 18).

Figura 18 – Reservatório de retenção enterrado.



Fonte: CANHOLI (2014),

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.publicacoeseventos.unijui.edu.br%2Findex.php%2Fsalaconhecimento%2Farticle%2Fview%2F8162%2F6891&psig=AOvVaw1O0uTrSgN8yigF8eRXqEsc&ust=1671814427135000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwiO2N-Z2I38AhVvHLkGHVw6AwAQr4kDegUIARDAAQ>, acessado em dezembro de 2022.

3.8.3 Estruturas de entrada e saída dos reservatórios de retenção

Segundo Silva (2009), essas estruturas têm um papel indispensável para o correto funcionamento dos reservatórios de retenção. As estruturas de entrada servem para evitar que as grandes velocidades do escoamento causem erosão no interior do reservatório e para reterem os sedimentos mais grosseiros. Já, as estruturas de saída condicionam o comportamento hidráulico do reservatório de retenção.

3.8.3.1 Estruturas de entrada

De acordo com Silva (2009), as estruturas de entrada têm o papel de receber as águas que afluem ao reservatório de retenção de maneira adequada ao bom

funcionamento dele. O autor destaca que um dos problemas que podem ocorrer na entrada é a erosão, principalmente se o reservatório de retenção não tiver revestimento. Paredes de concreto ou alvenaria e enrocamento normalmente são utilizadas para proteger os taludes e o fundo do reservatório de retenção. Na Figura 19, estão ilustrados os detalhes típicos das estruturas de entrada, com o objetivo de evitar a erosão.

Figura 19 – Estruturas de entrada, típicos de reservatórios de retenção.



Fonte: JEFFERIES (2004),

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34135/000786263.pdf?sequence=>, acessado em dezembro de 2022.

Silva (2009) mencionou que um detalhe geralmente adotado na entrada dos reservatórios de retenção é uma pequena área de pré-sedimentação separada do restante do reservatório por uma berma cuja finalidade é reter os sedimentos maiores e mais grosseiros. Esta área em geral é pavimentada para permitir a remoção dos materiais grosseiros através de equipamentos.

3.8.3.2 Estruturas de saída

De acordo com Silva (2009), as estruturas de saída, em conjunto com a curva cota/armazenamento, determinam o comportamento hidráulico do reservatório de retenção. As vazões de saída no reservatório dependem, a cada instante, do tipo de estrutura de saída, suas dimensões, e da altura da água dentro do reservatório. Os tipos mais comuns são os vertedores, que podem ter diversas formas, e os descarregadores de fundo, geralmente circulares.

Silva (2009) explicou que para o controle das vazões de pico podem ser usados tanto vertedores quanto descarregadores de fundo. Em geral, utilizam-se descarregadores (orifícios) para as vazões com períodos de retorno menores, e vertedores para as vazões com períodos de retorno maiores. Para as vazões de saída necessárias ao controle qualitativo usam-se orifícios, geralmente múltiplos e de pequeno diâmetro (Figura 20).

Figura 20 – Orifícios múltiplos.



Fonte: JEFFERIES (2004),

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34135/000786263.pdf?sequence=>, acessado em dezembro de 2022.

3.8.4 Aspectos construtivos e de manutenção de reservatórios de retenção

De acordo com Silva (2009), no fundo do reservatório de retenção é recomendado a construção de um canal para pequenas vazões, partindo da área de pré-sedimentação na entrada até as estruturas de saída. De forma que este canal deve ser construído com o intuito de proteger o fundo do reservatório para evitar erosão sendo utilizado concreto ou enrocamento para a sua confecção. O *Urban Drainage and Flood Control District* (UDFCD, 2002) recomenda que este canal tenha a capacidade de escoar duas vezes a vazão de saída da área de pré-sedimentação.

Segundo Silva (2009), como é esperado que ocorra sedimentação dentro da bacia, é importante prever um volume extra, além daqueles calculados para cumprir as funções normais do reservatório, que será gradativamente preenchido pelos sedimentos. Este volume extra pode variar de 20 a 50% do volume necessário para o controle qualitativo. Em locais em que o nível do lençol freático esteja muito superficial deve-se tomar cuidados para que não haja contaminação do mesmo devido a eventual infiltração no fundo do

reservatório. O controle da infiltração pode ser feito através da utilização de uma camada de argila compactada, uso de mantas de impermeabilização, dentre outros materiais.

Silva (2009) diz que é de fundamental importância a adoção de um programa contínuo de manutenção do reservatório de retenção para que estes possam desempenhar seu papel. Entre as ações a serem tomadas existem aquelas que devem ser executadas periodicamente e aquelas devido a grandes eventos de precipitação. As ações periódicas são a remoção da vegetação que cresce nos taludes e fundo do reservatório, a remoção de detritos como folhas e lixo nas estruturas de entrada e saída, a remoção do sedimento acumulado no fundo do reservatório ao longo do tempo, o conserto de eventuais estragos causados pela erosão etc. Quando ocorrem grandes eventos de precipitação deve ser procedida uma vistoria para verificar se ocorreram danos no reservatório de retenção, grande acúmulo de sedimentos, falha de alguma estrutura, etc.

3.8.5 Dimensionamento preliminar do reservatório de retenção

Segundo Canholi (2014), embora as variáveis hidrológicas, hidráulicas e fisiográficas do reservatório e os riscos ambientais assumidos, são fundamentais no processo de definição dos volumes a reservar, é interessante o conhecimento prévio da ordem de grandeza que os volumes detidos podem assumir, tendo em vista a pesquisa de áreas disponíveis e as atividades preliminares de planejamento.

O dimensionamento de um reservatório de retenção requer em um primeiro momento, a definição clara de seus objetivos. Esses objetivos podem ser o controle do escoamento com a finalidade de evitar alagamentos com determinados períodos de retorno, o controle da erosão dos cursos d'água a jusante ou o controle da qualidade da água em seus diversos aspectos. Desta forma, estes objetivos podem, ou não, ser atingidos pelo uso de uma mesma estrutura, sendo essa uma decisão a ser tomada na fase de planejamento. A maioria das autoridades reguladoras nos Estados Unidos exige que sejam atingidos estes três objetivos (AMEC, 2001; CASQA, 2003; UDFCD, 2002; KNOXVILLE, 2006).

O dimensionamento de reservatórios de retenção pode ser realizado por vários métodos, dos mais simples aos mais completos e elaborados, sendo os métodos preliminares mais conhecidos discriminados a seguir.

3.8.5.1 Método racional

Dos métodos existentes, o método Racional é o mais simples e fácil de ser aplicado. Sua fórmula leva em consideração o conceito de pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento, conforme a equação 4.

$$V = 0,5 \cdot (Q_{pós} - Q_{pré}) \cdot t_b \quad (4)$$

Sendo:

V = o volume de acumulação [m^3];

$Q_{pós}$ = vazão de pico no pós- desenvolvimento [m^3/s];

$Q_{pré}$ = vazão de pico no pré-desenvolvimento [m^3/s];

t_b = 3 vezes o tempo de concentração (TOMAZ, 2010).

3.8.5.2 Método de Urbonas e Glidden

Esse método foi criado para determinar volumes de detenção na cidade de Denver (Colorado, EUA). Contudo, suas relações podem ser utilizadas em outras regiões se for realizada a correção do total precipitado. As relações encontradas por Urbonas e Glidden para TR = 10 anos são apresentadas abaixo, para a vazão efluente máxima (5) e para o volume de detenção (6).

$$Q = 1,68 \cdot A \quad (5)$$

$$V = 304,8 \cdot A (0,95 \cdot I - 1,90) \quad (6)$$

Sendo:

V = volume de detenção [m^3];

A = área de drenagem [km^2];

Q = vazão [m^3/s] e

I = área impermeabilizada da bacia (%).

3.8.5.3 Método do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre

Este é um método simples realizado pela Prefeitura de Porto Alegre para estimar volumes de reservatórios de detenção. Através deste método, a estimativa do volume de

detenção pode ser realizada em função da área total da bacia contribuinte ou em função da área impermeável da bacia contribuinte, baseadas nas equações 7 e 8.

$$V = 0,02 \cdot A \quad (7)$$

$$V = 0,04 \cdot A_i \quad (8)$$

Por meio do Decreto Municipal 15.371 de 17 de novembro de 2006 foram estabelecidos critérios para o cálculo do volume de amortecimento e vazão máxima de saída para lotes com áreas inferiores a 100 ha. O volume é calculado pela equação 9.

$$V = 0,0425 \cdot A_i \quad (9)$$

Sendo:

V = volume a ser armazenado [m^3];

A = área da bacia contribuinte [m^2];

A_i = área impermeável da bacia contribuinte [m^2].

É importante relatar que após a realização dos cálculos dos três volumes, o menor volume encontrado pode ser adotado.

3.8.5.4 Método de Baker

Esse método se baseia na premissa de que o instante de vazão máxima efluente do hidrograma amortecido ocorre no cruzamento com o hidrograma de entrada, conforme descreve a equação 10.

$$V = V_{pós} \cdot \left(1 - \frac{Q_{pré}}{Q_{pós}} \right) \quad (10)$$

Sendo:

V = volume de detenção [m^3];

$V_{pós}$ = volume do escoamento no pós-desenvolvimento [m^3];

$Q_{pós}$ = vazão de pico no pós-desenvolvimento [m^3/s];

$Q_{pré}$ = vazão de pico no pré-desenvolvimento [m^3/s].

3.8.5.5 Método de Wycoff e Singh

Esse é um método simplificado para o pré-dimensionamento de pequenos reservatórios de retenção. A expressão abaixo foi desenvolvida pela análise de regressão, com dados obtidos de estudos de modelagem hidrológica. O volume de retenção é obtido pela equação 11.

$$V = 0,97 \cdot V_{pós} \cdot \left(1 - \frac{Q_{pré}}{Q_{pós}}\right)^{0,753} \quad (11)$$

Sendo:

V = volume de retenção [m³];

$V_{pós}$ = volume do escoamento no pós-desenvolvimento [m³];

$Q_{pós}$ = vazão de pico no pós-desenvolvimento [m³/s];

$Q_{pré}$ = vazão de pico no pré-desenvolvimento [m³/s].

3.8.5.6 Método de ABT e Grigg

Esse método é utilizado para uma verificação inicial e preliminar para o dimensionamento de reservatório de retenção. Ele utiliza o método Racional com o hidrograma triangular para a entrada e saída, por meio da equação 12.

$$V = V_{pós} \cdot \left(1 - \frac{Q_{pré}}{Q_{pós}}\right)^2 \quad (12)$$

Sendo:

V = volume de retenção [m³];

$V_{pós}$ = volume do escoamento no pós-desenvolvimento [m³];

$Q_{pós}$ = vazão de pico no pós-desenvolvimento [m³/s];

$Q_{pré}$ = vazão de pico no pré-desenvolvimento [m³/s].

