



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

CAROLINA NODARI

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE CENÁRIO COM LID DA SUB-BACIA DO RIO
MATHIAS EM JOINVILLE/SC**

Joinville
2024

CAROLINA NODARI

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE CENÁRIO COM LID DA SUB-BACIA DO RIO
MATHIAS EM JOINVILLE/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Civil de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

Orientador(a): Prof. Dra. Amanara Potykytã de Sousa Dias Vieira

Joinville

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Nodari, Carolina
MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE CENÁRIO COM LID DA SUB-BACIA
DO RIO MATHIAS EM JOINVILLE/SC / Carolina Nodari ;
orientador, Amanara Potykytã de Sousa Dias Vieira, 2024.
71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville,
Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura, Joinville,
2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil de Infraestrutura. 2. drenagem
urbana. 3. LID. 4. modelagem hidrológica. 5. SWMM. I.
Vieira, Amanara Potykytã de Sousa Dias. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil de
Infraestrutura. III. Título.

CAROLINA NODARI

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE CENÁRIO COM LID DA SUB-BACIA DO RIO MATHIAS
EM JOINVILLE/SC**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Civil de Infraestrutura.

Joinville, 13 de dezembro de 2024.



Coordenação do Curso

Banca examinadora



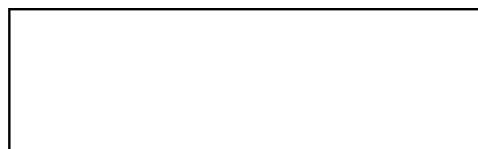
Prof.(a) Amanara Potykytã de Sousa Dias Vieira, Dr.(a)

Orientador(a)



Prof.(a) Simone Malutta, Dr.(a)

Universidade Federal de Santa Catarina



Wivian Nereida Silveira, M.(a)

Secretaria de Cultura e Turismo municipal — SECULT/PMJ

Joinville, 2024.

*Este trabalho é dedicado a minha mãe
Odite e meu irmão Elto, pelo apoio em
todos os momentos alegres e difíceis da
minha trajetória acadêmica.*

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Dra. Amanara Potykytã de Sousa Dias Vieira, obrigado por acreditar em mim e por me orientar com sabedoria ao longo desta jornada. Sua orientação não apenas me guiou na elaboração deste TCC, mas também me inspirou a buscar o conhecimento com paixão e determinação. Sou especialmente grata por sua paciência e disponibilidade para me atender sempre que precisei.

À minha mãe Odite Tomas Nodari que é mais do que uma simples figura materna, é minha melhor amiga e confidente. Sua paciência e compreensão foram fundamentais para que eu pudesse me dedicar aos estudos com tranquilidade. Agradeço por ser esse porto seguro em minha vida e por me ensinar a valorizar cada conquista.

À meu irmão Elto José Nodari por ter me escutado com paciência, por ter celebrado minhas conquistas e por ter me ajudado a superar meus medos. Sua presença constante em minha vida me fez acreditar que eu era capaz de alcançar meus objetivos.

Às minhas amigas que estiveram ao meu lado, com muitas risadas e momentos inesquecíveis. Cada uma contribuiu de alguma forma para a realização deste trabalho, seja com palavras de encorajamento ou simplesmente com a amizade que faz a jornada mais leve. Obrigado por serem fontes de inspiração e por compartilharem comigo esta fase tão especial da minha vida.

RESUMO

A expansão das áreas urbanas tem transformado áreas naturais em superfícies impermeáveis, interferindo diretamente no ciclo hidrológico, causando impactos como o aumento do volume escoado superficialmente e a redução da infiltração. A ausência de planejamento urbano adequado aumenta os riscos de enchentes, alagamentos e inundações. O município de Joinville, localizado ao Norte do estado de Santa Catarina, apresenta frequentes problemas de inundação devido à frequência de chuvas e alta impermeabilização do solo. Neste trabalho foi efetuado a modelagem da sub-bacia do Rio Mathias no *Storm Water Management Model* (SWMM), simulando a resposta hidráulica da sub-bacia a eventos hidrológicos com tempos de retorno de 5, 10, 25 e 50 anos. Também foram considerados cenários com e sem a implantação de jardim de chuva, tecnologia de LID escolhida. Os resultados da modelagem indicam a ocorrência de inundação em pontos da sub-bacia com chuvas de tempo de retorno a partir de 10 anos, demonstrando que o modelo hidrológico conseguiu representar satisfatoriamente o problema real. Além disso, a implantação de LID conseguiu reduzir em até 21,71% a vazão de pico, impactando diretamente no volume extravasado em nós com inundação.

Palavras-chave: drenagem urbana; LID; modelagem hidrológica; SWMM.

ABSTRACT

The expansion of urban areas has transformed natural areas into impermeable surfaces, directly interfering in the hydrological cycle, causing impacts such as an increase in the volume of surface runoff and a reduction in infiltration. The absence of adequate urban planning increases the risks of floods, floods and floods. The municipality of Joinville, located in the north of the state of Santa Catarina, presents frequent flooding problems due to the frequency of rain and high soil impermeability. In this work, the Mathias River sub-basin was modeled in the Storm Water Management Model (SWMM), simulating the hydraulic response of the sub-basin to hydrological events with return times of 5, 10, 25 and 50 years. Scenarios with and without the implementation of a rain garden, the chosen LID technology, were also considered. The modeling results indicate the occurrence of flooding in points of the sub-basin with rainfall with a return time of 10 years or more, demonstrating that the hydrological model managed to satisfactorily represent the real problem. Furthermore, the implementation of LID managed to reduce the peak flow by up to 21.71%, directly impacting the volume overflow in nodes with flooding.

Keywords: urban drainage; LID; hydrological modeling; SWMM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo hidrológico.....	14
Figura 2 – Hietogramas.....	18
Figura 3 – Perfil esquemático de inundação e enchentes.....	19
Figura 4 – Jardim de chuva na Rua Major Quedinho - SP.....	23
Figura 5 – Jardim de chuva em São Paulo.....	24
Figura 6 – Comportamento de escoamento superficial.....	27
Figura 7 – Armazenamento em depressão.....	27
Figura 8 – Mapa de localização de Joinville – SC.....	30
Figura 9 – Bacias hidrográficas de Joinville.....	31
Figura 10 – Mapa de localização do Rio Mathias.....	32
Figura 11 – Mapa de distribuição dos bairros na sub-bacia do Rio Mathias.....	33
Figura 12 – Trecho da galeria do Rio Mathias na rua 9 de Março.....	34
Figura 13 – Trecho da galeria do Rio Mathias na rua Visconde de Taunay.....	34
Figura 14 – Precipitação média mensal em Joinville.....	35
Figura 15 – Distribuição de áreas permeáveis e impermeáveis por microbacia.....	39
Figura 16 – Rede de macrodrenagem modelada no SWMM.....	41
Figura 17 – Hidrograma de vazão para TR de 5 anos.....	48
Figura 18 – Hidrograma de vazão para TR de 10 anos.....	49
Figura 19 – Hidrograma de vazão para TR de 25 anos.....	49
Figura 20 – Hidrograma de vazão para TR de 50 anos.....	50
Figura 21 – Perfil para TR de 5 anos sem jardim de chuva.....	51
Figura 22 – Perfil para TR de 5 anos com jardim de chuva.....	52
Figura 23 – Perfil para TR de 10 anos sem jardim de chuva.....	52
Figura 24 – Perfil para TR de 10 anos com jardim de chuva.....	53
Figura 25 – Perfil para TR de 25 anos sem jardim de chuva.....	53
Figura 26 – Perfil para TR de 25 anos com jardim de chuva.....	54
Figura 27 – Perfil para TR de 50 anos sem jardim de chuva.....	55
Figura 28 – Perfil para TR de 50 anos com jardim de chuva.....	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS.....	12
1.1.1 Objetivo geral.....	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 CICLO HIDROLÓGICO.....	14
2.2 BACIA HIDROGRÁFICA.....	15
2.2.1 Sub-bacia e microbacia.....	15
2.2.2 Tempo de concentração (TC).....	16
2.2.3 Equações de Intensidade, Duração e Frequência (IDF).....	16
2.2.4 Chuva de projeto.....	17
2.2.4.1 Método dos blocos alternados.....	17
2.3 CONCEITO DE INUNDAÇÕES, ENCHENTES E ALAGAMENTOS.....	18
2.3.1 Inundação.....	18
2.3.2 Enchentes.....	18
2.3.3 Alagamentos.....	19
2.4 DRENAGEM URBANA.....	20
2.4.1 Impactos associados a drenagem urbana.....	20
2.5 DRENAGEM SUSTENTÁVEL.....	21
2.6 DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO LID.....	22
2.6.1 Jardim de chuva.....	22
2.7 MODELAGEM HIDROLÓGICA.....	24
2.8 SWMM.....	25
2.8.1 Nó de conexão e exutório.....	26
2.8.2 Sub-Bacia.....	26
2.8.3 escoamento superficial.....	26
2.8.4 Infiltração.....	28
2.8.5 Transporte hidráulico.....	28
2.8.6 Conduto.....	28
2.8.7 Controle de dispositivo de baixo impacto (LID).....	29
3 METODOLOGIA	30
3.1 REGIÃO DE ESTUDO.....	30

3.1.1	Bacia hidrográfica do Rio Cachoeira.....	31
3.1.2	Sub-Bacia do Rio Mathias.....	32
3.1.3	Altimetria.....	34
3.1.4	Precipitação.....	35
3.1.5	Clima.....	35
3.1.6	Tempo de concentração.....	36
3.1.7	Equações da chuva de Joinville.....	36
3.2	QGIS.....	37
3.2.1	Coleta e Análise de Dados.....	38
3.2.2	Processamento de dados.....	39
3.3	SWMM.....	40
3.3.1	Pluviômetro.....	41
3.3.2	Microbacias.....	42
3.3.3	Trechos.....	45
3.3.4	Nós.....	46
3.3.5	Jardim de chuva.....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
4.1	DURAÇÃO DA CHUVA DE PROJETO.....	47
4.2	HIDROGRAMAS.....	47
4.2.1	Vazão de pico para TR 5 anos.....	48
4.2.2	Vazão de pico TR de 10 anos.....	48
4.2.3	Vazão de pico para TR de 25 anos.....	49
4.2.4	Vazão de pico para TR 50 anos.....	50
4.3	GRÁFICOS DE PERFIL DE INUNDAÇÃO.....	51
4.3.1	Perfil para TR de 5 anos.....	51
4.3.2	Perfil para TR de 10 anos.....	52
4.3.3	Perfil para TR de 25 anos.....	53
4.3.4	Perfil para TR de 50 anos.....	54
5	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS.....	59
	APÊNDICE A – INTENSIDADE DA CHUVA POR TEMPO DE RETORNO.....	69
	APÊNDICE B – SÉRIE TEMPORAL POR TEMPO DE RETORNO.....	69
	APÊNDICE C - CARACTERÍSTICAS DOS CONDUTOS.....	70
	APÊNDICE D – CARACTERÍSTICA DAS MICROBACIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

A urbanização crescente tem intensificado a impermeabilização do solo nas cidades, alterando o ciclo hidrológico natural. Esse processo reduz a capacidade de infiltração da água no solo, tornando mais comum os eventos de enchentes, alagamentos e inundações (Cavalcanti, 2020), além de sobrecarregar os sistemas de microdrenagem e macrodrenagem. Diante disso, a gestão de recursos hídricos é um tema que gera debates e discussões sobre sustentabilidade e urbanização, especialmente em áreas urbanas, sendo um dos principais desafios enfrentados por gestores e planejadores urbanos.

A aplicação de modelos matemáticos para prever impactos causados pelas intervenções antrópicas é uma forma de avaliar alternativas de gestão antecipadamente e poder ser estudado (Amaral, 2014). Assim, o software SWMM se apresenta como uma ferramenta para análise e gestão dos recursos hídricos urbanos. Ele simula de forma quantitativa e qualitativa o escoamento superficial, considerando processos como interceptação, infiltração e evapotranspiração, além da interação com a rede de drenagem. (Ceolin; Costa; Koide, 2023).

Através da adoção de técnicas compensatórias ou também conhecido como Low Impact Development (LID), visa priorizar a preservação e a recuperação dos ciclos naturais, replicando as condições de infiltração, retenção e evapotranspiração presentes em áreas não urbanizadas, por meio de pavimentos permeáveis, células de biorretenção e jardins de chuva (Guerra, 2020).

Nesse contexto, a sub-bacia do Rio Mathias, que integra a Bacia do Rio Cachoeira, localizada na cidade de Joinville, Santa Catarina, é um exemplo representativo desse cenário, sendo historicamente afetada por eventos de inundação causada pela combinação de maré e chuvas frequentes. A cidade, devido ao avanço da urbanização desordenada, impermeabilização do solo, juntamente com a canalização do rio, intensificaram esses eventos, reduzindo a capacidade de infiltração do solo e sobrecarregando o sistema de drenagem existente. Essas condições, levam a buscar por soluções sustentáveis e eficientes para a gestão das águas pluviais na sub-bacia, minimizando os impactos das cheias, inundações e vazão de pico.

Dentre várias opções de modelos matemáticos existentes, a escolha do SWMM, se justifica pelo fato de ser um software de acesso livre e intuitivo em sua manipulação. Do mesmo modo, será abordado o jardim de chuva como uma solução para problemas de drenagem urbana. Em áreas com alta impermeabilização do solo, sua versatilidade permite a adaptação a diferentes locais sob diversas geometrias e também oferecem benefícios estéticos e ecológicos.

O objetivo geral deste trabalho é a modelagem da sub-bacia do Rio Mathias utilizando o SWMM para avaliar cenários gerados por chuvas de diferentes tempos de retorno. Além disso, serão simulados cenários com e sem a aplicação de LID, sendo a técnica escolhida para isso a de jardins de chuva.

1.1 OBJETIVOS

Considerando a problemática inundações recorrentes na sub-bacia do Rio Mathias, propõem-se os seguintes objetivos.

1.1.1 Objetivo geral

Modelagem da sub-bacia do Rio Mathias utilizando o SWMM para simulação de cenários com e sem LID, para chuvas de diferentes tempos de retorno de 5, 10, 25 e 50 anos.

1.1.2 Objetivos específicos

Para alcançar esse objetivo, serão definidos os seguintes objetivos específicos:

- Determinar os dados hidrológicos, hidráulicos e geográficos da sub-bacia do Rio Mathias;
- Modelar a sub-bacia no SWMM, considerando cenários com e sem a implementação de jardins de chuva;
- Verificar a vazão de pico e nível de água para chuvas de tempos de retorno de 5, 10, 25 e 50 anos;
- Verificar a vazão de pico e nível de água com e sem jardim de chuva;
- Realizar análises entre os diferentes tempos de retorno;

- Comparar os resultados simulados aos diferentes cenários, avaliando o desempenho da intervenção proposta.

