

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

IONI BAZZI

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA DETERMINAR O VOLUME DE
ARMAZENAMENTO EM PEQUENAS BACIAS DE CONTENÇÃO: UM ESTUDO DE
CASO EM FRANCISCO BELTRÃO - PR**

FRANCISCO BELTRÃO

2024

IONI BAZZI

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA DETERMINAR O VOLUME DE
ARMAZENAMENTO EM PEQUENAS BACIAS DE CONTENÇÃO: UM ESTUDO DE
CASO EM FRANCISCO BELTRÃO - PR**

**Comparison of Methods to Determine the Storage Volume in Small
Containment Basins: A Case Study in Francisco Beltrão - PR**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Wagner de Aguiar.

FRANCISCO BELTRÃO

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

IONI BAZZI

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA DETERMINAR O VOLUME DE
ARMAZENAMENTO EM PEQUENAS BACIAS DE CONTENÇÃO: UM ESTUDO DE
CASO EM FRANCISCO BELTRÃO - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 21/junho/2024

Prof. Dr. Wagner de Aguiar
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Adir Silvério Cembranel
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Fernando Cesar Manosso
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

FRANCISCO BELTRÃO

2024

AGRADECIMENTOS

Este trabalho marca o fim de um ciclo significativo em minha vida acadêmica e pessoal. Primeiramente, agradeço a Deus, por me guiar com fé e esperança e por iluminar meu caminho. Gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha família Jane, Side e Iuri, cujo apoio incondicional com amor e dedicação foram fundamentais para a minha jornada. Ao meu namorado Lucas, que esteve ao meu lado oferecendo conforto e encorajamento nos momentos mais desafiadores. Aos meus professores, que não apenas compartilharam conhecimento, mas também inspiraram e desafiaram meu pensamento. Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Wagner de Aguiar, por sua orientação sábia e paciente, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. E ao meu amigo Jean, por ser mais do que um colega de faculdade, mas um parceiro confiável nas etapas do processo de formação. A todos vocês, meu mais sincero obrigado.

RESUMO

O desenvolvimento dos sistemas convencionais de drenagem urbana se baseia no conceito de escoar a água precipitada o mais rápido possível. Os projetos fundamentados neste conceito, apresentaram como imediata consequência, o aumento das inundações a jusante, devido à canalização reduzir o tempo de concentração da água. Uma medida de potencial solução, nesse cenário, é a adoção de bacias de contenção para controle de cheias. As bacias de contenção são reservatórios projetados para interceptar e reter temporariamente um volume de água pluvial e liberá-la de forma que os picos de vazão sejam reduzidos, evitando a ocorrência de inundações. O presente trabalho tem como objetivo a comparação de dois métodos de dimensionamento de uma bacia de contenção, partindo do hidrograma obtido pelo método Soil Conservation Service e então calculado o método do Hidrograma Triangular Simplificado comparando-o ao obtido por modelagem matemática com o software HEC-HMS. Considerando que o método simplificado HTS é indicado para bacias hidrográficas de pequeno porte. Adotou-se três cenários distintos com tempos de recorrência de 25, 50 e 100 anos. Foi utilizado o método SCS para desenvolver os hidrogramas de projeto e determinar as vazões afluentes do reservatório. Enquanto as vazões efluentes foram estimadas de acordo com a estrutura de coleta já implementada no local de estudo. O estudo foi aplicado no bairro Marrecas, situado na cidade de Francisco Beltrão, o qual é marcado pelo processo de inundações que ocorrem ao longo do tempo. Ao comparar os resultados assumidos como valores de referência os volumes obtidos no amortecimento realizado pelo HEC-HMS, por se tratar de um método com maior abrangência de fatores considerados em seu modelo, aproximando a simulação da realidade. Assim, têm-se que os volumes obtidos pelo método HTS foram cerca de 28% menores que os da modelagem, apresentando uma diferença média dos três cenários de 4.740 m³ entre os métodos. Isso sugere que, embora o método HTS seja mais simples, rápido e menos dispendioso, ele pode subestimar o volume necessário para as bacias de contenção em comparação com a modelagem espacial mais complexa. No entanto, apesar dessa limitação, o método HTS ainda pode ser útil em situações onde a precisão absoluta não é crítica, ou onde os recursos para realizar uma modelagem espacial completa não estão disponíveis. Em conclusão, este estudo espera contribuir na escolha do método adequado para as diversas condições de aplicação. Ressalta-se que atualmente existe uma lacuna significativa nos estudos da área de drenagem urbana, portanto, encoraja-se fortemente a execução de pesquisas nesta área vital.

Palavras-chave: drenagem urbana; escoamento urbano; inundação.

ABSTRACT

The development of conventional urban drainage systems is based on the concept of draining precipitated water as quickly as possible. Projects based on this concept had, as an immediate consequence, an increase in flooding downstream, due to the canalization reducing the water concentration time. A potential solution measure, in this scenario, is the adoption of containment basins to control floods. Retention basins are reservoirs designed to intercept and temporarily retain a volume of rainwater and release it in such a way that peak flows are reduced, preventing the occurrence of floods. The present work aims to compare two methods for sizing a containment basin, starting from the hydrograph obtained by the Soil Conservation Service method and then calculating the Simplified Triangular Hydrograph method comparing it to that obtained by mathematical modeling with the HEC-HMS software. Considering that the simplified HTS method is indicated for small river basins. Three different scenarios were adopted with recurrence times of 25, 50 and 100 years. The SCS method was used to develop the project hydrographs and determine the reservoir's influent flows. While effluent flows were estimated according to the collection structure already implemented at the study site. The study was applied in the Marrecas neighborhood, located in the city of Francisco Beltrão, which is marked by the process of flooding that occurs over time. When comparing the results assumed as reference values, the volumes obtained in the damping performed by HEC-HMS, as it is a method with a greater range of factors considered in its model, bringing the simulation closer to reality. Thus, the volumes obtained by the HTS method were around 28% smaller than those from the modeling, presenting an average difference of 4,740 m³ between the methods in the three scenarios. This suggests that although the HTS method is simpler, faster and less expensive, it may underestimate the volume required for containment basins compared to more complex spatial modeling. However, despite this limitation, the HTS method can still be useful in situations where absolute accuracy is not critical, or where the resources to perform full spatial modeling are not available. In conclusion, this study hopes to contribute to choosing the appropriate method for different application conditions. It should be noted that there is currently a significant gap in studies in the area of urban drainage, therefore, carrying out research in this vital area is strongly encouraged.

Keywords: urban drainage; urban runoff; inundation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo Geral	11
2.2	Objetivos Específicos	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	Drenagem Urbana	12
3.2	Problemática da falta de planejamento urbano	14
3.3	Sistemas convencionais	17
3.4	Sistemas estruturais alternativos	20
3.5	Bacias de contenção	26
3.6	Métodos de dimensionamento	32
3.6.1	Método hidrograma triangular simplificado	32
3.6.2	Método por modelagem espacial	34
3.7	Hidrogramas de projeto	34
3.7.1	Hidrogramas do método SCS	36
4	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	Dados de entrada	37
4.1.1	Local de estudo	38
4.1.2	Delimitação da bacia	40
4.1.3	Parâmetros hidrológicos	41
4.1.3.1	Tempo de recorrência	41
4.1.3.2	Tempo de concentração	41
4.1.3.3	Tempo de base	42
4.1.3.4	Tempo de duração de chuva	42
4.1.3.5	Intensidade de precipitação	42
4.2	Vazões Afluente	43
4.3	Método hidrograma triangular simplificado	45
4.4	Método por modelagem espacial	46
4.5	Análise dos resultados	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1	Método SCS	48
5.2	Método HTS	52

5.3	Modelagem espacial	53
5.4	Comparação dos volumes	54
6	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57
	ANEXO A - Relação das cotas com suas respectivas áreas, volumes, cargas hidráulicas e vazões efluentes	63
	ANEXO B - Hietogramas de projeto obtidos pela distribuição de HUFF sem considerar a infiltração para cada período de retorno analisado	65
	ANEXO C - Cálculos dos excedentes da chuva de projeto, executado pelo método SCS para cada tempo de recorrência estudado	66
	ANEXO D - Hidrograma de projeto do método SCS após superposição para o tempo de recorrência de 25 anos	67
	ANEXO E - Relação das cotas com suas respectivas áreas, volumes, cargas hidráulicas e vazões efluentes	68
	ANEXO F - Relação das cotas com suas respectivas áreas, volumes, cargas hidráulicas e vazões efluentes	69
	ANEXO G - Resultados obtidos pelo amortecimento da onda de cheia executado no HEC-HMS para os três períodos de retorno em questão	70

1 INTRODUÇÃO

Junto à urbanização e expansão dos municípios, há o aumento das vazões máximas ocasionadas por precipitações, facilitando a ocorrência de enchentes (TUCCI, 2002). A ampliação na recorrência e magnitude das enchentes, se dá devido a impermeabilização causada pela ocupação do solo (MATIAS, 2006; ALMEIDA, 2020). Os problemas decorrem pois, a parcela de água que antes infiltrava ou ficava retida pelas plantas, passa a escoar pelos condutos, ampliando a vazão recebida e exigindo maior capacidade de escoamento da rede (TUCCI, 2007).

O desenvolvimento dos sistemas de drenagem urbana se baseia no conceito de escoar a água precipitada o mais rápido possível (TUCCI, 2003). Os projetos fundamentados neste conceito, apresentaram como imediata consequência, o aumento das inundações a jusante, devido à canalização reduzir o tempo de concentração da água (SOARES, 2015). Tempo o qual corresponde ao necessário para a água concentrar-se no ponto mais baixo, ou escoar do ponto mais distante da área de contribuição (GRIBBIN, 2012).

A prática de gestão de águas pluviais deve considerar esses problemas e abrandá-los (GRIBBIN, 2012). Conforme os autores Tucci (2007) e Gribbin (2012), reduzir esses danos é possível por meio de diversos métodos, como a mudança de rota ou dispersão do escoamento, delineamento da área com proteção contra erosão e a implantação de medidas que visem a retenção de água a montante.

O município de Francisco Beltrão é marcado pelo processo de inundações que ocorrem em sua área urbana ao longo do tempo (SOARES, 2017). Apolinário (2022) levantou que entre os anos de 1954 e 2016, foi apurado um total de 89 (oitenta e nove) desastres hidrometeorológicos em Francisco Beltrão. Enquanto a Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Paraná registrou 34 ocorrências de inundações, enxurradas, alagamentos e chuvas intensas, contabilizando um total de 34.180 pessoas atingidas no período entre os anos 1980 (primeiro registro) e 2021 (CEPDEC, 2021).

Uma medida de potencial solução, nesse cenário, é o armazenamento temporário das águas pluviais em reservatórios, ou seja, a adoção de bacias de contenção para controle de cheias. As bacias de contenção, são reservatórios projetados para interceptar e reter temporariamente um volume de água pluvial e liberá-lo de forma que respeite a capacidade de drenagem do local, evitando a

ocorrência de enchentes (GRIBBIN, 2012). Matias (2006) afirma que a implantação de reservatórios de contenção das águas pluviais a jusante dos loteamentos urbanos, aumenta o tempo de concentração das águas e reduz as vazões máximas de forma compatível com a vazão da rede coletora.

O dimensionamento dessas bacias requer a determinação das vazões de projeto, que podem ser obtidas por hidrogramas que consideram características locais (CEOLIN, 2019). Em virtude da carência de dados fluviométricos para estudos hidrológicos voltados à drenagem urbana, utilizam-se modelos matemáticos do tipo chuva x vazão para definição dos hidrogramas de projeto (GRIBBIN, 2012). Cada modelo tem suas particularidades de adaptação ao porte e tipo de bacia, assim, merecem cuidado especial a sua escolha (FRANCO, 2004).

Canholi (2005) afirma que os métodos simplificados são recomendados para estruturas hidráulicas de menor porte devido aos critérios assumidos em seu desenvolvimento. Métodos mais complexos resultam em uma descrição mais realista do processo de escoamento (GRIBBIN, 2015). Para tanto, este trabalho procurou evidenciar a precisão da aplicação de um método simplificado de determinação do volume de armazenamento em bacias de contenção. Assim, utilizou-se o método Hidrograma Triangular Simplificado, recomendado para pequenas bacias de drenagem, comparado a um método considerado completo, executado pela simulação hidrológica do software HEC-HMS, utilizando o hidrograma de projeto construído com base no hidrograma triangular unitário desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a precisão da determinação do volume de armazenamento a ser adotado no dimensionamento de bacias de contenção, aplicado ao bairro Marrecas no município de Francisco Beltrão - PR, pelo método de Hidrograma Triangular Simplificado (HTS), comparado ao obtido por modelagem espacial no software HEC-HMS, utilizando o hidrograma de projeto construído com base no método desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS).

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar vazões afluentes a partir do hidrograma de projeto pelo método SCS;
- Executar método HTS para obtenção dos volumes;
- Realizar a modelagem hidrológica do amortecimentos de ondas de cheias, pelo software HEC-HMS;
- Comparar os resultados obtidos em cada método, a fim de verificar a efetividade do método HTS;
- Recomendar ou não o uso do método HTS para pequenas bacias de drenagem.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Drenagem urbana

A Constituição Federal de 1988, em seu Art 6º, garante aos cidadãos brasileiros, direitos sociais à saúde. No ano de 2022, foi aprovada a Proposta de Emenda à Constituição (PEC) nº 2, de 2016, que inclui dentre os direitos sociais, o saneamento básico (BRASIL, 1988; BRASIL, 2022). Este, também está relacionado aos princípios de dignidade e direitos fundamentais à vida. Visando garanti-lo, conta-se com o Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), instituído pela Lei nº 11445 de 2007 (BRASIL, 2007), que estabelece diretrizes nacionais e determina incubencias essenciais para a saúde, dentre elas, a garantia de serviços de escoamento urbano (RODRIGUES et al., 2022).

A Lei nº 11445 de 2007 caracteriza o manejo das águas pluviais e a drenagem urbana, como um conjunto de atividades, infraestruturas e operações que realizam a drenagem, o transporte, a contenção para o amortecimento de vazões de cheias, o tratamento e a disposição final das águas pluviais (BRASIL, 2007). As obras de drenagem e outras medidas de controle são instrumentos que amparam a gestão das águas urbanas (SILVA et al., 2020). A gestão da drenagem urbana envolve o manejo do escoamento no tempo e no espaço, assim, é indispensável a adoção de medidas visando minimizar danos à sociedade e ao ambiente (TUCCI, 2012).

Como instrumento de amparo à gestão, são utilizados Planos Diretores de Drenagem Urbana. Um plano diretor constitui um documento de valor político e portanto essencial que conte com o apoio da comunidade dos poderes decisórios (MIGUEZ *et al.*, 2015). Esses planos estabelecem as diretrizes para a gestão das águas pluviais em uma bacia hidrográfica (VILLANUEVA et al., 2011).

As bacias hidrográficas são basicamente conjuntos de superfícies vertentes e de redes de drenagem formadas por cursos de água que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, os exutórios (TUCCI, 1993). A precipitação que cai sobre as vertentes de uma bacia conservada é retida pela vegetação antes de alcançar o solo (TUCCI, 1993). Uma vez na terra, a água infiltra-se pelos seus poros, podendo seguir um caminho vertical até alcançar o lençol freático (MIGUEZ *et al.*, 2015). Ao saturar, o solo apresenta capacidade de

infiltração inferior ao volume de precipitação, dessa forma, o excedente escoar superficialmente (MIGUEZ *et al.*, 2015).

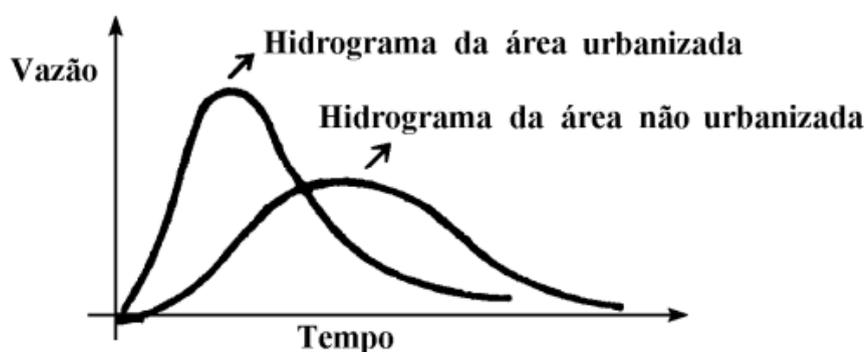
A urbanização caótica e o uso inadequado do solo provocam a redução da capacidade de armazenamento natural dos deflúvios, estes por sua vez demandaram outros locais para ocupar (CANHOLI, 2005). O escoamento superficial urbano tem como destino imediato a rede de drenagem (TUCCI, 1993).

O desenvolvimento dos sistemas de drenagem urbana se baseia no conceito de escoar a água precipitada o mais rápido possível (TUCCI, 2003). Entretanto, tal conceito de origem sanitário-higienista precisa ser substituído (SILVA *et al.*, 2020), pois a redução do tempo de concentração, ou seja a aceleração dos escoamentos, tem como efeito transferir o problema para jusante, considerando que quanto menor o tempo de concentração, maior a vazão de pico (CANHOLI, 2005).

A vazão de pico, por sua vez, consiste na vazão máxima dos deflúvios de um determinado hidrograma de projeto (TUCCI, 1993). No hidrograma de projeto é possível representar a vazão do escoamento superficial ao longo do tempo (GRIBBIN, 2012). O tempo no qual se tem a maior vazão é chamado tempo de concentração e corresponde ao tempo que leva para que toda a bacia contribua para a seção em análise (MIGUEZ *et al.*, 2015).

Esse fenômeno pode ser observado na Figura 1, sendo que na área urbanizada a vazão de pico é maior e o tempo de concentração menor do que na área não urbanizada, ou seja, há maior volume de precipitação acumulada em menor espaço de tempo. Esses fatores podem acarretar inundações em áreas que anteriormente não sofriam tais problemas, visto que a ocupação urbana nos vales normalmente se desenvolve no sentido jusante para montante (CANHOLI, 2005).

Figura 1 - Hidrograma hipotético



Fonte: Tucci (2007)

Para construir o hidrograma de projeto, pode-se utilizar o método Soil Conservation Service (SCS), para tanto, considera-se parâmetros dependentes da distribuição das chuvas, precipitação antecedente, tempo de concentração e da impermeabilização do solo (TUCCI, 2009).

Visando melhorar o entendimento e a representação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, utiliza-se a modelagem hidrológica, que possui grande potencial para caracterizar a disponibilidade hídrica em diversos fatores, como as condições de mudanças no clima ou no uso do solo (PEREIRA, 2020).

O adequado funcionamento de um sistema de drenagem urbana, está atrelado ao planejamento que englobe integralmente o ambiente urbano da bacia hidrográfica, isto é, deve-se planejar o funcionamento simultâneo do sistema de drenagem com todos os outros sistemas que compõem a infraestrutura dos municípios (FENDRICH e GEVAERD, 2014).

3.2 Planejamento urbano

No Brasil, as chuvas com alta intensidade e curta duração produzem problemas associados às características do relevo e da rede de drenagem, bem como ao uso e à ocupação do solo urbano (FARIAS; MENDONÇA, 2022).