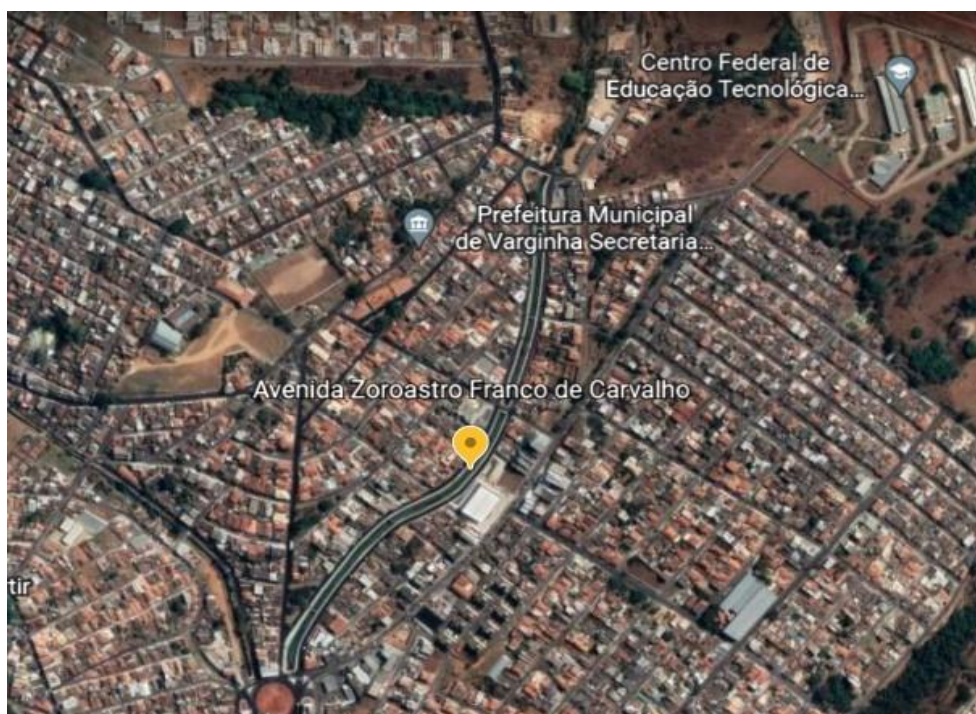
4) METODOLOGIA DE PESQUISA

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, foram coletados dados mediante visitas e medições no local, bem como programas como o AutoCAD para representar as seções de estudo. Além disso, utilizou-se a modelagem computacional dos softwares QGIS, HEC-HMS, *SisCCoh 1.1* e *Pluvio 2.1*, para se delimitar a bacia hidrográfica, avaliar o escoamento superficial e chegar à vazão de projeto do reservatório de retenção.

4.1 Local de estudo

O local de estudo, onde foi escolhido o exutório da bacia hidrográfica está situado na cidade de Varginha – MG, no Bairro Santa Maria, na Avenida Zoroastro Franco de Carvalho. A área se caracteriza pela presença de vários comércios, sendo também utilizada para caminhadas e uma academia de rua. Na Figura 21, é mostrado a referida avenida.

Figura 21 – Avenida Zoroastro Franco de Carvalho.



Fonte: Google Earth Pro (2020).

4.2 Delimitação da bacia

Para se delimitar a bacia hidrográfica foi necessário primeiramente descobrir a área de contribuição, de forma que através do software QGIS e de um arquivo disponibilizado no site da ANA com várias bacias hidrográficas do Brasil, foi possível delimitar uma sub-

bacia onde o local de estudo está inserido. Ainda utilizando o QGIS foi necessário baixar o MDE (Modelo Digital de Elevação) para o trecho em estudo para se conhecer melhor o relevo e através deste MDE foi gerado um arquivo para se trabalhar no software HEC-HMS, onde por meio deste foi possível realizar uma delimitação ainda mais refinada da sub-bacia, dividindo-a em três, com o objetivo de se fazer a modelagem hidráulica e se chegar nos hidrogramas de projeto final para cada sub-bacia.

4.3 Avaliação do escoamento superficial

Para se avaliar o escoamento superficial na Avenida Zoroastro Franco de Carvalho, foi utilizado os dados do Ribeirão Santana, como comprimento do rio e declividade, bem como as medidas estimadas do MDE, obtidos através do software HEC-HMS. Além desses dados, também foram medidas as cotas da base e do fundo do canal estudado e com a geometria do mesmo, foi possível calcular a vazão de entrada no exutório que liga a Avenida Zoroastro Franco de Carvalho a Avenida Imigrantes.

Foi calculada a vazão da ponte considerando suas galerias de drenagem ampliadas após a implantação de uma rotatória, o que contribuiu para aumentar as galerias de drenagem em aproximadamente 20%. Desta forma, pode-se avaliar o escoamento superficial no referido trecho.

4.4 Determinação da vazão de projeto

Para se determinar a distribuição temporal da chuva do reservatório de retenção, foi necessário definir através do método de Huff alguns dados: o talvegue (comprimento da sub-bacia estudada), a declividade, o desnível do talvegue, o tempo de retorno, a duração da chuva, o CN (*Curve Number*) e a área de contribuição da sub-bacia. Mediante esses dados anteriores foram possíveis calcular a infiltração máxima, a abstração inicial, o tempo de concentração, o *Lag Time*, a intensidade da chuva e a precipitação total para cada sub-bacia.

De posse de todas as informações anteriores foi possível determinar o hietograma para cada sub-bacia e com os dados desse hietograma através do software HEC-HMS foi possível encontrar o hidrograma final de projeto para a área de contribuição da bacia hidrográfica delimitada. Por fim, avaliou-se a vazão mais crítica do canal em estudo, considerando a vazão até a cota limite do canal e a vazão da ponte, escolhendo-se a de

valor mais alto e subtraindo o valor da vazão final de projeto, obtida pelo hidrograma desse valor de vazão mais crítico do trecho em estudo.

4.5 Instalação do reservatório de retenção

Para se determinar a localização do reservatório, foi analisado vários cenários, sendo um deles o tipo de reservatório, podendo ser ele in-line ou off-line. Considerando as áreas disponíveis próximas a Avenida Zoroastro Franco de Carvalho, um trecho anterior a Avenida mostrou-se viável, por possuir poucas edificações, além de ser uma área de vegetação, podendo dependendo da geometria e do volume de retenção implantar um reservatório in-line. Ressalta-se que se deve realizar um estudo topográfico, bem como de fundação para o referido trecho, de forma que a implantação do reservatório não gere impactos no seu contorno. Na Figura 22 foi apresentado uma proposta de um local para se implantar o reservatório com área de 3,67 ha e perímetro de 945 m (dados obtidos através do Google Earth Pró), vale lembrar que a geometria e o volume de retenção devem ser calculados através de um dimensionamento mais complexo.

Figura 22 – Proposta de local de implantação para o reservatório de retenção.



Fonte: Google Earth Pro (2022) – Adaptada pelo autor.

5) RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após considerar a importância e a relevância da situação de enchentes e inundações que a Avenida Zoroastro Franco de Carvalho vem sofrendo ao longo dos anos, o que acarreta não só prejuízos ambientais, mas também, conferem problemas sociais e econômicos, a prefeitura concluiu o projeto da rotatória do bairro Santa Maria no cruzamento entre a Avenida mencionada e a Avenida dos Imigrantes onde está a ponte. Este projeto foi direcionado para resolver um problema, em primeiro lugar, de mobilidade urbana, sobretudo pelo nível alto de tráfego no local, porém em segundo plano, também de ampliação dos canais de drenagem, o que aumentou o fluxo de água nas galerias, contribuindo também para reduzir o escoamento superficial no local. Entretanto, ainda com essa ampliação haverá escoamento superficial sobre a avenida mencionada e um reservatório de retenção apresenta viabilidade para controlar e mitigar os impactos no local.

5.1 Projeto da rotatória

O projeto da rotatória no bairro Santa Maria, foi uma obra destinada, principalmente, à mobilidade urbana, associada ao alto tráfego de veículos no local, agregado aos horários de pico, de forma que os semáforos instalados no local possuíam um tempo de espera relativamente alto, o que provocava lentidão no trânsito. Na Figura 23, é mostrado como era o trecho antes da implantação da rotatória.

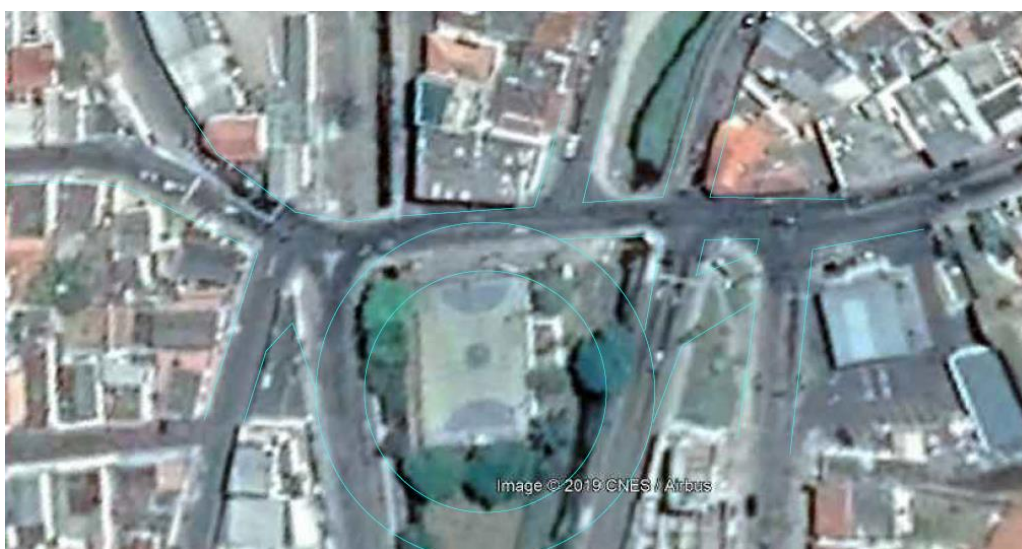
Figura 23 – Trecho da rotatória antes do projeto.



Fonte: Google Earth Pro (2018).

O projeto foi realizado pela prefeitura de Varginha, com o apoio do engenheiro projetista William Gregório Grande, que é secretário de obras do município. Um pré-projeto foi feito, buscando-se delimitar a área da rotatória, o que implicou em desapropriações de residências, remoção da quadra do bairro Santa Maria, bem como de ampliação das galerias de drenagem sobre a ponte que liga a Avenida Zoroastro Franco de Carvalho à Avenida Imigrantes. Na Figura 24, é mostrado a delimitação do local de instalação da rotatória.

Figura 24 – Área demarcada do pré-projeto.



Fonte: Eng. William Gregório Grande (2019).

O projeto ampliou os canais de drenagem sob a ponte que será objeto de estudo, uma vez que se trata do ponto de exutório. Nas Figuras 25 e 26 são mostrados como era a ponte antes da implantação da rotatória e depois, respectivamente.

Figura 25 – Ponte sobre a Avenida Imigrantes antes do projeto da rotatória.



Fonte: Google Earth Pro (2016).

Figura 26 – Ponte sobre a Avenida Imigrantes após o projeto da rotatória.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Nota-se que na Figura 26 existe mais uma saída para o fluxo de água na ponte, no lado direito da imagem, o que contribui para aumentar o escoamento da água em períodos de cheia, reduzindo dessa forma a possibilidade de episódios de enchentes e inundações. Esta saída é denominada aduela retangular monolítica de concreto e foi fabricada pela empresa Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto (ABTC). Antes haviam duas aduelas na ponte, sendo que após a implantação da rotatória foram adicionados três dessas aduelas até o trecho que termina a rotatória, conforme mostrado na Figura 27.

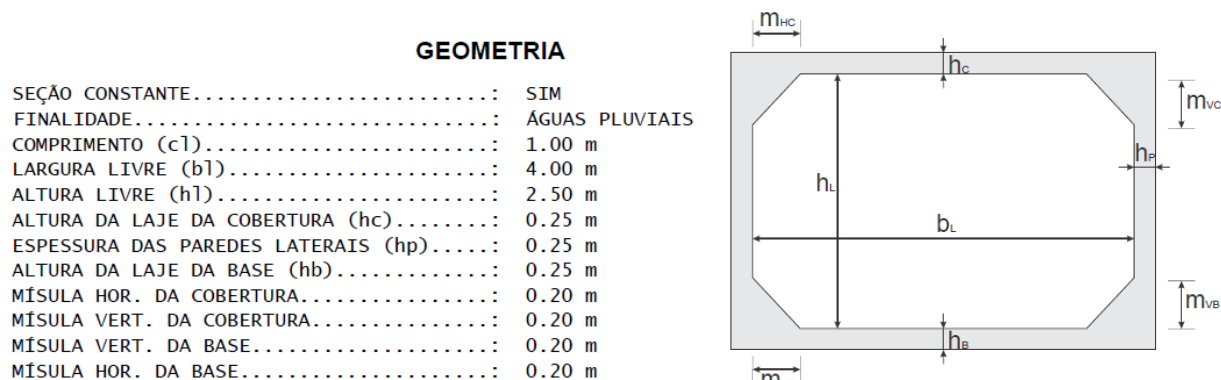
Figura 27 – Saída do exutório da ponte sobre a Avenida Imigrantes.