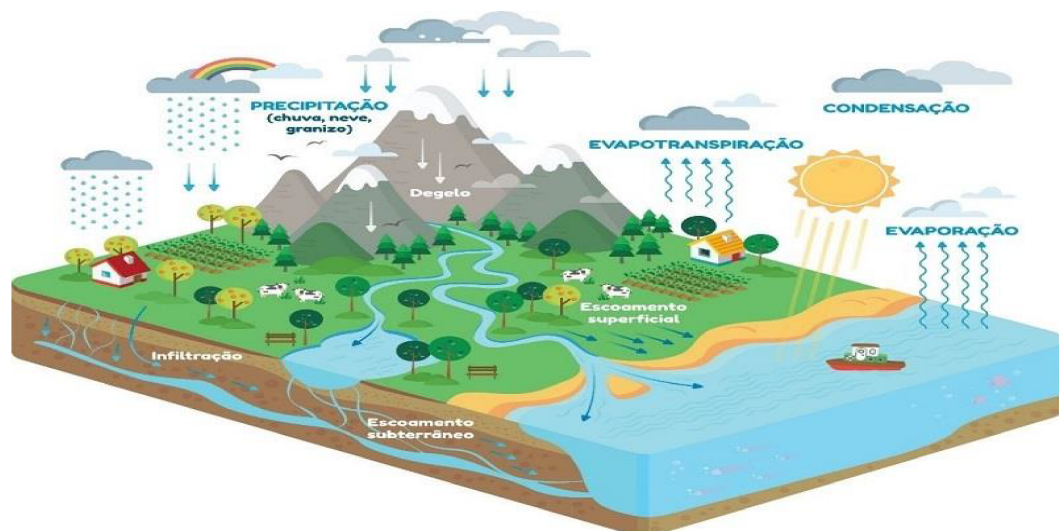
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é um ciclo contínuo na natureza, passando por diferentes etapas e transformações (Miranda; Oliveira; Silva, 2010). É um fenômeno de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado pela energia solar associada à gravidade e a rotação da Terra. No entanto, o ciclo é considerado fechado somente em nível global (Silveira, 2001).

Sob a ação do calor solar, a água presente em rios, lagos e oceanos evapora, transformando-se em vapor d'água. Esse vapor sobe para a atmosfera, onde se condensa formando as nuvens. Ao atingir a solidificação as nuvens liberam a água na forma de precipitação, neve ou granizo (Silveira, 2001). Segundo Tucci e Clarke (1997), a parcela inicial da precipitação é retida pela vegetação, e a capacidade de retenção aumenta com a quantidade de vegetação existente no local. A outra parte infiltra no solo, conforme sua capacidade de permeabilidade, alimentando os lençóis freáticos ou águas subterrâneas e o restante escoam superficialmente, rumo aos rios e lagos ou oceanos (Piroli, 2022). A água interceptada pelas folhas pode retornar à atmosfera por evaporação enquanto que a água absorvida pelas raízes pode ser liberada por evapotranspiração (Marostica, 2023). Essa descrição pode ser verificada através da Figura 1.

Figura 1 – Ciclo hidrológico



Fonte: EPAL (2022)

Para Jabôr (2022) o ciclo hidrológico é composto por duas fases, atmosférica e terrestre. Na fase atmosférica o fluxo da água ocorre na forma de vapor devido a evaporação e transpiração. Na fase terrestre, a transferência de água ocorre em qualquer estado físico sendo o mais significativo as precipitações e neve (Silveira, 2001). Collischonn e Dornelles (2015) afirmam que do ponto de vista da engenharia, o ciclo hidrológico é estudado com ênfase na fase terrestre, onde a bacia hidrográfica é o elemento central da análise.

2.2 BACIA HIDROGRÁFICA

O mecanismo da bacia hidrográfica se dá através da captação natural dos fluxos da água a partir da precipitação, que direciona os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório (Collischonn; Dornelles, 2015). Sendo considerada uma área geográfica delimitada por divisores de água e drenadas por um rio principal, seus afluentes e subafluentes (SIRHESC, 2013).

Os principais elementos contribuintes de uma bacia hidrográfica são a nascente que é o local mais elevado da bacia hidrográfica, o rio principal que apresenta o maior volume e extensão da bacia e que recebe contribuições dos afluentes, o divisor de águas que constitui de uma linha separando as bacias que são delimitadas por morros, serras, picos, montanhas, os afluentes que são rios menores que deságuam no rio principal e a foz ou exutória que é o local de deságuo da bacia hidrográfica (Rocha, 2022).

2.2.1 Sub-bacia e microbacia

Para Faustino (1996) apud Fadu et al. (2023), sub-bacias são bacias hidrográficas que possuem áreas compreendidas entre 100 km² e 700 km². Santana (2004) argumenta que a classificação de bacias hidrográficas e sub-bacia depende da escala de análise pois uma bacia pode ser considerada principal em uma escala local, mas sub-bacia em uma escala regional, o que demonstra a natureza relativa dessa classificação.

Santana (2003) defende a substituição do termo microbacia por sub-bacia hidrográfica, considerando a microbacia como termo empírico. De acordo com Faustino (1996) apud Fadu et al. (2023), as microbacias são áreas menores que 100

km² que contribuem diretamente para a formação de uma sub-bacia, ou seja, toda a água que escoar por uma microbacia converge para o curso d'água principal da sub-bacia.

2.2.2 Tempo de concentração (TC)

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), o tempo de concentração é definido como o tempo necessário para uma gota d'água percorrer superficialmente do ponto mais distante da bacia até o seu exutório. Para estimar esse parâmetro, existem diversas equações empíricas.

Dessa forma, Silveira (2005), analisou o desempenho de seis equações disponíveis na literatura para estimar o tempo de concentração em áreas urbanas e foi baseada em métricas como erro médio e desvio padrão. Embora os modelos tenham apresentado resultados considerados satisfatórios, a escolha da equação mais adequada para um determinado caso depende de critérios específicos, como tamanho e quantidade de bacia, comprimento e declividade do talvegue e outras características físicas.

2.2.3 Equações de Intensidade, Duração e Frequência (IDF)

Segundo Sobrinho (2011), as equações IDF descrevem a relação entre a intensidade, a duração e a frequência de eventos chuvosos. A duração se refere ao tempo de ocorrência da precipitação. A frequência indica a probabilidade de uma chuva ocorrer em um determinado período. A intensidade da chuva é determinada pela quantidade de precipitação em um determinado período. E são definidas a partir de registros históricos de alturas de precipitação de uma determinada localidade (Paulino, 2014).

Para tanto, podem ser utilizadas séries anuais ou parciais conforme a extensão da série e o propósito da pesquisa. As séries anuais concentram-se nos maiores valores de precipitação de cada ano, enquanto as parciais consideram valores superiores a um limite pré-definido em todo o período analisado. A escolha da metodologia depende do tamanho do registro e dos tempos de retorno desejados (Gonçalves, 2011; Sobrinho, 2011).

2.2.4 Chuva de projeto

Para dimensionar obras de drenagem e de estruturas para o controle de cheias, é necessária definir uma chuva de projeto que esteja associada a um tempo de retorno (Rauen; Tschöke, 2017). Bemfica (1999) acrescenta que as chuvas de projeto não buscam precipitação real, mas buscam padrões de chuvas que causem efeitos críticos no escoamento. Dessa forma, é necessário determinar o tempo de duração da chuva que provoca a maior vazão de pico. No entanto, nem sempre o tempo de concentração da bacia coincide com o tempo de duração da chuva que gera o pior cenário (Innocente et al., 2018).

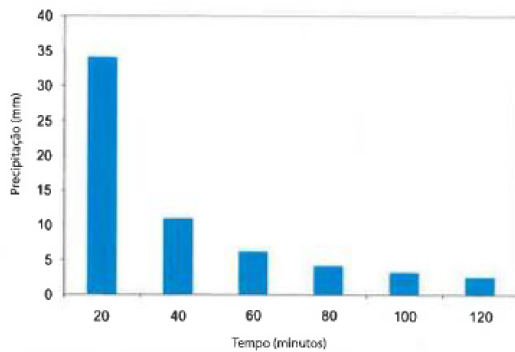
Após definido a duração da chuva e intensidade através das equações IDF, pode ser elaborado os hietogramas, que representam a distribuição temporal da intensidade precipitada (Collischonn; Dornelles, 2013; Paulino, 2014). Esses valores são distribuídos de forma que os maiores valores ocorrem no início do evento e diminui ao longo do tempo (Figura 2a). Por outro lado, essa distribuição pode não representar o comportamento real da chuva. Assim, utiliza-se o método dos blocos alternados (Costa, 2023).

2.2.4.1 Método dos blocos alternados

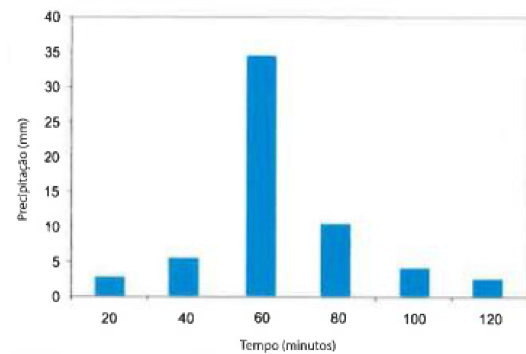
O método dos blocos alternados consiste em calcular a quantidade total de chuva, expressa em altura (m), a partir da intensidade média da chuva (mm/h). Após fazer a variação da altura para cada passo de tempo, transforma para intensidade de chuva. Em seguida, o valor máximo é definido como o pico de chuva e posicionado no centro do hietograma. Os demais valores são distribuídos de forma alternada à esquerda e à direita do pico, formando os blocos do hietograma conforme Figura 2b (Collschonn; Dornelles, 2013).

Segundo Teixeira (2010), o hietograma é uma representação gráfica da intensidade da chuva ao longo do tempo. Ele mostra a variação da intensidade da precipitação em intervalos de tempo, geralmente em milímetros por hora.

Figura 2 – Hietogramas



(a) Bloco de chuva em ordem de intensidade decrescente.



(b) Bloco de chuva reorganizado utilizando o método de blocos alternados.

Fonte: Collischonn e Dornelles (2013)

2.3 CONCEITO DE INUNDAÇÕES, ENCHENTES E ALAGAMENTOS

A diferenciação adequada desses termos permite uma melhor compreensão dos impactos específicos de cada evento.

2.3.1 Inundação

Conforme Ramos (2013), às inundações, fenômenos hidrológicos de caráter extremo, ocorrem com frequência irregular e podem ter origem natural ou ser intensificadas pelas atividades humanas. Podendo ser rápidas e repentinas ou lentas e progressivas. Esta última é causada pela precipitação ao longo de vários dias ou semanas. Para Tucci (1997), as inundações são desencadeadas por chuvas intensas que sobrecarregam os rios, ultrapassando sua capacidade de drenagem. Essa situação leva ao transbordamento das águas e à inundação das áreas próximas aos rios.

2.3.2 Enchentes

Para Köene (2013), Goerl e Kobiyama (2005) a enchente ou cheias descreve a situação em que o nível da água em um rio aumenta, mas ainda se mantém confinado ao seu canal principal. Em eventos de cheias intensas, as águas transbordam e alagam as planícies, inundando grandes áreas. Essas regiões, que

normalmente armazenam o excesso de água em períodos de chuva, passam a funcionar como novos canais, ampliando o fluxo. Pequenas variações no nível da água, mesmo que pareçam insignificantes, resultam em aumentos consideráveis nas áreas alagadas e na largura dos cursos da água formados (Paz; Collischonn; Tucci, 2010).

2.3.3 Alagamentos

Os alagamentos acontecem quando a água da chuva não consegue escoar pelas vias de drenagem da cidade como bueiros e galerias, se acumulando em ruas e calçadas. Isso geralmente ocorre após chuvas fortes. Portanto, o alagamento em si não é um desastre natural, mas sim uma consequência da falta de capacidade do sistema de drenagem para lidar com grandes volumes de água (Brasil, 2013; CEMADEN, 2021).

Figura 3 – Perfil esquemático de inundação e enchentes



Fonte: Amaral e Ribeiro (2009)

As medidas contra inundações, enchentes e alagamentos podem ser classificadas em medidas estruturais (extensivas e intensivas) e não estruturais.

As medidas extensivas visam modificar as características da bacia, alterando a cobertura vegetal (Tucci, 2005). As medidas intensivas, por sua vez, atuam diretamente no rio, com o objetivo de controlar o fluxo d'água através de infraestrutura como diques e canais de desvio (Paraná, 2002; Tucci, 2005).

As medidas não estruturais focam em ações preventivas e de conscientização, em vez de construção de obras físicas. A base dessas medidas é a criação e aplicação de leis que regulam o uso e a ocupação do solo, especialmente em áreas de risco (Rosa, 2017).

2.4 DRENAGEM URBANA

No Art. 3º, alínea “d” da Lei nº 14.026/2020 dispõe que a drenagem urbana e manejo das águas pluviais são “*constituídos pelas atividades, infraestrutura e instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas [...]*”. Essa definição legal reforça o conceito definido por (Porto et al., 2002) em que compreende um sistema de infraestrutura projetado para minimizar os impactos negativos para a população e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma articulada e sustentável.

De acordo com Christofidis; Assumpção; Kligerman, (2019) a drenagem urbana tradicional até os anos 90 priorizava a rápida condução das águas pluviais de montante para jusante. Era vista como uma medida de proteger os centros urbanos, escoando a água da chuva o mais rápido possível, através de retificações dos rios, canalizações e condutos subterrâneos (Souza, 2002). No entanto, essa prática contribui para o aumento do pico de vazão nos cursos d'água e a redução do tempo de concentração (Christofidis; Assumpção; Kligerman, 2019).

Essas obras visam, controlar o fluxo das águas e evitar inundações, mas ignoram os impactos negativos ambientais, sociais e econômicos. Além de não conseguir atender às necessidades crescentes das cidades em desenvolvimento (Souza, 2002). Dessa forma, é necessário avaliar as consequências de qualquer prática que interfira no ciclo da água.

2.4.1 Impactos associados a drenagem urbana

A crescente impermeabilização do solo, resultante da expansão urbana não planejada têm intensificado o escoamento superficial das águas pluviais, sobrecarregando os sistemas de drenagem urbana (Parra, Teixeira, 2020), elevando as vazões de pico, diminuindo a recarga subterrânea, e levando à degradação da

qualidade da água e geração de sedimentos. Conseqüentemente, observa-se o aumento do risco de inundações e alagamentos. (Villanueva et al., 2011).

Esse processo é agravado pela ocupação inadequada de áreas de várzea, como destacado por Righetto (2009). A busca por áreas planas para a construção de cidades leva ao aterramento de áreas inundáveis, como várzeas e pântanos, e a retificação de rios, com o objetivo de remover a água do solo e torná-las aptas para a urbanização (Christofidis; Assumpção; Kligerman, 2019). Essas práticas, além de degradar os ecossistemas, aumentam a vulnerabilidade das cidades a eventos climáticos extremos.

Diante desse cenário, a gestão eficiente do escoamento pluvial, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos, torna-se essencial para garantir a resiliência das cidades frente aos eventos climáticos extremos, cada vez mais frequentes em decorrência das mudanças climáticas (Marostica, 2023).

2.5 DRENAGEM SUSTENTÁVEL

Na década de 1990, a crescente preocupação com o destino das águas pluviais no ambiente urbano impulsionou o desenvolvimento de novas abordagens para lidar com esse desafio (Tucci, 2005). As discussões e reflexões da época culminaram na formulação do conceito de drenagem sustentável, que buscava a substituição do modelo convencional de escoamento rápido por práticas que enfatizam a infiltração, a retenção e o tratamento natural das águas, promovendo a integração entre os sistemas urbanos e o ciclo hidrológico natural (Christofidis, Assumpção; Kligerman, 2019).