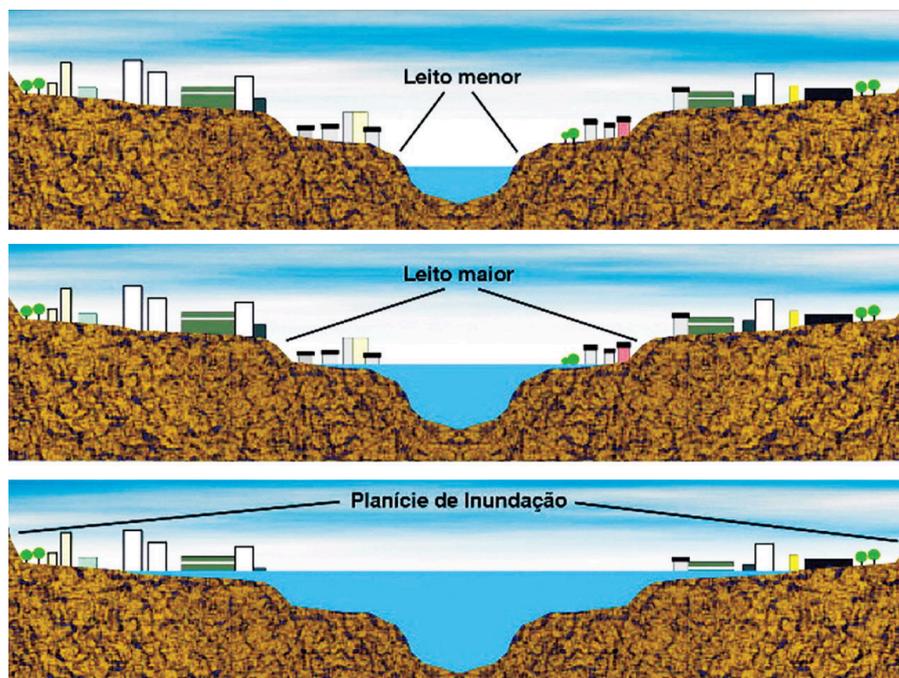
Uma das razões pelas quais os sistemas de drenagem não são rigorosamente aplicados, é o crescimento desordenado dos centros urbanos (RODRIGUES *et al.*, 2022). No Brasil, o processo de urbanização acelerado ocorreu depois da década de 60, gerando uma população urbana praticamente sem infra-estrutura (TUCCI, 2007).

Serretti *et al.* (2015) apresenta que com a falta de planejamento urbano e a substituição de coberturas naturais por superfícies impermeáveis, há impedimento para que ocorra infiltração da água no solo, aumentando o escoamento superficial, os picos de cheia e diminuindo a manutenção dos lençóis freáticos, reduzindo assim a disponibilidade de água nos períodos de estiagem (MARENGO, 2009). Com o aumento do escoamento superficial e redução na taxa de infiltração devido à impermeabilização, os aquíferos não são abastecidos, e a capacidade dos rios é reduzida (TUCCI, 2007).

De contrapartida, em média a cada 2 anos, ocorre o processo natural de aumento da vazão da água em rios, córregos e canais urbanos, extrapolando seu leito menor, transbordando ao leito maior (TUCCI, 2012). Os problemas neste

processo se dão devido à expansão urbana sobre áreas de mananciais (TUCCI, 2002), de forma que as estruturas que ocupam os leitos são responsáveis por aumentar o nível da água e a população é diretamente afetada, como representado na Figura 2.

Figura 2 - Zonas de ocupação das áreas ribeirinhas



Fonte: ReCESA (2007)

As enchentes em áreas urbanas podem ser decorrentes de chuvas intensas de alto período de retorno ou pelo transbordamento de cursos d'água provocado por mudanças no equilíbrio do ciclo hidrológico (POMPÊO, 2000). As inundações referentes a processos antrópicos são devido à urbanização (RODRIGUES *et al.*, 2022). Em áreas urbanizadas, o aumento de estruturas impermeáveis resultam em um elevado escoamento superficial, onde há aumento de frequência e magnitude das enchentes (ALMEIDA, 2020). O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento devido à alteração de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, entre outras obras civis (TUCCI, 2002).

A ausência de drenagem apropriada faz com que os locais mais suscetíveis inuntem, onde a água estagnada se acumula (RODRIGUES *et al.*, 2022). Esse processo ocorre através da sobrecarga da microdrenagem sobre a macrodrenagem (TUCCI, 2007). O não escoamento ideal das águas da chuva pode acarretar problemas variados, como o aparecimento de doenças, a perda de habitabilidade e de recursos financeiros (RODRIGUES *et al.*, 2022). A precariedade nos serviços de

saneamento básico, inclusive a drenagem urbana, pode se tornar fator limitante da vida humana, atingindo principalmente a população economicamente desfavorecida (PEIXOTO *et al.*, 2021).

Os prejuízos devido às inundações na drenagem urbana nas cidades brasileiras têm aumentado exponencialmente, reduzindo a qualidade de vida e o valor das propriedades (TUCCI, 2003). Tucci (2007) aponta que durante as enchentes, substâncias poluentes são agregadas aos sedimentos no processo de lavagem das ruas pela precipitação. O autor diz que o escoamento, muitas vezes, é derivado do esgoto jogado *in natura* ou a ligação clandestina de esgoto cloacal em condutos pluviais, podendo contaminar aquíferos e sistemas de abastecimento de água. Quando afetada a rede de distribuição de água para consumo humano, há falta de água potável para a população. Além de afetar a distribuição, a água de poços e nascentes, acabam sendo contaminados por agentes infecciosos, aumentando o risco de doenças transmitidas pela ingestão da água (FREITAS; XIMENES, 2012).

Freitas e Ximenes (2012) alertam que dessa forma, há alteração nos ciclos de reprodução dos vetores, hospedeiros e reservatórios de doenças, através da proliferação de locais com águas residuais, silte e material em decomposição que recobrem as ruas. Ainda conforme os autores, com o ambiente alterado, há um considerável aumento na quantidade de mosquitos, moscas e ratos, assim como aumento da contaminação oral fecal por parasitos e helmintos.

As políticas e práticas de gestão de risco de enchentes devem atuar no sentido de minimizar estes eventos com o planejamento das cidades e ações, como o manejo adequado e sustentável das águas urbanas (CHRISTOFIDIS *et al.*, 2019). Quando o poder público não controla essa urbanização ou não amplia a capacidade da macrodrenagem, a ocorrência das enchentes aumenta (TUCCI, 2007).

Segundo Almeida (2020), a deficiência da infraestrutura de drenagem advém da rápida expansão urbana, do baixo nível de conscientização do problema, da inexistência de planos de longo prazo, da utilização precária de medidas não estruturais e da manutenção inadequada dos sistemas de controle de cheias (CANHOLI, 2005). O planejamento de drenagem deve ser unificado como parte de um abrangente processo de planejamento urbano, junto dos demais constituintes do saneamento básico (água, esgoto e resíduos sólidos) (CANHOLI, 2005).

Se faz necessário o reconhecimento da importância da drenagem urbana para estabelecer seu financiamento, pois a ausência de um planejamento ocasiona soluções paliativas, em que são realizadas medidas corretivas do problema instalado, ao invés de realizar medidas preventivas para controle das inundações (SILVA *et al.*, 2020). Não há como estabelecer formas de sustentação econômica e financeira para o que não é considerado importante (POMPÊO, 2000).

3.3 Sistemas convencionais

Os sistemas convencionais de drenagem urbana consistem em infraestruturas responsáveis por direcionar as águas precipitadas sobre o solo o mais rápido possível para o seu destino final, evitando que se acumule em regiões de interesse para ocupação humana (MIGUEZ *et al.*, 2015). Para uma boa eficiência do sistema de drenagem, além de boa organização estrutural urbana, é importante atentar-se para a concepção do projeto e para sua execução, uma vez que, a obra de drenagem irá atender às necessidades do local (PAULA *et al.*, 2017).

Os projetos de controle das cheias devem prever tanto medidas não estruturais como estruturais (MIGUEZ *et al.*, 2015). As medidas não estruturais são constituídas por ações indiretas, em que se procura reduzir os danos ou as consequências das inundações, não por meio de obras, mas pela introdução de normas, regulamentos e programas (CANHOLI, 2005). Essas medidas podem ser vistas como um aprendizado de convivência harmônica da sociedade com os eventos de enchentes, tendo um caráter preventivo e complementar ao corretivo (MIGUEZ *et al.*, 2015). Podem ser agrupadas em ações de regulamentação do uso e ocupação do solo, educação ambiental voltado ao controle de poluição difusa, erosão e lixo, seguro enchente, e sistemas de alerta e previsão de inundações (CANHOLI, 2005).

Por sua vez, as medidas estruturais dizem respeito a construções de obras que podem ser implantadas objetivando a correção/prevenção dos problemas decorrentes das enchentes (CANHOLI, 2005; ALMEIDA, 2020). São intervenções diretas nas calhas dos rios ou na paisagem urbana, como canalização, barragens, criação de parques longitudinais inundáveis, diques, reservatórios em praças ou lotes, entre outros (MIGUEZ *et al.*, 2015). Dividem-se em extensivas, que correspondem aos pequenos armazenamentos disseminados na bacia, a recomposição de cobertura vegetal e ao controle de erosão do solo, ao longo da

bacia de drenagem (CANHOLI, 2005); e intensivas, quando possuem ação direta sobre o escoamento da água nos rios e canais, buscando alterar as condições hidrodinâmicas da onda de cheia (MIGUEZ *et al.*, 2015).

Comumente, tem-se a adoção de medidas estruturais para as áreas já urbanizadas, enquanto as regiões ainda não construídas utilizam-se das medidas não estruturais (TUCCI, 2012). Entretanto, dentro de um planejamento consistente das ações de melhoria e controle de sistemas de drenagem urbana, se faz necessário um balanceamento harmonioso entre medidas estruturais e não estruturais (CANHOLI, 2005).

Quando se trata de medidas estruturais, os sistemas de drenagem urbana comumente são compostos de três estruturas principais: a estrutura de coleta, projetada para permitir a afluência das águas pluviais no sistema; o transporte, por meio de condutos em direção ao corpo receptor; e medidas que permitem a saída das águas do sistema (GRIBBIN, 2012). As estruturas de drenagem urbana são segregadas como micro ou macrodrenagem.

A microdrenagem consiste em um sistema de condutos pluviais adotados a nível de loteamento (TUCCI, 2003), que recebem a precipitação e a conduzem para a macrodrenagem, com rapidez e segurança, evitando o acúmulo de águas (CALDEIRA; LIMA, 2020). Seus projetos tratam do escoamento resultante de chuvas sobre a superfície urbana, considerando desde os telhados das edificações até as áreas das vias de circulação, parques e jardins (MIGUEZ *et al.*, 2015). Rodrigues (2022) levanta a importância da microdrenagem nas regiões metropolitanas, pois possibilitam o fluxo de veículos e pedestres em caso de chuva. Uma rede de microdrenagem é composta por um conjunto de dispositivos, que fazem com que a água da chuva escoe (ALMEIDA 2020).

O conjunto meio-fio e sarjetas compõem o primeiro elemento da rede de microdrenagem, responsável por receber as águas pluviais, que então são transferidas para a rede de galerias subterrâneas pelas bocas de lobo e as caixas-raio (MIGUEZ *et al.*, 2015). Em seguida os poços de visita recebem as águas direcionando-as para as galerias, além disso, permitem inspeção e limpeza da rede; mudanças de direção, declividade e/ou diâmetro (TUCCI, 1993). O escoamento pluvial segue viagem nas galerias subterrâneas, que consistem em canalizações públicas, que em sua maioria apresentam seção circular, ou retangular, alocadas no eixo das vias obedecendo critérios como dimensões mínimas e velocidades

máximas de escoamento, dependendo do material utilizado (MIGUEZ et al., 2015). Na Figura 3 pode-se observar uma representação da rede de microdrenagem. Quando necessário, são implementadas estações de bombeamento visando retirar a água de um canal quando não mais houver condição de escoamento por gravidade, para um outro canal em nível mais elevado à macrodrenagem que irá receber o volume de água escoada (TUCCI, 1993). Desta forma, a microdrenagem realiza uma captação primária das águas e as conduz para os sistemas de macrodrenagem (ALMEIDA, 2020).

Figura 3 - Representação de um sistema de microdrenagem



Fonte: Fochesatto (2017)

A rede de macrodrenagem destina-se a receber e realizar a condução final das águas escoadas superficialmente e captadas pela drenagem primária (MIGUEZ et al., 2015). São estruturas maiores, naturais ou construídas que recebem as águas e as levam para outra estrutura de macrodrenagem a jusante (ALMEIDA, 2020). A macrodrenagem natural de qualquer bacia é aquela composta pelos próprios rios e córregos que a ela compõem (MIGUEZ et al., 2015). Com o processo de urbanização, fez-se necessária a introdução de estruturas hidráulicas artificiais, assim, ampliam-se condições de rios para aumentar a capacidade de transporte e descarga do canal (TUCCI, 1993), visando diminuir áreas alagadiças e adaptar a rede de drenagem à nova situação de escoamento superficial, gerada pela impermeabilização de parte da bacia (MIGUEZ et al., 2015). A Figura 4 apresenta um canal hídrico que passa pela cidade de Curitiba e integra o sistema de macrodrenagem do município.

Figura 4 - Representação de um sistema de macrodrenagem



Fonte: Prefeitura de Curitiba (2021)

Os principais elementos da rede de macrodrenagem são: os rios naturais, revestidos, ou retificados; os canais artificiais e as galerias subterrâneas que formam grandes troncos coletores (MIGUEZ *et al.*, 2015). Ao projetar um sistema, deve-se considerar canais abertos, uma vez que apresentam vantagens (CALDEIRA; LIMA, 2020) como: facilidade de higienização e monitoramento, economia de investimentos, adaptabilidade para expansão do sistema se necessário neste caso e flexibilidade, pois a suposição de seções mistas (RODRIGUES, 2022). Ainda, conta-se com elementos de dispersão de energia, como: rampas, vertedouros, blocos de impacto e degraus (RODRIGUES, 2022). Este tipo de estrutura tem como objetivo controlar a erosão direcionando adequadamente as águas pluviais até o curso d'água receptor (CALDEIRA; LIMA, 2020).

3.4 Sistemas estruturais alternativos

Como apresentado anteriormente, a utilização do sistema de drenagem convencional não se apresenta suficiente devido a redução do tempo de concentração das águas, resultando em inundações a jusante, assim, faz-se necessária a utilização de métodos alternativos para o controle de cheias (BRAGA, 1997). Controle de cheias é entendido como o conjunto de medidas que visa reduzir os seus impactos ou a neutralização das consequências da interferência antrópica que tende em geral a agravar as cheias (FRANCO, 2004).

As medidas não convencionais podem ser entendidas como estruturas, obras, dispositivos ou conceitos diferenciados de projeto, cuja utilização ainda não se

encontra disseminada (CANHOLI, 2005). Estes, se diferem do conceito convencional de canalizar a precipitação o mais rápido possível, considerando que buscam reter o escoamento das águas em reservatórios, através de medidas que retardem o fluxo da água (SÃO PAULO, 1999).

As técnicas compensatórias, ou alternativas, de drenagem urbana, procuram fazer a manutenção e recuperação de ambientes saudáveis tanto interna quanto externa à área urbana (CEOLIN, 2019). Melhoram o aspecto visual do espaço urbano, estimulam a permeabilidade do solo contribuindo para os aquíferos, melhorando a qualidade do ar e a saúde pública (SILVA *et al.*, 2020). Podem apresentar múltiplos usos, para fomentar o melhor convívio da comunidade e uma melhor inserção urbanística dessas técnicas (CEOLIN, 2019).

Dentre alguns exemplos de técnicas alternativas de drenagem urbana tem-se:

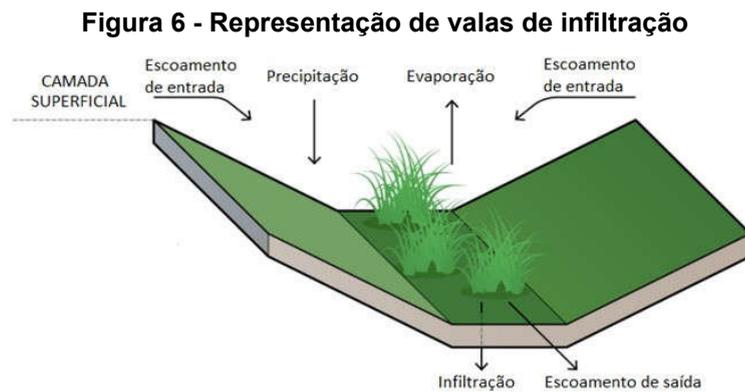
Os telhados verdes que consistem em coberturas de edifícios com vegetação como revestimento final, com benefícios estéticos, valor ecológico, em alguns casos melhorias térmicas do edifício em termos de redução de temperatura e aumento do tempo de concentração da precipitação (VASCO, 2016). Conforme Almeida (2020), os telhados verdes podem ser sistemas extensivos, ou seja, possuem coberturas leves com baixas profundidades de substrato e, portanto, baixa carga atuando sobre a estrutura do edifício; ou intensivas que possuem substratos mais profundos e, conseqüentemente, maiores cargas sobre o edifício. É constituída por camadas de vários materiais sobrepostos de maneira a garantir a cobertura vegetal pretendida e as características de drenagem desejadas (VASCO, 2016). Esses sistemas contribuem para a redução dos efeitos das ilhas de calor urbanas e para o aumento da umidade no meio, além de demandar baixa manutenção (ALMEIDA, 2020). Na Figura 5 têm um exemplo de aplicação de um telhado verde.

Figura 5 - Exemplo de telhado verde



Fonte: Bigstock (2019)

Valetas de infiltração, as quais são revestidas com vegetação, em geral grama, adjacentes à rua e estradas, ou junto a área de estacionamento, para favorecer a infiltração (CANHOLI, 2005). As valas são canais abertos de desenvolvimento longitudinal, como observa-se na Figura 6, geralmente pouco profundos e de secção variável, podendo ter forma triangular, trapezoidal ou curva (LOURENÇO, 2014). Tem como objetivo de armazenar e retardar o escoamento da água pluvial e, conseqüentemente, facilitar a sedimentação, a filtração através da zona radicular, a evapotranspiração e a infiltração no solo (ALMEIDA, 2020). A proteção dessas valetas é realizada pela própria vegetação que conserva a superfície mais permeável do solo (CANHOLI, 2005). As valas demandam baixo custo de instalação e manutenção, sendo adequadas a sistemas combinados com outros dispositivos (ALMEIDA, 2020).



Fonte: DELCI et al., (2019)

Sistemas de captação de água da chuva que contribuem para a retenção de parte da água precipitada e possibilita o reuso da mesma (SILVA et al., 2020). A água é captada através de calhas, transportada por condutores e armazenada em cisternas, como esquematizado na Figura 7 (ALMEIDA, 2020). Canholi (2005) traz uma proposta semelhante de captação de água nos telhados, onde os condutos, telhas e estruturas de cobertura de concreto possuem capacidade de armazenamento. Além de contribuir para a redução do volume de escoamento superficial (ALMEIDA, 2020), este tipo de sistemas permite uma variada utilização em situações em que não há necessidade de água potável (descargas, rega, lavagem de pavimentos e automóveis, etc.), podendo ser adotado em edifícios habitacionais ou industriais, bem como em sistemas de rega urbanos (VASCO, 2016).

Figura 7 - Implantação de uma cisterna



Fonte: eCycle (2016)

Redução de áreas impermeáveis no meio urbano que pode ser realizado pela aplicação de pavimentos permeáveis ou porosos (ALMEIDA, 2020). Essa técnica busca reduzir o escoamento superficial e a erosão e aumentar o tempo de concentração (SILVA *et al.*, 2020). O pavimento permeável diz respeito a um calçamento cujo material permite a infiltração da água por toda a superfície na qual é instalada (ALMEIDA, 2020). Já os pavimentos porosos são formados por um material impermeável, com a existência de vazios em toda sua extensão, permitindo que a água seja infiltrada (VASCO, 2016). Canholi (2005) explica que os pavimentos porosos são constituídos normalmente de concreto ou asfalto convencionais, dos quais foram retiradas as partículas mais finas e construídos sobre camadas permeáveis de material granular. A Figura 8 demonstra algumas alternativas de pavimentação que possibilitam a infiltração das águas pluviais. Ressalta-se a contribuição desses dispositivos para a recarga do lençol freático (ALMEIDA, 2020).