Fonte: Próprio Autor (2022).

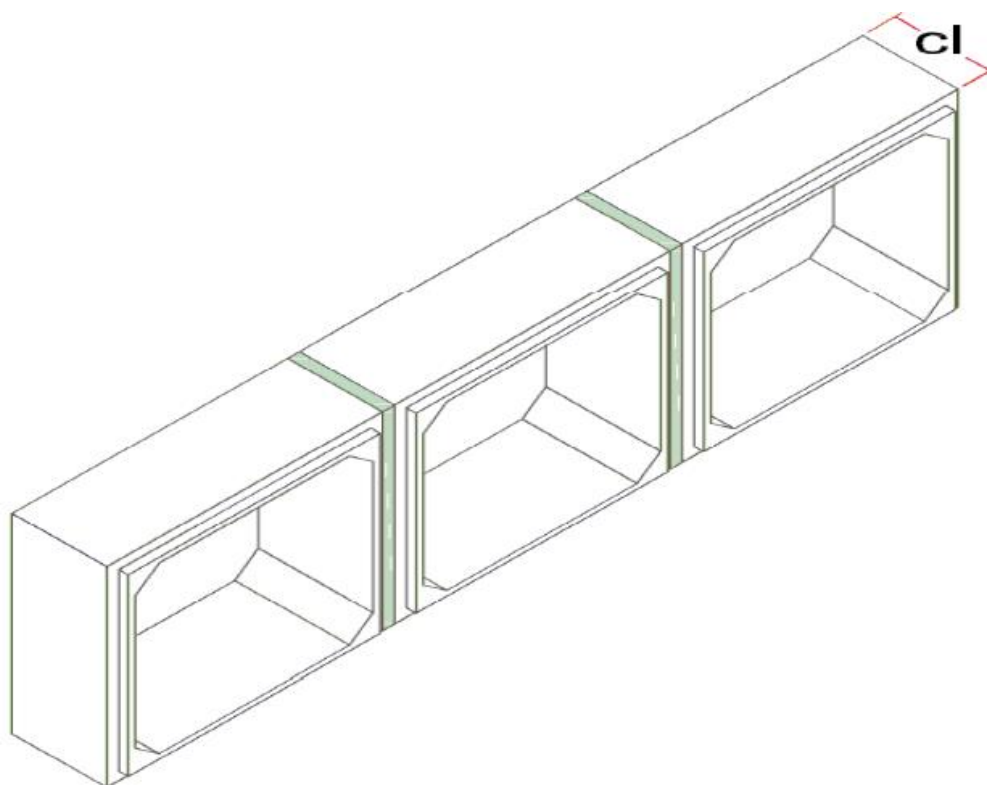
Nas Figuras 28 e 29, são mostrados a geometria e o modo de instalação das aduelas, respectivamente.

Figura 28 – Geometria da aduela retangular monolítica de concreto.



Fonte: Relatório de resultados aduelas (ABTC, 2019).

Figura 29 – Modo de instalação das aduelas no projeto da rotatória.



Fonte: Relatório de resultados aduelas (ABTC, 2019).

5.2 Caracterização da bacia hidrográfica

Varginha é localizada no sul do estado de Minas Gerais, com latitude 21° 33' 05" S e longitude 45° 25' 49" W e altitude 916 m, de acordo com dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), com uma população estimada de 137.608 habitantes,

uma área territorial de 395,396 km² e densidade demográfica de 311,29 hab./km². Possui o bioma caracterizado como Mata Atlântica, sua temperatura média anual é de 23,1 C° e o índice pluviométrico anual é de 1.350 mm (IBGE, 2021).

Varginha encontra-se inserida na bacia hidrográfica do Rio Grande de acordo com a Figura 30, onde deságua o Rio Verde, este que por sua vez é responsável pelo abastecimento e saneamento de toda a população do município. No Rio Grande se situa a sub-bacia do Rio Verde, que se encontra na mesorregião sul sudoeste e abrange um total de 23 sedes municipais com uma população total estimada de 423.449 habitantes e uma área de drenagem de 6.924 km², a bacia possui clima úmido, apresentando de um a dois meses secos por ano e disponibilidade hídrica entre 10 e 20 L/s/km² (IGAM, 2022).

Figura 30 – Bacia hidrográfica do Rio Grande.



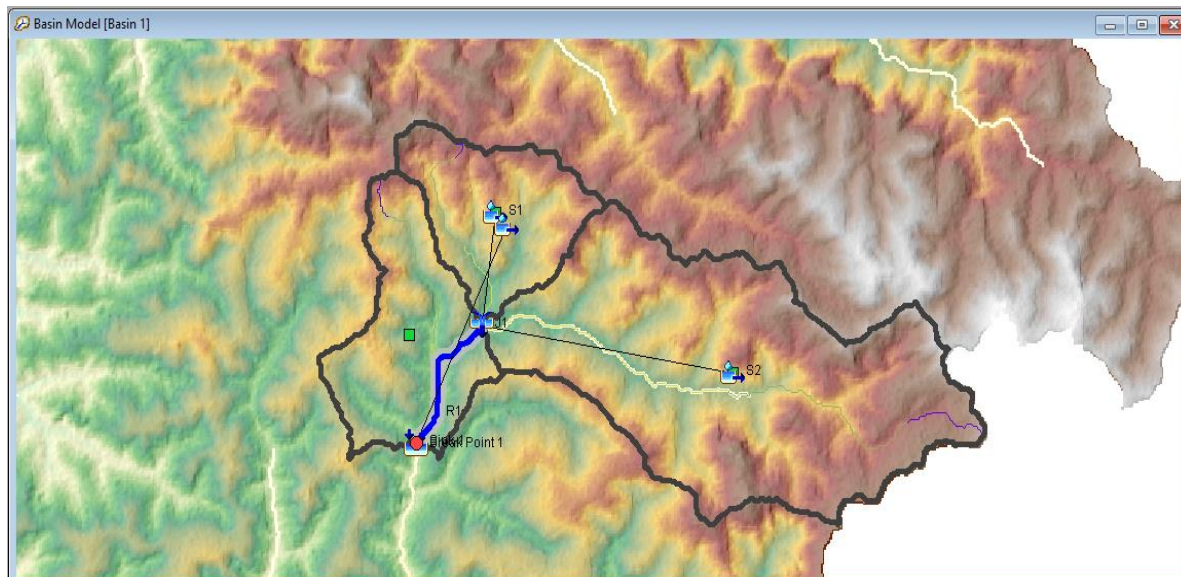
Fonte: IGAM (2014), <https://www.cbhsapucaia.org.br/Pagina.do@idSecao=37.html>, acessado em setembro de 2022.

5.2.1 Delimitação da bacia hidrográfica

A delimitação de uma bacia hidrográfica é possível através de alguns softwares. A bacia inserida no local de estudo foi delimitada através dos softwares QGIS e HEC-HMS, sendo utilizado o software QGIS inicialmente para se abrir o arquivo da ANA com todas as sub-bacias do Brasil, e logo após o site Earth Explorer para a obtenção do MDE (Modelo Digital de Elevação); com o auxílio do próprio QGIS trabalhou-se esse MDE; recortando a

área de contribuição exata que discrimina a bacia do Ribeirão Santana e posteriormente foi exportado para o software HEC-HMS esse arquivo, de modo a discretizar em três sub-bacias. Na Figura 31, é mostrado a delimitação da área de contribuição que foi discretizada em bacias menores através do software HEC-HMS, sendo criada três sub-bacias (S1, S2 e S3), uma junção (J1) e um trecho de rio (R1) que contribuem conjuntamente para o fluxo de água no exutório (Break Point 1).

Figura 31 – Área de contribuição do Ribeirão Santana delimitada por software.



Fonte: HEC-HMS 4.9 – Adaptada pelo autor.

5.3 Método SCS-CN (Soil Conservation Service)

O método SCS-CN tem como principal parâmetro o CN, que depende do tipo e uso de solo (representado como grupo hidrológico de solos), cobertura vegetal, parcela de área impermeável, interceptação e armazenamento superficial e a umidade antecedente do solo (USDA, 1986).

Devido a sua simplicidade matemática e a credibilidade da sua instituição de origem (NRCS), o método do SCS-CN é amplamente aceito e popular na engenharia hídrica (PONCE; HAWKINS, 1996). Publicados em meados de 1950, os valores tabelados de CN (SCS, 1956) foram obtidos para condições específicas usando dados de precipitação e vazão observados em pequenas bacias rurais, localizadas majoritariamente no leste, centro-oeste e sul dos Estados Unidos da América. Apesar de seu amplo uso, tais condições específicas podem tornar restrita a aplicação do método.

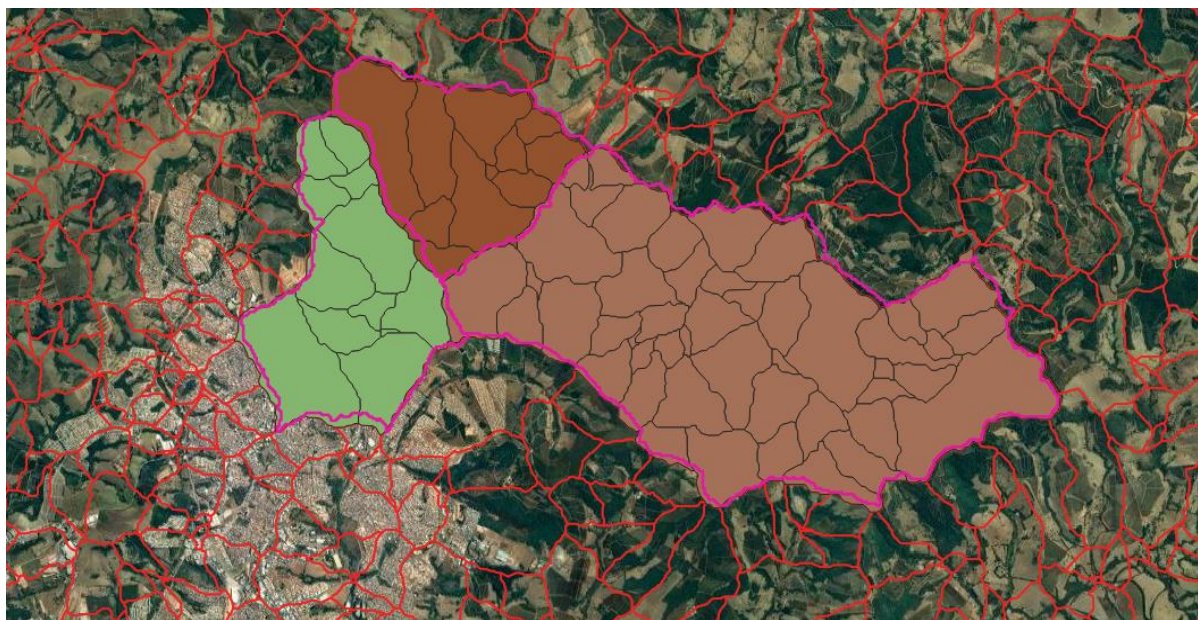
No Brasil, apesar do método SCS-CN ser amplamente usado para estimar o escoamento superficial em estudos hidrológicos e projetos de infraestrutura, drenagem e

irrigação, há poucos valores de CN calculados usando dados observados de chuva e vazão para bacias hidrográficas brasileiras (OLIVEIRA *et al.*, 2016; SARTORI; HAWKINS; GENOVEZ, 2011).