A drenagem sustentável emergiu, assim, como uma resposta à necessidade de conciliar o desenvolvimento urbano com a preservação ambiental, buscando soluções mais eficientes para a gestão das águas pluviais nas cidades. Para promover o termo de sustentabilidade na drenagem urbana, é necessário desenvolver um planejamento estratégico, entendido como abordagem integrada entre poder público, iniciativa privada e população, através da educação e conscientização da população (Righetto; Gomes; Freitas, 2017). Assim, é necessário antecipar desafios e planejar soluções para os problemas urbanos existentes (Cardenas, 2017). Tucci e Bertoni (2003) complementam que os desafios envolvem

evitar os processos erosivos do solo, atenuar as enchentes e o processo de perda das capacidades dos mananciais.

2.6 DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO LID

O sistema compensatório de drenagem, ao simular o comportamento hidrológico natural anterior à urbanização (Costa, 2022), emerge como uma solução para mitigar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico (Calvário; Oliveira, 2022). Ao reduzir o volume de água que escoia superficialmente e direciona-se para as redes de drenagem convencionais, esse sistema busca compensar os efeitos da impermeabilização do solo (Martins, 2017). A adoção de técnicas como pavimentos permeáveis, jardins de chuva e telhados verdes estimula a infiltração da água no solo, favorecendo a recarga de aquíferos, a melhoria da qualidade da água e a redução da poluição (França, 2022; Tavanti; Barbassa, 2012).

2.6.1 Jardim de chuva

O jardim de chuva é considerado como uma alternativa na gestão de águas pluviais em áreas urbanas, oferecendo uma abordagem sustentável. Construídos em depressões do terreno e cobertos por vegetação, tem a função de coletar, reter e retardar água proveniente de superfícies impermeáveis. A água é armazenada temporariamente na superfície do sistema e, em seguida, gradualmente se infiltra no solo ou evapora, contribuindo para o ciclo hidrológico natural, bem como remove os poluentes da água (Melo, 2011; Melo et al., 2014). Além de contribuírem para a gestão hídrica, os jardins de chuva também melhoram o clima local, aumentando a umidade do ar por meio da evapotranspiração das plantas (Nogueira, 2021).

A versatilidade do jardim de chuva se manifesta em sua capacidade de adaptação a diferentes contextos urbanos como vias públicas, lotes, pátios e estacionamentos sendo públicos ou privados podendo ser adaptado em diferentes dimensões e espaços reduzidos (Bueno; Nascimento; Vasques 2022; Nogueira, 2021). Sua implementação é viável em uma variedade de locais, cada um com suas particularidades e benefícios específicos. Quando atuam como bacias de infiltração, permitem que a água da chuva seja absorvida pelo solo de forma gradual. Por outro

lado, como tanques ajardinados, retardam o escoamento da água para a rede pluvial (Pinto, 2021).

Em sua pesquisa, Barros et al. (2024) desenvolveu um projeto piloto de jardim de chuva para áreas urbanas. O sistema foi dimensionado com uma camada drenante de 90 cm de espessura, composta por agregado reciclado proveniente de resíduos da construção civil com capacidade de 5 m³. Foram realizadas cinco simulações de chuvas induzidas, com a mais crítica atingindo 156,63 mm/h. Mesmo sob essa condição extrema, o jardim de chuva não atingiu sua capacidade máxima de utilização. Os autores concluíram que o dispositivo apresenta potencial para mitigar picos de vazão e reduzir inundações urbanas.

A Prefeitura de São Paulo tem investido na construção de jardins de chuva como forma de combater os alagamentos na cidade. De acordo com a Subprefeitura Sé (2024), já foi implantado mais de 300 unidades, com destaque para a região da Sé, no centro da capital paulista, que concentra o maior número de jardins de chuva, com 129 unidades implementadas que somam 60.157 m² de área permeável. A rua Major Natanael, localizada no bairro Pacaembu, tem o maior sistema de jardim de chuva do Brasil, com 11 unidades distribuídas ao longo da rua, no qual somam 2.700 m² de área verde.

As Figuras 4 e 5 ilustram a aplicação de jardins de chuva na cidade de São Paulo.

Figura 4 – Jardim de chuva na Rua Major Quedinho - SP



Fonte: Bacoccina (2021)

Figura 5 – Jardim de chuva em São Paulo



Fonte: Revista Prefeitos de São Paulo (2022)

2.7 MODELAGEM HIDROLÓGICA

A modelagem hidrológica é uma representação matemática de um sistema hídrico. Se configura como uma ferramenta de gestão que possibilita a simulação do comportamento de bacias hidrográficas frente a diversos cenários (Marinho Filho et al., 2012). Os modelos chuva-vazão permitem simular o processo de transformação da chuva em vazão e prever o comportamento dos cursos d'água (Luiz; Schröder, 2020).

Ainda, Shinma (2011) confirma a importância do uso da modelagem matemática para estudar os eventos que ocorrem na bacia hidrográfica em decorrência do crescimento urbano. E também, permite prever condições futuras e avaliar diferentes alternativas para minimizar impactos ambientais, conforme ressaltam Almeida e Serra (2017).

Em sua pesquisa, Collodel (2009) avaliou a performance de cinco modelos hidrológicos distintos para aplicações em drenagem urbana. Dentre os modelos analisados, o SWMM se destaca por sua maior flexibilidade quanto a capacidade de simulação. Silva et al. (2017) e Gonçalves (2022) complementam que o software é um dos mais utilizados devido ao seu código aberto e de grande aceitação no meio técnico e científico.

Diante desse cenário, e considerando as recomendações da literatura que aponta o SWMM como um modelo completo, amplamente utilizado além de ser um

software de domínio público, optou-se por adotar este modelo na presente simulação.

2.8 SWMM

O SWMM desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), é um software de modelagem computacional utilizado para simular a dinâmica chuva-vazão em sistemas urbanos. Ele possibilita a simulação de eventos chuvosos individuais e também simulações contínuas de longo prazo (LENHS, 2020).

O Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) realizou a tradução e disponibilizou o software SWMM 5.0, a versão mais recente disponível para o Brasil. Em conjunto com a Eletrobras, o laboratório elaborou a tradução do manual do usuário completo, visando facilitar a utilização da ferramenta (LENHS, 2012).

A versatilidade da modelagem permite sua aplicação em diversas escalas, desde áreas urbanas até grandes bacias hidrográficas, seja para análises contínuas ou de eventos únicos (Gonçalves, 2022).

Rodrigues e Santini Júnior (2021) realizaram um estudo avaliando o potencial das técnicas compensatórias na redução do risco de inundações na sub-bacia do Ribeirão do Santa Rita, cuja a área é de 641,88 ha, em Fernandópolis – SP. Utilizando o modelo SWMM, os autores simularam a vazão de pico e o tempo de resposta em um cenário real, com a implementação de técnicas compensatórias de forma individual e combinada em 25% da bacia. Os resultados demonstraram que, individualmente, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis e jardins de chuva apresentaram resultados similares na redução da vazão de pico, em torno de 30% para cada uma das técnicas compensatórias. O telhado verde, por sua vez, mostrou um valor menor, de aproximadamente 12% de redução. A combinação de todas as técnicas proporcionou a maior redução na vazão de pico, alcançando cerca de 37%. O resultado do tempo de resposta da bacia, com valores máximos de 16 minutos para os cenários individuais e 18 minutos para o cenário combinado. Os autores chegaram à conclusão que as técnicas compensatórias foram mais eficientes para tempos de retorno menores que cinco anos é eficiente para reduzir a vazão de pico e aumentar o tempo de resposta.

2.8.1 Nó de conexão e exutório

O nó de conexão representa tanto a entrada do escoamento das sub-bacias quanto os poços de visita e demais conexões da tubulação. Enquanto que o exutório corresponde ao ponto de menor altitude da bacia hidrográfica, concentrando todo o fluxo de água proveniente da mesma, desde que, as simulações façam uso da propagação de onda dinâmica. Fora desse modelo, o exutório é considerado apenas um nó de conexão na rede hidrográfica (Rossman, 2012).

2.8.2 Sub-Bacia

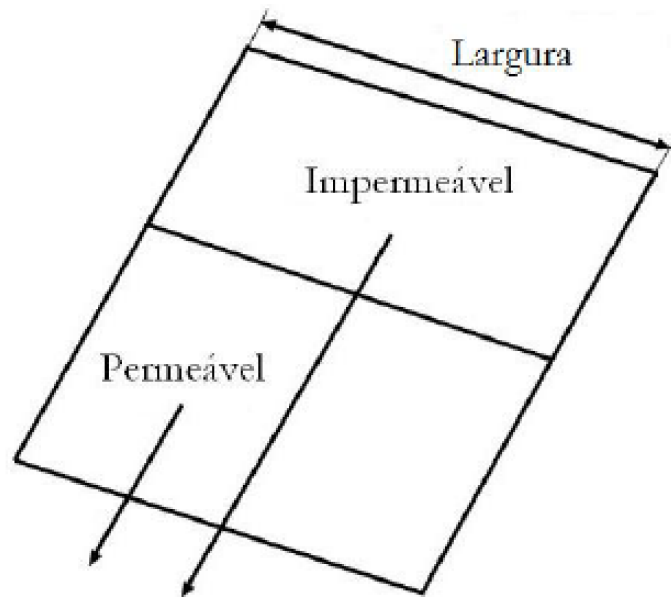
O SWMM define uma sub-bacia como uma ou várias áreas de drenagem delimitadas dentro de uma bacia hidrográfica maior. Cada sub-bacia pode representar partes impermeáveis como ruas e estacionamentos e partes permeáveis como gramados e áreas verdes (Rossman, 2012). E também, é simplificada como um reservatório não linear que é representada pela combinação das equações de Manning e da continuidade (Garcia; Paiva, 2006)

Ao invés, de exigir dados geográficos detalhados, o programa permite a utilização de parâmetros hidrológicos que definem as características de cada sub-bacia. As informações físicas como área, largura e declividade e também, as informações hidrológicas como porcentagem de impermeabilidade, armazenamento coeficiente de rugosidade de Manning e parâmetros de infiltração do solo (Costa, 2013), permitem a flexibilidade de representação das sub-bacias e os demais itens.

2.8.3 Escoamento superficial

O escoamento superficial gerado nas áreas impermeáveis é direcionado para as áreas permeáveis como demonstrado na Figura 6, e posteriormente, converge para um único ponto de saída podendo ser um nó ou outra sub-bacia (Rossman, 2012).

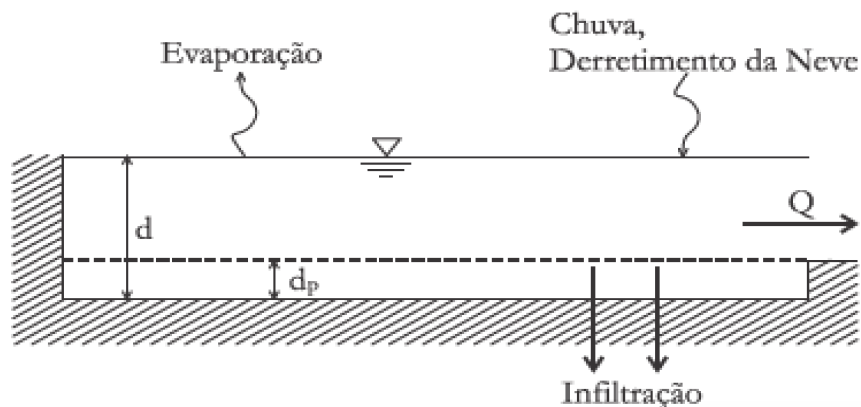
Figura 6 – Comportamento de escoamento superficial



Fonte: Adaptado de Rossmann (2012)

Os dados de precipitação são utilizados como entrada no modelo, enquanto os processos de evaporação, infiltração que só ocorrem em locais permeáveis e escoamento superficial são considerados como saídas, conforme ilustra a Figura 7. (Rossmann, 2012). A evaporação, por sua vez, não é considerada relevante, pois as simulações são realizadas em um curto intervalo de tempo e sob condições de baixa insolação, o que minimiza a perda de água por evaporação (Shinma, 2015).

Figura 7 – Armazenamento em depressão



Fonte: Adaptado de Rossmann (2012)

Ainda, Shinma (2015) acrescenta que a altura de armazenamento de cada reservatório representa uma lâmina d'água inicial que não contribui para o

escoamento superficial. Essa lâmina é retida no sistema devido a processos como interceptação e armazenamento em depressões. Então, o escoamento superficial (Q) só começa quando a capacidade de armazenamento em depressão (dp) excede o valor (Ferreira, 2017).

2.8.4 Infiltração

A infiltração da chuva na zona não saturada do solo em sub áreas permeáveis de uma sub-bacia pode ser modelada utilizando os métodos de Horton, Green-Ampt e método SCS.

Segundo Rossman (2012), o processo de infiltração pode ser calculado pelo método de Green-Ampt em que assume a existência de uma linha divisória dentro do solo, separando uma parte superior saturada de uma parte inferior menos úmida.

O método de SCS parte do princípio de que o solo possui uma capacidade máxima de absorver água, representado por um valor tabelado que depende do tipo de solo, da cobertura vegetal e das condições do terreno. Durante uma chuva, essa capacidade de infiltração vai sendo reduzida, e a água excedente escoar superficialmente (Rossman, 2012).

E a equação de Horton, trata-se de um método empírico, no qual propõe que a velocidade de infiltração diminui exponencialmente durante um evento chuvoso, iniciando em um valor máximo e tendendo a um valor mínimo (Rossman, 2012).

2.8.5 Transporte hidráulico

O SWMM fundamenta seus cálculos para os condutos pelo princípio da conservação de massa e equações de quantidade de movimento utilizando as equações de Saint-Venant. A flexibilidade reside na possibilidade do usuário selecionar entre diferentes esquemas de resolução numérica, a saber: regime permanente, onda cinemática e onda dinâmica (Tsuji, 2018).

2.8.6 Conduto

O conduto tem a função de ligar um nó com outro. Podem assumir o papel de bueiros, canais abertos ou fechados com diferentes formatos geométricos. Para

todos os casos é utilizado a equação de Manning, exceto para condutos de seção transversal circular que estão operando sob pressão, a vazão é calculada pela equação de Hazen-Williams ou pela equação de Darcy-Weisbach (Rossman, 2012).