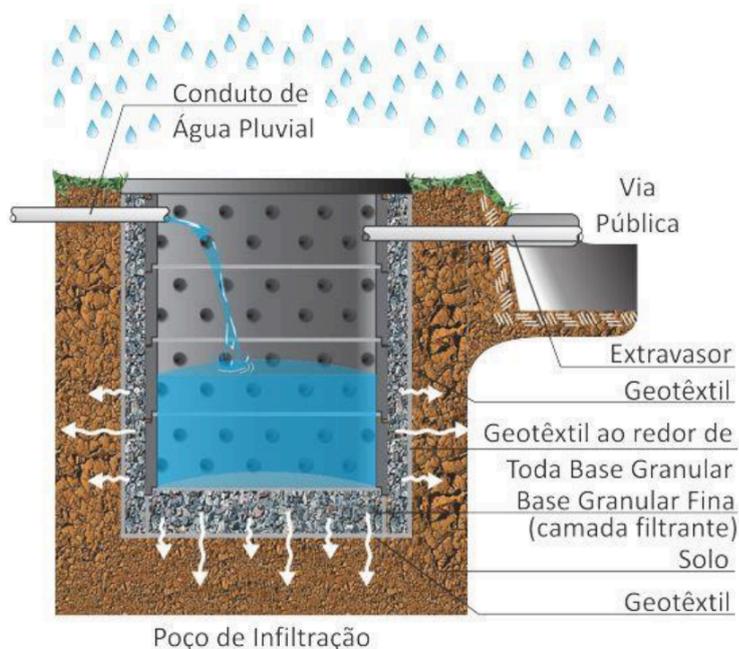
Figura 8 - Alternativas de pavimentos permeáveis



Fonte: Engenharia 360 (2018)

Poços de infiltração, os quais correspondem à medida de contenção na fonte mais recomendada (CANHOLI, 2005). Consistem em pequenos fossos de estrutura vertical que possibilita armazenar e realizar uma lenta infiltração direta de parte das águas pluviais no solo, como tem-se na Figura 9 (ALMEIDA, 2020). De acordo com Canholi (2005), os poços de infiltração são ideais para situações que não dispõem de espaço ou ainda quando há urbanização já existente. Apesar de apresentarem pouca capacidade de armazenamento, uma de suas vantagens é a possibilidade de associar-se facilmente a outros dispositivos, tais como os pavimentos permeáveis e as valas de infiltração (ANGRA, 2001). Além disso, essa medida auxilia na recarga do lençol freático, possui baixo custo de implantação e é de fácil execução (ALMEIDA, 2020).

Figura 9 - Esquema de um poço de infiltração



Fonte: Reis (2018)

Livinali *et al.* (2017) traz que dentre as várias medidas a serem implantadas, as bacias de contenção de cheias são uma alternativa eficaz para locais urbanizados. Segundo Canholi (2005), essas obras favorecem a reservação dos escoamentos. As bacias de contenção surgem como dispositivos que visam o armazenamento de água pluvial por determinado período de tempo, com o poder de controlar os volumes que chegam à rede de drenagem (ALMEIDA, 2020). A adoção destas, objetiva amenizar os efeitos adversos da ocupação urbana, controlando a vazão de pico, o volume decorrente do escoamento superficial, a qualidade das

águas pluviais e promover a recarga dos aquíferos (GRIBBIN, 2012). A Figura 10 A corresponde à bacia de contenção implantada no município de Guimarães em Portugal no ano de 2015, em um período de estiagem, enquanto em B, tem-se-a executando sua função durante uma precipitação.

Figura 10 - Bacia de contenção em período de estiagem



Fonte: Município de Guimarães (2015)

Ceolin (2019) reforça que o tipo de técnica a ser adotada depende de fatores urbanísticos, sociais, econômicos e ambientais. Em áreas que estão em desenvolvimento, deve-se estudar fatores em consonância com o desenvolvimento do projeto urbanístico, enquanto em áreas já urbanizadas, a aplicação de determinadas técnicas podem apresentar alguns empecilhos em relação aos custos e aplicação, ainda conforme o autor.

3.5 Bacias de contenção

Um conceito amplamente utilizado em medidas inovadoras de drenagem é o de retenção dos escoamentos (LOPES *et al.*, 2020). Para tal, são adotadas medidas estruturais para minimizar o impacto da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica (TUCCI, 2007). As bacias de retenção de cheias, são projetadas para interceptar e reter temporariamente um volume de água pluvial e liberá-lo após o evento, seus objetivos são controlar a vazão de pico, o volume decorrente do escoamento superficial, a qualidade das águas pluviais e promover a recarga dos aquíferos (GRIBBIN, 2006). Os reservatórios destinados a controle de cheias são estruturas que têm finalidade de reduzir o efeito das enchentes em áreas urbanas (STEINHORST, 2022). A prevenção destas perturbações é extremamente importante uma vez que também promove o controle da erosão e afasta potenciais cargas poluentes (LÍRIO, 2022).

As bacias de retenção controlam os volumes que chegam à rede de drenagem para um nível compatível com a capacidade do meio receptor (ALMEIDA, 2020). Matias (2006) impõe que implementar a jusante dos loteamentos urbanos bacias de retenção, pode ser uma solução técnico-econômica mais viável do que reformar a rede existente. Ainda conforme o autor, muitos dos pequenos e grandes lagos existentes em parques, jardins e praças possuem condições para funcionarem como reservatórios de retenção. O uso destes, pode reduzir os gastos do poder público, visto que a obrigatoriedade de sua utilização transfere a responsabilidade do controle de vazões e os custos relacionados à sua implantação ao proprietário do lote (SOUZA, 2018). Os custos das obras dependem, entre outros fatores, do volume máximo detido durante os eventos de chuva (FRANCO, 2004).

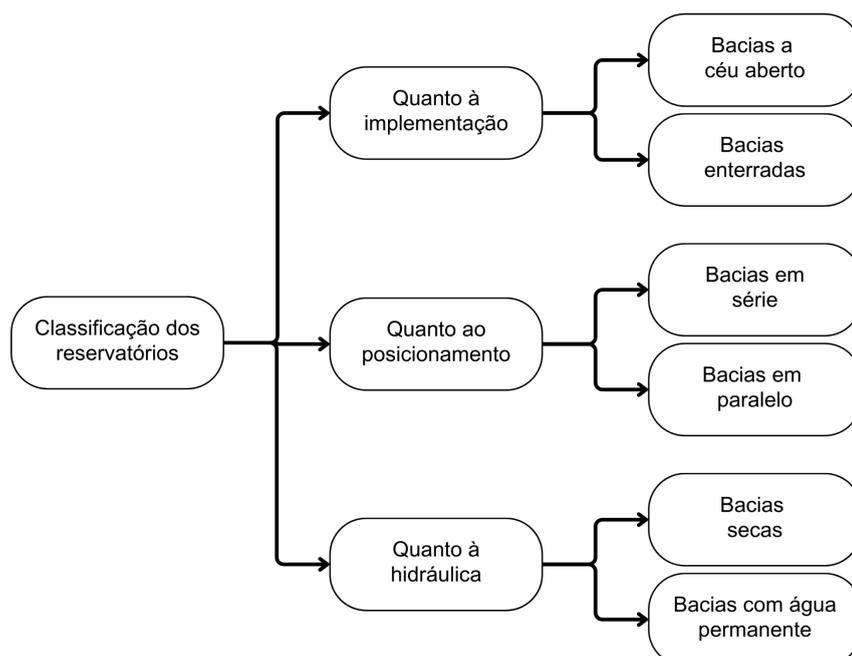
Com formato semelhante aos reservatórios utilizados para abastecimento, estes podem ser executados em concreto, alvenaria ou a partir de reservatórios prontos (SOUZA, 2018). Este engenho hidrológico apresenta uma vasta gama de funções e tipologias que promete beneficiar a comunidade envolvente (LÍRIO, 2022). Para além das significativas melhorias que estas estruturas podem provocar num sistema de drenagem, a versatilidade de funções que podem assumir é notável (LÍRIO, 2022). Além de armazenarem vazões, os reservatórios podem ter interesses múltiplos, do ponto de vista social, estético e de proteção do meio ambiente (MATIAS, 2006).

Alguns autores como Lírio (2022), Mano (2008) e Matias (2006) apontam algumas vantagens na implantação de bacias de contenção, por exemplo a proteção ao meio ambiente; melhoria da qualidade da água por meio da precipitação e sedimentação de partículas sólidas; redução dos impactos causados pela impermeabilização das superfícies urbanas; criação de espelhos de água com interesse estético e turístico; evitar a remodelação da rede de drenagem já existente; criação de polos recreativos e zonas de lazer; redução dos riscos de inundações; reservação de água para fins não potáveis como irrigação e combate a incêndios, dentre outras.

Canholi (2005) explica que as estruturas de contenção podem ser implementadas na fonte, sendo que costumam ser dispositivos de pequenas dimensões localizados próximos aos locais onde os escoamentos são gerados, permitindo assim melhor aproveitamento do sistema de condução do fluxo a jusante. O autor complementa que as estruturas situadas a jusante visam controlar os escoamentos no âmbito das bacias ou sub bacias de drenagem, sendo portanto de maior importância e significado relativo à intervenção humana.

Os autores Mano (2008) e Matias (2006) elencam classificações para as bacias de contenção, como representado no fluxograma da Figura 11 seja pelo posicionamento em relação ao canal de drenagem, quanto ao local de implantação, bem como pelo comportamento hidráulico do reservatório.

Figura 11 - Fluxograma das classificações de bacias de contenção



Fonte: Adaptado de Mano (2008) e Matias (2006)

As bacias em paralelo ou off-line são assim denominadas uma vez que a sua instalação se encontra paralela ao canal de drenagem afluente (LÍRIO, 2022). São de um modo geral de menor dimensão e exigem menores custos de manutenção por serem menos afetados pelo acúmulo de sedimentos (MATIAS, 2006). Este posicionamento lateral faz com que circule nesta estrutura apenas o escoamento excedente ao da capacidade de transporte dos canais de drenagem (LÍRIO, 2022), assim, tem mais chances de serem bacias secas (MATIAS, 2006).

Em contrapartida, as bacias instaladas interceptando os canais ou coletores afluentes são chamadas de bacias em série ou on-line (MATIAS, 2006). Uma vez que esta estrutura hidráulica intercepta o canal de drenagem, é intuitiva a constatação que todo o escoamento circula na bacia (LÍRIO, 2022), logo, estas são mais propícias a serem bacias com nível de água permanente (MANO, 2008). Lírio (2022) explica que num cenário onde o escoamento superficial é regular, a bacia não armazena nenhum volume, uma vez que não há necessidade de amortecer a vazão. Em momentos de elevado escoamento, a bacia armazena-o mantendo constante a vazão de descarga do canal, ainda de acordo com o autor.

Os reservatórios de contenção podem ser de retenção ou detenção (FENDRICH e GEVAERD, 2014). As bacias que possuem um nível permanente de água ao longo do ano são denominadas bacias de retenção (LIVINALI *et al.*, 2017). Na ocorrência de precipitações, o nível de água armazenado na bacia aumenta (LÍRIO, 2022). O volume permanente tem a vantagem de permitir que ocorra sedimentação de sólidos e um tratamento biológico nos intervalos entre os eventos de precipitação (MATA-LIMA *et al.*, 2006). A implementação desse tipo de reservatório requer que o mesmo tenha uma profundidade adequada para evitar a ocupação do fundo por plantas aquáticas (CEOLIN, 2019). Ainda, este método implica em aumento significativo dos custos para a implantação da bacia comparado com as bacias a seco e está condicionada a uma alimentação contínua de água por parte de um aquífero subjacente (MANO, 2008).

Alternativamente, pode-se optar por dispor de um fundo impermeável, natural ou artificial (MATIAS, 2006). Além de reduzir os impactos de inundações essas áreas podem servir de recreação e habitat para a vida animal, zonas de lazer destacando-se a pesca e a canoagem; criação de reservas de água para as mais diversas finalidades como irrigação, combate a incêndios, industriais, limpezas, garantindo a proteção do meio ambiente, aliado a construção mais simples e rápida,

e uma flexibilidade na ampliação em relação aos outros tipos de bacias (LIVINALI *et al.*, 2017). Observa-se na Figura 12 um exemplo de bacia de retenção a céu aberto.

Figura 12 - Reservatório de retenção a céu aberto



Fonte: Projeto Técnico (2020)

Enquanto as bacias concebidas para estarem geralmente secas, acumulando água apenas em períodos específicos são chamadas de bacias de detenção (MATIAS, 2006). Essas bacias têm a finalidade de amortecer a vazão de pico gerada pelo evento de chuva, detendo o volume da precipitação por um tempo para liberá-lo aos poucos (CEOLIN, 2019). Recorre-se a este tipo de bacias em situações em que os problemas de escoamento do sistema ocorrem apenas na ocorrência de episódios de precipitação (LÍRIO, 2022).

Ceolin (2019) afirma que as bacias de detenção devem possuir pelo menos uma estrutura de saída, uma vez que é necessário o esvaziamento desta, recorre-se à aplicação de descarregadores em diferentes níveis (LÍRIO, 2022). As bacias de detenção podem ser projetadas a céu aberto ou por obras subterrâneas (CEOLIN, 2019). Para a implantação de uma bacia seca é condicionante o nível máximo atingido pela toalha freática em períodos de chuva, a qual deve-se encontrar abaixo da cota de fundo da bacia (MATIAS, 2006). Se o nível atingir essa cota corre-se o risco de criação de zonas pantanosas (MANO, 2008). Para além das funções de armazenamento das águas pluviais, as bacias secas, podem ter outras finalidades como áreas de jogos e práticas desportivas, como representado na Figura 13, ou mesmo parques de lazer e espaços verdes (MATIAS, 2006).

Figura 13 - Reservatório de detenção a céu aberto

Fonte: Projeto Técnico (2020)

Quanto às escolhas de implantação, entre “seca” e de “nível de água permanente”, variam em função da qualidade da água, o tipo de integração paisagístico que se pretende obter (LIVINALI *et al.*, 2017).

Ainda, têm-se que as bacias de contenção podem ser implementadas enterradas ou a céu aberto (MATIAS, 2006). Bacias subterrâneas ou enterradas, como o próprio nome indica, estas estruturas caracterizam-se por se encontrarem abaixo do nível do solo funcionando como reservatórios de regularização soterrados (LÍRIO, 2022). São estruturas geralmente constituídas de tubos de grandes diâmetros ou outros tipos de câmaras de concreto armado (GRIBBIN, 2012). Trata-se de um sistema com custo elevado de instalação, cerca de 3 a 5 vezes mais alto que o de bacias a céu aberto (LIVINALI *et al.*, 2017), entretanto, são indicadas em zonas urbanas densas, com limitações na disponibilidade de espaço (MATIAS, 2006). Devido a sua localização inferior ao solo, se torna indispensável a utilização de sistema de bombeamento da água para o seu esvaziamento após o período de chuva (LIVINALI *et al.*, 2017).

As bacias enterradas também possuem um apelo social, pois geralmente são construídas praças, quadras esportivas e áreas de lazer sobre a laje superior do reservatório (CANHOLI, 2005). A frequência de manutenção pode ser menor em comparação a de céu aberto, mas não dispensa inspeções periódicas para garantir a desobstrução da entrada e saída (LIVINALI *et al.*, 2017). De um modo geral estas

bacias são colocadas em paralelo (MANO, 2008). Na Figura 14, tem-se a demonstração de um modelo de bacia de contenção subterrânea.

Figura 14 - Reservatório de detenção subterrâneo



Fonte: Duotec Engenharia (2020)

Já as bacias a céu aberto, como o próprio nome indica, podem assumir formas e funções que mais se adequem à situação em questão por serem implementadas na superfície do solo (LÍRIO, 2022). Atualmente são as mais utilizadas, normalmente de menor dimensão exigindo menores investimentos (LIVINALI *et al.*, 2017).

As bacias a céu aberto de um modo geral são construídas em terra, com taludes reforçados ou diques com proteção lateral (MANO, 2008). Podem resultar de simples interceptação de uma linha de água em local de fisiografia favorável, através de uma pequena barragem ou açude, ou de zonas em depressão natural com solos de resistência e características adequadas (MATIAS, 2006). Sua manutenção é mais rápida e econômica devido ao menor acúmulo de sedimentos e pelo acesso livre (LIVINALI *et al.*, 2017). Este tipo de bacia está, geralmente, ligada a preocupações de integração paisagística (MANO, 2008), podendo assumir propósitos de valorização de áreas de lazer e tempos recreativos ou de biodiversidade (LÍRIO, 2022).

Mata-Lima *et al.* (2006) ressalta que o dimensionamento das bacias de contenção requer conhecimento da topografia e rede hidrográfica, clima (regime de precipitação), tipo do solo, tipo de ocupação da bacia, sistema de drenagem

existente, plano de desenvolvimento e condições de jusante. Assim como a escolha do local de implantação deve basear-se nas condições geomorfológicas naturais do local, para evitar grandes perturbações no meio e reduzir custos econômicos, conforme o mesmo autor.

3.6 Métodos de Dimensionamento

O dimensionamento hidráulico de uma bacia de contenção consiste, fundamentalmente, em determinar o volume necessário de armazenamento (MATIAS, 2006). Existem inúmeros métodos hidrológicos que permitem estimar o volume da bacia a ser dimensionada (MATA-LIMA, et al., 2006). Esses métodos apresentam incontáveis diferenças, especialmente quanto aos critérios assumidos (CANHOLI, 2005).

Canholi (2005) exemplifica o método de Abt e GRIGG para dimensionar bacias de contenção, sendo que este não considera as características hidráulicas da estrutura de saída do reservatório, mas sim um hidrograma afluente triangular e um hidrograma efluente trapezoidal, indicado para determinações preliminares.

Quando não se tem um modelo de escoamento que permita gerar o hidrograma de entrada ou hidrograma de escoamento afluente, pode-se recorrer ao método Holandês, descrito por Matias (2006). Este método baseia-se no conhecimento das curvas de Intensidade, Duração e Frequência (IDF), permitindo calcular o volume necessário para armazenar no reservatório, conforme o autor. É um método expedito, particularmente adequado na fase de pré-dimensionamento da bacia.

O método de Pagan é de aplicação limitada a pequenas bacias de drenagem, sendo recomendado para períodos de retorno não superior a 10 anos, de acordo com Mata-Lima *et al.* (2006). Trata-se de um método de regressão, que resultou do tratamento e compilação de dados de pequenas bacias de drenagem dos Estados Unidos da América (EUA), em que através de uma equação, é possível determinar o parâmetros de armazenamento de um reservatório, desde que se conheçam as vazões Q_i e Q_0 , ainda em concordância com o autor.

3.6.1 Método Hidrograma Triangular Simplificado

Diversos autores recomendam a utilização do método Hidrograma Triangular Simplificado (HTS) para pequenas áreas, pois permite gerar hidrogramas sem a

necessidade de um modelo de escoamento (MATIAS, 2006). A aplicação deste método exige o conhecimento de dados relativos às condições biofísicas da bacia de drenagem (MATA-LIMA *et al.*, 2006), e consiste na definição dos hidrogramas de afluente e efluente em forma triangular (LÍRIO, 2022). Ainda, tem-se que o hidrograma efluente pode ser estabelecido em função da capacidade de vazão do sistema a jusante (MATA-LIMA *et al.*, 2006), ou simulando as condições de vazão natural da área antes de ser urbanizada.

Mata-Lima *et al.* (2006) explica que o método considera um hidrograma em forma de triângulo, sendo a base igual a 2,67 vezes o tempo de concentração. Considerando a precipitação constante ao longo do tempo, assume-se que o tempo de duração da precipitação é o próprio tempo de concentração (SOUZA, 2018). Assim, o volume de armazenamento a ser adotado será o correspondente à diferença entre o volume gerado pela urbanização e o volume de reserva natural, isto é, a diferença entre os hidrogramas triangulares (LÍRIO, 2022).

Durante uma precipitação de intensidade constante, o escoamento aumenta até alcançar um máximo no pico da vazão de entrada, momento em que cessa a precipitação e o escoamento passa a reduzir gradualmente, chegando a zero (SOUZA, 2018). Quando a duração da precipitação é maior que o tempo de concentração, a vazão máxima é reduzida, mas o volume total escoado aumenta, logo, é necessário um tamanho maior de bacia de contenção (GRIBBIN, 2012).