5.3.1 Curve Number (Método SCS)

Para obter o hidrograma de projeto, foi necessário primeiramente descobrir o CN (*Curve Number*) referente a área de contribuição estudada, de forma que através dos softwares QGIS e HEC-HMS, e com o auxílio do arquivo fornecido no site da ANA (Agência Nacional das Águas) com todos os CN's por regiões do Brasil, foi possível encontrar o valor especificado para a área de estudo. Vale destacar que caso exista algum trabalho regional com dados mais detalhados de CN, este deve ser utilizado, uma vez que trará resultados mais satisfatórios para o estudo. Na Figura 32, é observado o recorte realizado no software QGIS, delimitando os valores CN's para as três bacias dentro da área de contribuição estudada.

Figura 32 – CN delimitado na área de contribuição.



Fonte: QGIS – Adaptada pelo autor.

Para se obter o valor médio do CN para cada sub-bacia em estudo (S1, S2 e S3) foi necessário realizar uma média entre todos o CN's que estão discretizados em bacias ainda menores dentro dessas sub-bacias. Dessa forma através da área total de cada sub-bacia e do CN médio, obtidos por meio do software QGIS, foi possível chegar ao valor do CN final, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – CN final para cada sub-bacia.

CN Final S1
60
CN Final S2
58,33
CN Final S3
64,82

Fonte: Próprio autor.

Este valor varia entre 0 e 100 e estará mais próximo de 0, quando houver muita infiltração e pouco escoamento superficial, por outro lado ele estará mais próximo de 100, quando houver pouca infiltração e um elevado escoamento superficial no trecho de estudo.

5.3.2 Infiltração potencial máxima (S)

Denomina-se infiltração, ao fenômeno de penetração da água nas camadas de solo próximas à superfície do terreno, movendo-se para baixo, através dos vazios, sob a ação da gravidade, até atingir uma camada impermeável, que a retém, formando então a água do solo (PINTO *et al.*, 1976). Essa infiltração pode ser calculada de várias formas, porém para o presente estudo foi também baseada no método SCS utilizando a equação 13.

$$S_1 (mm) = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (13)$$

$$S_1 (mm) = 25,4 \left(\frac{1000}{60} - 10 \right) \rightarrow S_1 = 169,33 \text{ mm}$$

$$S_2 (mm) = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

$$S_2 (mm) = 25,4 \left(\frac{1000}{58,33} - 10 \right) \rightarrow S_2 = 181,45 \text{ mm}$$

$$S_3 (mm) = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

$$S_3 (mm) = 25,4 \left(\frac{1000}{64,82} - 10 \right) \rightarrow S_3 = 137,85 \text{ mm}$$

5.3.3 Abstração inicial (la)

Segundo Mello *et al.* (2003), a abstração inicial é uma parcela da precipitação total que ocorreu anteriormente à precipitação efetiva. Os autores relataram que esta parcela infiltrou no solo ou foi detida ou armazenada pela vegetação e obstáculos no solo. Deste modo é de suma importância o desenvolvimento de modelos físicos matemáticos que sejam capazes de prever as vazões das bacias hidrográficas, através de vários cenários de usos e ocupação dos solos (MELLO *et al.*, 2007).

De acordo com SCS-CN este índice corresponde a 20% da capacidade de armazenamento de água do solo. Contudo, é importante destacar que esse valor foi obtido a partir de pesquisas realizadas em locais com condições físicas e climáticas diferentes das regiões hidrológicas brasileiras. Desta forma, pode-se calcular a abstração inicial de acordo com o método SCS utilizando a equação 14.

$$la_{S1} (mm) = 0,2 \cdot S_1 \quad (14)$$

$$la_{S1} (mm) = 0,2 \cdot 169,33 \rightarrow la_{S1} = 33,87 \text{ mm}$$

$$la_{S2} (mm) = 0,2 \cdot S_2$$

$$la_{S2} (mm) = 0,2 \cdot 181,45 \rightarrow la_{S2} = 36,29 \text{ mm}$$

$$la_{S3} (mm) = 0,2 \cdot S_3$$

$$la_{S3} (mm) = 0,2 \cdot 137,85 \rightarrow la_{S3} = 27,57 \text{ mm}$$

5.3.4 Tempo de concentração (tc)

Existem muitas equações desenvolvidas para estimar o tempo de concentração de bacias hidrográficas as quais geralmente apresentam resultados divergentes. Dentre as equações mais utilizadas por apresentarem resultados satisfatórios para muitas bacias, foi utilizada no estudo a equação utilizada no método Califórnia Culverts Practice (1942) que é uma adaptação da equação de Kirpich (1940) (PAIVA; PAIVA, 2003).

Para se calcular o tempo de concentração da área de contribuição, foram extraídos os dados do HEC-HMS de cada sub-bacia, sendo o talvegue, que pode ser definido como a distância em planta entre o exutório e o ponto mais afastado da bacia (L) e o desnível entre esses pontos (H). Os dados de talvegue e desnível obtidos para as sub-bacias foram: $L_{S1} = 4,57$ km e $H_{S1} = 201,03$ m; $L_{S2} = 11,92$ km e $H_{S2} = 252,94$ m e $L_{S3} = 5,68$ km e $H_{S3} = 201,47$ m.

De acordo com esses dados foi determinado o tempo de concentração (t_c) de cada sub-bacia por meio da equação 15. Esse dado refere-se ao tempo necessário para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada, por meio do método Califórnia Culverts Practice.

$$t_{c,S1} = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (15)$$

$$t_{c,S1} = 57 \left(\frac{(4,57)^3}{201,03} \right)^{0,385} \rightarrow t_{c,S1} = 42,79 \text{ min}$$

$$t_{c,S2} = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

$$t_{c,S2} = 57 \left(\frac{(11,92)^3}{252,94} \right)^{0,385} \rightarrow t_{c,S2} = 118,53 \text{ min}$$

$$t_{c,S3} = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

$$t_{c,S3} = 57 \left(\frac{(5,68)^3}{201,47} \right)^{0,385} \rightarrow t_{c,S3} = 54,96 \text{ min}$$

Sendo:

t_c = tempo de concentração da bacia [min];

L = talvegue, distância horizontal entre o exutório e ponto mais distante da bacia [km];

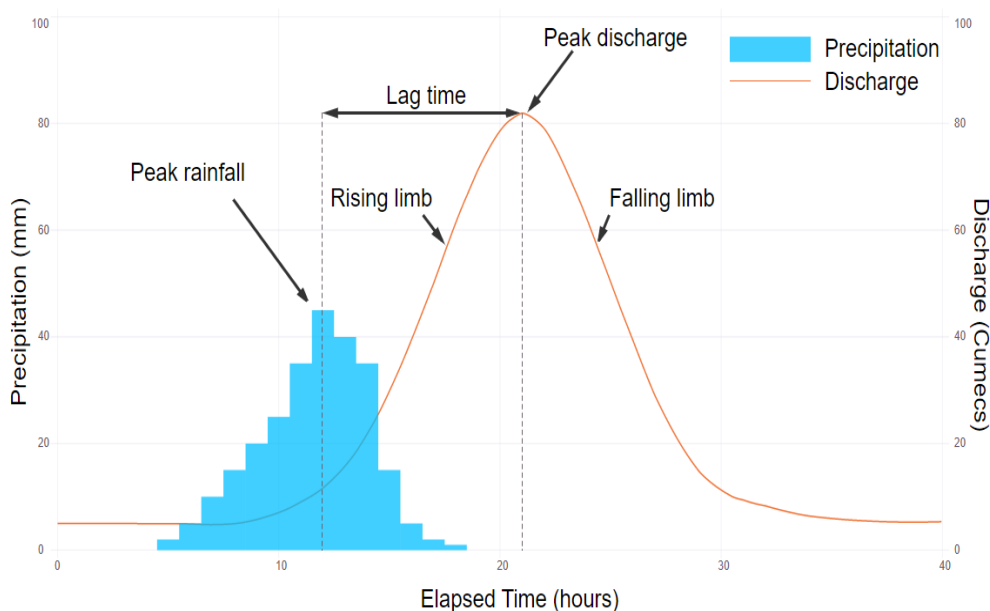
H = diferença de cota altimétrica entre o ponto mais alto e o exutório da bacia [m].

Desta forma os tempos de concentração encontrados para cada sub-bacia (S1, S2 e S3), do Ribeirão Santana da Avenida Zoroastro Franco de Carvalho foram, respectivamente, de 42,79 min, 118,53 min e 54,96 min.

5.3.5 Lag time (t_L)

O *Lag time*, ou tempo de atraso (t_L) é uma medida relacionada com a rapidez com que um córrego responde às chuvas que produzem o escoamento sobre sua bacia hidrográfica (MCENROE *et al.*, 2016). Ele é um índice importante que reflete as características hidrológicas de uma bacia hidrográfica (HAGA *et al.*, 2005) e, é crítico ao usar hidrogramas de inundação para determinar o fluxo e o horário de picos para o planejamento, projeto e operação de infraestrutura hidráulica (YOO *et al.*, 2019). Na Figura 33, é mostrado um exemplo de *Lag time*:

Figura 33 – Exemplo de Lag time.



Fonte: Geographyas AS Notes (2014), <https://geographyas.info/rivers/discharge-and-hydrographs/>, acessado em dezembro de 2022.

De acordo com o método do SCS, que corresponde a 60% do tempo de concentração, tem-se que o valor do *Lag time* para cada sub-bacia de acordo com equação 16, foram:

$$t_{L,S1}(min) = 0,6 \cdot t_c \quad (16)$$

$$t_{L,S1} = 0,6 \cdot 42,79 \rightarrow t_{L,S1} = 25,67 \text{ min}$$

$$t_{L,S2}(min) = 0,6 \cdot t_c$$

$$t_{L,S2} = 0,6 \cdot 118,53 \rightarrow t_{L,S2} = 71,12 \text{ min}$$

$$t_{L,S2}(min) = 0,6 \cdot t_c$$

$$t_{L,S3} = 0,6 \cdot 54,96 \rightarrow t_{L,S2} = 32,97 \text{ min}$$

5.3.6 Intensidade máxima de chuva

Para se chegar na vazão máxima de projeto, primeiramente foi calculada a intensidade máxima de chuvas para a cidade de Varginha utilizando a equação de intensidade, duração e frequência (IDF), também conhecida como equação de chuvas intensas, que caracteriza a relação dessas três grandezas. Os fatores locais utilizados na equação 17 foram obtidos através do *software Pluvio 2.1* desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos da Universidade de Viçosa.

$$i = \frac{aT_r^n}{(t_c + b)^m} \quad (17)$$

Sendo que:

i = intensidade [mm/h];

T_r = tempo de retorno [anos];

t_c = duração da chuva [min];

a , b , m e n = fatores locais.

Os fatores a , b , m e n para a cidade de Varginha extraídos do *Pluvio 2.0* foram, respectivamente, 5.987,104; 32,634; 1,087 e 0,218 conforme mostrado na Figura 34.

Figura 34 – Parâmetros da equação IDF para Varginha-MG.

The screenshot shows the Pluvio 2.1 (2022) software interface. On the left, a map of Minas Gerais is displayed with Varginha highlighted in blue. The map includes coordinates: 45°25'49" longitude and 21°33'05" latitude. On the right, a panel lists 'Estações' (Acaiaça, Acesita, Aimorés, Aiuruoca, Alto da Boa Vista, Andreândia, Aracuaí, Araguari, Araxá, Brinco (ANFF)) and 'Localidades' (Vargem do Amargoso, Vargem Grande do Rio Pardo, Vargem Linda, Varginha, Varão de Minas, Várzea Bonita, Várzea da Palma, Varzelândia, Vau-Açu, Vazante). The 'Varginha' locality is selected. Below the lists are buttons for 'Interpolação', 'Relatório', 'Ajuda', 'Cancelar', and 'Fechar'. At the bottom, the 'Parâmetros da Equação IDF' are shown: K: 5987,104, a: 0,218, b: 32,634, c: 1,087. There are also input fields for 'Latitude' and 'Longitude' with a 'Calcular' button.