2.8.7 Controle de dispositivo de baixo impacto (LID)

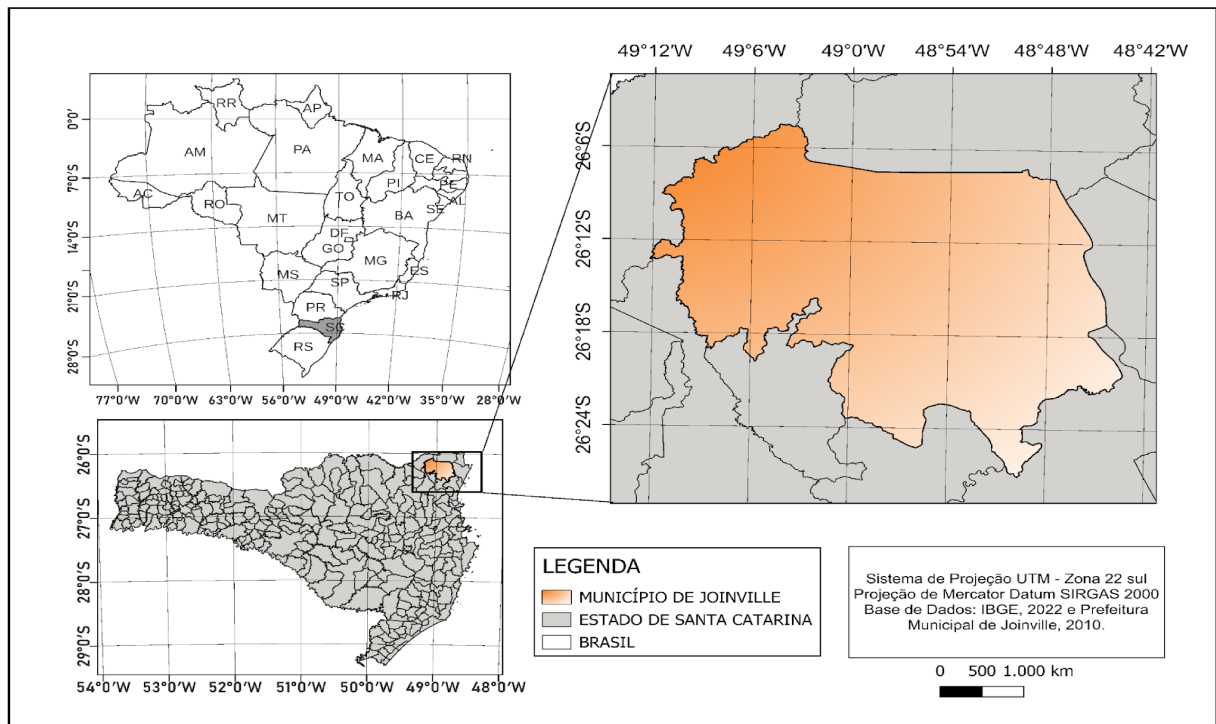
O SWMM tem a capacidade de modelar técnicas sustentáveis de baixo impacto em manejo de águas pluviais, tais como: bacia de biorretenção, jardim de chuva, telhado verde, trincheira de infiltração, pavimento permeável, barris de chuva e vala de infiltração (Fonseca, 2023).

3 METODOLOGIA

3.1 REGIÃO DE ESTUDO

A sub-bacia em estudo localiza-se na cidade de Joinville (Figura 8), situada na região norte do estado de Santa Catarina (SC) e região sul do país. Joinville possui uma extensão territorial de 1127,947 km² com uma população de 616,317 mil habitantes e densidade demográfica de 546,41 hab./km², conforme dados do censo de 2022 do IBGE (2023). A área urbana do município, com seus 213,18 km², tem sua ocupação ligada diretamente ao crescimento da indústria e da economia local (SDE, 2024).

Figura 8 – Mapa de localização de Joinville – SC

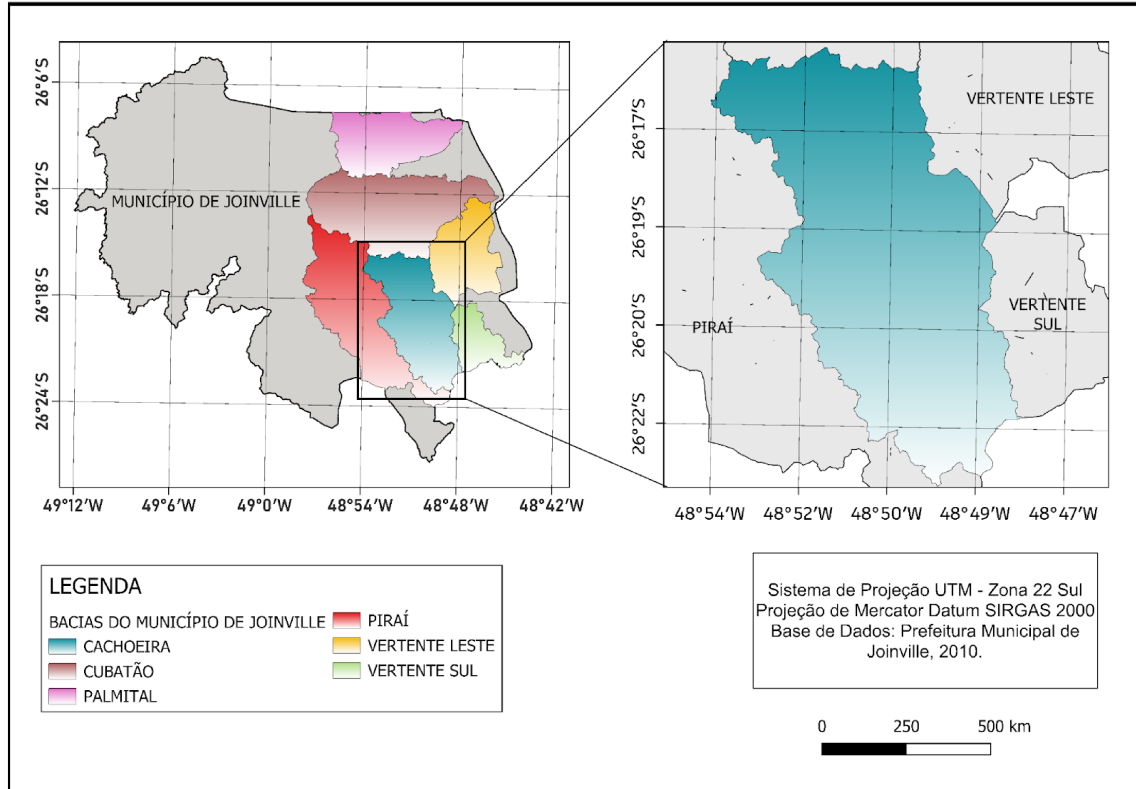


Fonte: Autora (2024)

Joinville é formada pelas bacias hidrográficas do Rio Cubatão, Rio Piraí, Rio Cachoeira, Rio Palmital, bacias hidrográficas Independentes da Vertente Leste e bacias hidrográficas Independentes da Vertente Sul que fazem parte da região urbana consolidada conforme demonstrado na Figura 9, enquanto o Rio Itapocuzinho é localizado na região não consolidada (SEPUD, 2018). Ao evidenciar a bacia do Rio Cachoeira, busca-se facilitar a visualização de suas relações

hidrográficas e a compreensão de sua importância no contexto regional, uma vez que o Rio Mathias é um de seus afluentes.

Figura 9 – Bacias hidrográficas de Joinville



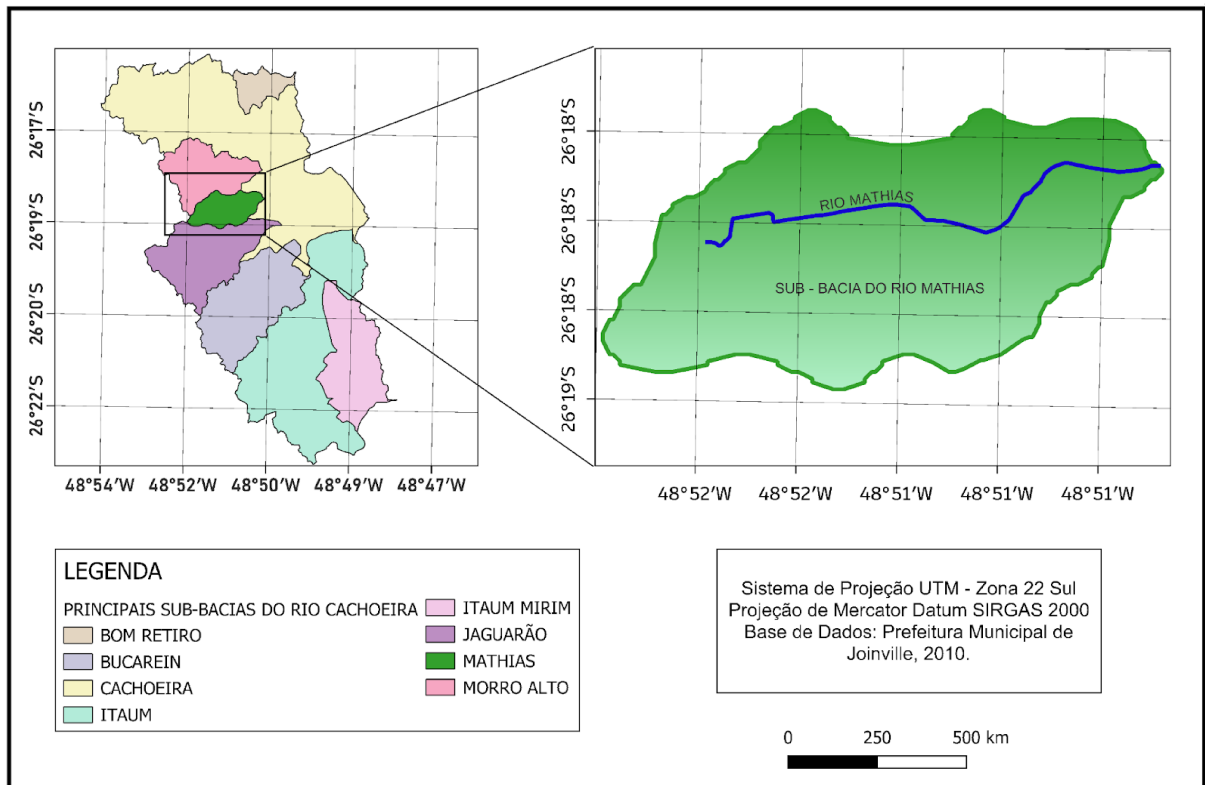
Fonte: Autora (2024)

3.1.1 Bacia hidrográfica do Rio Cachoeira

A bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, com seus 83,12 km², representa 7,3% do território de Joinville, tem sua nascente no bairro Costa e Silva e está sob influência das marés. Ao longo de sua extensão de 14 km, totalmente inserida no município, o rio sofreu alterações causadas pela urbanização, principalmente na área central (Ribeiro; Oliveira, 2014).

A bacia hidrográfica do Rio Cachoeira é composta pelas sub-bacias do Rio Cachoeira, Rio Itaum, Rio Itaum-mirim, Rio Bucarein, Rio Jaguarão, Rio Morro Alto, Rio Bom Retiro e o Rio Mathias, que será objeto de estudo, conforme demonstrado na Figura 10.

Figura 10 – Mapa de localização do Rio Mathias

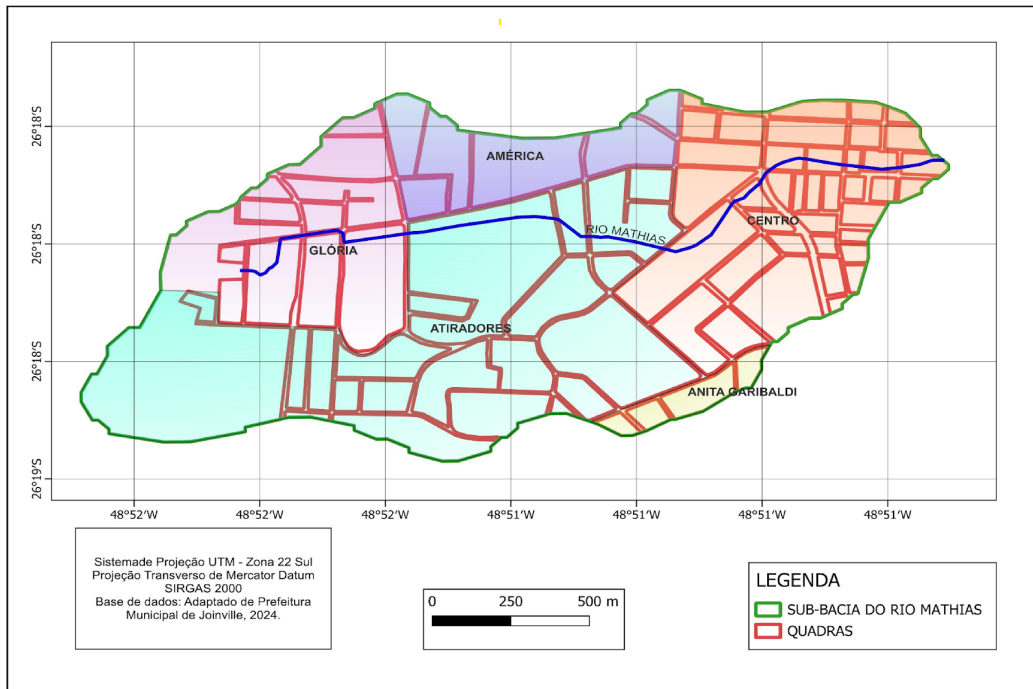


Fonte: Autora (2024)

3.1.2 Sub-Bacia do Rio Mathias

A sub-bacia do Rio Mathias possui um rio principal com 2.577,83 metros de extensão, área de 2,57 km² e perímetro de 7728,63 m (dados medidos no software QGIS). Essa importante sub-bacia abrange parte dos bairros Atiradores, Anita Garibaldi, Glória, América e Centro, como pode ser observado na Figura 11, desempenhando um papel fundamental na formação e desenvolvimento da história da cidade desde os primeiros anos de ocupação.

Figura 11 – Mapa de distribuição dos bairros na sub-bacia do Rio Mathias



Fonte: Autora (2024)

A partir do século XIX, o Rio Mathias começou a ser povoado em suas margens (Borba e Almeida 2018). Desde então, a urbanização intensificou-se e construções de galerias subterrâneas foram realizadas, para o escoamento da água da chuva como estratégia para mitigar os problemas de alagamento e inundações. Entretanto, se tornaram mais frequentes com a impermeabilização do solo, especialmente nas áreas comerciais ao redor da foz do rio, onde há uma intensa atividade econômica. Adicionalmente, os autores destacam que a impermeabilização, combinada com as oscilações das marés, resultam em inundações frequentes.

A Figura 12, ilustra um segmento do sistema de drenagem, localizado sob o terminal central. Nessa área, observa-se acúmulo de sedimentos devido a baixa , que obstruem o fluxo da água. Essa deposição de materiais prejudica o funcionamento da galeria de drenagem, reduzindo sua capacidade de escoamento.

A Figura 13, refere-se a um trecho na Rua Visconde de Taunay, próximo ao Centro Universitário Católico. É possível observar uma tubulação cruzando a galeria, o que prejudica o fluxo do escoamento. Além disso, as galerias foram construídas em etapas, em diferentes épocas. (Joinville, 2011). Essa construção fragmentada

resultou em trechos com dimensões e materiais distintos, como pode ser observado nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 – Trecho da galeria do Rio Mathias na rua 9 de Março



Fonte: Prefeitura Municipal de Joinville (2023)

Figura 13 – Trecho da galeria do Rio Mathias na rua Visconde de Taunay



Fonte: Prefeitura Municipal de Joinville (2023)

3.1.3 Altimetria

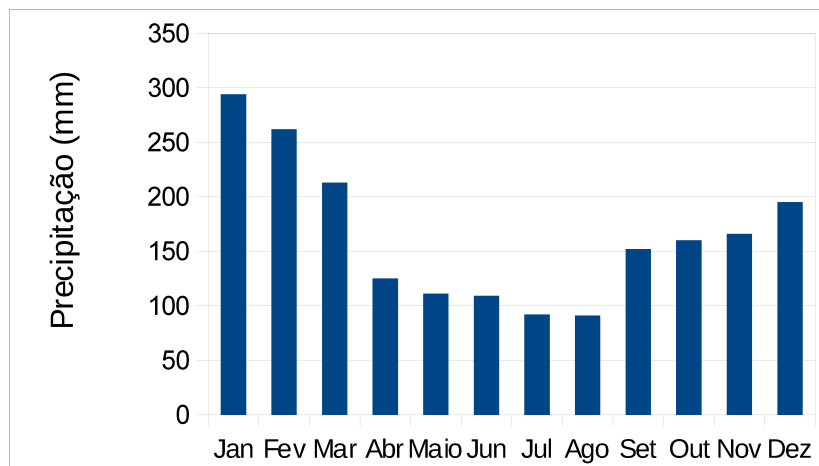
A análise do mapa hipsométrico de Joinville, disponível no SIMGeo do levantamento de aeromagem de 2010, revela que o município apresenta altitudes que oscilam entre 0 e 1350 metros. As áreas mais urbanizadas tendem a concentrar-se em regiões de menor altitude, ao ser analisado a região em torno do Rio Cachoeira, onde a altitude não ultrapassa 20 metros, e a foz do Rio Mathias,

com altitudes inferiores a 5 metros, que apresentam maior densidade populacional e infraestrutura urbana. Em contraste, as áreas menos urbanizadas da sub-bacia, encontram-se nas altitudes de até 150 metros, junto ao divisor desta sub-bacia hidrográfica.