A vazão de pico em pequenas bacias hidrográficas, pode ser calculada pela fórmula racional, a qual é reconhecida como a de maior utilização e divulgação à escala mundial (MATIAS, 2006). É o primeiro e mais duradouro método (GRIBBIN, 2012) devido a sua simplicidade e resultados satisfatórios (MATIAS, 2006). A fórmula racional é tradicionalmente utilizada em áreas urbanas com menos de 1 km², com estruturas simples de saída, tempo de concentração inferior a 20 minutos, dado que, por hipótese do método, a precipitação é considerada constante em todo o processo (CANHOLI, 2005).

Tucci (2009) aponta os princípios básicos desta metodologia como: considerar a duração de precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração; adotar um coeficiente único de perdas baseado nas características da bacia; não avaliar o volume da cheia e da distribuição temporal das vazões. As limitações do método residem no fato de considerar a vazão de pico ocorrente apenas quando toda a bacia está a contribuir para o escoamento (MATIAS, 2006).

3.6.2 Método por Modelagem Espacial

Christofolletti (1999) explica que a modelagem consiste em qualquer representação simplificada da realidade ou de um aspecto do mundo real que possibilite prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução. Quando aplicada a hidrologia, a modelagem busca maneiras de melhorar o entendimento e a representação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, sendo que os modelos hidrológicos possuem grande potencial para caracterizar a disponibilidade hídrica em diversos fatores, como as condições de mudanças no clima ou no uso do solo (PEREIRA, 2020).

A transformação de chuva em vazão e a propagação de cheias no reservatório pode ser realizada com auxílio do programa HEC-HMS, o qual consiste em um software desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE – U.S. Army Corps of Engineers) (MUNIZ *et al.*, 2007). Trata-se de um programa internacionalmente reconhecido por suas capacidades computacionais em Engenharia Hidrológica (CABRAL *et al.*, 2016).

O hidrograma de projeto traz informações que permitem a alimentação do software HEC-HMS, em que diferentes valores de cada parâmetro podem ser testados, gerando instantaneamente novas saídas do modelo (PETERS, 1998). A determinação dos parâmetros necessários é identificada de acordo com a escolha dos métodos de cálculo que estão disponíveis no HEC-HMS, podendo variar entre métodos de perdas, transformação, fluxo base, propagação e armazenamento (PEREIRA, 2020). Assim, é possível determinar o volume necessário a ser dimensionado para bacias de contenção, pelo amortecimento da onda de cheias.

3.7 Hidrogramas de projeto

O dimensionamento de bacias de contenção requer o cálculo do hidrograma do escoamento da bacia de drenagem, para os períodos de pré e pós-desenvolvimento (MATA-LIMA *et al.*, 2006), logo, é preciso conhecer as necessidades hidrológicas, isto é, o escoamento que é necessário regularizar (LÍRIO, 2022). Hidrogramas são gráficos que apresentam a vazão de escoamento superficial ao longo do tempo (TUCCI, 2009). O hidrograma de projeto de uma bacia hidrográfica depende de dois componentes principais, o volume de escoamento superficial e a propagação deste volume para jusante (TUCCI, 2003).

O hidrograma de afluente corresponde a vazão que chega no reservatório e o hidrograma efluente a vazão que sai do reservatório, ou ainda, hidrogramas que correspondem a bacia em estado natural (sem urbanização) e totalmente urbanizada. Franco (2004) presume que hidrograma efluente dependerá do nível de água e do tipo de estrutura utilizada para o controle da vazão, orifício e/ou vertedor. O autor observa que a diferença acumulada entre o hidrograma afluente e efluente corresponde ao volume acumulado, ou seja, o volume necessário a ser retido pela bacia.

Os modelos chuva x vazão empregados para definição dos hidrogramas de entrada admitem um determinado hietograma de chuva associada a um tempo de recorrência (FRANCO, 2004). O hietograma é uma forma gráfica que mostra a intensidade da precipitação ao longo de sua duração (MUNIZ, 2017). Para obter a vazão de cheia é necessário quantificar a precipitação que deu origem ao escoamento superficial (MATIAS, 2006). Esta precipitação, corresponde a diferença entre a quantidade de água precipitada e as perdas para o escoamento superficial por interceptação, retenção e infiltração (FRANCO, 2004).

Poderão ainda ser adotados os métodos de cálculo dos hidrogramas de cheia baseados na teoria do hidrograma unitário (MANO, 2008). Tomaz (2013) ressalta que, na prática, para se obter o hidrograma é necessário a análise das precipitações e vazões daquela bacia em estudo. Na falta destes, são utilizadas fórmulas empíricas que resultam nos denominados hidrogramas sintéticos, ainda em concordância com o autor.

Um método muito recomendado é o desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS), que utiliza o modelo do Hidrograma Unitário, para avaliar o efeito do armazenamento sobre o escoamento em função do uso e tipo do solo (FRANCO, 2004). Hidrogramas sintéticos e de medição direta são elaborados a partir de hidrogramas unitários que se baseiam na hipótese de que, se uma bacia comporta-se como reservatório linear, pode-se considerar que chuvas efetivas de intensidades constantes e mesmas durações geram hidrogramas com tempos de pico e durações iguais (CANHOLI, 2005). A unidade de precipitação efetiva é 1 polegada (sistema inglês) ou 1 mm (sistema internacional) (GRIBBIN, 2012). Um hidrograma unitário de uma bacia não serve para outra, pois são considerados parâmetros particulares em seu desenvolvimento.

3.7.1 Hidrogramas do método SCS

O método SCS é um procedimento para calcular um hidrograma sintético baseado em fatores empiricamente determinados, desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo, também conhecido NRCS (Serviço de Conservação dos Recursos Naturais) (GRIBBIN, 2012) do US Department of Agriculture, que utiliza parâmetros de classificação hidrológica e de cobertura dos solos (CANHOLI, 2005). Mata-Lima *et al.* (2006) afirma que o método é, especialmente, indicado para o dimensionamento de bacias de contenção.

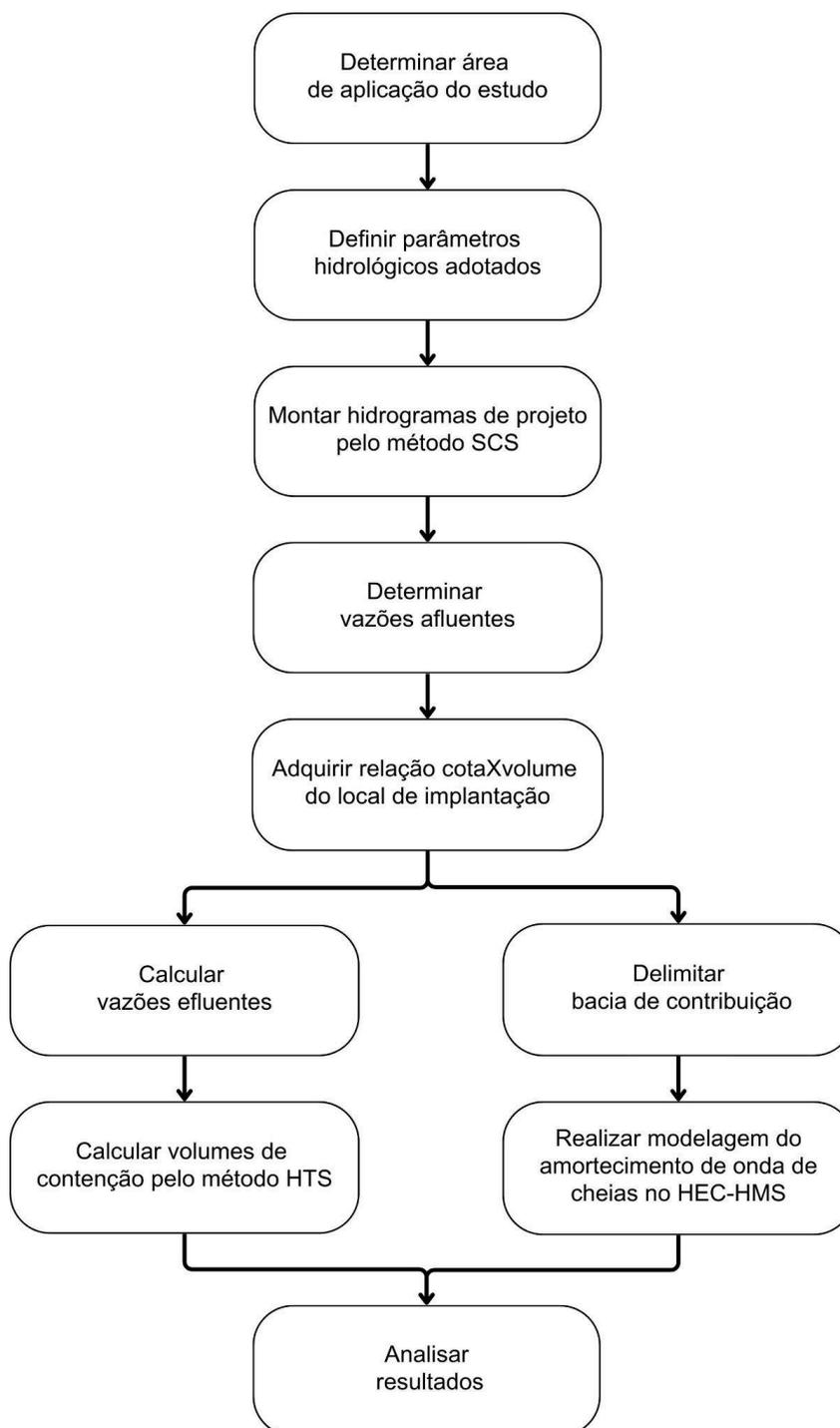
O modelo tem como principal parâmetro o CN (Número Curva), que depende da classificação hidrológica do solo, das condições antecedentes de umidade e da cobertura do solo (CUNHA *et al.* 2015). Por meio da análise de solos, foi estabelecida uma relação empírica que visa correlacionar a capacidade de armazenamento pela bacia ao índice número curva (CANHOLI, 2005). De acordo com a documentação do método, seu desenvolvimento foi fruto de uma série de investigações na primeira metade do século XX, por meio de experiências de campo em pequenas bacias nos EUA (CUNHA *et al.*, 2015). Adaptado para os solos do Estado de São Paulo, é possível sua utilização nos demais estados do país (PORTO, 2006).

A precipitação deve ser calculada utilizando a distribuição percentual do tempo total de duração da chuva, com a precipitação acumulada, proposta por Huff (GARCIA; RAMOS, 2007). É então gerado um hidrograma unitário adimensional. Sua forma representa a média de um grande número de hidrogramas unitários de bacias de diferentes características (CANHOLI, 2005). O eixo do tempo é calibrado em unidades t/tp onde tp é o tempo para o pico do hidrograma. Assim, cada ponto do eixo do tempo representa uma porcentagem do tempo para atingir o pico, assim como a vazão, o qual é calibrada em q/q_p , onde q_p é a vazão máxima (GRIBBIN, 2012). Nesse método, o hidrograma total de um dado evento pode ser construído por meio da soma dos hidrogramas parciais obtidos para cada bloco de chuva excedente, obtendo assim o hidrograma final para dada precipitação (CANHOLI, 2005).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A execução do trabalho se deu conforme o fluxograma esquematizado ilustrado na Figura 15, sendo que os cálculos e os gráficos foram realizados por meio de planilhas no software Excel e HEC-HMS.

Figura 15 - Esquema da sequência de passos a serem realizados.



Fonte: Autoria própria (2024)

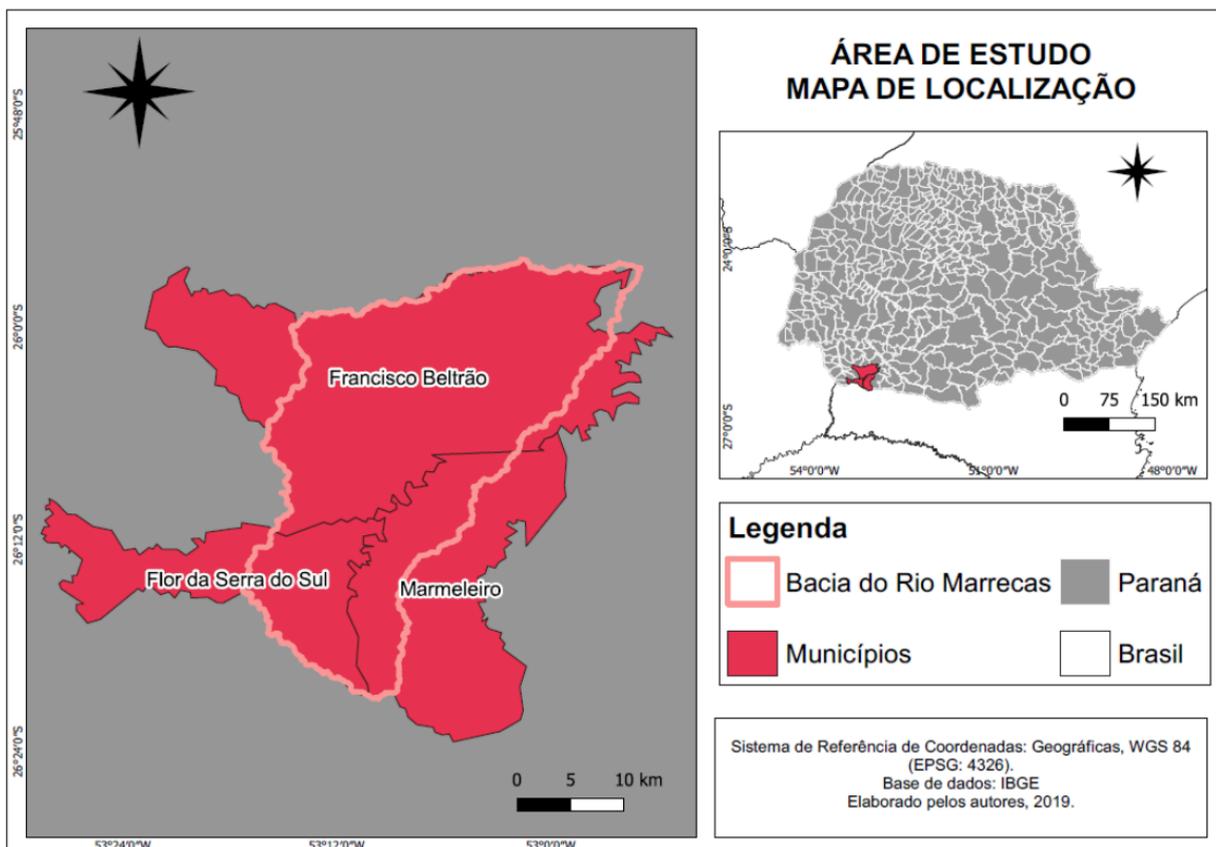
4.1 Dados de Entrada

Inicialmente foi preciso definir alguns parâmetros hidrológicos a serem adotados, como o tempo de recorrência, tempo de duração da chuva, distribuição temporal da chuva, cálculo do escoamento superficial, hidrograma parcial, hidrograma total, definição das estruturas de saída e quantificação dos volumes e vazões em cada cota da bacia de contenção.

4.1.1 Local de Estudo

O estudo foi aplicado na cidade de Francisco Beltrão, localizado no Sudoeste Paranaense, como indicado na Figura 16, o município conta com 96.666 habitantes (IBGE, 2022) e extensão territorial de 735,111 km².

Figura 16 - Localização de Francisco Beltrão em relação ao Paraná e a bacia do Rio Marrecas



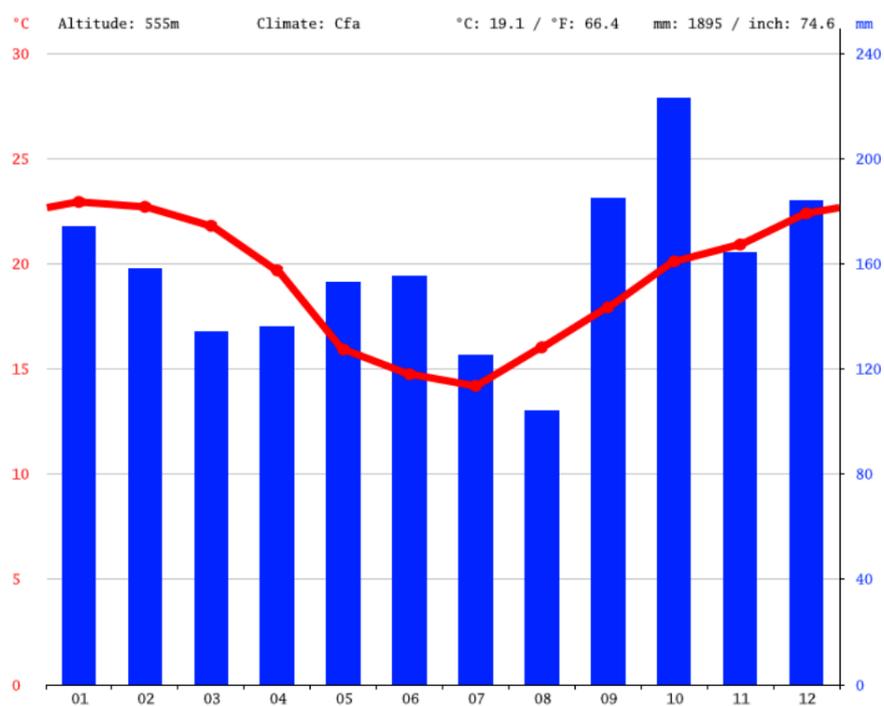
Fonte: Bortolini et al., (2021)

Na Figura 16 é possível ainda, visualizar a bacia do rio Marrecas, que de acordo com informações divulgadas pela prefeitura, realiza o abastecimento da cidade e percorrendo mais de 90 km no território do município (FRANCISCO BELTRÃO, 2011). De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), a

bacia do Rio Marrecas abrange partes de outros municípios como Marmeleiro (16,2%), Flor da Serra do Sul (15,5%), Verê (2,1%) e Itapejara do Oeste (1,9%). É capaz de drenar uma área de 858,52 Km² e conforme a Resolução CONAMA 357 (2005), é classificada como classe II. Sendo assim, as águas do rio podem ser destinadas a abastecimento doméstico, irrigação e recreação de contato primário (LUZ, 2011).

ClimateData (2021) traz que em Francisco Beltrão há precipitação em todos os meses do ano. Observa-se na Figura 17 do mesmo autor, que agosto apresenta a menor precipitação média anual, com 104 mm registrados. Em contrapartida, outubro registrou a maior precipitação, com um valor médio de 223 mm.

Figura 17 - Temperatura e precipitação média em Francisco Beltrão no ano de 2019



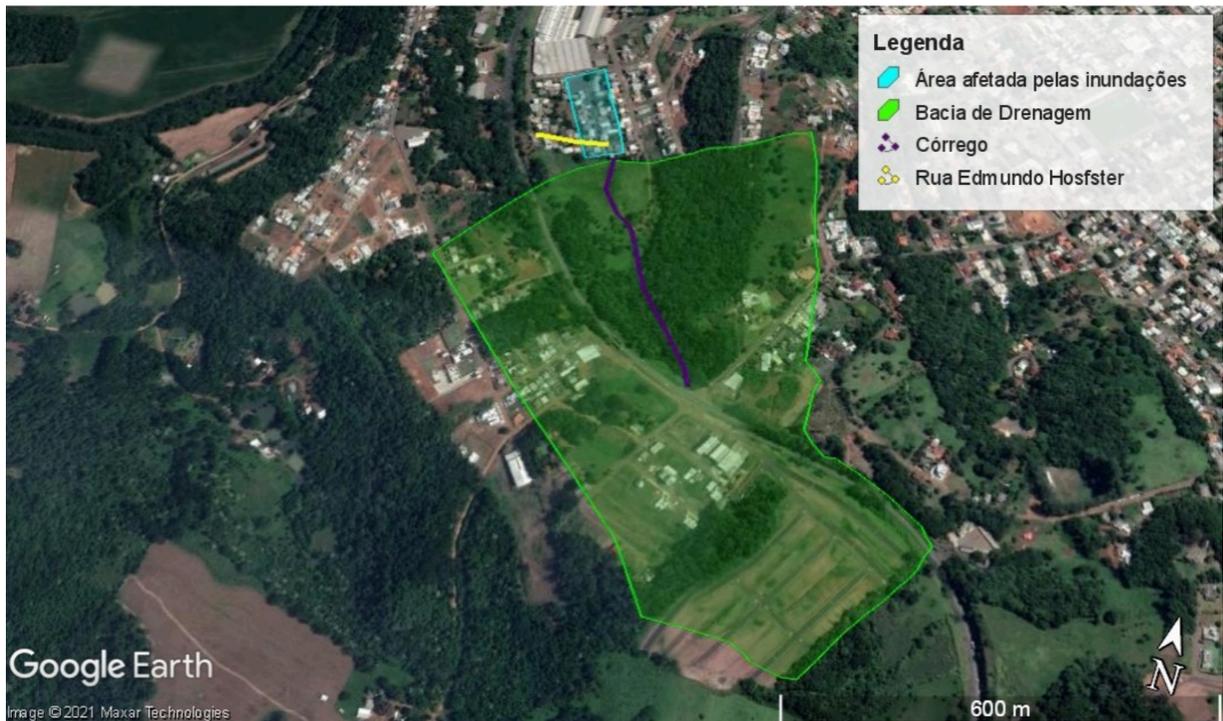
Fonte: ClimateData (2021)

O plano diretor de Francisco Beltrão (2017) traz que seus solos são oriundos da decomposição e desintegração das rochas vulcânicas que deram origem a solos argilosos em sua grande maioria. Encontra-se no município latossolo roxo, litólico eutrófico, cambissolo e ainda latossolo vermelho escuro resistentes à erosão, ainda conforme Francisco Beltrão (2017).