Fonte: Software Pluvio 2.1 (2022).

$$i_{S1} = \frac{(5987,104 \cdot 100^{0,218})}{(42,79 + 32,634)^{1,087}} = 148,72 \text{ mm/h}$$

$$i_{S2} = \frac{(5987,104 \cdot 100^{0,218})}{(118,53 + 32,634)^{1,087}} = 69,85 \text{ mm/h}$$

$$i_{S3} = \frac{(5987,104 \cdot 100^{0,218})}{(54,96 + 32,634)^{1,087}} = 126,40 \text{ mm/h}$$

Para drenagem pluvial, é comum o emprego de um tempo de retorno entre 2 e 10 anos, porém para obras de macrodrenagem é comumente utilizado períodos de retorno entre 50 e 100 anos, sendo considerado no estudo um T_r de 100 anos, conferindo uma menor probabilidade de ocorrência do fenômeno e aumentando a segurança da estrutura a se dimensionar. Os tempos de concentração adotados para as sub-bacias (S1, S2 e S3) foram 42,79 min, 118,53 min e 54,96 min, respectivamente. Dessa forma, foi obtida uma intensidade máxima de chuva de 148,72 mm/h, 69,85 mm/h e 126,40 mm/h.

5.3.7 Precipitação total

A precipitação total pode ser calculada multiplicando a intensidade máxima de chuva (mm/h) pelo tempo de duração da chuva, que para este estudo será igualada ao tempo de concentração (em horas). Desta forma, pela equação 18, tem-se para cada sub-bacia:

$$P \text{ (mm)} = i \cdot tc \quad (18)$$

$$P_{S1} = 148,72 \cdot 1 \rightarrow P_{S1} = 148,72 \text{ mm}$$

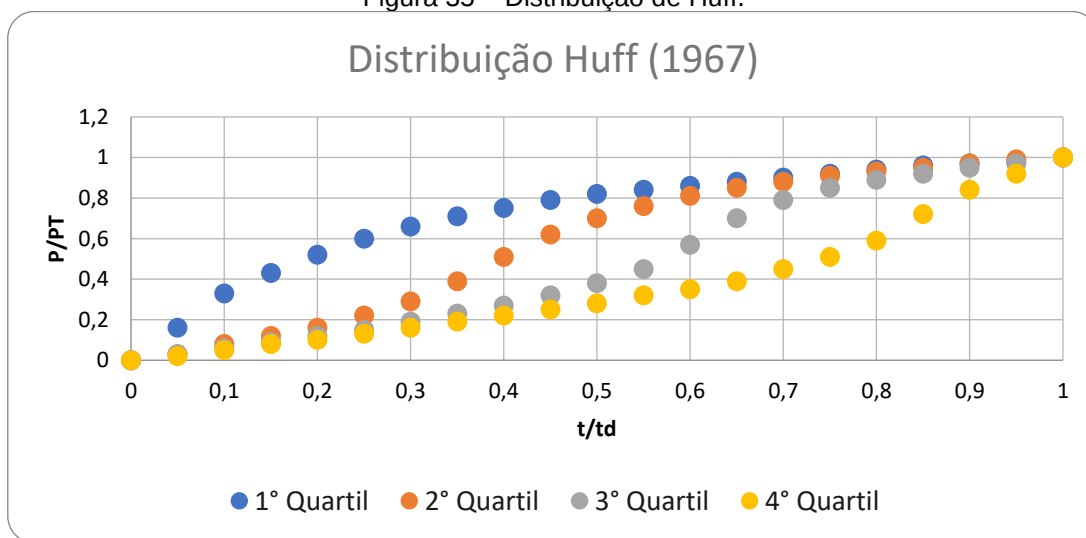
$$P_{S2} = 69,85 \cdot 2 \rightarrow P_{S2} = 139,7 \text{ mm}$$

$$P_{S3} = 126,4 \cdot 0,916 \rightarrow P_{S3} = 115,78 \text{ mm}$$

5.3.8 Hietograma

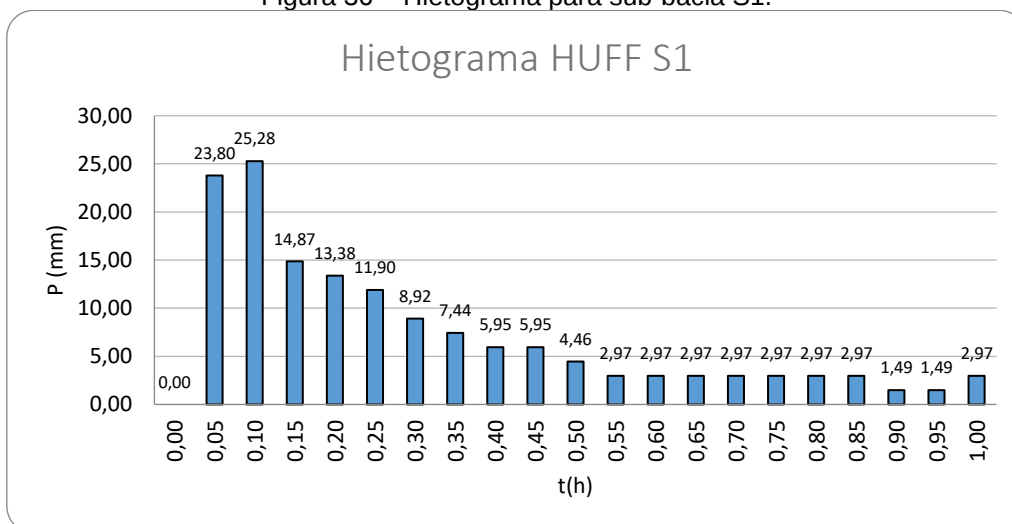
Foi utilizado os dados da curva azul, de acordo com Figura 35, que representa o primeiro quartil pelo método de Huff, que corresponde a chuva menores que 12 horas. Sendo utilizado esse quartil, uma vez que a duração da chuva que foi igualada ao tempo de concentração para as três sub-bacias não ultrapassou 2 horas, logo pode-se determinar os hietogramas para cada sub-bacia (S1, S2 e S3) de acordo com as Figuras 36, 37 e 38.

Figura 35 – Distribuição de Huff.



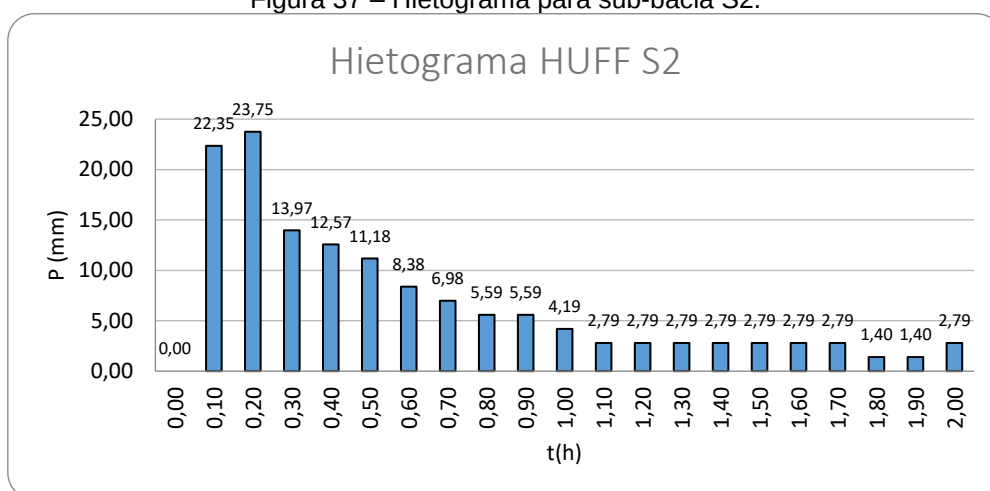
Fonte: Sobre as águas (2022).

Figura 36 – Hietograma para sub-bacia S1.



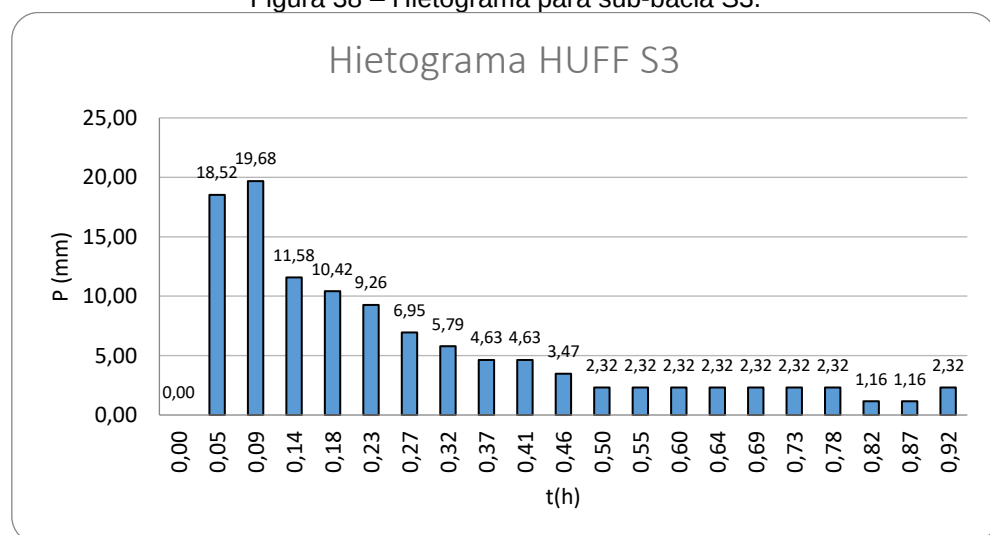
Fonte: Adaptado de Sobre as águas (2022).

Figura 37 – Hietograma para sub-bacia S2.



Fonte: Adaptado de Sobre as águas (2022).

Figura 38 – Hietograma para sub-bacia S3.

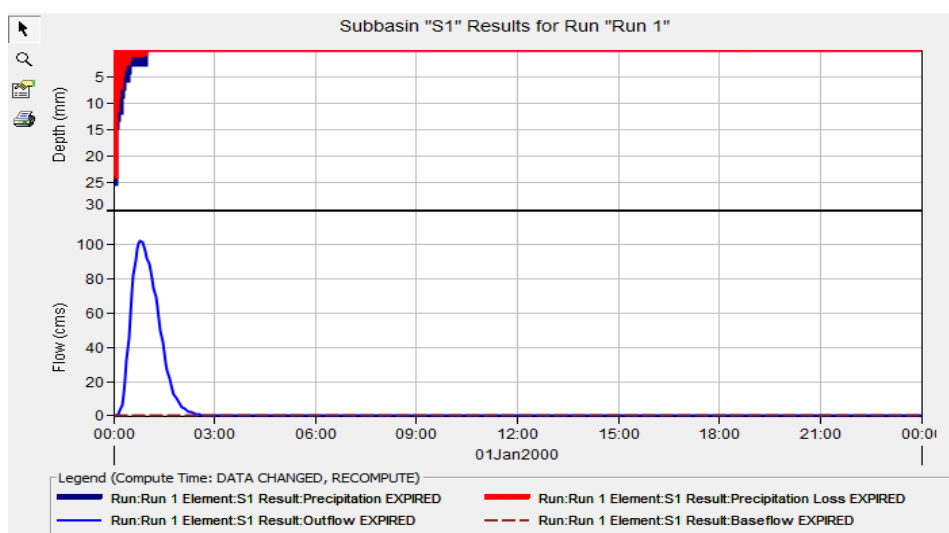


Fonte: Adaptado de Sobre as águas (2022).

5.3.9 Hidrograma final de projeto

Através dos dados de chuva dos hietogramas anteriores, foi possível chegar ao hidrograma de projeto para cada sub-bacia estudada, através da modelagem hidráulica realizada no software HEC-HMS, sendo considerado o evento entre 1 de janeiro de 2000 até 2 de janeiro de 2000, data esta hipotética apenas para realizar a modelagem. Na Figura 39, foi mostrado o hietograma na parte superior, sendo que a parte vermelha corresponde as perdas e a parte em azul corresponde o escoamento superficial e na parte inferior o hidrograma para a bacia S1, sendo a vazão de pico máxima, de 102,3 m³/s.