3.1.4 Precipitação

A região em questão se destaca por uma média anual de precipitação que varia entre 1700 mm a 2700 mm, um valor significativo que contribui para suas características (EPAGRI, 2002). No entanto, essa precipitação não se distribui uniformemente ao longo do ano, apresentando variações sazonais, como pode ser observado na Figura 14. O mês de agosto se destaca como o mais seco, com precipitação média em torno de 91 mm. Esse período pode ser caracterizado por menor umidade e menor frequência de chuvas. Em contraste, janeiro assume o mês mais chuvoso, com média de precipitação de aproximadamente 294 mm (Clima Date, s.d; Clima Tempo, c2024). Dessa forma, Joinville pode ser caracterizada como uma cidade com alta frequência de chuvas.

Figura 14 – Precipitação média mensal em Joinville



Fonte: Adaptado de Clima Tempo (c2024)

3.1.5 Clima

Desenvolvida em 1884 pelo climatologista alemão Wladimir Köppen, o sistema de classificação climática de Köppen é utilizado para identificar os tipos de clima de uma região (IPEF, 2014). Em Joinville, a classificação predominante é a Cfa

que se enquadra na classificação mesotérmico, clima subtropical úmido e sem estação seca (Amaral et al., 2016). De acordo esta classificação a cidade apresenta verões quentes e úmidos e invernos amenos.

3.1.6 Tempo de concentração

Entre as seis equações urbanas analisadas por Silveira (2003), as equações de Carter, Desborde, McCuen, Eagleson e Espey foram as quais a sub-bacia do Rio Mathias atendeu aos critérios para utiliza-las. Segundo o autor, a equação de Carter (Equação 1), destaca-se por representar bacias hidrográficas de baixa declividade e por essa razão, para o cálculo do tempo de concentração foi utilizado esta equação. Sendo aplicável em bacias hidrográficas com área inferior a 21 km², declividade do talvegue menor que 0,5% e comprimento do talvegue principal inferior a 12 km.

$$T_c = 0,0977 \cdot L^{0,6} \cdot S^{-0,3} \quad (1)$$

Onde:

T_c: Tempo de concentração (horas);

L: Comprimento do talvegue principal (km);

S: Declividade do talvegue principal (m/m).

O valor encontrado para o tempo de concentração foi de 28 minutos, sendo esta uma estimativa inicial. No entanto, ao utilizar o modelo hidrológico SWMM, é fundamental realizar uma análise mais detalhada. Segundo Costa (2023), ainda que seja possível igualar o tempo de concentração ao tempo de duração da chuva, essa relação nem sempre resulta em durações de chuva mais crítica. Por isso, é necessário testar várias duração da chuva nas simulações para identificar qual duração resulta na mais crítica.

3.1.7 Equações da chuva de Joinville

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), em 2014, estabeleceu duas equações de IDF para a cidade de Joinville. Essas equações

foram derivadas a partir de dados coletados em duas estações pluviométricas operadas pela Empresa de Pesquisa Agrícola de Santa Catarina (EPAGRI).

A Tabela 1 apresenta uma análise comparativa das estações pluviométricas da região.

Tabela 1 – Dados das estações

Características	Estação Pluviométrica Primeiro Salto do Cubatão	Estação Pluviométrica de Joinville
Código da estação	02649060	02648014
Zona	Rural	Urbana
Localização geográfica	26°12'57' S 49°04'50" W	26°19'18" S 48°50'47" W
Altitude (m)	790	6
Duração da precipitação	5 min à 2 h	5 min à 24 h
Tempo de retorno (anos)	Até 50	Até 100
Metodologia	Registro contínuo por duração (Parcial)	Desagregação das precipitações máximas diárias por ano (Anual)
Série histórica	1997 a 2012	1973 a 2012

Fonte: Adaptado CPRM (2014)

A escolha da Equação 2 para este trabalho levou em consideração a proximidade geográfica da estação em relação à área de estudo, aliada à disponibilidade de uma série histórica de dados pluviométricos, que abrange o período de 39 anos.

$$i = \frac{1218,2 \cdot T^{0,1997}}{(t+33,7)^{0,7948}} \quad (2)$$

Onde:

i: Intensidade da chuva (mm/h);

T: Tempo de retorno (anos);

t: Duração da precipitação (minutos).

3.2 QGIS

A obtenção das características fisiográficas da sub-bacia do Rio Mathias foi realizada com a utilização de dados geográficos, arquivos vetoriais e do software Qgis versão 3.34.7.

3.2.1 Coleta e Análise de Dados

Para esta pesquisa, foram coletados dados geográficos em formato shapefile diretamente do Sistema Geográfico Municipal (SIMGeo). Esses dados incluem o levantamento hidrográfico, altimetria e o arquivo de limites.

O levantamento hidrográfico detalha os rios e seus afluentes, a altimetria contém as curvas de nível do terreno. E as delimitações dos bairros foram extraídas do arquivo de limites. E para complementar a análise, foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) os limites municipais de todo o estado de Santa Catarina e os limites dos estados do território brasileiro.

A delimitação da sub-bacia foi iniciada com a utilização de um Modelo Digital de Elevação (MDE) em formato raster com resolução de um metro de altitude, sendo obtido através do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (Topodata). Após o processamento dos dados, a delimitação da bacia, com os dados do Topodata, foi efetuado uma análise comparativa com a rede hidrográfica disponibilizada no portal da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Essa comparação demonstrou discrepâncias entre o percurso do rio simulado e a realidade, indicando a necessidade de revisão dos dados utilizados. Diante deste cenário, optou-se por realizar uma nova delimitação, utilizando um MDE com resolução de um metro de altitude, obtido através do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC) que apresentava melhor representação da hidrografia local.

A análise comparativa entre as curvas de nível geradas a partir do MDE para delimitar as sub-bacia e os dados do arquivo altimétrico do Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas (SIMGeo) do município de Joinville, indicou uma divergência significativa na representação da elevação do terreno. Ao verificar a posição do rio em relação à topografia, constatou-se que, no MDE, o rio cortava curvas de nível correspondentes a cotas altimétricas mais elevadas do que seria esperado para um curso d'água natural, que normalmente segue as áreas de menor altitude. Em contrapartida, no SIMGeo, o traçado do rio mostrou-se mais coerente com as áreas de menor elevação.

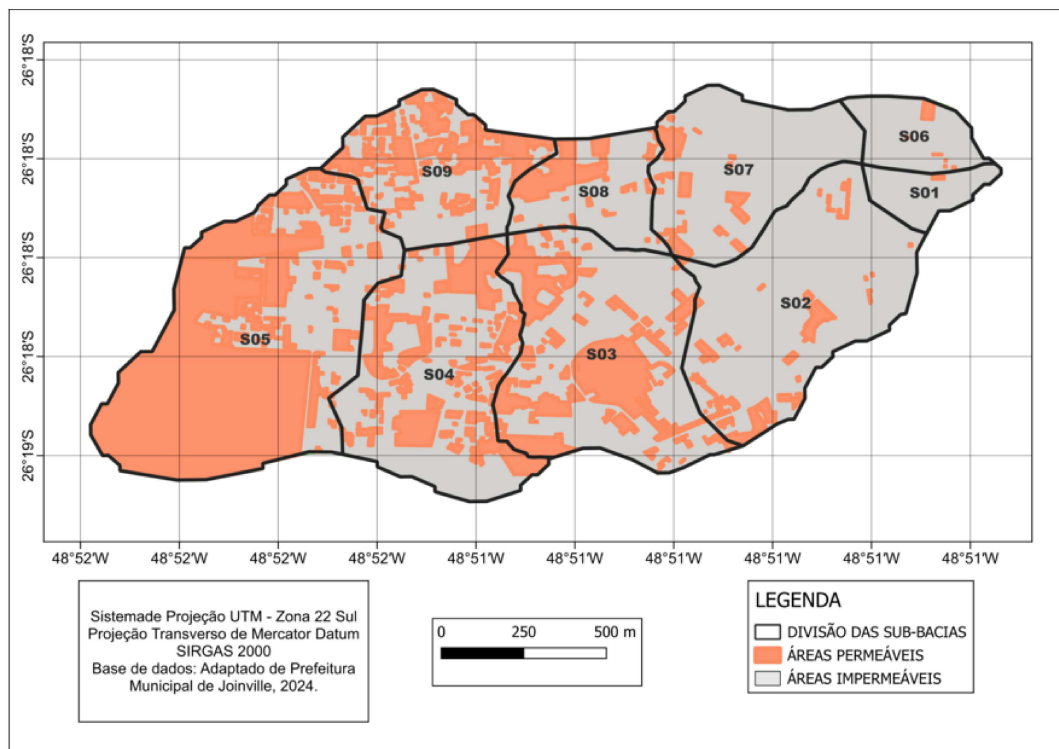
Considerando a natureza subterrânea do Rio Mathias e as limitações do MDE em identificar feições subterrâneas, decidiu-se desconsiderar os dados do SIGSC para fazer o traçado do rio. Por esta razão, optou-se por empregar o arquivo de levantamento hidrográfico disponível no SIMGeo.

3.2.2 Processamento de dados

O MDE utilizado em formato raster, que estava originalmente em coordenadas geográficas WGS 84, foi reprojetoado para o sistema de referência SIRGAS 2000/UTM zona 22S. Em seguida, a ferramenta `r.fill.dir` do GRASS GIS foi utilizada para corrigir falhas de preenchimento das depressões. Bem como, a ferramenta `r.watershed` permitiu determinar a direção de drenagem e seguimento de fluxo. E por fim, a delimitação da bacia hidrográfica foi realizada por meio da ferramenta `r.water.outlet`, considerando o ponto de exutório nas coordenadas geográficas $26^{\circ}18'4.16''S$ e $48^{\circ}50'32.11''O$. A escolha deste local como ponto de análise se justifica por sua localização, onde o Rio Mathias deságua no rio Cachoeira.

A definição das microbacias foi realizada com base na análise da topografia da área, considerando as curvas de nível como referência. A Figura 15 expõe a representação dessa divisão.

Figura 15 – Distribuição de áreas permeáveis e impermeáveis por microbacia



Fonte: Autora 2024)

Com base no mapeamento da Figura 15, foi possível quantificar a parcela da superfície permeável em relação à área total de cada microbacia. Esse cálculo foi realizado subtraindo a área permeável da área total e, em seguida, dividindo o resultado pela área total. No Apêndice D, estão apresentados os valores de área, impermeabilidade e permeabilidade para cada microbacia.

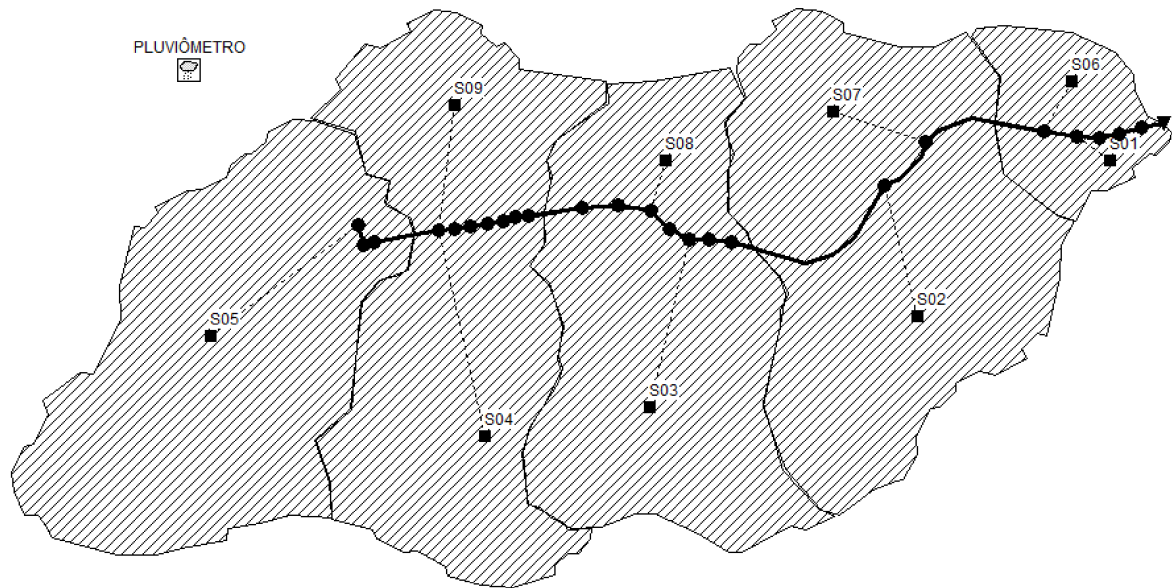
A partir dos dados vetoriais dos limites municipais de Santa Catarina e dos limites estaduais do território brasileiro, foi elaborado o mapa de localização de Joinville em relação aos municípios vizinhos e ao restante do estado. A elaboração do mapa envolveu a seleção dos arquivos que serão representados, utilizando a opção de um novo layout de impressão para organizar os elementos visuais. A fim de facilitar a interpretação do mapa, foram incluídos elementos essenciais como legenda, escala gráfica e referências cartográficas. Bem como os demais mapas elaborados.

Para facilitar a análise, os arquivos de pedologia, manchas de inundação, levantamento hidrográfico, altimetria e limites foram sobrepostos à delimitação da sub-bacia no software QGIS. Utilizando a ferramenta de recorte, foram extraídos apenas os dados referentes à área de interesse, permitindo uma visualização mais clara e precisa das características da sub-bacia do Rio Mathias.

3.3 SWMM

A modelagem de uma sub-bacia no software SWMM consiste da inserção de dados da bacia, como área, largura, declividade, área impermeável, cota e comprimento dos condutos, bem como dados pluviométricos, inseridos a partir do item pluviômetro. Inicialmente, é necessário inserir o pluviômetro, as microbacias, os nós e os trechos. Sendo assim, a partir da divisão elaborada no Qgis foi gerado um arquivo de imagem. Esse arquivo foi inserido como plano de fundo, servindo como base visual ao traçado das microbacias no SWMM. Esses elementos são representados graficamente na interface do programa para a definição das propriedades hidrológicas do modelo, conforme ilustra a Figura 16.

Figura 16 – Rede de macrodrenagem modelada no SWMM



Fonte: Autora (2024)

Na etapa seguinte, cada microbacia é conectada a um nó específico para receber o escoamento. Assim, S01 conectado ao nó R20, S02 conectado ao nó R17, S03 conectado ao nó R14, S04 e S09 conectados ao nó R03, S05 conectado ao nó R00, S06 conectado ao nó R19, S07 conectado ao nó R18 e S08 conectado ao nó R12.