4.1.2 Delimitação da Bacia

Para a simulação dos métodos tomou-se como base dados geográficos da bacia levantados por Lombardo (2021). A área de estudo contempla 0,4043 km², é localizada no bairro Marrecas em Francisco Beltrão – PR e apresenta recorrentes casos de inundações (LOMBARDO, 2021). Na Figura 18 é possível observar a área de contribuição da bacia de drenagem e a área que sofre com inundações.

Figura 18 - Localização da bacia de drenagem do projeto



Fonte: Lombardo (2021)

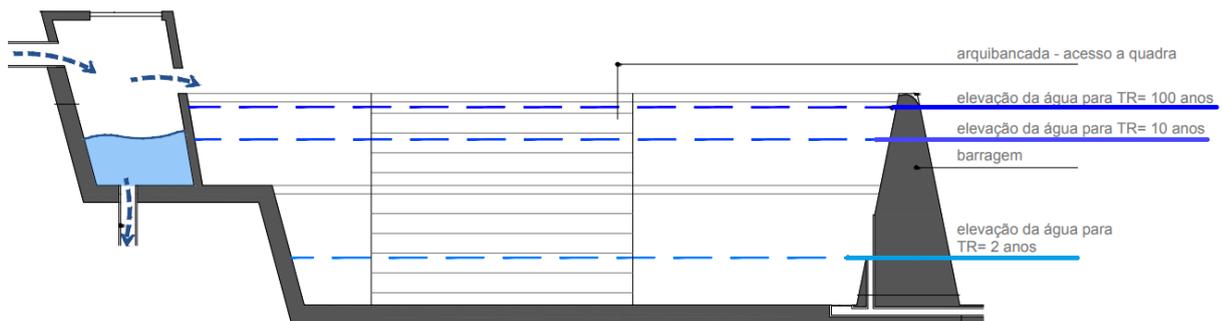
4.1.3 Parâmetros Hidrológicos

4.1.3.1 Tempo de Recorrência

Neste trabalho foram analisados três cenários distintos, assumindo 25, 50 e 100 anos de recorrência. O período de retorno ou tempo de recorrência é definido, como o período de tempo médio em que determinado acontecimento é igualado ou ultrapassado (MANO, 2008). Ou seja, consiste no intervalo de tempo em que um fenômeno hidrológico volta a acontecer. Neste caso, o tempo de recorrência corresponde à frequência em que as magnitudes de precipitações se repetem (GRIBBIN, 2012). Tucci (1998) recomenda para estruturas de macrodrenagem em áreas comerciais e residenciais a adoção dos tempos de 50 e 100 anos. Mano

(2008) levanta que a escolha do período de retorno é condicionada pelo custo da obra e deve ser encarada em termos econômicos (MANO, 2008). Assim decidiu-se por realizar simulações com ambos os períodos, bem como o de 25 anos visando a diminuição de custos, quando possível. Para bacias de contenção, implica no nível da água, como demonstrado na Figura 19, sendo que quanto maior o tempo de retorno, maior será o volume de contenção.

Figura 19 - Indicação do nível d'água na bacia de contenção para diferentes TR



Fonte: Adaptado de Projeto Técnico (2020)

4.1.3.2 Tempo de Concentração

O tempo de concentração consiste no tempo em que a água leva para escoar do ponto mais remoto até a seção de interesse (CANHOLI, 2005). O ponto mais remoto é aquele que requer maior tempo para escoar (GRIBBIN, 2012).

O tempo de escoamento da água sobre a superfície do solo, foi estimado pela equação de Kirpich (equação 1), indicada por Tucci (1998) para pequenas bacias, menores que 0,5 Km² e com declividades de 3% a 10%. Mesmo que a área de estudo seja urbana, a fórmula ainda é considerada válida, devido a baixa urbanização do local (LOMBARDO, 2021).

$$tc = 3,989 * L^{0,77} * S^{-0,385} \quad (1).$$

Onde:

tc = tempo de concentração (min);

L = comprimento do talvegue (Km);

S = declividade (m/m).

Cada bacia de drenagem tem seu próprio tempo de concentração, dependendo de tamanho, forma, declividade e condições do solo (GRIBBIN, 2012).

4.1.3.3 Tempo de Base

Para o tempo de base, adotou-se a relação trazida por Mata-Lima *et al.* (2006), que corresponde à duração da afluência do escoamento na bacia, com o tempo de concentração, calculado pela equação 2.

$$tb = 2,67 * tc \quad (2).$$

Onde:

tb = tempo de base do hidrograma (s);

tc = tempo de concentração (s).

4.1.3.4 Tempo de Duração de Chuva

Franco em 2004 levantou a ausência de estudos quantitativos relativos à duração da chuva de projeto, tendo sido usados em alguns casos uma duração da chuva igual ao tempo de concentração, fato que garante a maior vazão, mas não necessariamente o maior volume.

Devido a deficiência de informações ainda presente nos dias atuais, foram realizadas comparações com diversas metodologias, fato o qual elucidou a divergência dos métodos quanto a adoção do tempo de duração de chuva crítica ideal e resultou na decisão de adotar um tempo de duração de 1 hora.

4.1.3.5 Intensidade de Precipitação

Em reservatórios, define-se a chuva do projeto com base em chuvas padronizadas, obtidas através da relação de intensidade, duração e frequência (IDF) e/ou com uso de dados pluviométricos efetivos (CANHOLI, 2005). A relação entre intensidade, duração e frequência varia de local para local e pode ser determinada empiricamente através de uma longa série de observações pluviográficas locais. No caso do município de Francisco Beltrão, os parâmetros foram extraídos do software Pluvio, aplicados na equação de chuva apresentada pela equação 3, resultando na equação de chuva específica para a cidade, equação 4.

$$i = \frac{K * Tr^a}{(t + b)^c} \quad (3).$$

$$i = \frac{1012,28 * Tr^{0,182}}{(t + 9)^{0,76}} \quad (4).$$

Onde,

i = intensidade (mm/h);

Tr = tempo de recorrência (anos);

t = tempo de chuva (min).

4.2 Vazões Afluente

No dimensionamento hidráulico é necessário o cálculo de vazões de cheia, definidas como os valores máximos a serem atingidos (MANO, 2008). As vazões máximas afluentes, referentes ao período pós urbanização, foram definidas por meio dos hidrogramas de projeto desenvolvidos pelo método SCS como descrito por Canholi (2005) e Tomaz (2013). Esse método foi escolhido pois sua metodologia procura descrever o tipo de solo, a sua utilização e condição de superfície no que diz respeito à potencialidade de gerar escoamento superficial (MANO, 2008) O método é indicado para o dimensionamento de bacias de contenção, porque permite definir o hidrograma do escoamento (MATA-LIMA *et al.*, 2006).

Como a duração da chuva adotada é inferior a 12 horas, o hietograma de projeto derivou do primeiro quartil do método descrito por Huff (1967), que classifica as precipitações em quatro grupos, com durações divididas em quatro partes iguais. A precipitação total foi obtida através da equação 5.

$$Pt = i * t \quad (5).$$

Onde:

Pt = precipitação total (mm);

t = tempo de distribuição (h);

i = intensidade (mm/h).

Para plotar os hidrogramas unitários do método SCS, foi considerado tempo de discretização de chuva de 0,1 horas (tr) e os tempos de resposta e de pico determinados pelas equações 6 e 7, respectivamente. Ainda, tem-se a equação 8 que forneceu as vazões de pico.

$$tL = 0,6 * tc \quad (6).$$

$$tp = 0,5 * tr * tL \quad (7).$$

$$Q_p = \frac{2,08 * A}{t_p} \quad (8).$$

Onde:

t_p = tempo de pico (h);

t_c = tempo de concentração (h);

t_r = tempo de discretização (h);

t_L = tempo de resposta (h);

Q_p = vazão de pico (m³/s).

O hietograma excedente de projeto levou em consideração o valor do número curva (CN). O número de escoamento CN descreve a potencialidade da bacia hidrográfica gerar escoamento superficial, e está compreendido entre 0 e 100 (MANO, 2008). Para tanto, considerou-se a bacia de contribuição como totalmente urbanizada, visando o cenário mais crítico, esta condição resultou na adoção de um CN de 98, como recomendado por Tucci (1998).

A infiltração potencial máxima e a abstração inicial foram calculadas pelas equações 9 e 10, como recomendado por Tucci (2009). Compreendendo na água precipitada interceptada pela vegetação ou retida em depressões do terreno infiltrada ou evaporada antes do início do deflúvio (CANHOLI, 2005).

$$S = 25,4 * \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (9).$$

$$I_a = 0,2 * S \quad (10).$$

Onde:

S = infiltração potencial máxima (mm);

CN = número curva;

I_a = abstração inicial (mm).

As precipitações excedentes foram estimadas a partir da precipitação acumulada, considerando que se o armazenamento ao longo do tempo fosse menor que a abstração inicial, teria-se assumido 0, caso contrário, foi calculado com a equação 11. Com os valores de precipitação excedentes, foi possível plotar gráficos para melhor visualização do volume de excedência, apresentados no Anexo D.

$$Pe = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{(P + 0,8 * S)} \quad (11).$$

Onde,

Pe = precipitação excedente (mm);

P = precipitação acumulada (mm);

S = infiltração potencial máxima (mm).

Em seguida foi realizado o processo de superposição descrito por Tomaz (2013), a fim de obter a relação das vazões máximas ao longo do tempo de chuva e do tempo para dissipação do escoamento superficial gerado, exposto nos Anexos E, 6 e 7. Assim, foram identificadas as vazões máximas afluentes do projeto.

4.3 Método Hidrograma Triangular Simplificado

A aplicação desse método exige o conhecimento de dados relativos às condições biofísicas da bacia de drenagem, sendo o hidrograma de saída da bacia estabelecido em função da capacidade de vazão e da estrutura de drenagem a jusante (MATA-LIMA *et al.*, 2006). O volume de armazenamento pode ser calculado através de expressões geométricas expressas em função da profundidade do reservatório (MANO, 2008).

A relação de cota X área do local de implantação da bacia, foi adotada do trabalho apresentado por Lombardo (2021), essa relação está contida no Anexo A. Por se tratar de um problema real, foi necessário preservar e respeitar a capacidade de vazão do sistema de efluência já implementado no local, sendo que o conduto possui um diâmetro de 0,8m e é classificado como um orifício de uma tubulação muito curta, ainda conforme Lombardo (2021).

A partir disso foi possível calcular as vazões efluentes para cada volume acumulado. Lombardo (2021) obteve valores de volume de contenção preliminares seguindo a metodologia proposta por Franco (2004), que foram utilizados para definir vazões efluentes preliminarmente.

Com intuito de reduzir possíveis erros, as vazões afluentes adotadas foram a obtidas pelo método SCS, assim como para a modelagem no HEC-HMS. A partir desses valores de vazão máxima afluente para os distintos cenários e a vazão efluente preliminar calculada respeitando a estrutura de saída já implementada no local, executou-se o método HTS para determinar os volumes das bacias de

retenção. A execução do método decorreu conforme descrito por Mata-Lima *et al.* (2006), sendo que os volumes foram obtidos pela equação equação 12.

$$V = \frac{1}{2} * tb * (Qi - Qo) \quad (12).$$

Onde:

V = volume de armazenamento da bacia (m³);

Qo = vazão efluente (m³/s);

Qi = vazão afluente (m³/s);

tb = tempo de base do hidrograma (s).

Os novos volumes de retenção devem ser utilizados para determinar a vazão efluente real, pois os novos volumes foram superiores aos volumes preliminares e assim deve-se considerar o aumento de carga hidráulica. Por meio do método de tentativa e erro, foram delimitados os volumes de retenção reais.

4.4 Método por Modelagem Espacial

A modelagem do amortecimento de onda de cheia se deu pelo software HEC-HMS versão 4.10 (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System, dos Estados Unidos) para observar as transformações chuva-vazão, o qual é uma importante ferramenta que vem sendo amplamente utilizada no cenário da hidrologia (PEREIRA, 2020).

A execução do software requer o modelo da bacia para simular as condições da mesma. Sendo assim, foi criado um polígono no software QGIS versão 3.36.0, com a delimitação da bacia de contribuição baseada nas curvas de níveis do local, o qual foi exportado em arquivo shapefile.

Para a determinação do volume de retenção pelo HEC-HMS utilizou-se da relação cotaXvolume, disponível no Anexo A, proposta por Lombardo (2021), junto das vazões máximas ao longo do tempo obtidas pelo método SCS aplicadas no shapefile da bacia. Assim, foi efetuado o amortecimento das cheias, de forma a resultar no volume de armazenamento máximo para cada tempo de recorrência estudado.

4.5 Análise de Resultados

Milde (2022) considera que a alimentação do HEC-HMS por dados obtidos pelo SCS, apresentam resultados satisfatórios em termos volumétricos e de simulação de descarga. Gribbin (2015) reforça que o método SCS utiliza o conceito de perdas iniciais baseado na amplitude das precipitações, fator que aumenta a confiabilidade quando unido à modelagem espacial. Os critérios assumidos pelo método SCS e modelados pelo software, simulam as condições reais, tornando-o preciso e eficiente (MILDE, 2022). Desta forma, o amortecimento obtido pelo HEC-HMS foi tomado como base para verificar a efetividade do método simplificado.

A partir dos volumes obtidos por cada método e para cada tempo de recorrência, foi possível gerar um gráfico estatístico de colunas para facilitar a compreensão das diferenças, calcular o desvio padrão, a diferença absoluta, a média entre eles e o percentual de variação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Método SCS

Considerando o 1º quartil do método proposto por HUFF, foi possível realizar a distribuição da precipitação ao longo do tempo de chuva e determinar sua variação por passo de tempo. Observando Quadro 1, tem-se que o somatório dos passos tempo é equivalente à duração da chuva e que nos três tempos de recorrência, a precipitação acumulada corresponde a precipitação total, indicados pelo “verdadeiro”. Os hietogramas do projeto sem considerar o volume de infiltração estão disponíveis no Anexo B no formato de gráficos estatísticos de colunas.

Quadro 1 - Distribuição temporal da precipitação de projeto com base no método de HUFF para os três períodos de recorrência estudados

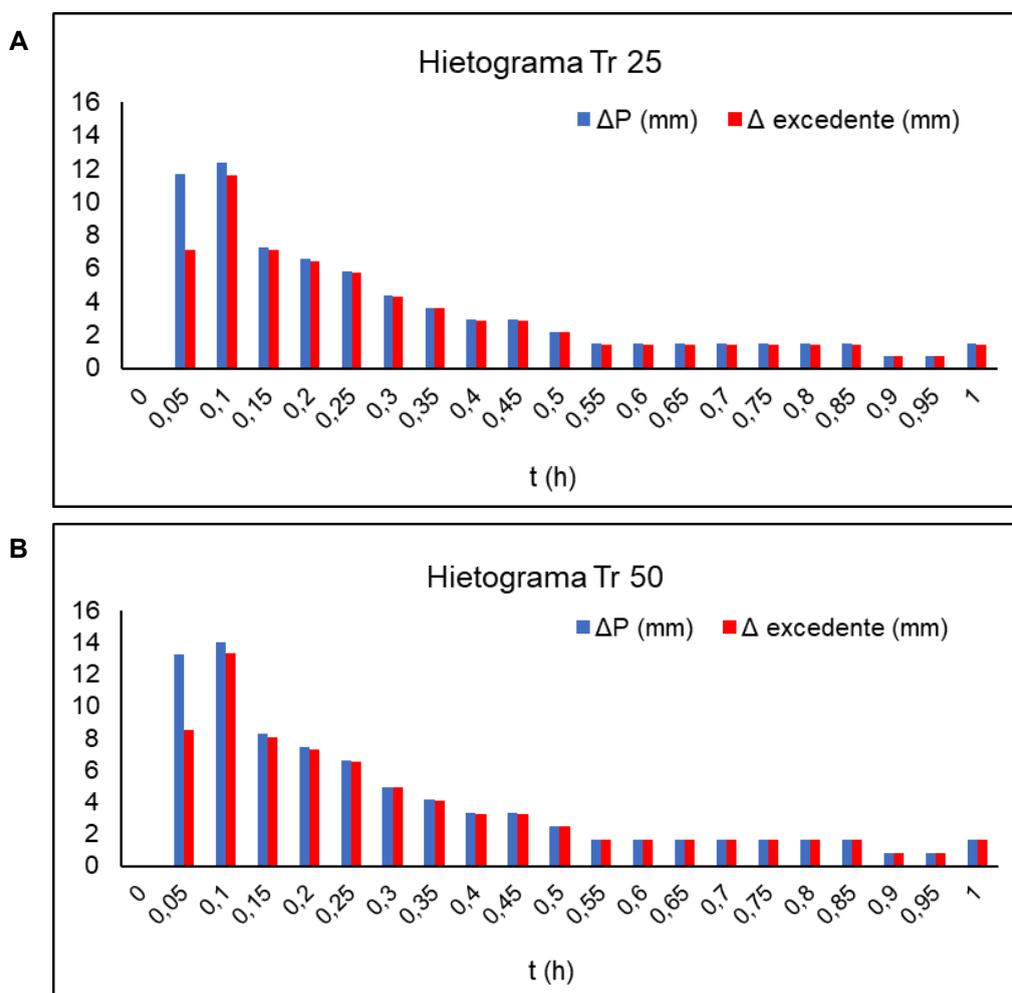
% Tempo	HUFF 1º Quartil	t (h)	P (mm) Tr 25	ΔP Tr 25	P (mm) Tr 50	ΔP Tr 50	P (mm) Tr 100	ΔP Tr 100
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,05	0,16	0,05	11,650	11,65	13,216	13,22	14,993	14,99
0,1	0,33	0,1	24,028	12,38	27,258	14,04	30,924	15,93
0,15	0,43	0,15	31,309	7,28	35,519	8,26	40,294	9,37
0,2	0,52	0,2	37,862	6,55	42,953	7,43	48,728	8,43
0,25	0,6	0,25	43,687	5,82	49,561	6,61	56,225	7,50
0,3	0,66	0,3	48,056	4,37	54,517	4,96	61,847	5,62
0,35	0,71	0,35	51,696	3,64	58,647	4,13	66,532	4,69
0,4	0,75	0,4	54,609	2,91	61,951	3,30	70,281	3,75
0,45	0,79	0,45	57,521	2,91	65,255	3,30	74,029	3,75
0,5	0,82	0,5	59,705	2,18	67,733	2,48	76,840	2,81
0,55	0,84	0,55	61,162	1,46	69,385	1,65	78,714	1,87
0,6	0,86	0,6	62,618	1,46	71,037	1,65	80,589	1,87
0,65	0,88	0,65	64,074	1,46	72,689	1,65	82,463	1,87
0,7	0,9	0,7	65,530	1,46	74,341	1,65	84,337	1,87
0,75	0,92	0,75	66,987	1,46	75,993	1,65	86,211	1,87
0,8	0,94	0,8	68,443	1,46	77,645	1,65	88,085	1,87
0,85	0,96	0,85	69,899	1,46	79,297	1,65	89,959	1,87
0,9	0,97	0,9	70,627	0,73	80,123	0,83	90,896	0,94
0,95	0,98	0,95	71,355	0,73	80,949	0,83	91,834	0,94
1	1	1	72,812	1,46	82,601	1,65	93,708	1,87
			Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro		Verdadeiro	