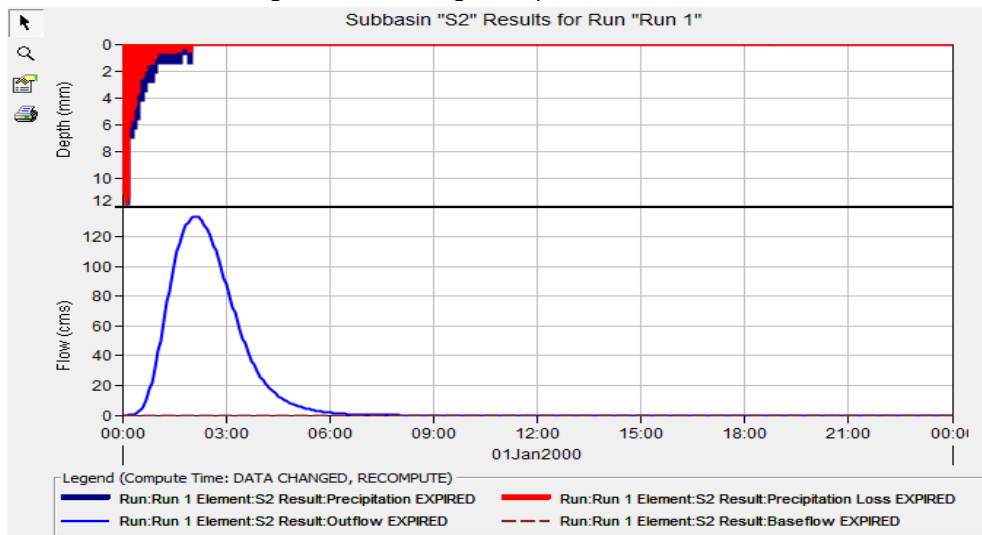
Figura 39 – Hidrograma para sub-bacia S1.



Fonte: Adaptado de HEC-HMS 4.9 (2022).

Na Figura 40, foi apresentado o hidrograma para a bacia S2, sendo a vazão de pico máxima, de 133,7 m³/s.

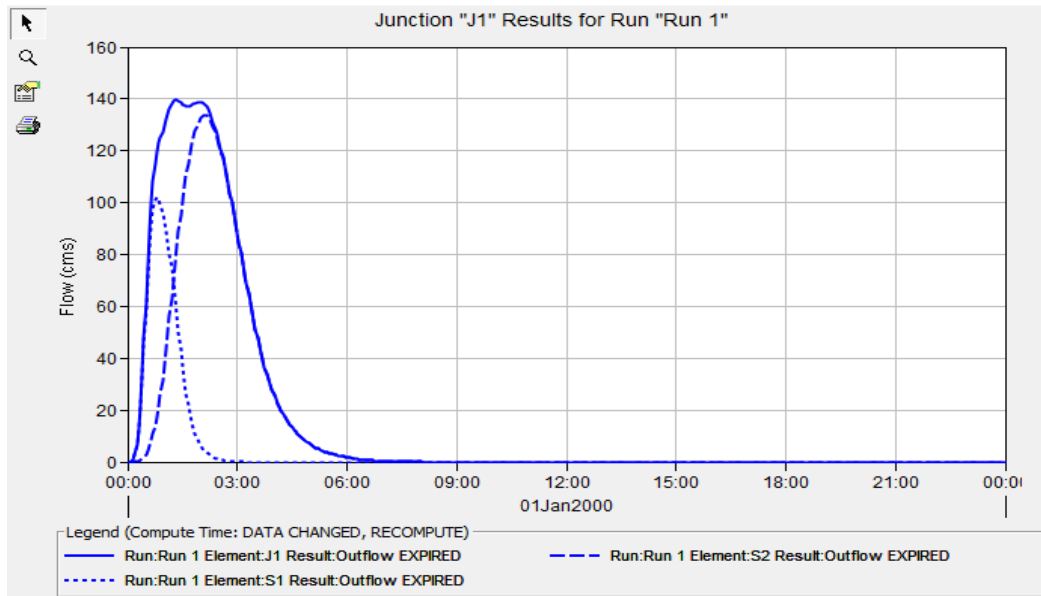
Figura 40 – Hidrograma para sub-bacia S2.



Fonte: Adaptado de HEC-HMS 4.9 (2022).

Na Figura 41, foi apresentado o hidrograma para a junção J1, sendo está a combinação das sub-bacias anteriores, tendo como vazão de pico máxima, um valor de 139,9 m³/s.

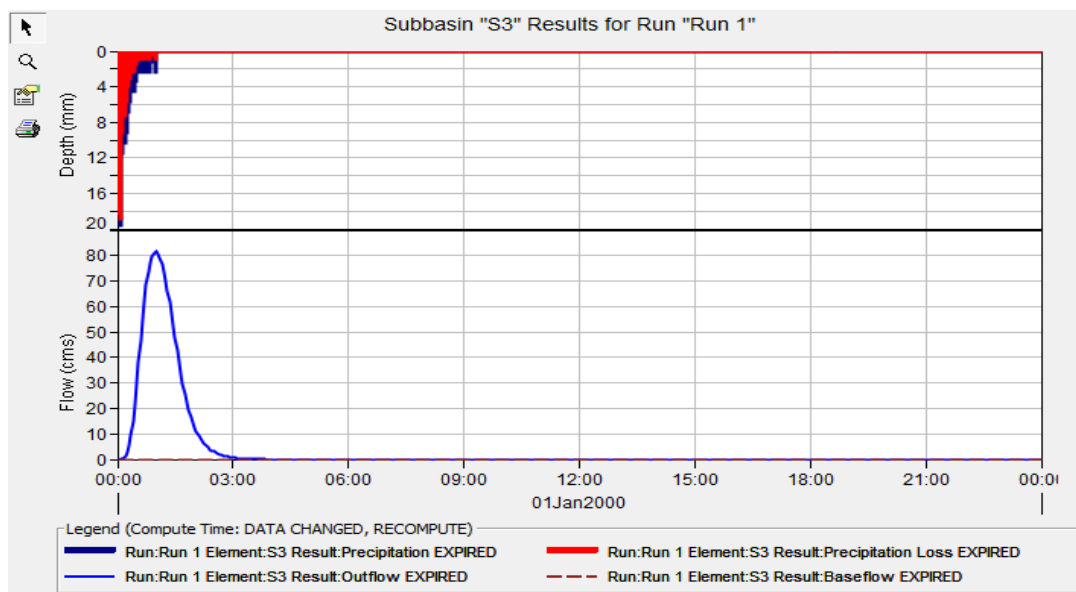
Figura 41 – Hidrograma para a junção J1.



Fonte: Adaptado de HEC-HMS 4.9 (2022).

Na Figura 42, foi apresentado o hidrograma para a bacia S3, sendo a vazão de pico máxima, de 81,4 m³/s.

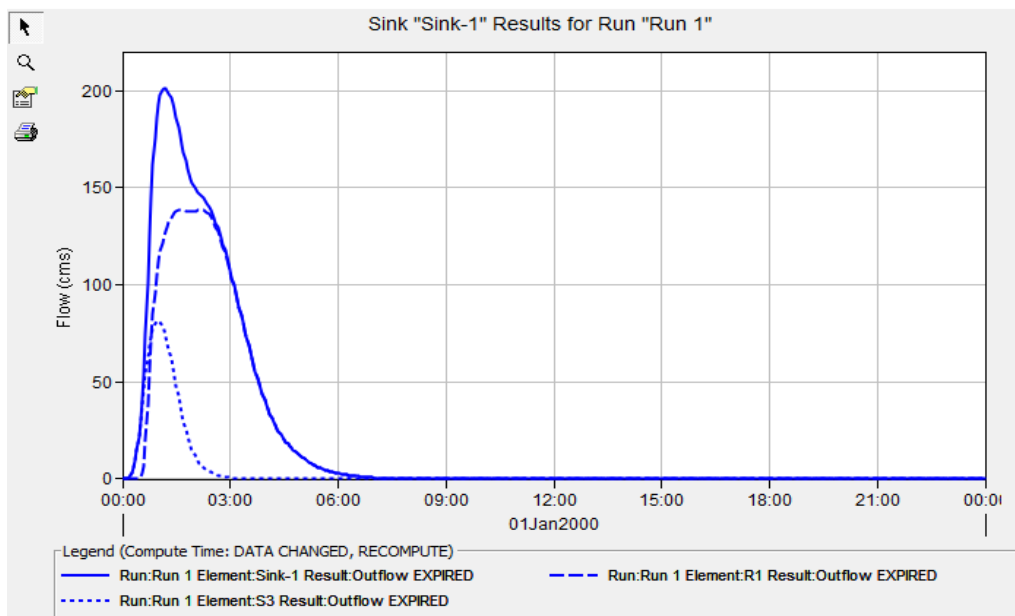
Figura 42 – Hidrograma para sub-bacia S3.



Fonte: Adaptado de HEC-HMS 4.9 (2022).

Na Figura 43, foi apresentado o hidrograma final de projeto, que representa a combinação das três sub-bacias (S1, S2 e S3), sendo a vazão de pico máxima, de 201 m³/s.

Figura 43 – Hidrograma final de projeto.



Fonte: Adaptado de HEC-HMS 4.9 (2022).

5.3.10 Vazão máxima suportada pelo canal vegetado

Considerando o canal com geometria retangular para facilitar os cálculos através do software HEC-HMS (sabendo-se que a geometria real é trapezoidal), sendo a cota da base com elevação de 835 m e a cota da crista de 838 m, tem-se um desnível de 3 m. A largura do canal é de 7 m e dessa forma sua área é de 21 m². O perímetro molhado corresponde a soma da largura com duas vezes o desnível, sendo ela de 13 m. O raio hidráulico corresponde a área da seção do canal dividida pelo perímetro molhado, sendo assim ele tem o valor de 1,61538 m. A vazão de entrada no exutório pode ser calculada através da equação de Manning. Para tanto, deve-se determinar o coeficiente de Manning que está relacionado com a rugosidade do trecho. Para o canal em estudo o coeficiente equivalente é de 0,067, uma vez que o canal apresenta fundo com vegetação natural e parede em gabião. Desta forma, utilizando a equação 19 de Manning, considerando a declividade de 0,00984, chega-se ao valor da vazão de entrada no exutório.

$$Q = \frac{A}{n} \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

$$Q = \frac{21}{0,067} \cdot (1,61538)^{\frac{2}{3}} \cdot (0,00984)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = 42,8048 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sendo:

A = área do canal [m²];

n = coeficiente de rugosidade [adm.];

R_H = raio hidráulico [m];

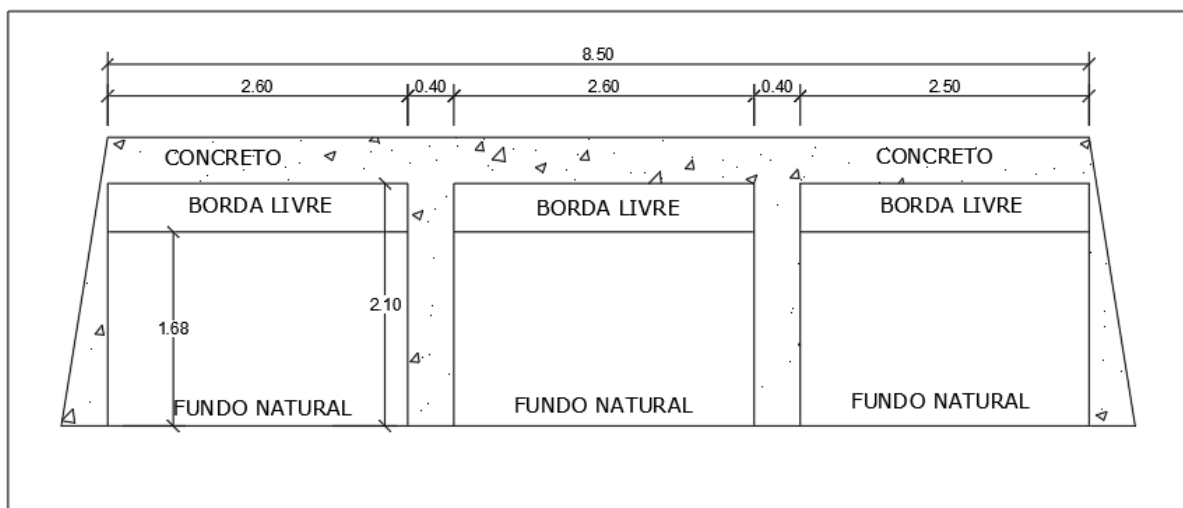
S = declividade [m/m].