3.3.1 Pluviômetro

No parâmetro de formato de precipitação foi escolhido o de intensidade, pelo fato de os dados pluviométricos estarem na unidade de milímetros por hora (mm/h).

O intervalo de registro das leituras deve ser menor ou igual ao tempo de concentração da sub-bacia demonstrado no item 3.1.6. Dessa forma, foi escolhido o tempo de 5 segundos, que permite capturar com maior precisão o momento de ocorrência do pico de vazão.

Na opção de origem de dados, foi escolhido o Time Séries, inserindo manualmente os dados de precipitação diretamente no editor da série temporal. Os dados inseridos correspondem a diferentes cenários de chuva, considerando tempos de retorno de 5, 10, 25 e 50 anos. Em cada simulação, seleciona-se uma dessas combinações para representar um evento de chuva específico. Os valores de

intensidade foram calculados com a utilização da equação IDF já mencionada anteriormente neste trabalho.

A chuva utilizada como entrada no editor de série temporal corresponde a chuva de projeto, obtida através da aplicação da Equação 2. Os resultados detalhados deste cálculo podem ser encontrados no Apêndice A. A distribuição temporal dessa chuva de projeto foi determinada utilizando o método dos blocos alternados, e os resultados dessa análise são apresentados no Apêndice B.

3.3.2 Microbacias

Para a realização da simulação hidrológica das microbacias, é necessário fornecer um conjunto de parâmetros específicos. O Quadro 1, lista os parâmetros das microbacias que constituem a entrada para o modelo de simulação.

Quadro 1 – Parâmetros de entrada das microbacias

Parâmetro	Unidade	Descrição
Área	ha	Área de cada microbacia
Largura	m	Largura característica do escoamento superficial.
Declividade	%	Declividade média
Impermeável	%	Porcentagem da área superficial impermeável
n-Impermeável	s/m ^{1/3}	Rugosidade de Manning para o escoamento superficial na parcela da microbacia impermeável
n-Permeável	s/m ^{1/3}	Rugosidade de Manning para o escoamento superficial na parcela da microbacia permeável
PA-Impermeável	mm	Profundidade de armazenamento em depressão na parcela impermeável da microbacia
PA-Permeável	mm	Profundidade de armazenamento em depressão na parcela permeável da microbacia
Área impermeável sem armazenamento	%	Porcentagem da área impermeável sem armazenamento de depressão
Propagação de escoamento	%	Opção de direcionamento interno do escoamento entre as áreas impermeáveis e permeáveis.
Propagação	%	Porcentagem de escoamento entre microbacias
Infiltração	–	Modelo de Infiltração

Fonte: Adaptado de Rossmann (2012)

Em virtude da geometria irregular das subáreas, foi necessário aplicar o Método do Retângulo Equivalente (Equação 3 e 4). Dessa forma, permitiu aproximar as subáreas a um retângulo.

$$Le = \frac{Kc \cdot \sqrt{A}}{1,12} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{Kc} \right)^2} \right] \quad (3)$$

$$Kc = \frac{0,282 \cdot P}{\sqrt{A}} \quad (4)$$

Onde:

Le: Largura do retângulo equivalente (m);

Kc: Coeficiente de compacidade (adimensional);

A: Área da sub-bacia (m²);

P: Perímetro da sub-bacia (m).

A declividade média para cada microbacia foi calculada através da seguinte Equação 5:

$$S = \frac{H1 - H2}{L} * 100 \quad (5)$$

Onde:

S: Declividade (%)

H1: Cota de crista (m)

H2: Cota de base (m)

L: Comprimento do talvegue (m)

O manual do SWMM disponibiliza uma tabela de coeficientes n-Manning para diversos tipos de superfície. Como cada microbacia não possui uma única superfície, foi necessário utilizar uma abordagem simplificada, adotando um valor representativo em cada uma delas. Para tanto, selecionaram-se os tipos de superfícies existentes em cada microbacia, conforme Tabela 2 e 3 e calculou-se a média aritmética dos valores de n correspondentes às superfícies n-impermeáveis e n-permeáveis.

Tabela 2 – Coeficientes de Manning para superfície impermeável

Superfície n-impermeáveis	n-Manning
Asfalto liso	0,011
Concreto liso	0,012
Concreto normal	0,013
Madeira	0,014
Tijolo com cimento	0,014
Cerâmica	0,015
Cimento com superfície em pedregulho	0,024

Fonte: Adaptado de Rossman (2012)

Tabela 3 – Coeficientes de Manning para superfície permeável

Superfície n-permeáveis	n-Manning
Campo natural	0,13
Gramma curta, pradaria	0,15
Gramma densa	0,24
Gramma bermudas	0,41
Vegetação rasteira	0,40
Vegetação densa	0,30

Fonte: Adaptado de Rossman (2012)

Ainda, o manual do SWMM fornece um conjunto de valores para a profundidade de armazenamento em depressão para diferentes tipos de superfície. Para áreas impermeáveis, o intervalo sugerido é de 1,27 mm a 2,54 mm, enquanto para gramados, varia de 2,54 mm a 5,08 mm. Neste estudo, optou-se pelo valor mínimo de cada intervalo, considerando a condição mais crítica, ou seja, a situação em que a superfície tem menor capacidade de armazenamento de água. Assim, foram adotados 1,27 mm para áreas impermeáveis (PA-Impermeável) e 2,54 mm para áreas permeáveis (PA-Permeável).

A área impermeável sem armazenamento e a propagação foram mantidas o valor sugerido pelo programa. E as demais propriedades como águas subterrâneas, acumulação de neve, uso do solo, comprimento de meio foram omitidas da análise, uma vez que não são relevantes para o escopo deste estudo.

3.3.3 Trechos

A configuração geométrica, os materiais e as dimensões dos condutos foram extraídos dos dados da planilha de cadastro do Rio Mathias, que acompanha o memorial de cálculo do edital nº 680/2022 da Prefeitura Municipal de Joinville (2022), estão dispostos no Apêndice C.

A única exceção, que não consta na planilha de cadastro, é o trecho T01, que foi acrescentado ao projeto, mantendo as mesmas características técnicas do trecho T02. Além disso, os trechos T02, T03, T06, T12 e T13 não foram informados a profundidade dos canais e diante dessa ausência de dados, optou-se por considerar a altura do canal igual à sua base.

Conforme detalhado na planilha, para as paredes e o fundo do canal indica materiais distintos para o mesmo trecho. Entretanto, devido às restrições do software, que exige a definição de um único material para toda a estrutura, foi necessário simplificar o modelo. Assim, o material do fundo, por apresentar maior área de contato com o fluido, foi escolhido como referência para todo o canal.

Os trechos T17 a T20, embora tenham um comprimento total único na planilha, foram divididos em quatro segmentos para garantir que o escoamento das microbacias S02 e S07, convergissem para um ponto do trecho que ficasse dentro da divisão estabelecida. Para determinar o comprimento de cada conduto, recorreu-se ao Google Earth Pro para computador. Nessa ferramenta, foram inseridas as coordenadas geográficas do início do trecho T17 e do final do trecho T20, além dos pontos de junção das microbacias S02 e S07. Com a ferramenta de medição de distância foi possível calcular a extensão linear entre os pontos marcados, obtendo o comprimento de cada trecho.

A determinação dos coeficientes de n-Manning seguiu as orientações do manual do SWMM, considerando os diferentes materiais dos canais. Foram adotados os valores máximos dos intervalos sugeridos, para garantir uma estimativa conservadora de rugosidade.

Offset de entrada e offset de saída foram configurados de acordo com a elevação do nó em que estão conectados. Os demais parâmetros de entrada dos trechos como fluxo inicial e máximo, coeficiente de perda de entrada e saída, dispositivo de retenção e o código do bueiro, não foram utilizados valores, uma vez que não fazem parte do escopo do estudo.

3.3.4 Nós

O único parâmetro modificado é a cota do radier, ou seja, onde se encontram as cotas dos nós. Os nós R00, R03, R12, R14, R17, R18, R19 e R20 foram estrategicamente posicionados nos pontos mais baixos e em vias públicas para atuarem como poços de visita, recebendo o escoamento das microbacias adjacentes e configurando um sistema próximo da microdrenagem.

3.3.5 Jardim de chuva

Considerando o elevado grau de impermeabilização das microbacias S01, S02, S03, S04, S06, S07 e S08, optou-se por destinar 20% da área impermeabilizada de cada uma delas à implantação de jardins de chuva. A quantificação detalhada dessas áreas e demais características da sub-bacia encontram-se no Apêndice D.

O perfil do solo foi composto por três camadas: vegetal (15 cm), solo (90 cm) e armazenamento (50 cm). Para a camada de solo foi adotado valores tabelados do manual do SWMM para solo arenoso. Os valores utilizados foram: porosidade 0,475, capacidade de campo 0,378, ponto de murcha 0,265 e condutividade hidráulica 0,01 cm/s. A espessura total do solo simulado foi de 140 cm.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DURAÇÃO DA CHUVA DE PROJETO

A fim de analisar o comportamento dos picos de vazão em diferentes tempos de chuva e definir um valor de duração único para as análises seguintes, foram realizadas simulações de eventos chuvosos com durações de 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas e 4 horas para tempos de retorno de 5 anos, 10 anos, 25 anos e 50 anos conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado da vazão de pico (cm³/s) para diferentes durações de chuva

Duração	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos
30 minutos	13,55	16,37	20,95	30,19
1 hora	16,26	16,38	22,05	31,49
2 horas	14,67	16,91	22,51	27,03
3 horas	14,76	17,77	22,63	27,22
4 horas	14,80	17,81	22,69	27,30

Fonte: Autora (2024)

A análise dos resultados indicou que, nos tempos de retorno de 5 e 50 anos, a vazão de pico estabilizou após a duração de uma hora. Para o tempo de retorno de 10 anos, os picos de vazão inicialmente aumentaram com o incremento da duração da chuva, porém, estabilizam a partir de 3 horas de chuva. Para TR 25 anos a estabilização ocorreu a partir de 1 hora de duração.

Considerando as análises, concluiu-se que aumentos adicionais no tempo de chuva não provocaram um aumento proporcional na vazão máxima nas simulações realizadas. Com base nessa observação, optou-se por adotar a duração de 1 hora como referência para as demais análises.

4.2 HIDROGRAMAS

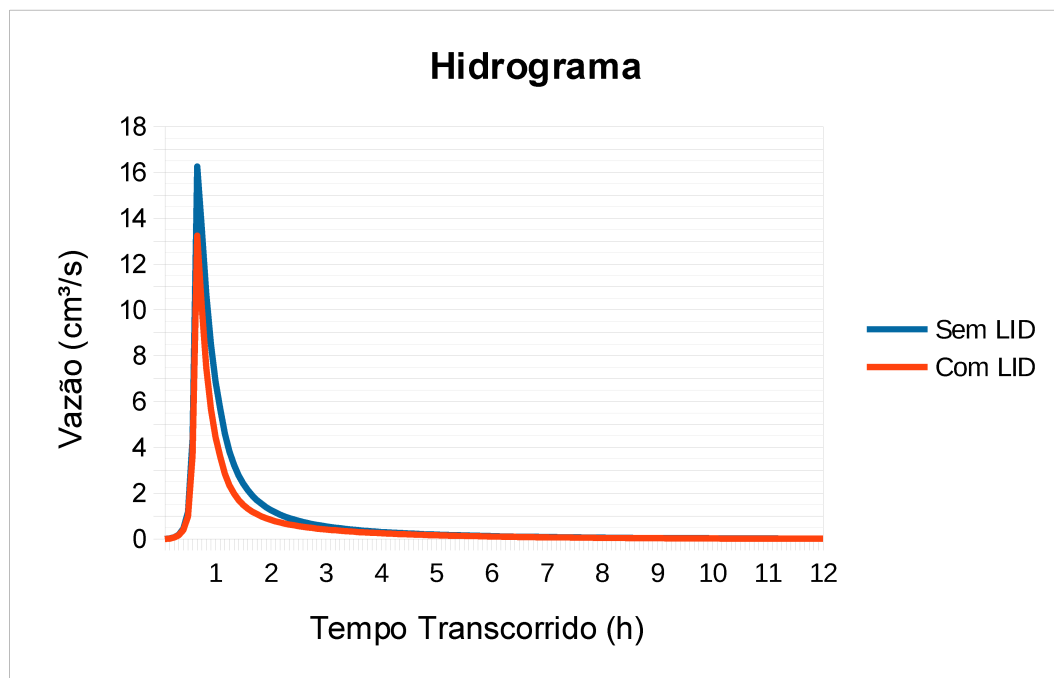
Para todos os cenários, o erro de continuidade para o escoamento superficial e propagação de vazão foram abaixo de 1%, sendo considerado

insignificante, uma vez que o manual do SWMM informa que até 10% é considerado aceitável.

4.2.1 Vazão de pico para TR 5 anos

Para o cenário de TR 5 anos houve uma redução de 18,57% da vazão de pico entre o cenário sem e com LID, como mostrado na Figura 17. A precipitação máxima calculada foi de 16,63 mm/h.

Figura 17 – Hidrograma de vazão para TR de 5 anos.

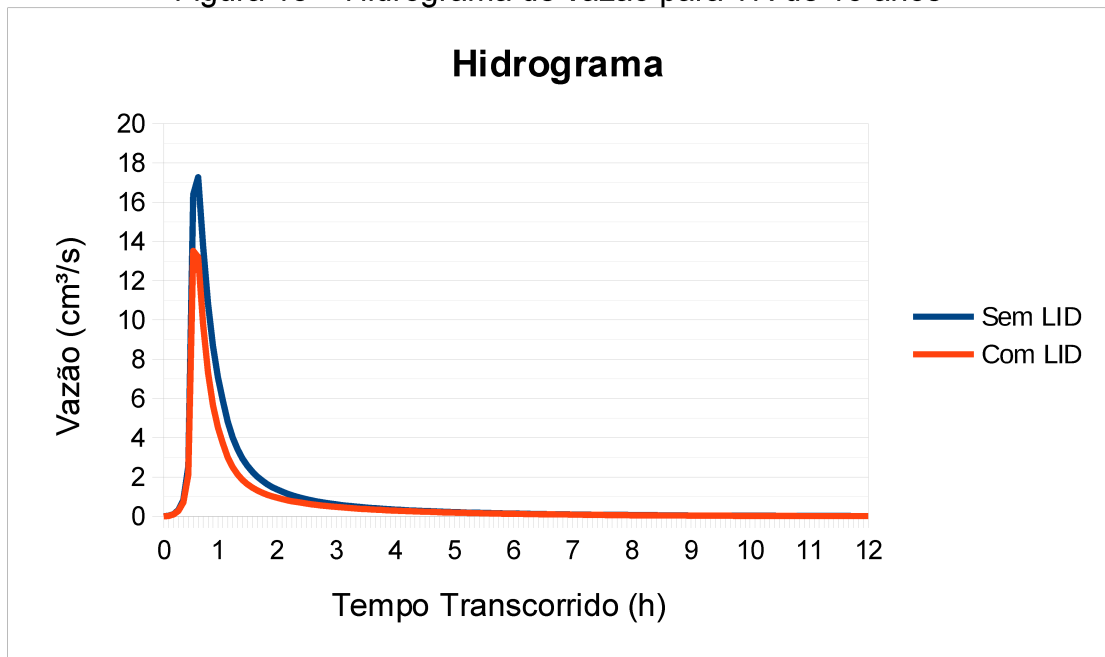


Fonte: Autora (2024)

4.2.2 Vazão de pico TR de 10 anos

Para uma precipitação máxima gerada de 19,10 mm, a vazão de pico diminuiu de 17,27 m³/s para 13,52 m³/s, o equivalente a uma redução de 21,71% em comparação com a situação sem jardim de chuva. Para o cenário sem jardim de chuva, a vazão de pico foi atingida em 40 minutos, enquanto que para o cenário com jardim de chuva a vazão de pico foi atingida em 35 minutos, conforme demonstrado na Figura 18.