Fonte: Autoria própria (2024)

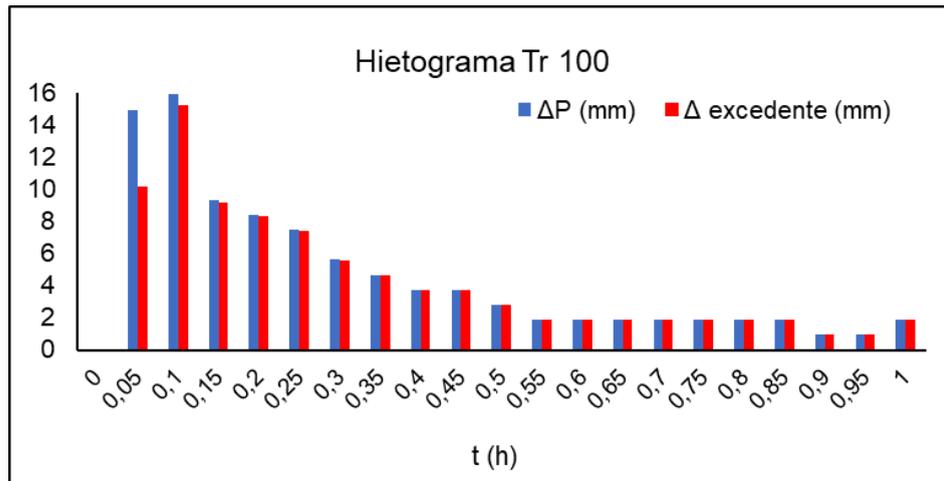
Chuva excedente é a denominação dada à parcela de chuva que escoará superficialmente pela bacia (CANHOLI, 2005). Os excedentes gerados nas chuvas estão calculados no Anexo C e representados graficamente na Figura 20, sendo que as precipitações estão ilustradas em azul e as parcelas que correspondem ao escoamento superficialmente, estão na cor vermelha. Pode-se observar que o excedente é elevado, esse fato se dá devido a utilização de um CN que considera a

bacia de contribuição como totalmente urbanizada. Assim, a simulação se dá em condições extremas, com alta impermeabilização da superfície do solo que impede a infiltração e faz com que grandes volumes de água escoem superficialmente. Contudo, trata-se de uma situação hipotética, uma vez que, decorrente dos espaços verdes garantidos pelos princípios de desenvolvimento sustentável imputados pelos planos diretores municipais, esta situação nunca terá uma correspondência integral com a realidade, como levantado por Mano (2008).

Figura 20 - Distribuição de chuva excedente



C



Fonte: Autoria própria (2024)

Partindo da distribuição temporal, foi possível criar um bloco de chuva para cada momento de precipitação, totalizando 20 blocos que representam 3 minutos cada. Para cada bloco foi então calculado o tempo de base e o tempo de pico, bem como as vazões de pico, para os três tempos de recorrência em questão, apresentados no Quadro 2. Essas informações serviram como base para confecção dos hidrogramas parciais, proporcionais ao hidrograma unitário que integram os hidrogramas de projeto.

Quadro 2 - Constituição dos blocos unitários da chuva de projeto

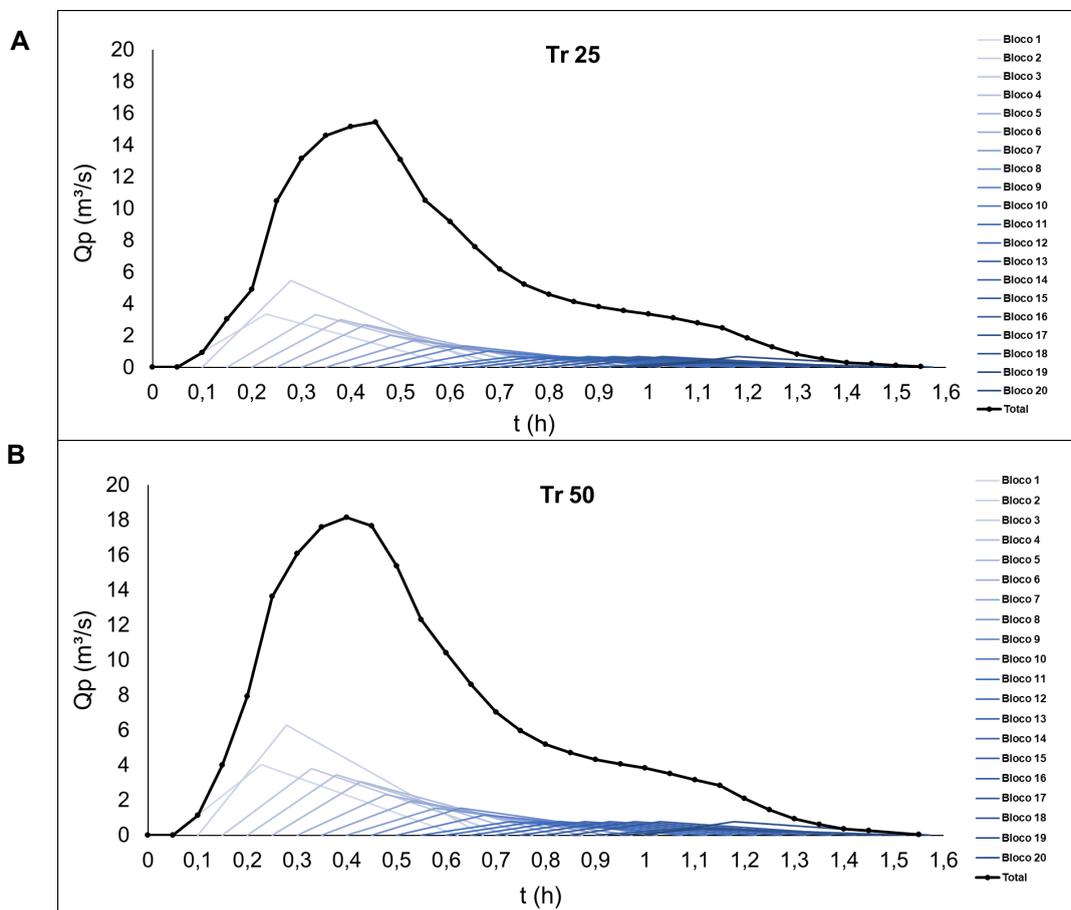
Blocos	Tp' (h)	Tb' (h)	Tr 25	Tr 50	Tr 100
			Qp'		
0	0	0	0	0	0
1	0,23	0,62	3,35	4,02	4,79
2	0,28	0,67	5,47	6,28	7,19
3	0,33	0,72	3,33	3,80	4,33
4	0,38	0,77	3,03	3,45	3,92
5	0,43	0,82	2,70	3,07	3,50
6	0,48	0,87	2,03	2,31	2,63
7	0,53	0,92	1,70	1,93	2,19
8	0,58	0,97	1,36	1,54	1,75
9	0,63	1,02	1,36	1,54	1,75
10	0,68	1,07	1,02	1,16	1,32
11	0,73	1,12	0,68	0,77	0,88
12	0,78	1,17	0,68	0,77	0,88
13	0,83	1,22	0,68	0,77	0,88
14	0,88	1,27	0,68	0,77	0,88
15	0,93	1,32	0,68	0,77	0,88
16	0,98	1,37	0,68	0,77	0,88
17	1,03	1,42	0,68	0,77	0,88
18	1,08	1,47	0,34	0,39	0,44
19	1,13	1,52	0,34	0,39	0,44
20	1,18	1,57	0,68	0,77	0,88

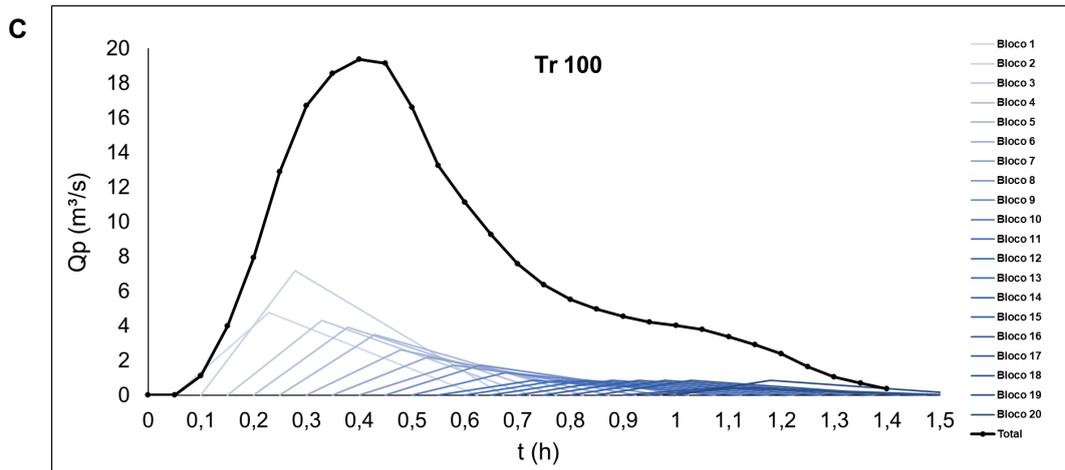
Fonte: Autoria própria (2024)

As tabelas de constituição dos hidrogramas de projeto estão disponíveis nos Anexos D, E e F, sendo que elas apresentam a superposição de dados do método SCS. Com as relações de tempo de base, tempo de pico e vazão máxima para cada bloco, foi possível representar a vazão em cada instante e projetar seu respectivo hidrograma unitário. As vazões ao decorrer do tempo foram somadas e estão contidas na coluna “Total” das tabelas, e correspondem à soma das vazões acumuladas.

A análise dos últimos blocos de chuva determinou que o escoamento teria seu fim aos 96 minutos após o início da precipitação, ou seja, 36 minutos após o fim da chuva. A junção dos hidrogramas parciais de todos os blocos de chuva para cada período de retorno, constituem os hidrogramas de projeto que estão representados na Imagem 21. A linha preta representa a vazão acumulada dos hidrogramas parciais de cada bloco de chuva. Assim, foram determinadas as vazões máximas afluentes (Q_i) para os períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos, sendo elas respectivamente 15,16; 17,59; e 19,36 m^3/s .

Figura 21 - Hidrogramas de projeto pelo método SCS





Fonte: Autoria própria (2024)

5.2 Método HTS

Os resultados da execução do método Hidrograma Triangular Simplificado estão contidos no Quadro 3. As vazões afluentes (Q_i) que foram determinadas pelos hidrogramas de projeto com o método SCS; e efluentes (Q_0) considerando e respeitando a capacidade do orifício de coleta já implantado. Os volumes de contenção a serem adotados calculados pelo método HTS representam a diferença de volume entre as vazões afluente e efluente para 25, 50 e 100 anos de retorno, são respectivamente 11.813; 14.011; e 15.760 m³. Os tempos de base e de pico dos hidrogramas afluentes e efluentes não são os mesmos, isso é uma representação da construção dos hidrogramas parciais comparados ao hidrograma unitário, que geram vazões máximas proporcionais ao escoamento superficial.

Quadro 3 - Resultados obtidos pelo método HTS

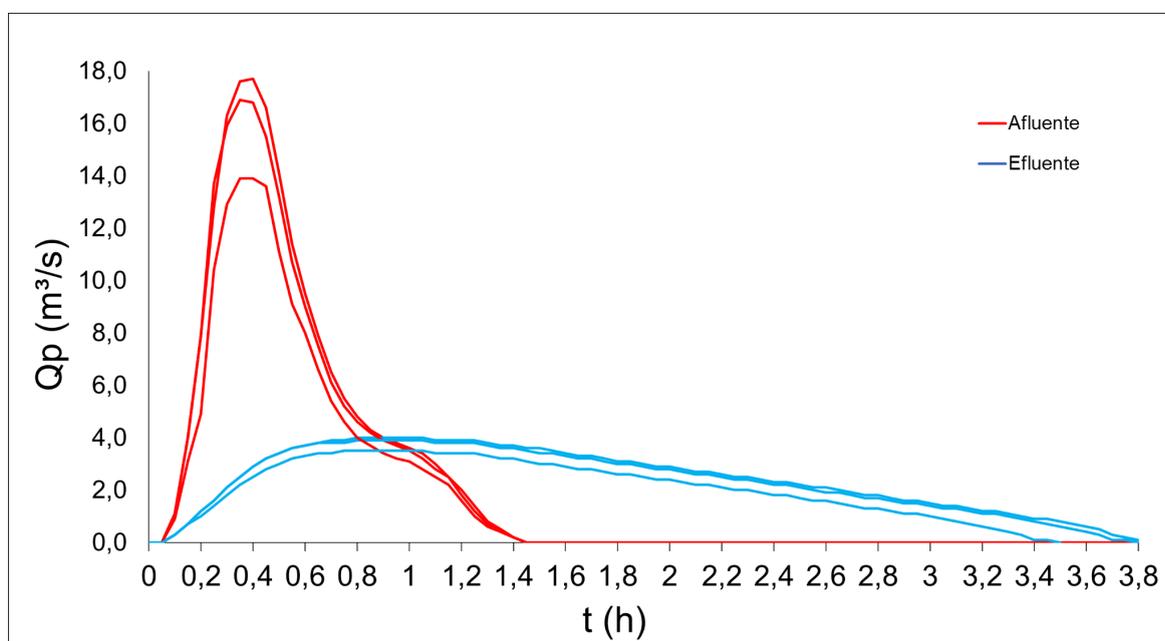
Cálculos		
Tempo de concentração		12,89 min
Tempo de base		2065 s
Intensidade	Tr 25	72,81 mm/h
	Tr 50	82,60 mm/h
	Tr 100	93,71 mm/h
Vazão de pico Q_0	Tr 25	3,72 m ³ /s
	Tr 50	4,02 m ³ /s
	Tr 100	4,10 m ³ /s
Vazão de pico Q_i	Tr 25	15,16 m ³ /s
	Tr 50	17,59 m ³ /s
	Tr 100	19,36 m ³ /s
Volume da bacia	Tr 25	11813 m³
	Tr 50	14011 m³
	Tr 100	15760 m³

Fonte: Autoria própria (2024)

5.3 Modelagem Espacial

O Anexo G apresenta a tabela completa de resposta ao amortecimento da onda de cheia executado pelo software HEC-HMS nos diferentes cenários avaliados. Para tanto, a relação de vazão afluente foi provinda da metodologia desenvolvida pelo SCS, enquanto a vazão efluente tomou como base a restrição da tubulação de saída já presente no local de estudo. Essas informações permitiram replicar as ondas amortecidas nas modelagens como expostas na Figura 22. O amortecimento da onda de cheia consiste na diminuição da velocidade média do escoamento pela reservação (CANHOLI, 2005).

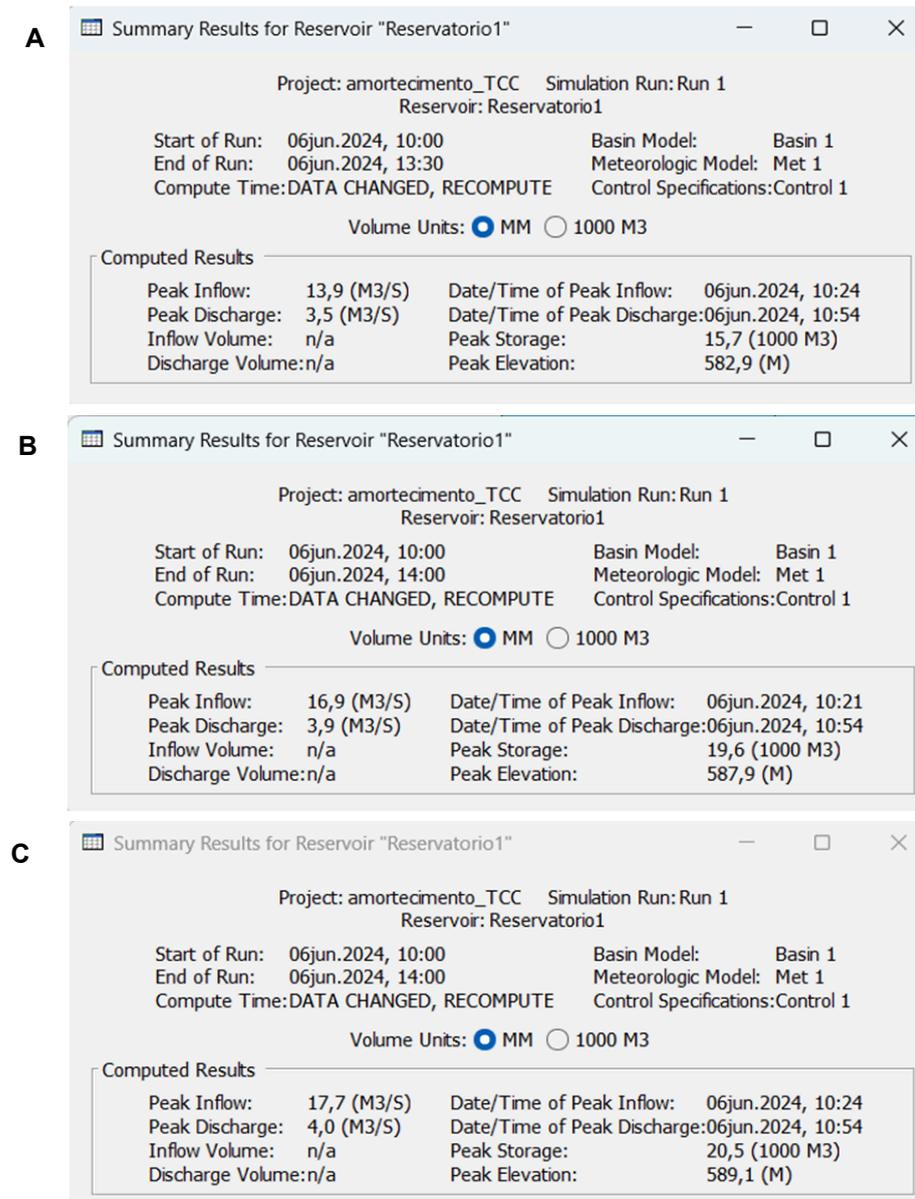
Figura 22 - Hidrograma de projeto amortecido adaptado da modelagem pelo HEC-HMS



Fonte: Autoria própria (2024)

O HEC-HMS disponibilizou tabelas resumidas dos resultados, expostas na Figura 23. Nestas, pode-se identificar dados importantes da contenção em reservatório, considerando as condições utilizadas para alimentar o software. Assim, tem-se volumes máximos de armazenamento para os cenários de 25, 50 e 100 anos de retorno, respectivamente, 15.700; 19.600; e 20.500 m³.