Essa vazão foi usada como dado de entrada no software HEC-HMS para se chegar ao hidrograma final de projeto.

5.3.11 Vazão da ponte

Para se determinar a vazão máxima da ponte, foi utilizado os dados da seção da ponte de acordo com a Figura 44, adotando uma borda livre de 20% da altura, sendo assim a altura molhada considerada foi de 1,68 m.

Figura 44 – Ponte sobre Avenida Imigrantes.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Para o cálculo da vazão da ponte foi utilizado o software *SisCCoH 1.1* adotando o sistema em escoamento livre, considerando uma seção regular, uniforme e retangular, aplicando a profundidade de 1,68 m, considerando uma borda livre de 20%, declividade de

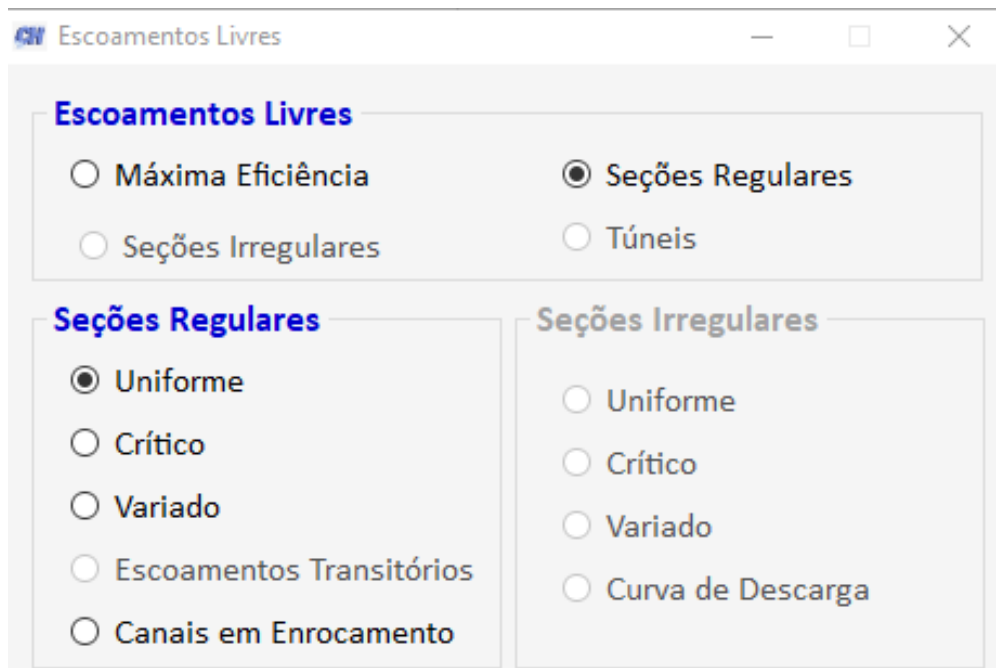
3,83% (obtida, através de um trabalho de conclusão de curso sobre a referida ponte, AGNES, 2015), coeficiente de Manning equivalente como 0,045 (paredes da ponte em concreto e fundo natural) e largura de 8,5 m. A entrada de dados e os resultados são apresentados nas Figuras 45, 46, 47 e 48.

Figura 45 – Página inicial do software.



Fonte: SisCCoh 1.1 (2022).

Figura 46 – Seleção de seção regular e uniforme.



Fonte: Adaptado de SisCCoh 1.1 (2022).

Figura 47 – Entrada de dados para canal de seção retangular.

Escoamento Livre - Seções Regulares - Uniforme

Dados Resultados Quantitativos Relatório

Tipo de seção :

☒ Retangular ☐ Triangular

☐ Trapezoidal ☐ Circular

Variável a ser calculada :

☐ Profundidade ☐ Coeficiente de Manning

☒ Vazão ☐ Declividade

Parâmetro opcional para seção circular :

☐ Relação Máxima Y/D

Dados necessários:

Profundidade (m) 1.68

Coeficiente de Manning 0.045 ?

Declividade (m/m) 0.0383

Largura (m) 8.5

Fonte: Adaptada de SisCCoh 1.1 (2022).

Figura 48 – Resultados obtidos para o canal.

Escoamento Livre - Seções Regulares - Uniforme

Dados Resultados Quantitativos Relatório

Parâmetros Hidráulicos :

Área molhada (m^2)	14.28
Coeficiente de Manning	0.045
Declividade (m/m)	0.0383
Largura superficial (m)	8.5
Número de Froude	1.212
Profundidade do fluxo (m)	1.68
Vazão (m^3/s)	70.2874
Velocidade (m/s)	4.922

Fonte: Adaptado de SisCCoh 1.1 (2022).

Nota-se que a vazão máxima suportada pelo canal vegetado (42,8048 m³/s) é menor do que a vazão suportada pela ponte (70,2874 m³/s). Dessa forma, a capacidade máxima do canal (42,8048 m³/s) é inferior a vazão máxima de pico (201 m³/s), que representa uma chuva de projeto com período de retorno de 100 anos, isso significa que nesse tempo há uma probabilidade de 1% para ocorrer uma chuva nessa magnitude no primeiro ano, sendo essa probabilidade aumentada nos próximos anos.

O escoamento superficial na Avenida Zoroastro Franco de Carvalho considerando esse episódio e a vazão crítica, que no caso é a vazão máxima suportada pelo canal vegetado (42,8048 m³/s) será de aproximadamente 152,8 m³/s. Dessa forma, uma medida de controle para esse escoamento superficial é o armazenamento em um reservatório de detenção.

5.3.12 Vazão excedente

Considerando a vazão máxima suportada pelo canal vegetado e a vazão na ponte, observou-se que a mais crítica é a primeira, visto que ela suporta menos água, assim será utilizada essa para se chegar à vazão excedente na Avenida Zoroastro Franco de Carvalho. Para tanto, deve-se subtrair o valor da vazão de pico máxima do hidrograma final de projeto, que foi de 201 m³/s da vazão mais crítica, que foi de 42,8 m³/s. Logo, a vazão excedente, de acordo com a equação 20 é:

$$Q_{exc.} = Q_{m\acute{a}x.} - Q_{cr\acute{i}.} \quad (20)$$

$$Q_{exc.} = 201 - 42,8$$

$$Q_{exc.} = 158,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sendo:

$Q_{exc.}$ = vazão excedente [m³/s];

$Q_{m\acute{a}x.}$ = vazão de pico máxima [m³/s];

$Q_{cr\acute{i}.}$ = vazão crítica do canal [m³/s];

5.3.13 Volume de armazenamento métodos expeditos

Para realizar o estudo preliminar de dimensionamento dos reservatórios de retenção, os seguintes cenários foram analisados:

- Situação atual: urbanização em expansão com área impermeabilizada de 7,9% (MACEDO, 2022), existência de várzeas, áreas verdes e lotes de condomínios de casas em fase de construção;
- Situação futura: urbanização da área estudada com uma área de impermeabilização proposta em 20%;
- Vazão de pré-urbanização ($Q_{pré}$): considerada a vazão excedente calculada -158,2 m³/s.
- Vazão de pós-urbanização ($Q_{pós}$): considerada a vazão excedente calculada considerando um acréscimo de 20%, temos a vazão de aproximadamente 189,9 m³/s.

5.3.13.1 Método racional

Para a situação de pós-urbanização da área de estudo, foi obtido o volume de retenção, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado pós-urbanização pelo Método Racional.

Parâmetros	Área de Contribuição
	Bacia total
Volume de retenção [m ³]	59158,9

Fonte: Próprio autor (2022).

6.3.13.2 Método de Urbonas e Glidden

Para a situação de pós-urbanização da área de estudo, foi obtido o seguinte volume de retenção, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados pós-urbanização pelo Método Urbonas e Glidden.

Parâmetros	Área de Contribuição
	Bacia total
Volume de retenção [m ³]	100169

Fonte: Próprio autor (2022).

5.3.13.3 Método do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre

Para a situação de pós-urbanização da área de estudo, foram obtidos os seguintes volumes de retenção, determinando o maior valor como o volume para o projeto do reservatório, conforme se observa na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados pós-urbanização pelo Método do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre.

Parâmetros	Área de Contribuição
	Bacia total
Volume 1 [m³]	182900
Volume 2 [m³]	28898,2
Volume 3 [m³]	30704,3
Volume de retenção [m³]	28898,2

Fonte: Próprio autor (2022).

5.3.13.4 Métodos de Baker, Wycoff e Singh e ABT e Grigg

Para as situações de pós-urbanização da área de estudo, foram obtidos os seguintes volumes de retenção, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados do dimensionamento preliminar pelos métodos de Baker, Wycoff e Singh e ABT e Grigg.

Área de Contribuição	Volume de Retenção (m³)		
	Baker	Wycoff e Singh	ABT e Grigg
Bacia total	59158,9	103757	112939,8

Fonte: Próprio autor (2022).

5.3.13.5 Comparação dos métodos expeditos

A análise comparativa dos métodos expeditos está discriminada abaixo, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Comparação dos métodos expeditos.

Métodos	Volume de detenção (m³)
Racional	59158,9
Urbonas e Glidden	100169
Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre	28898,2
Baker	59158,9
Wycoff e Singh	103757
ABT e Grigg	112939,8

Fonte: Próprio autor (2022).

De acordo com a Tabela 11, foi possível verificar que os resultados encontrados nos métodos Racional e Baker possuem valores iguais (38010,4 m³ e 38010,4 m³), mesmo usando equações distintas, já os métodos de Wycoff e Singh e ABT e GRIGG possuem valores próximos (66677 m³ e 72565,2 m³). Os valores encontrados para os métodos de Urbonas e Glidden e do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre são os valores extremos (97623,3 m³ e 23937 m³), sendo o primeiro o maior valor e o segundo o menor, respectivamente. Essa diferença se deve à simplicidade dos métodos de Urbonas e Glidden e do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre, que utilizam apenas as áreas de drenagem e as áreas impermeabilizadas como variáveis e não avaliam as vazões de pré-urbanização e pós-urbanização, nem o tempo de concentração.

Observando a diferença de valores, todos os métodos aqui estudados estão coerentes com a literatura, porém os métodos Racional, Baker, Wycoff e Singh e ABT e GRIGG apresentaram uma maior confiabilidade e aplicação no dimensionamento preliminar de reservatórios de detenção.

6) CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de reservatórios de retenção para o controle de enchentes é uma medida recomendada nas áreas em expansão de cidades do interior que possuem uma população bem inferior à de capitais, como é o caso de Varginha. Na cidade foi observado deficiências no sistema de macrodrenagem em vários locais, como exemplo na Avenida Zoroastro Franco de Carvalho localizada no entorno do Ribeirão Santana no bairro Santa Maria.

Com o estudo, foi observado que a região próxima ao Ribeirão Santana tem sofrido com os danos causados pelas chuvas intensas e os episódios de cheia ocorridos na Avenida Zoroastro Franco de Carvalho é consequência da urbanização descontrolada e da crescente impermeabilização da área. Sendo assim, foi verificado que a adoção de medidas estruturais é de extrema importância para o controle do escoamento superficial destas áreas sujeitas a inundações e enchentes. A medida sugerida, no estudo, para atenuar os danos causados pelo alagamento da avenida nos períodos de chuvas fortes foi a implantação de um reservatório de retenção.