Figura 18 – Hidrograma de vazão para TR de 10 anos

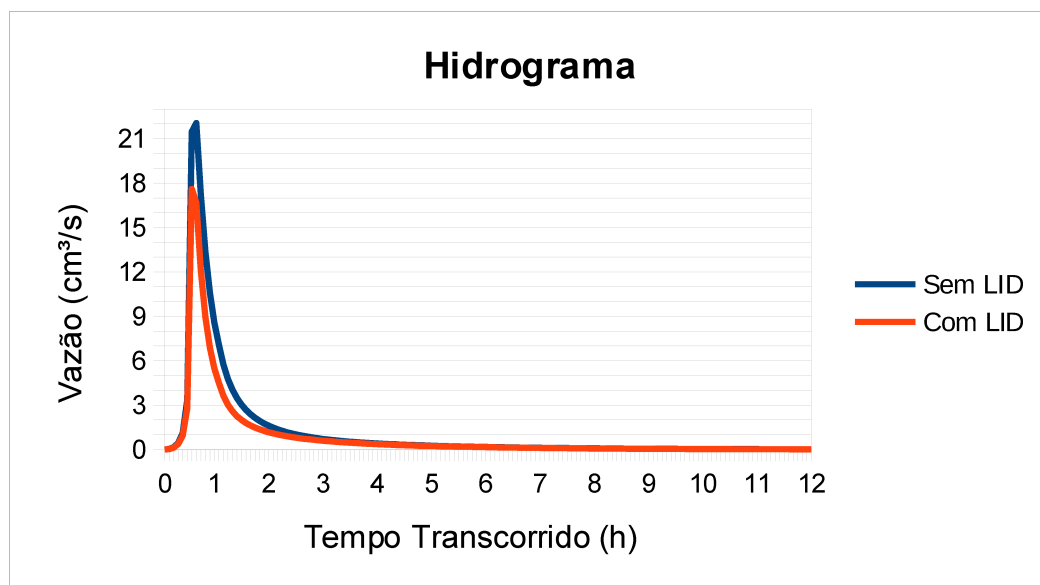


Fonte: Autora (2024)

4.2.3 Vazão de pico para TR de 25 anos

Para uma precipitação máxima de 22,94 mm, a implantação de um jardim de chuva reduziu a vazão de pico de 22,05 m³/s para 17,60 m³/s, o equivalente a uma redução de 20,18%. Além disso, o tempo para atingir o pico foi antecipado em 5 minutos, passando de 40 para 35 minutos, conforme demonstrado na Figura 19.

Figura 19 – Hidrograma de vazão para TR de 25 anos.

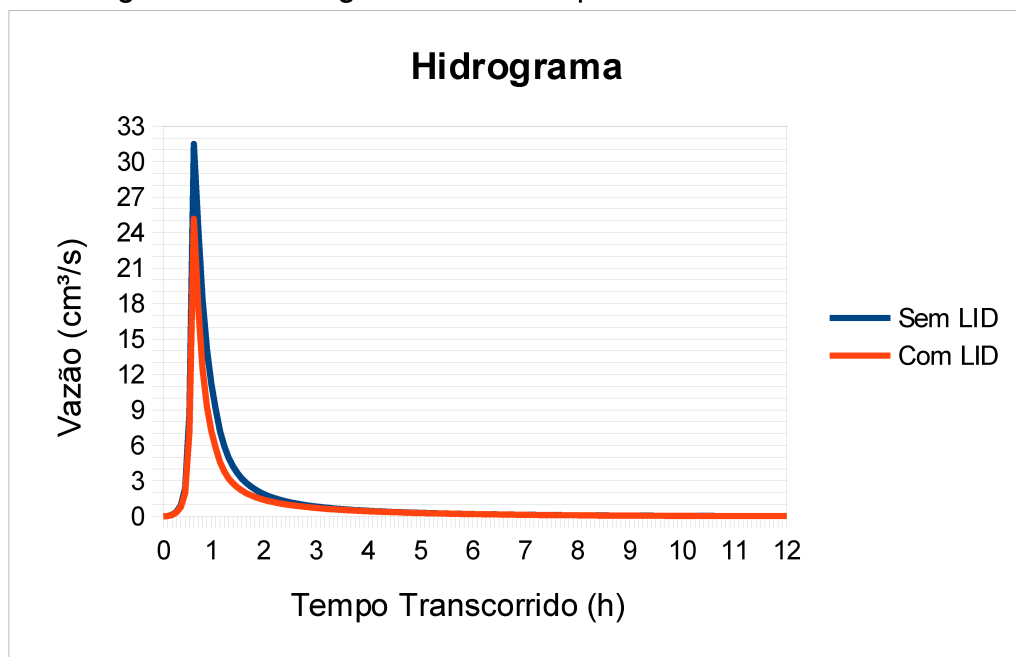


Fonte: Autora (2024)

4.2.4 Vazão de pico para TR 50 anos

Para uma precipitação máxima gerada de 26,23 mm, a vazão de pico diminuiu de 16,26 m³/s para 13,24 m³/s, representando uma redução de 18,57% em comparação com a situação sem jardim de chuva. Em ambos os cenários a vazão de pico foi atingida em 40 minutos, conforme demonstrado na Figura 20.

Figura 20 – Hidrograma de vazão para TR de 50 anos.



Fonte: Autora (2024)

A análise dos resultados mostrou que o maior impacto positivo foi registrado para o evento com tempo de retorno de 10 anos, enquanto a menor redução ocorreu para eventos com tempo de retorno de 5 anos. Para 25 anos e 50 anos, mostrou que o efeito do jardim de chuva manteve-se aproximadamente o mesmo valor. Dessa forma, não se observou relação entre o tempo de retorno e a magnitude do efeito do jardim de chuva.

Observou-se que para todos os cenários houve uma redução no volume escoado. Isto sugere que o efeito do jardim de chuva teve uma resposta positiva para o escoamento superficial.

A análise hidrológica demonstrou que a vazão de pico do Rio Mathias permaneceu constante a partir de 6 horas. Essa característica pode ser atribuída à baixa declividade do terreno na bacia hidrográfica, que confere à mesma uma

resposta hidrológica lenta. A ausência de um gradiente hidráulico reduz a energia potencial disponível para o escoamento superficial, à medida que a vazão vai diminuindo.

Na tabela abaixo estão apresentados os dados obtidos.

Tabela 5 – Taxas de redução com o uso de jardim de chuva

Tempo de Retorno	Vazão de pico sem LID (m ³ /s)	Vazão de pico com LID (m ³ /s)	Redução (%)
5 anos	16,26	13,24	18,57
10 anos	17,27	13,52	21,71
25 anos	22,05	17,60	20,18
50 anos	31,49	25,15	20,13

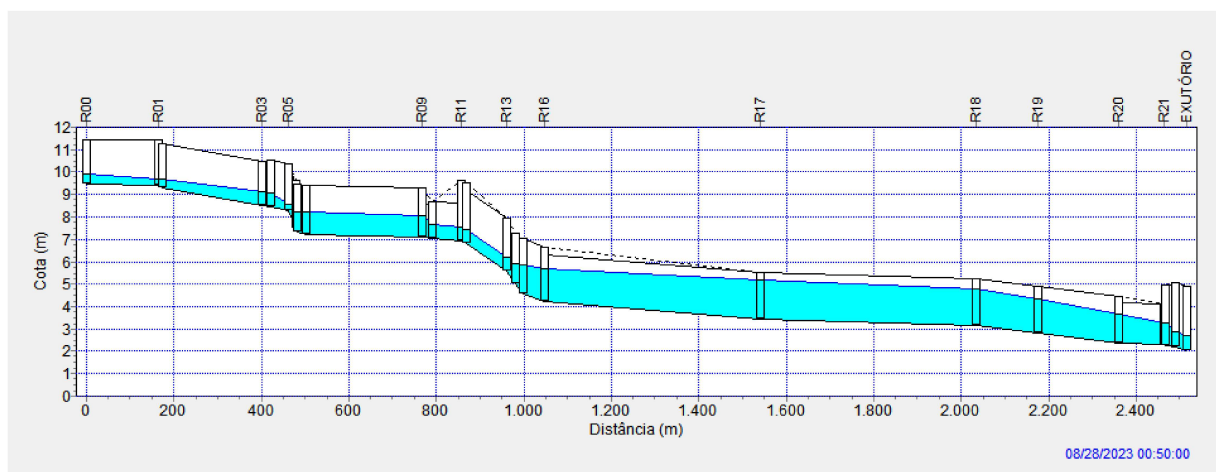
Fonte: Autora (2024)

4.3 GRÁFICOS DE PERFIL DE INUNDAÇÃO

4.3.1 Perfil para TR de 5 anos

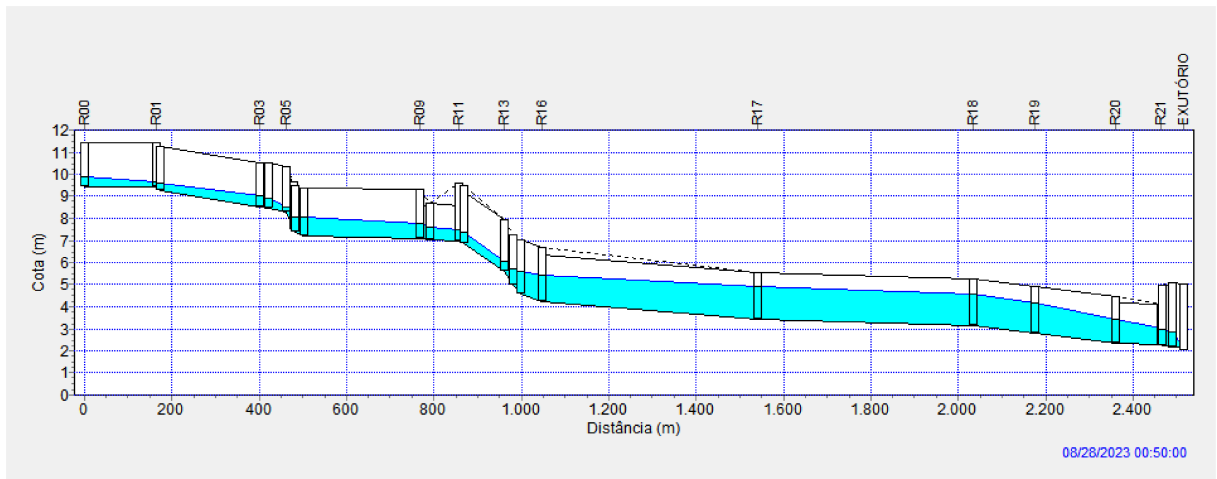
A simulação permitiu gerar os perfis de inundação para os TR 5, 10, 25 e 50 anos, em cenários com e sem jardim de chuva. A análise das Figuras 21 e 22 indica que a região não teve inundações para este tempo de retorno. A ausência de inundações no cenário sem jardim de chuva sugere que o sistema atual de macrodrenagem é suficiente para gerenciar a precipitação de uma chuva de projeto com TR de 5 anos.

Figura 21 – Perfil para TR de 5 anos sem jardim de chuva



Fonte: Autora (2024)

Figura 22 – Perfil para TR de 5 anos com jardim de chuva

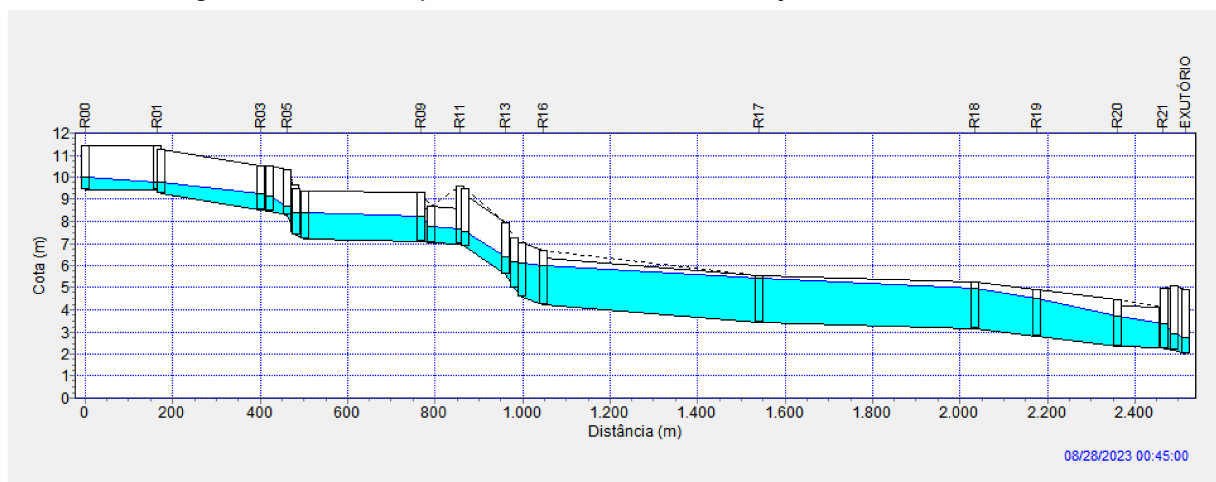


Fonte: Autora (2024)

4.3.2 Perfil para TR de 10 anos

A análise da Figura 23 demonstra que o sistema atual (convencional) de drenagem já apresenta uma sobrecarga em seu nó R17, referente a uma chuva com TR de 10 anos. O resultado do nó R17, localizado na rua Pedro Lobo em frente ao posto de gasolina RC Centro, indica que o sistema de drenagem, na configuração atual, está operando no limite durante o evento de chuva analisado.

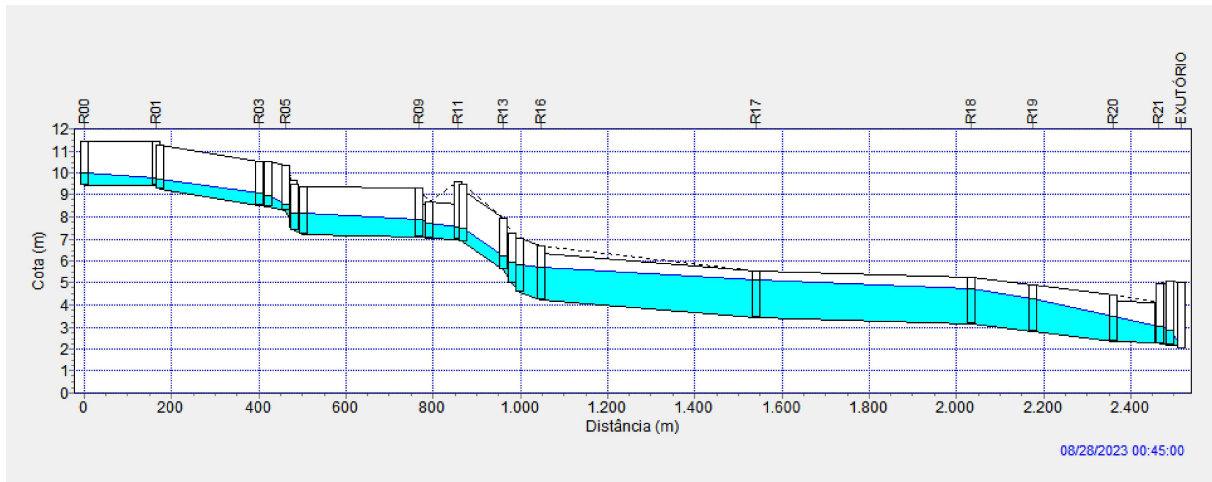
Figura 23 – Perfil para TR de 10 anos sem jardim de chuva



Fonte: Autora (2024).