Figura 23 - Resultados obtidos pelo HEC-HMS

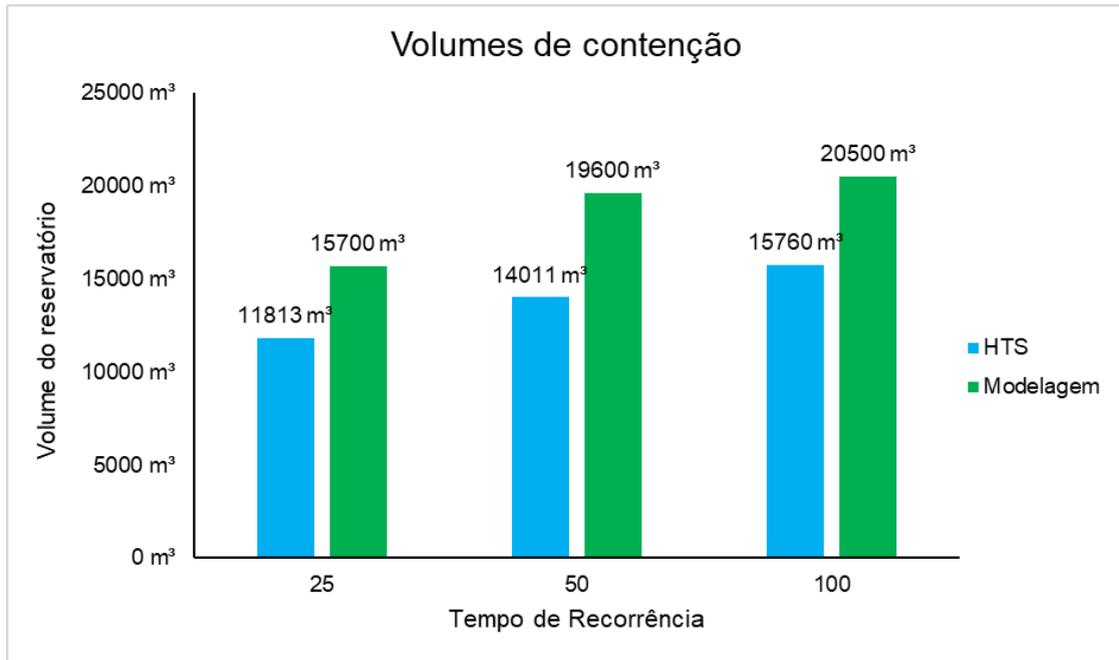


Fonte: Autoria própria (2024)

5.4 Comparação dos Volumes

Os resultados da aplicação evidenciaram que os métodos conduzem a resultados discrepantes entre si. Os volumes estão presentes na Figura 24, confirmando uma diferença relativa entre os métodos utilizados. Por se tratar de um método com maior abrangência de fatores considerados em seu modelo, aproximando a simulação da realidade, os volumes obtidos no amortecimento realizado pelo HEC-HMS foram assumidos como valores de referência.

Figura 24 - Relação dos resultados obtidos pelos métodos HTS e modelagem espacial



Fonte: Autoria própria (2024)

Assim, têm-se que os volumes determinados pelo método HTS foram menores que os obtidos pela modelagem no HEC-HMS, apresentando um percentual de diferença para os períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos, respectivamente, de 28, 33 e 26%, sendo uma média de 28% inferiores. Ainda, pode-se extrair que para Tr 25 houve uma diferença de 3.887 m³, enquanto Tr 50 apresentou uma discrepância de 5.589 m³, já Tr 100 teve 4.740 m³ a menos que o valor adotado como referência. A partir desses resultados pode-se confirmar a veracidade da recomendação de Canholi (2005) em que os métodos simplificados, são válidos em fases iniciais, como na tomada de decisões, entretanto, nos passos seguintes deverão prevalecer os métodos mais complexos e generalizantes. O subdimensionamento de obras pode trazer elevados prejuízos socioeconômicos.

A metodologia simplificada deve ser utilizada com cuidado, é necessário examinar a compatibilidade dos resultados obtidos frente às singularidades de cada caso e dos limites de aplicação do método (TUCCI, 2003). Uma vez que para simplificar, se considera a saída de água constante ao longo do tempo, entretanto, na realidade a saída é variável ao longo do tempo, pois depende da altura do nível d'água no reservatório (MATIAS, 2006). Aconselha-se a utilização do método simplificado apenas como procedimento para fases preliminares do estudo, sendo que estes nem sempre conduzem a resultados aceitáveis.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho objetivou avaliar a eficiência da determinação dos volumes a serem adotados no dimensionamento de bacias de contenção, pelo método de Hidrograma Triangular Simplificado, tomando como referência os volumes obtidos por modelagem espacial no software HEC-HMS. Os resultados indicaram que o método HTS apresentou volumes menores que os adquiridos pela modelagem espacial.

Isso sugere que, embora o método HTS seja mais simples, rápido e menos dispendioso, ele pode subestimar o volume necessário para as bacias de contenção em comparação com a modelagem espacial mais complexa. Portanto, é importante considerar essas diferenças ao escolher um método para o dimensionamento de bacias de contenção.

No entanto, apesar dessa limitação, o método HTS ainda pode ser útil em situações onde a precisão absoluta não é tão crítica, ou onde os recursos para realizar uma modelagem espacial completa não estão disponíveis. Independente do método a ser adotado, é imprescindível a avaliação da aplicabilidade técnica e a viabilidade econômica, possibilitando a análise de custo-benefício das proposições (ALMEIDA, 2020).

Em conclusão, este estudo espera contribuir na escolha do método adequado para as diversas condições de aplicação. Ressalta-se que atualmente ainda existe uma carência significativa de dados na área de drenagem urbana. Esta lacuna na pesquisa destaca a necessidade urgente de mais estudos nesta área. A importância de tais pesquisas não pode ser subestimada, pois elas têm o potencial de melhorar significativamente a precisão do dimensionamento de bacias de contenção. Além disso, essas pesquisas podem contribuir para o desenvolvimento de novos métodos e técnicas que podem superar as limitações dos métodos existentes. Portanto, encoraja-se fortemente a execução de pesquisas nesta área vital, com o objetivo de aprimorar ainda mais nossa compreensão e capacidade de gerenciar efetivamente a drenagem urbana.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. C. **Sistemas Sustentáveis De Drenagem Urbana: Uma Proposta Para A Bacia Hidrográfica Do Córrego São Pedro**, em Juiz De Fora - MG. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) - Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2020.

ANA (Agência Nacional de Águas). **Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2016** Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf/view>>. Acesso em 04 nov. 2023.

APOLINÁRIO, D. **Estudo das Inundações Através da Projeção de Cenários Futuros de Urbanização em Francisco Beltrão/PR**. 2022. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

BORTOLINI, J. *et al.*, Identificação do grau de perigo a enchentes e inundações com base na análise morfométrica e uso do SIG aplicados na bacia hidrográfica do rio Marrecas, Francisco Beltrão – PR. **RA'EGA**, Curitiba, v.51, p. 17- 40, 2021.

BRAGA, B. P. F. **Controle de cheias urbanas em ambiente tropical: Drenagem urbana: gerenciamento, simulação e controle**. Rio Grande do Sul: Editora da UFRGS, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 1997.

BRASIL. **Constituição Federal, de 05 de outubro de 1988**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Senado Federal, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 02 ago. 2023.

BRASIL. **Lei n. 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 02 ago. 2023.

BRASIL. **Proposta de Emenda à Constituição n. 2 de 2016**. Brasília: Senado Federal, 2022. Disponível em: https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=1395673&ts=1686627728091&disposition=inline&_gl=1*1kxb6u*_ga*MTM3MzgxMzYzOC4xNjkyNDg3MDAw*_ga_CW3ZH25XMK*MTY5MjQ4Njk5OS4xLjEuMTY5MjQ4NzQ5OS4wLjAuMA.. Acesso em: 02 ago. 2023.

CABRAL, S. L. *et al.* Integração do Sig, HEC/HMS E HEC/RAS no Mapeamento de Área de Inundação Urbana: Aplicação à Bacia do Rio Granjeiro-CE. **Geociência**. UNESP: São Paulo, v. 35, nº 1, p. 90 - 101, 2016.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CEOLIN, L. F. M. **Análise Hidráulica-Hidrológica da Implantação de Bacias de Retenção e Detenção em Vicente Pires**. 2019. Monografia - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

CEPDEC - Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Paraná. **Ocorrências (globais) por Município** – Francisco Beltrão. 2021. Disponível em: <http://www.sisdc.pr.gov.br/sdc/publico/relatorios/ocorrencias_geral.jsp>. Acesso em: 22 set. 2023.

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde Debate**. Rio de Janeiro, vol 43, nº 3, p. 94-108, 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/sdeb/a/jpNVWVZSdNRRyQS3qtWmz9g/?lang=pt>>. Acesso em: 23 set. 2023.

CLIMATEDATA. Francisco Beltrão. **Dados Climáticos para Cidades Mundiais**. 2021. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/francisco-beltrao-43618/>>. Acesso em: 13 nov. 2023.

CONAMA. **Resolução nº 357**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conomia_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2023.

CUNHA, S. F.; *et al.* Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, nº 4, p. 837- 848, dez. 2015.

DAEE/CETESB. Drenagem Urbana Manual de Projeto. **Departamento de Águas e Energia Elétrica, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**. São Paulo, ed. 2, p. 492, 1986. Disponível em: <<https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/items/40228e5a-5ec2-46a0-b547-34795cbac3a>>. Acesso em: 27 out. 2023.

DELICI, F. N. C. *et al.* Estudo de implantação de sistemas de drenagem sustentável em Santa Maria - DF. **Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis**. ResearchGate, 2019. DOI <<https://www.researchgate.net/publication/337950979>>.

FARIAS, A. MENDONÇA, F. Riscos socioambientais de inundação urbana sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, ed. 34, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/sn/a/vnWCPJvXm86C3hXLzwkG93B/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 22 set. 2023.

FRANCISCO BELTRÃO (Prefeitura Municipal). **Aspectos físicos e políticos**. 2011. Disponível em: <<https://franciscobeltrao.pr.gov.br/secretarias/obras-e-urbanismo/aspectos-fisicos-e-p>>

LUZ, C. E. **Tendências granulométricas dos sedimentos de fundo no rio Marrecas e região sudoeste do Paraná.** 2011. Dissertação (Mestrado) - Pós Graduação em Geografia, Unioeste, Francisco Beltrão, 2011.

MANO, E. R. C. **Estudo de bacias de retenção como solução para situações crescentes de urbanização.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59693/2/Texto%20integral.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2023.

MARENCO, J. A. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. FBDS - **Fundação Brasileira de para o Desenvolvimento Sustentável**, Rio de Janeiro, 2009.

MARTINS, J. R. S. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?**. Artigo Científico, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

MATA-LIMA, H.; SILVA, E.; RAMINHOS, C. Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação. REM - **Revista Escola de Minas**: Ouro Preto, n. 59, p. 97-109, 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rem/a/xndZLswjWn68zvfNBSCVXjy/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

MATA-LIMA, H.; SILVA, E.; RAMINHOS, C. **Impactes de projectos da engenharia civil na hidrologia de bacias de drenagem. Como gerir o excesso de escoamento?** Engenharia Civil - Universidade do Minho, n. 25, 2006. Disponível em: <https://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/Num25/n_25_pag_41-60.pdf>. Acesso em: 17 out. 2023.

MATIAS, M. G. B. **Bacias de Retenção: Estudo de Métodos de Dimensionamento.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, 2006.

MIGUEZ, M. G.; *et al.* Drenagem Urbana - Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

MILDE, L. C. E.; *et al.* Modelo Espaço-temporal HEC-HMS: avaliação na Bacia de Drenagem de Analândia. **Revista De Ciência & Tecnologia**, São Paulo, v. 10, n. 19, p. 61-69, jun. 2022.

MUNIZ, F. L.; *et al.* Influência do Hietograma Sintético na Cheia de Projeto do Reservatório Macacos no Estado do Ceará. *In*: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2017, Florianópolis. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, 2017.

PAULA, J. S.; *et al.* Execução de obras de drenagem pluvial: princípios empregados na construção de redes de drenagem urbana. **Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico**, v. 3, n.2, 2017.

PEIXOTO, A. L. A.; AHMED, F. V.; SALES, C. M. R. Saneamento Básico: direito de todos? Uma breve análise. **Petróleo, Royalties e Região**, Campos dos Goytacazes, n. 70, p. 4-13, dez. 2021.

PEREIRA, L. D. **Modelagem Hidrológica HEC-HMS na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim-MA**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Sul de Santa Catarina, 2020.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. São Carlos: EESC USP, 2006.

POMPÊO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol 5, nº 1, p.15-23, 2000. Disponível em: <https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/46/c6be0bdb36e71f441b574b6a63d5a75a_2d24ccc39dcc0666232d4d538fcef31f.pdf>. Acesso em: 23 set. 2023.

PROJETO TÉCNICO: Bacias de Detenção. Associação Brasileira de Cimento Portland. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. Soluções para Cidades, 2020. Disponível em: <https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Reservatorios%20Deten_web.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2023.

ReCESA. **Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas**. Secretária Nacional de Saneamento Ambiental, Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/tecnicascapensatoriasparacontroledecheiasurbanas-nivel2e3.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2023.

REIS, R. P. A. **Avaliação de desempenho e modelagem numérica de sistemas de infiltração de água de chuva integrados aos sistemas prediais**. Tese (Doutorado) - Arquitetura e Construção - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, Campinas, 2018.

RODRIGUES, N. M.; RODRIGUES, C. E. F.; RODRIGUES, C. R. A falta de drenagem urbana nas cidades brasileiras. **Research, Society and Development**, Gurupí, v. 11, n. 6, p. 12, 2022.

SERRETTI, T. M.; MARTINS, R. C.; ALVES, F. Influência da impermeabilização no ciclo hidrológico da cidade de Belo Horizonte/MG. **Revista PETRA**, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, p. 311-327, ago/dez. 2015.

SÃO PAULO. **Diretrizes básicas para o projeto de drenagem urbana no município de São Paulo**. Prefeitura Municipal de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <<https://pdfcoffee.com/drenagem-urbana-so-paulo-cetesb-pdf-free.html>>. Acesso em: 16 mai. 2024.

SOARES, A. B.; *et al.* Drenagem Urbana Influência da Drenagem Urbana nas Enchentes e Inundações. *In: XXIII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*. 2015, Unijuí. **Anais Salão do Conhecimento**, Unijuí, 2015.

SOARES, I. A. R. **O processo de conformação urbana de Francisco Beltrão – PR e a sua relação com a incidência de alagamentos e inundações entre 1950 e 1973**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017.

SOUZA, R. C. C. **Método para Dimensionamento Eficiente de Reservatórios de Contenção de Cheias para a Cidade de Curitiba-PR**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SILVA, J. L. A. *et al.*. Drenagem Urbana com Foco Sustentável para loteamento. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 2440-2452, jul./set. 2020.

TOMAZ, P. Curso de Manejo de águas pluviais. Cap. 38. **Método do SCS**. 14 dez. 2013. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/375950166/capitulo38-pdf>>. Acesso em : 23 out. 2023.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 26, mar. 2002.

TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 36-37, dez. 2003.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2007.

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

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Distrito Federal: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. Disponível em: <https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/38004/LCBRSR274_pt.pdf> Acesso em: 25 set. 2023.

VASCO, J. R. J. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável**. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2016.

VILLANUEVA, O. U. N.; *et al.* **Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação**. REGA, v. 8, n. 1, p. 5-18, jan./jun. 2011.

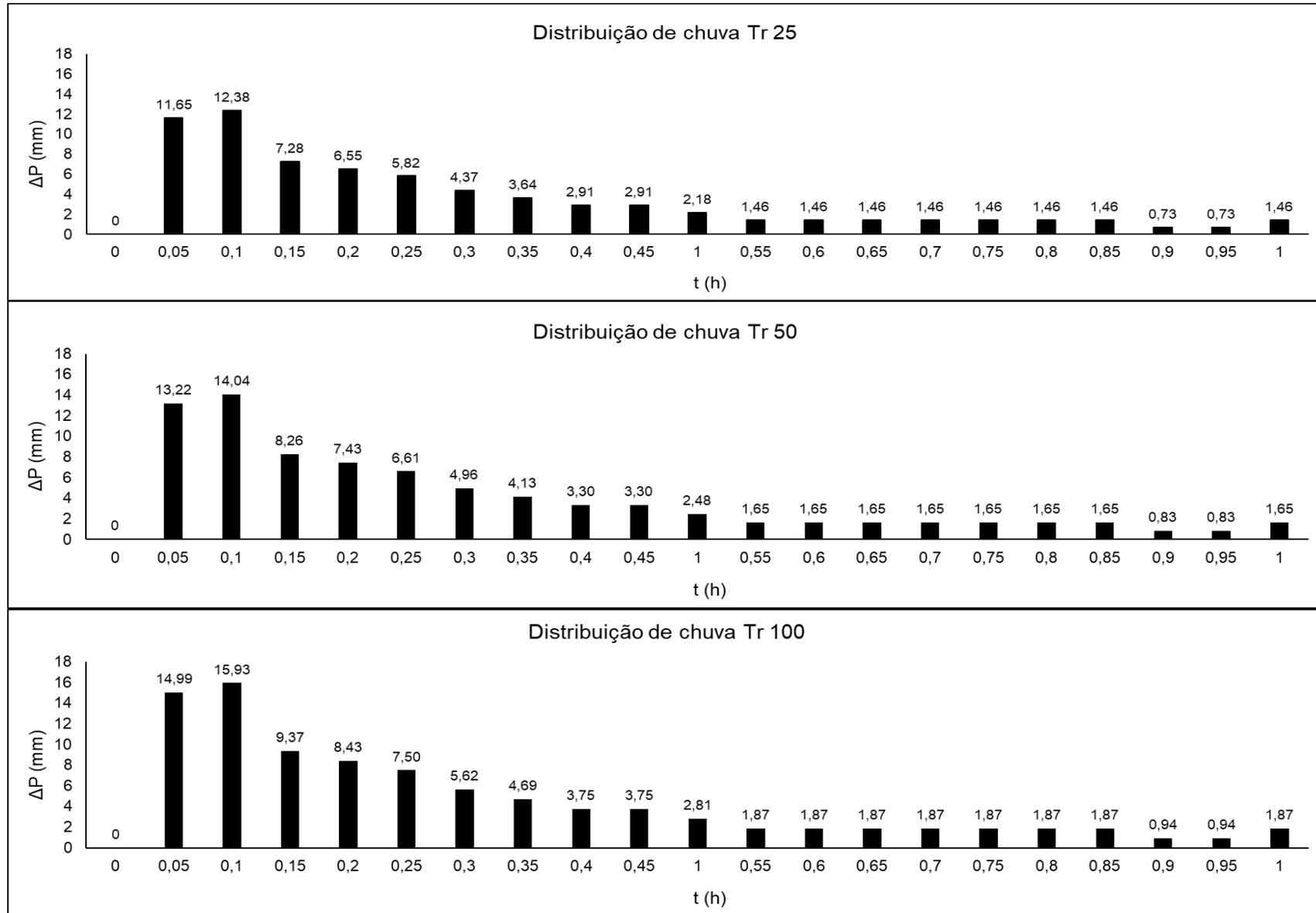
Anexo A - Relação das cotas com suas respectivas áreas, volumes, cargas hidráulicas e vazões efluentes