A escolha de adotar um reservatório de retenção foi devido a possibilidade da sua implantação ocorrer em locais que possuem terrenos ociosos visto que no local existe uma área sem uso. No entanto, deve-se adotar o reservatório in-line, uma vez que o modelo off-line para o trecho escolhido ficaria inviável. Ademais, a implantação do reservatório deve ser integrada com áreas de recreação, quadras de esportes, áreas verdes, ou seja, outros usos além do controle das enchentes para que a população possa ter outros benefícios. É importante ressaltar que além dos custos de implantação e manutenção podem ocorrer fortes odores nas margens do local promovendo problemas ambiental, social e econômico que podem desvalorizar a região.

A construção dos reservatórios de retenção nem sempre será a melhor opção para resolver um problema de cheia, existindo inúmeras técnicas para mitigar e reduzir esses eventos, tais como, retenção distribuída, retenção de cheias, drenagem sustentável através de trincheiras, entre outras. Ademais, o volume de retenção no estudo foi obtido de forma preliminar sendo que existem métodos mais complexos como o Método de Puls, que possibilita chegar a valores mais confiáveis e, então, prosseguir com os cálculos para determinar a geometria do reservatório, bem como dimensionar o vertedor e o descarregador de fundo.

Por fim, ressalta-se que nos dias atuais estão disponíveis softwares de engenharia como o QGIS e o HEC-HMS que promovem resultados precisos e mais rápidos, em

comparação com as metodologias tradicionais que possuem maior tempo para se obter os valores de cálculo. Tanto o QGIS e como o HEC-HMS utilizados no estudo são indispensáveis para se trabalhar com geoprocessamento e modelagem hidrológica.

7) SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a conclusão do estudo, seguem cinco sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Realizar a modelagem hidrodinâmica da mancha de inundação na Avenida Zoroastro Franco de Carvalho através do software HEC-RAS;
- Realizar a modelagem hidrodinâmica do reservatório de retenção para Avenida Zoroastro Franco de Carvalho através do software SWMM;
- Dimensionar o reservatório de retenção para Avenida Zoroastro Franco de Carvalho utilizando o Método de Puls;
- Dimensionar o reservatório de retenção para Avenida Zoroastro Franco de Carvalho com destaque para o local de implantação, considerando a fundação, bem como a pressão exercida pelo reservatório no seu contorno;
- Avaliar a viabilidade ambiental, social, técnica e econômica para implantação do reservatório de retenção para Avenida Zoroastro Franco de Carvalho utilizando o Método de Puls.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. **Projeto Técnico: Reservatórios de Detenção**. São Paulo: Soluções Para Cidades, 2013. Disponível em: <http://solucoesparacidades.com.br/saneamento/reservatorios-de-detencao/>. Acessado em 25 nov. 2022.

AGRA, S. G. **Estudo experimental de microrreservatórios para controle do escoamento superficial**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001, 122p.

AMEC. **Georgia Stormwater Management Manual**. Technical Handbook. Atlanta Regional Commission. Volume 2, 2001.

ARKPAD. **Telhado verde**. Disponível em: <https://arkpad.com.br/teelhado-verde/>. Acessado em dezembro de 2022.

BALABRAM, P. R. **Utilização de indicador geomorfológico para fixação de medidas de controle de cheias em áreas urbanas – Estudo de caso: Brasília – DF**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007, 100p.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266p.

BILODEAU, K.; PELLETIER, G.; DUCHESNE, S. **Real-Time Control of Stormwater Detention Basins as an Adaptation Measure in Mid-Size Cities**. Urban Water Journal. Volume 15, 2018 – Issue 9.

BRAGA, W. M. S. **Dimensionamento do reservatório de retenção de águas pluviais da edificação do tribunal regional do trabalho em Taguatinga – DF**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Brasília. Brasília, 2018, 31p.

BRASIL ESCOLA UOL. **Ciclo da água**. Disponível em: <https://brasilescuela.uol.com.br/biologia/ciclo-agua.htm>. Acessado em dezembro de 2022.

BRASIL ESCOLA UOL. **O que é bacia hidrográfica.** Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-baciahidrografica.htm#:~:text=Bacia%20Hidrogr%C3%A1fica%20%C3%A9%20a%20%C3%A1rea,%C3%A1gua%2C%20abastecendo%2Do>. Acessado em dezembro de 2022.

CANHOLI, A. P. 2014. 2ª edição ampliada e atualizada. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. 375p.

CASQA. **Stormwater Best Management Practice Handbook.** New Development and Development. California Stormwater Quality Association, Los Angeles, California, 2006.

CARVALHO, M. A.; CHAUDRHY, F. H. 2001. **Aplicação de Hidrograma Unitário Geomorfológico na Previsão de Respostas Hidrológicas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 4, p. 5-17.

CORTE, A. C. D. **Balanço hídrico em bacia urbana.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015, 89p.

CUNHA, S. F. C.; OLIVEIRA E SILVA; F. E. MOTA; TAINÁ, ULHPA; PINHEIRO, M. C. 2015. **Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 4, p. 837-848.

CURTIS, D. C.; MCCUEN, R. H. **Design Efficiency of Stormwater Detention Basins.** Journal of the Water Resources Planning and Management Division. Volume 103, 1977 – Issue 1.

EMERSON, C. H.; WELTY, C.; TRAVER, R. G. **Watershed-Scale Evaluation of a System of Storm Water Detention Basins.** Journal of Hydrologic Engineering. Volume 10, 2005 – Issue 3.

FENDRICH, R. et al. **Estudo da implantação de bacias de amortecimento em sistemas de macrodrenagem pluvial urbana.** Curitiba: Instituto de Saneamento Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 1982. 117 p. Relatório técnico.

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004, 155p.

GABORIT, E.; MUSCHALLA, D.; VALLET, P. A. **Improving the Performance of Stormwater Detention Basins by Real-Time Control Using Rainfall Forecasts.** Urban Water Journal. Volume 10, 2013 – Issue 4.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica e hidrologia na gestão de águas pluviais.** São Paulo: Cengage Learning, 2009.

GOLDER/FAHMA, **Consórcio, Plano de gerenciamento integrado de recursos hídricos do Distrito Federal (PGIRH –DF).** Belo Horizonte, 2005.

INOVA CIVIL. **Asfalto permeável.** Disponível em: <https://www.inovacivil.com.br/asfalto-permeavel/>. Acessado em dezembro de 2022.

INSPECTION CHECKLIST. **Infiltration Trench.** Disponível em: <https://www.fairfaxcounty.gov/publicworks/sites/publicworks/files/assets/documents/pdf/infiltration-trench-inspection-checklist.pdf>. Acessado em dezembro de 2022.

JUNIOR, G. P. S.; AGNOL, G. D.; BARROS, M. G. V. **Bacia de retenção como medida mitigadora para redução do escoamento pluvial em um loteamento urbano.** Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2015, 73p.

KNOXVILLE. **Best Management Practices (BMP) Manual.** Engineering Department, Stormwater Engineering Division, City of Knoxville, Tennessee, 2006.

LIVINALI, M.; STEIN, I.; ROQUE, P. B.; PAZZE, L. G.; SIEBERT, J. D. **Bacias de contenção: métodos alternativos para contenção de cheias.** Artigo de pesquisa. XXV Seminário de Iniciação Científica, Curso de Engenharia Civil da UNIJUI. Itajaí, 2017, 18p.

MACHADO, O. J.; POLEZA, M. M. **Medidas estruturais e não estruturais implementadas para minimizar impactos com as inundações no município de Taió.** Artigo científico. Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí. Itajaí, 2017, 18p.

MAPBIOMAS. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acessado em dezembro de 2022.

MELO, G. M. I. **Dimensionamento de reservatórios de retenção como controle do escoamento superficial na zona de expansão de Aracaju.** Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2016, 54p.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓI, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem urbana: do projeto sustentável à sustentabilidade**. 1. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2015. 368 p.

NASCIMENTO, N. O.; ELLIS, J. B.; BAPTISTA, M. B.; DEUTSCH, J. C. **Using Detention Basins: Operational Experience and Lessons**. Urban Water. Volume 1, 1999 – Issue 2.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre, 2003, 628p.

PEREIRA, M. J. O. **Estudo de implantação de bacias de retenção para mitigação dos efeitos de inundação em Nova Friburgo – RJ**. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018, 76p.

PORTAL G1 SUL DE MINAS. **Após enchente, moradores reclamam de falta de limpeza em ribeirão e bueiros de Varginha, MG**. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2020/02/18/apos-enchente-moradores-reclamam-de-falta-de-limpeza-em-ribeirao-e-bueiros-de-varginha-mg.ghtml>. Acessado em outubro de 2022.

PORTELA, M. M.; MARQUES, P.; CARVALHO, F. 2000. **Hietogramas de projeto para a análise de cheias baseada no modelo do hidrograma unitário do Soil Conservation Service (SCS)**. 5º Congresso da Água - A Água e o Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o Novo Século. pp. 1-17.

PORTO ALEGRE-RS. **DECRETO Nº 15.371**. Regulamenta o controle da drenagem urbana. 17 de novembro de 2006.

RESEARCH GATE NET. **Figure 2**. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Hidrograma-relacao-de-vazao-por-tempo-de-escoamento-adaptado-de-Tucci-2002_fig2_303047819. Acessado em dezembro de 2022.

RESEARCH GATE NET. **Figure 68**. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-68-Representacao-esquematica-de-valas-de-infiltracao-no-Software-PCSWMM-Fonte_fig4_337950979. Acessado em dezembro de 2022.

SCHUSTER, A. V. B. **Análise de implementação de medidas compensatórias no sistema de drenagem de São José do Hotêncio – RS com o auxílio do modelo de gestão SWMM.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, 2018, 54p.

SCS – Soil Conservation Service. **National engineering handbook.** Washington D. C.: U.S. Department of Agriculture, 1972. sec. 4.

SILVA, M. K. **Modelo para pré-dimensionamento de bacias de retenção para controle da poluição difusa das águas pluviais no município de Porto Alegre.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009, 140p.

SILVEIRA, A. L. L. **Fator de pico para hidrogramas unitários sintéticos triangulares.** Artigo científico/técnico. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015. 7p.

SOBRE AS ÁGUAS. **Como estimar um volume de retenção.** Disponível em: <https://sobreasaguas.com/2022/11/23/como-estimar-um-volume-de-retencao/>. Acessado em dezembro de 2022.

SOUZA, T. F. **Drenagem urbana sob cenários de longo prazo visando incentivos ambientais.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008, 247p.

TACHINI, M. **Avaliação de danos associados às inundações no município de Blumenau.** Florianópolis, 2010. 167p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina.

TUCCI, C. E. M., 1993b. **Controle de Enchentes**, in: Tucci, C. (org). Hidrologia ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH cap 16, p621-658.: 952p.

TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L. e BARROS, M.T. **Drenagem Urbana.** UFRGS Ed. da Universidade/ABRH, Porto Alegre, 1995, 387- 428p.

TUCCI, C. E. M. 2009. **Hidrologia Ciência e Aplicação.** Editora da UFRGS, Porto Alegre, 943p.

TUCCI, C. E. M. 2003. Águas urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. (Org.) **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Cap.2, p.11-44.

UDFCD - **Drainage Criteria Manual**. Drainage and Flood Control District, Denver, Colorado. Volume 3, 2002.

VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M.G.; YAMAMOTO, L. M. T.; BRITO, F. A.; FERNANDEZ, F. F.; BATTEMARCO, B. P.; REGO, A. Q. S. F. **Sistemas de espaços livres e drenagem urbana: um exemplo de integração entre o manejo sustentável de águas pluviais e o planejamento urbano**. Artigo científico. Latin American Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 1., 2015, Rio de Janeiro, 20p.