Cota		Área QGIS	Área Real	Volume	Volume Acumulado	Carga Hidráulica	Vazão Efluente
561,7	0	0,00 m ²	0,00 m ²	0,00 m ³	0,00 m ³	0,0 m	0,00 m ² /s
562,2	0,5	302,71 m ²	302,71 m ²	151,36 m ³	151,36 m ³	9,4 m	2,36 m ² /s
562,7	1	807,63 m ²	504,92 m ²	201,91 m ³	353,27 m ³	9,9 m	2,42 m ² /s
563,2	1,5	1094,27 m ²	589,35 m ²	273,57 m ³	626,84 m ³	10,4 m	2,48 m ² /s
563,7	2	1229,42 m ²	640,07 m ²	307,36 m ³	934,20 m ³	10,9 m	2,54 m ² /s
564,2	2,5	1341,43 m ²	701,36 m ²	335,36 m ³	1269,56 m ³	11,4 m	2,59 m ² /s
564,7	3	1461,42 m ²	760,06 m ²	365,36 m ³	1634,92 m ³	11,9 m	2,65 m ² /s
565,2	3,5	1505,74 m ²	745,68 m ²	376,44 m ³	2011,36 m ³	12,4 m	2,71 m ² /s
565,7	4	1512,38 m ²	766,70 m ²	378,10 m ³	2389,46 m ³	12,9 m	2,76 m ² /s
566,2	4,5	1565,65 m ²	798,95 m ²	391,41 m ³	2780,87 m ³	13,4 m	2,81 m ² /s
566,7	5	1569,25 m ²	770,30 m ²	392,31 m ³	3173,18 m ³	13,9 m	2,87 m ² /s
567,2	5,5	1553,01 m ²	782,71 m ²	388,25 m ³	3561,43 m ³	14,4 m	2,92 m ² /s
567,7	6	1570,04 m ²	787,33 m ²	392,51 m ³	3953,94 m ³	14,9 m	2,97 m ² /s
568,2	6,5	1574,09 m ²	786,76 m ²	393,52 m ³	4347,46 m ³	15,4 m	3,02 m ² /s
568,7	7	1561,54 m ²	774,78 m ²	390,39 m ³	4737,85 m ³	15,9 m	3,06 m ² /s
569,2	7,5	1543,78 m ²	769,00 m ²	385,95 m ³	5123,80 m ³	16,4 m	3,11 m ² /s
569,7	8	1548,80 m ²	779,80 m ²	387,20 m ³	5511,00 m ³	16,9 m	3,16 m ² /s
570,2	8,5	1549,61 m ²	769,81 m ²	387,40 m ³	5898,40 m ³	17,4 m	3,21 m ² /s
570,7	9	1526,13 m ²	756,32 m ²	381,53 m ³	6279,93 m ³	17,9 m	3,25 m ² /s
571,2	9,5	1518,84 m ²	762,52 m ²	379,71 m ³	6659,64 m ³	18,4 m	3,30 m ² /s
571,7	10	1579,89 m ²	817,37 m ²	394,97 m ³	7054,61 m ³	18,9 m	3,34 m ² /s
572,2	10,5	1565,58 m ²	748,21 m ²	391,40 m ³	7446,01 m ³	19,4 m	3,39 m ² /s
572,7	11	1538,86 m ²	790,65 m ²	384,72 m ³	7830,73 m ³	19,9 m	3,43 m ² /s
573,2	11,5	1568,76 m ²	778,11 m ²	392,19 m ³	8222,92 m ³	20,4 m	3,47 m ² /s
573,7	12	1549,36 m ²	771,25 m ²	387,34 m ³	8610,26 m ³	20,9 m	3,51 m ² /s
574,2	12,5	1541,88 m ²	770,63 m ²	385,47 m ³	8995,73 m ³	21,4 m	3,56 m ² /s
574,7	13	1542,51 m ²	771,88 m ²	385,63 m ³	9381,36 m ³	21,9 m	3,60 m ² /s
575,2	13,5	1537,99 m ²	766,11 m ²	384,50 m ³	9765,86 m ³	22,4 m	3,64 m ² /s
575,7	14	1511,36 m ²	745,25 m ²	377,84 m ³	10143,70 m ³	22,9 m	3,68 m ² /s
576,2	14,5	1506,76 m ²	761,51 m ²	376,69 m ³	10520,39 m ³	23,4 m	3,72 m ² /s
576,7	15	1533,54 m ²	772,03 m ²	383,39 m ³	10903,78 m ³	23,9 m	3,76 m ² /s
577,2	15,5	1534,58 m ²	762,55 m ²	383,65 m ³	11287,43 m ³	24,4 m	3,80 m ² /s
577,7	16	1531,61 m ²	769,06 m ²	382,90 m ³	11670,33 m ³	24,9 m	3,84 m ² /s
578,2	16,5	1547,24 m ²	778,18 m ²	386,81 m ³	12057,14 m ³	25,4 m	3,87 m ² /s
578,7	17	1560,05 m ²	781,87 m ²	390,01 m ³	12447,15 m ³	25,9 m	3,91 m ² /s
579,2	17,5	1557,88 m ²	776,01 m ²	389,47 m ³	12836,62 m ³	26,4 m	3,95 m ² /s
579,7	18	1554,73 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	13225,30 m ³	26,9 m	3,99 m ² /s
580,2	18,5	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	13613,98 m ³	27,4 m	4,02 m ² /s
580,7	19	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	14002,66 m ³	27,9 m	4,06 m ² /s
581,2	19,5	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	14391,34 m ³	28,4 m	4,10 m ² /s
581,7	20	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	14780,02 m ³	28,9 m	4,13 m ² /s
582,2	20,5	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	15168,70 m ³	29,4 m	4,17 m ² /s
582,7	21	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	15557,38 m ³	29,9 m	4,20 m ² /s
583,2	21,5	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	15946,06 m ³	30,4 m	4,24 m ² /s
583,7	22	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	16334,74 m ³	30,9 m	4,27 m ² /s
584,2	22,5	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	16723,42 m ³	31,4 m	4,31 m ² /s
584,7	23	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	17112,10 m ³	31,9 m	4,34 m ² /s
585,2	23,5	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	17500,78 m ³	32,4 m	4,38 m ² /s

585,7	24	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	17889,46 m ³	32,9 m	4,41 m ² /s
586,2	24,5	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	18278,14 m ³	33,4 m	4,44 m ² /s
586,7	25	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	18666,82 m ³	33,9 m	4,48 m ² /s
587,2	25,5	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	19055,50 m ³	34,4 m	4,51 m ² /s
587,7	26	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	19444,18 m ³	34,9 m	4,54 m ² /s
588,2	26,5	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	19832,86 m ³	35,4 m	4,57 m ² /s
588,7	27	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	20221,54 m ³	35,9 m	4,61 m ² /s
589,2	27,5	1557,44 m ²	778,72 m ²	388,68 m ³	20610,22 m ³	36,4 m	4,64 m ² /s

Fonte: Autoria própria (2024)

Anexo B - Hietogramas de projeto obtidos pela distribuição de HUFF sem considerar a infiltração para cada período de retorno analisado



Fonte: Autoria própria (2024)

Anexo C - Cálculos dos excedentes da chuva de projeto, executado pelo método SCS para cada tempo de recorrência estudado

t (h)	Tr 25				Tr 50				Tr 100			
	ΔP (mm)	P (mm)	Pe (mm)	Δ Excedente (mm)	ΔP (mm)	P (mm)	Pe (mm)	Δ Excedente (mm)	ΔP (mm)	P (mm)	Pe (mm)	Δ Excedente (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,05	11,65	11,65	7,13	7,13	13,22	13,22	8,54	8,54	14,99	14,99	10,18	10,18
0,1	12,38	24,03	18,76	11,63	14,04	27,26	21,89	13,35	15,93	30,92	25,47	15,29
0,15	7,28	31,31	25,85	7,09	8,26	35,52	29,98	8,08	9,37	40,29	34,68	9,21
0,2	6,55	37,86	32,28	6,43	7,43	42,95	37,30	7,33	8,43	48,73	43,02	8,34
0,25	5,82	43,69	38,03	5,75	6,61	49,56	43,84	6,54	7,50	56,22	50,45	7,43
0,3	4,37	48,06	42,35	4,32	4,96	54,52	48,75	4,91	5,62	61,85	56,03	5,58
0,35	3,64	51,70	45,96	3,61	4,13	58,65	52,85	4,10	4,69	66,53	60,69	4,66
0,4	2,91	54,61	48,85	2,89	3,30	61,95	56,14	3,28	3,75	70,28	64,42	3,73
0,45	2,91	57,52	51,74	2,89	3,30	65,26	59,42	3,28	3,75	74,03	68,15	3,73
0,5	2,18	59,71	53,91	2,17	2,48	67,73	61,89	2,46	2,81	76,84	70,95	2,80
0,55	1,46	61,16	55,35	1,45	1,65	69,39	63,53	1,64	1,87	78,71	72,82	1,87
0,6	1,46	62,62	56,80	1,45	1,65	71,04	65,17	1,64	1,87	80,59	74,69	1,87
0,65	1,46	64,07	58,25	1,45	1,65	72,69	66,82	1,64	1,87	82,46	76,55	1,87
0,7	1,46	65,53	59,70	1,45	1,65	74,34	68,46	1,64	1,87	84,34	78,42	1,87
0,75	1,46	66,99	61,14	1,45	1,65	75,99	70,11	1,64	1,87	86,21	80,29	1,87
0,8	1,46	68,44	62,59	1,45	1,65	77,65	71,75	1,65	1,87	88,09	82,16	1,87
0,85	1,46	69,90	64,04	1,45	1,65	79,30	73,40	1,65	1,87	89,96	84,02	1,87
0,9	0,73	70,63	64,77	0,72	0,83	80,12	74,22	0,82	0,94	90,90	84,96	0,93
0,95	0,73	71,36	65,49	0,72	0,83	80,95	75,04	0,82	0,94	91,83	85,89	0,93
1	1,46	72,81	66,94	1,45	1,65	82,60	76,69	1,65	1,87	93,71	87,76	1,87
	VERDADEIRO				VERDADEIRO				VERDADEIRO			

Autoria própria (2024)

Fonte:

Fonte: Autoria própria (2024)

Anexo F - Hidrograma de projeto do método SCS após superposição para o tempo de recorrência de 100 anos

t (h)	Bloco s	Tp' (h)	Tb' (h)	Tr 100																				Total		
				Qp' (m ³ /s)	Superposição																					
					Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6	Bloco 7	Bloco 8	Bloco 9	Bloco 10	Bloco 11	Bloco 12	Bloco 13	Bloco 14	Bloco 15	Bloco 16	Bloco 17	Bloco 18	Bloco 19		Bloco 20	
0	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	
0,05	1	0,23	0,62	4,79	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	
0,1	2	0,28	0,67	7,19	1,123	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,12	
0,15	3	0,33	0,72	4,33	2,246	1,754	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,00	
0,2	4	0,38	0,77	3,92	3,368	3,509	1,062	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,94	
0,25	5	0,43	0,82	3,50	4,529	5,263	2,124	0,963	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	12,88	
0,3	6	0,48	0,87	2,63	3,923	6,806	3,186	1,926	0,859	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	16,70	
0,35	7	0,53	0,92	2,19	3,317	5,896	4,099	2,889	1,718	0,646	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	18,56	
0,4	8	0,58	0,97	1,75	2,711	4,985	3,550	3,711	2,578	1,292	0,539	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	19,36	
0,45	9	0,63	1,02	1,75	2,105	4,074	3,002	3,214	3,309	1,937	1,078	0,431	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	19,15	
0,5	10	0,68	1,07	1,32	0,000	3,163	2,453	2,718	2,866	2,486	1,616	0,863	0,432	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	16,60	
0,55	11	0,73	1,12	0,88	0,000	0,000	1,905	2,221	2,423	2,153	2,073	1,294	0,863	0,324	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	13,26	
0,6	12	0,78	1,17	0,88	0,000	0,000	0,000	1,724	1,980	1,820	1,796	1,660	1,295	0,648	0,216	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	11,14	
0,65	13	0,83	1,22	0,88	0,000	0,000	0,000	0,000	1,537	1,488	1,518	1,438	1,661	0,972	0,432	0,216	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	9,26	
0,7	14	0,88	1,27	0,88	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,155	1,241	1,216	1,438	1,246	0,648	0,432	0,216	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,59	
0,75	15	0,93	1,32	0,88	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,963	0,993	1,216	1,079	0,831	0,648	0,432	0,216	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,38	
0,8	16	0,98	1,37	0,88	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,771	0,994	0,912	0,720	0,831	0,648	0,432	0,216	0,000	0,000	0,000	0,000	5,52	
0,85	17	1,03	1,42	0,88	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,772	0,746	0,608	0,720	0,831	0,648	0,432	0,216	0,000	0,000	0,000	4,97	
0,9	18	1,08	1,47	0,44	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,579	0,497	0,609	0,720	0,831	0,649	0,432	0,216	0,000	0,000	4,53	
0,95	19	1,13	1,52	0,44	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,386	0,497	0,609	0,720	0,831	0,649	0,433	0,108	0,000	4,23	
1	20	1,18	1,57	0,88	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,386	0,497	0,609	0,720	0,831	0,649	0,216	0,108	4,02	
1,05	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,386	0,497	0,609	0,720	0,832	0,324	0,216	0,216	3,80	
1,1	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,386	0,498	0,609	0,720	0,416	0,324	0,433	3,39	
1,15	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,386	0,498	0,609	0,360	0,416	0,649	2,92	
1,2	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,386	0,498	0,305	0,360	0,832	2,38	
1,25	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,386	0,249	0,305	0,720	1,660	
1,3	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,193	0,249	1,05	
1,35	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,193	0,498	0,69
1,4	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,386	0,39
1,45	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,275	0,28
1,5	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,163	0,16
1,55	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,052	0,050

Fonte: Autoria própria (2024)

Anexo G - Resultados obtidos pelo amortecimento da onda de cheia executado no HEC-HMS para os três períodos de retorno em questão

t (h)	Tr 25			Tr 50			Tr 100		
	Afluente	Volume	Efluente	Afluente	Volume	Efluente	Afluente	Volume	Efluente
0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0
0,05	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0
0,1	0,9	0,2	0,3	1,1	0,2	0,3	1,1	0,2	0,3
0,15	3,1	0,5	0,7	4,0	0,6	0,7	4,0	0,6	0,7
0,2	4,9	1,0	1,0	7,9	1,5	1,2	7,9	1,5	1,2
0,25	10,4	2,2	1,4	13,7	3,2	1,6	12,8	3,1	1,6
0,3	12,9	4,0	1,8	15,9	5,5	2,1	16,3	5,4	2,1
0,35	13,9	6,1	2,2	16,9	8,0	2,5	17,6	8,0	2,5
0,4	13,9	8,1	2,5	16,8	10,6	2,9	17,7	10,7	2,9
0,45	13,6	10,1	2,8	15,5	12,9	3,2	16,6	13,3	3,2
0,5	11,1	11,8	3,0	13,2	14,9	3,4	14,1	15,4	3,4
0,55	9,1	13,1	3,2	10,7	16,5	3,6	11,4	17,1	3,6
0,6	8,0	14,0	3,3	9,0	17,6	3,7	9,5	18,3	3,7
0,65	6,6	14,8	3,4	7,5	18,4	3,8	7,9	19,2	3,8
0,7	5,4	15,2	3,4	6,1	18,9	3,8	6,5	19,8	3,9
0,75	4,6	15,5	3,5	5,2	19,3	3,8	5,5	20,2	3,9
0,8	4,0	15,6	3,5	4,6	19,4	3,9	4,8	20,4	4,0
0,85	3,7	15,7	3,5	4,2	19,5	3,9	4,3	20,5	4,0
0,9	3,4	15,7	3,5	3,9	19,6	3,9	4,0	20,5	4,0
0,95	3,2	15,7	3,5	3,7	19,5	3,9	3,8	20,5	4,0
1	3,1	15,6	3,5	3,5	19,5	3,9	3,6	20,5	4,0
1,05	2,8	15,5	3,5	3,2	19,4	3,9	3,4	20,4	4,0
1,1	2,5	15,4	3,4	2,8	19,2	3,8	3,0	20,2	3,9
1,15	2,2	15,2	3,4	2,5	19,0	3,8	2,5	20,0	3,9
1,2	1,6	14,9	3,4	1,8	18,7	3,8	2,0	19,7	3,9
1,25	1,0	14,5	3,4	1,2	18,3	3,8	1,4	19,3	3,9
1,3	0,6	14,1	3,3	0,7	17,8	3,7	0,8	18,8	3,8
1,35	0,4	13,6	3,2	0,4	17,3	3,6	0,5	18,3	3,7
1,4	0,2	13,1	3,2	0,2	16,7	3,6	0,2	17,7	3,7
1,45	0,0	12,5	3,1	0,0	16,0	3,5	0,0	17,0	3,6
1,5	0,0	12,0	3,0	0,0	15,4	3,4	0,0	16,4	3,6
1,55	0,0	11,4	3,0	0,0	14,8	3,4	0,0	15,8	3,5
1,6	0,0	10,9	2,9	0,0	14,2	3,3	0,0	15,1	3,4
1,65	0,0	10,4	2,8	0,0	13,6	3,2	0,0	14,5	3,3
1,7	0,0	9,9	2,8	0,0	13,0	3,2	0,0	13,9	3,3
1,75	0,0	9,4	2,7	0,0	12,5	3,1	0,0	13,3	3,2
1,8	0,0	8,9	2,6	0,0	11,9	3,0	0,0	12,8	3,1
1,85	0,0	8,4	2,6	0,0	11,4	3,0	0,0	12,2	3,1
1,9	0,0	8,0	2,5	0,0	10,8	2,9	0,0	11,7	3,0
1,95	0,0	7,5	2,4	0,0	10,3	2,8	0,0	11,1	2,9
2	0,0	7,1	2,4	0,0	9,8	2,8	0,0	10,6	2,9
2,05	0,0	6,7	2,3	0,0	9,3	2,7	0,0	10,1	2,8
2,1	0,0	6,3	2,2	0,0	8,9	2,6	0,0	9,6	2,7
2,15	0,0	5,9	2,2	0,0	8,4	2,6	0,0	9,1	2,7
2,2	0,0	5,5	2,1	0,0	7,9	2,5	0,0	8,6	2,6
2,25	0,0	5,1	2,0	0,0	7,5	2,4	0,0	8,2	2,5
2,3	0,0	4,8	2,0	0,0	7,1	2,4	0,0	7,7	2,5
2,35	0,0	4,4	1,9	0,0	6,6	2,3	0,0	7,3	2,4
2,4	0,0	4,1	1,8	0,0	6,2	2,2	0,0	6,9	2,3
2,45	0,0	3,8	1,8	0,0	5,8	2,2	0,0	6,4	2,3
2,5	0,0	3,5	1,7	0,0	5,5	2,1	0,0	6,0	2,2
2,55	0,0	3,2	1,6	0,0	5,1	2,0	0,0	5,7	2,1
2,6	0,0	2,9	1,6	0,0	4,7	1,9	0,0	5,3	2,1

t (h)	Tr 25			Tr 50			Tr 100		
	Afluente	Volume	Efluente	Afluente	Volume	Efluente	Afluente	Volume	Efluente
0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0
0,05	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0
0,1	0,9	0,2	0,3	1,1	0,2	0,3	1,1	0,2	0,3
0,15	3,1	0,5	0,7	4,0	0,6	0,7	4,0	0,6	0,7
0,2	4,9	1,0	1,0	7,9	1,5	1,2	7,9	1,5	1,2
0,25	10,4	2,2	1,4	13,7	3,2	1,6	12,8	3,1	1,6
0,3	12,9	4,0	1,8	15,9	5,5	2,1	16,3	5,4	2,1
2,65	0,0	2,6	1,5	0,0	4,4	1,9	0,0	4,9	2,0
2,7	0,0	2,3	1,4	0,0	4,1	1,8	0,0	4,6	1,9
2,75	0,0	2,1	1,3	0,0	3,7	1,7	0,0	4,2	1,8
2,8	0,0	1,8	1,3	0,0	3,4	1,7	0,0	3,9	1,8
2,85	0,0	1,6	1,2	0,0	3,1	1,6	0,0	3,6	1,7
2,9	0,0	1,4	1,1	0,0	2,8	1,5	0,0	3,3	1,6
2,95	0,0	1,2	1,1	0,0	2,6	1,5	0,0	3,0	1,6
3	0,0	1,0	1,0	0,0	2,3	1,4	0,0	2,7	1,5
3,05	0,0	0,9	0,9	0,0	2,1	1,3	0,0	2,4	1,4
3,1	0,0	0,7	0,8	0,0	1,8	1,3	0,0	2,2	1,4
3,15	0,0	0,6	0,7	0,0	1,6	1,2	0,0	2,0	1,3
3,2	0,0	0,4	0,6	0,0	1,4	1,1	0,0	1,7	1,2
3,25	0,0	0,3	0,5	0,0	1,2	1,1	0,0	1,5	1,2
3,3	0,0	0,3	0,4	0,0	1,0	1,0	0,0	1,3	1,1
3,35	0,0	0,2	0,3	0,0	0,9	0,9	0,0	1,1	1,0
3,4	0,0	0,2	0,1	0,0	0,7	0,8	0,0	0,9	0,9
3,45	0,0	0,2	0,1	0,0	0,6	0,7	0,0	0,8	0,9
3,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,4	0,6	0,0	0,6	0,8
3,55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	0,0	0,5	0,7
3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,0	0,4	0,6
3,65	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	0,3	0,5
3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,3
3,75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,2
3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1

Fonte: Autoria própria (2024)