Em análise da Figura 24, com o uso de jardins de chuva, o nó R17 mostrou comportamento estável sem o rio extravasar.

Figura 24 – Perfil para TR de 10 anos com jardim de chuva



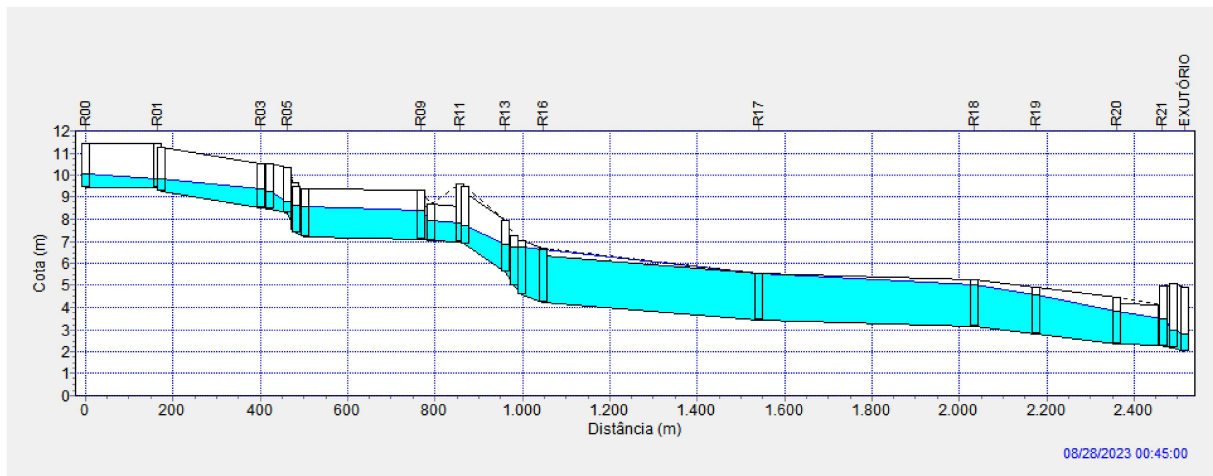
Fonte: Autora (2024)

4.3.3 Perfil para TR de 25 anos

Ao analisar a Figura 25, nota-se que os nós inundados foram R16, R17 e R18 com 45 minutos após o início da precipitação.

O nó R16, está posicionado em um ponto dentro da quadra na Rua Expedicionário Holz, esquina com a rua Jacob Eisenhuth, apresentando um volume de 1400 m³ de inundação acima da cota do rio. Já o nó R17, registrou um volume de 53 m³, enquanto que o nó R18, localizado na Av. Juscelino Kubitschek esquina com a Rua Visconde de Taunay, apresentou um volume de 300 m³ de inundação.

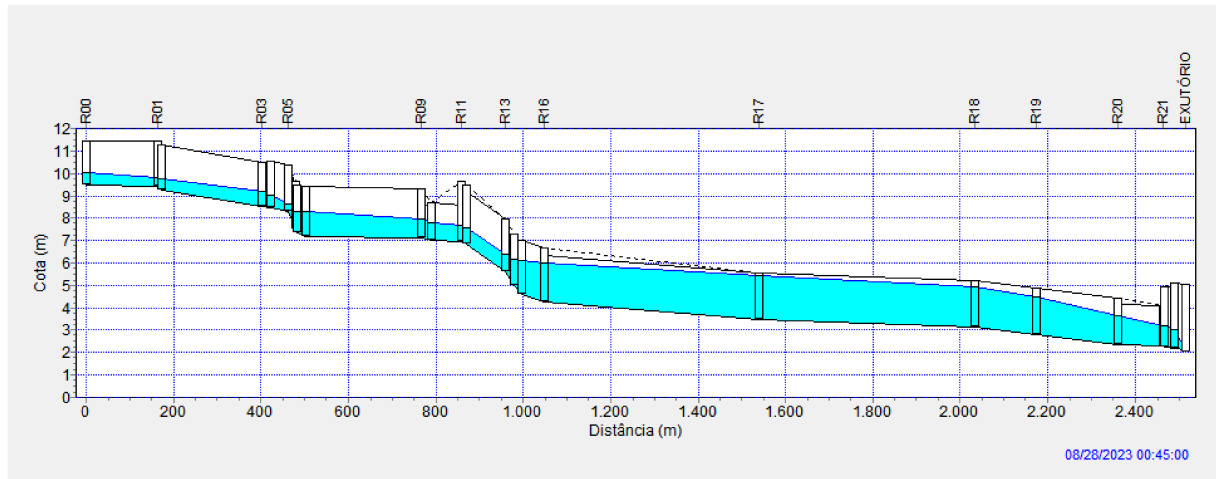
Figura 25 – Perfil para TR de 25 anos sem jardim de chuva



Fonte: Autora (2024).

Na Figura 26, pode-se observar que houve inundação no nó R17, com um volume de 78 m³ de inundação. Em contrapartida, o jardim de chuva, suportou o escoamento superficial e os nós R16 e R18 não extravasaram.

Figura 26 – Perfil para TR de 25 anos com jardim de chuva



Fonte: Autora (2024)

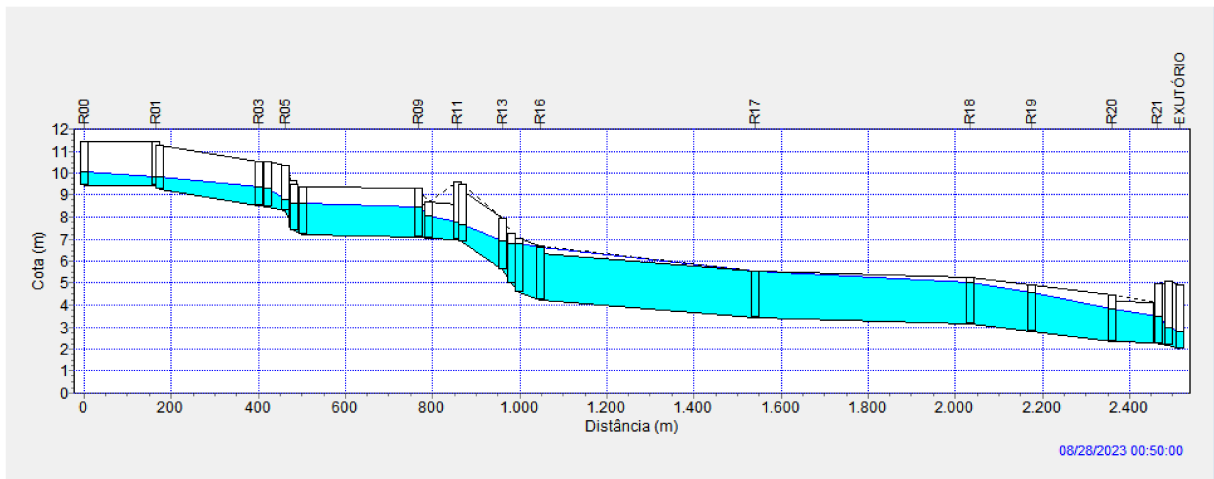
Para o cenário sem jardim de chuva, os nós R16, R17 e R18, apresentaram um volume de inundações consideráveis. No cenário com jardim de chuva, apenas o nó R17 inundou, mas com um volume maior que no cenário sem jardim de chuva para o mesmo nó. Entretanto, a implementação do jardim de chuva reduziu em 95,55% o volume total inundado no sistema, que diminuiu de 1753 m³ para apenas 78 m³.

4.3.4 Perfil para TR de 50 anos

Ao observar a Figura 27, nota-se que os nós inundados são R15, R16, R17 e R18 em 45 minutos após o início da precipitação.

O nó R15 está posicionado na Rua Expedicionário Holz, apresentando um volume acumulado de 113 m³ de água. Enquanto o nó R16, apresentou um volume expressivo, totalizando 3828 m³. Os nós R17 e R18 também registraram volumes consideráveis de inundação, com 403 m³ e 798 m³.

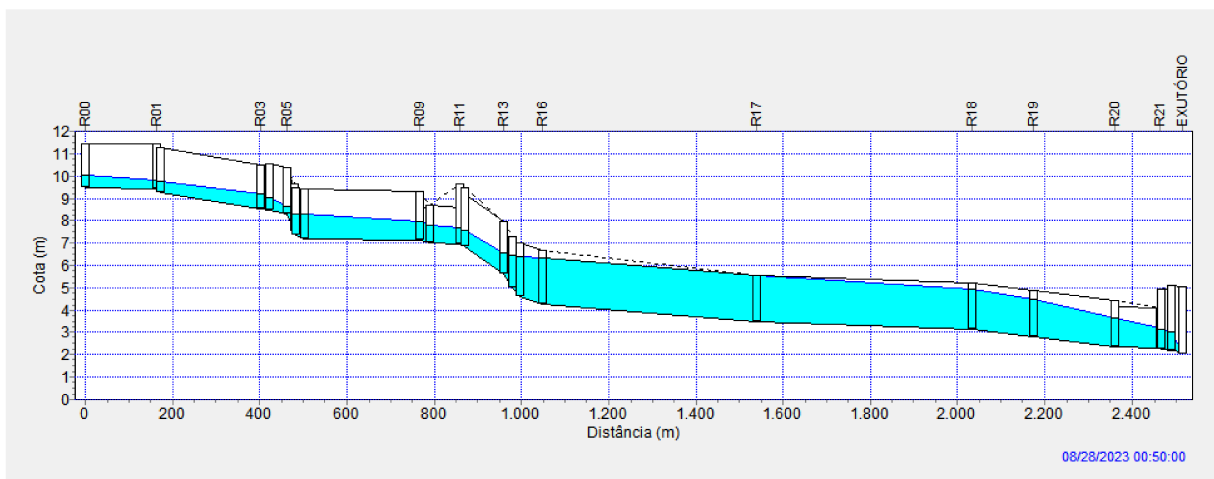
Figura 27 – Perfil para TR de 50 anos sem jardim de chuva



Fonte: Autora (2024)

A análise da Figura 28, demonstra que ocorreu inundação no nó R16, apresentando um volume de 241 m³ e no nó R17 com volume registrado de 684 m³. Enquanto que os nós R15 e R18 não registraram ocorrência de inundação após a intervenção de jardim de chuva.

Figura 28 – Perfil para TR de 50 anos com jardim de chuva



Fonte: Autora (2024)

A utilização do jardim de chuva como medida para mitigar inundações nos nós R16 e R17 mostrou resultados parciais. Apresentando uma redução de 93,7% para R16 e um aumento de 15% para R17. Essa variação nos resultados sugere que a contribuição do escoamento superficial nesses pontos não está sendo controlada pela medida implementada. Assim, as medidas implementadas não foram suficientes para lidar com a contribuição de escoamento superficial nesses pontos.

Verifica-se para os tempos de retorno o nó mais crítico foi R17, possivelmente por ser o local com as dimensões de canalização inferiores a dimensão do trecho à montante.

Na Tabela 6, pode ser observada a síntese dos resultados encontrados.

Tabela 6 – Taxa de redução para os volumes de inundação

Tempo de Retorno	Nó inundado sem jardim de chuva	Nó inundado com jardim de chuva	Redução do volume total extravasado
5 anos	-	-	-
10 anos	-	-	-
25 anos	R16, R17 e R18	R17	95,55%
50 anos	R15, R16, R17 e R18	R16 e R17	82,01%

Fonte: Autora (2024)

5 CONCLUSÃO

A impermeabilização do solo nas áreas urbanizadas, representa um desafio para a gestão de recursos hídricos e a mitigação de impactos ambientais, especialmente quando trata-se de drenagem urbana e ao controle de enchentes. Como forma de reduzir os impactos em áreas urbanas, este trabalho empregou a modelagem da sub-bacia do Rio Mathias, utilizando o SWMM para avaliar o impacto de jardins de chuva na redução da vazão de pico e na mitigação de inundação. Foi efetuada a modelagem para cenários com e sem a implementação de jardins de chuva, a fim de obter resultados para diferentes tempos de retorno.

Na análise comparativa, os resultados da modelagem com o SWMM sugerem que a implementação de 20% de jardins de chuva em 7 microbacias mais impermeáveis, reduz a vazão de pico em até 18,57% para um tempo de retorno de 5 anos, 21,71% para 10 anos, 20,18% para 25 anos e 20,13% para 50 anos.

Em relação à inundação, pontos que apresentavam alta probabilidade de inundação para tempo de retorno de 5 e 10 anos, foram estabilizados com implementação dos jardins de chuva. Para um tempo de retorno de 25 anos há uma redução de 95,55% e para 50 anos teve uma redução 82% de volume inundado.

É importante ressaltar que, apesar do nó R17 (rua Pedro Lobo em frente ao posto de gasolina RC Centro), ter apresentado um aumento no volume de água após a intervenção, a modelagem se mostrou satisfatória já que foi possível até mesmo prever a inundação em um ponto cuja realidade está bem próximo aos resultados simulados. Conclui-se que a implantação de jardins de chuva demonstrou capacidade de reter e infiltrar a água das chuvas intensas, contribuindo para a redução do escoamento superficial.

A dificuldade enfrentada refere-se à inconsistência dos dados de MDE disponíveis para geoprocessamento. Esses dados não refletem com precisão a realidade do local em estudo, uma vez que o SWMM depende de parâmetros confiáveis para gerar resultados efetivos.

O SWMM apresenta algumas limitações, como a simplificação de alguns processos hidrológicos e a incerteza na estimativa de alguns parâmetros. Sugere-se para trabalhos futuros, realizar levantamento de campo e ajustar os parâmetros do modelo hidrológico com base nos dados coletados in situ.

Em função da sub-bacia do Rio Mathias apresentar alto grau de impermeabilização, a proposta de criar 20% de jardins de chuva representa um desafio considerável nas circunstâncias atuais. Assim, recomenda-se para pesquisas futuras, realizar o mapeamento de toda a área da sub-bacia, a fim de quantificar o percentual disponível para implantação de jardim de chuva avaliando a redução da vazão de pico e no controle de inundações. Bem como, a simulação de outras técnicas LID.

Este estudo reforça a importância do uso de modelos matemáticos para previsão de cenários futuros, a fim de implementar soluções alternativas voltadas para o ordenamento urbano e a gestão das águas pluviais. A conclusão aqui apresentada demonstra a necessidade de integrar técnicas LID nas políticas públicas de planejamento urbano, visando a sustentabilidade e a resiliência das cidades.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista da FAE**, Curitiba, PR, v. 20, n. 1, p. 129 - 137, jan. / jun. 2017.
- AMARAL, C.; SILVA, E. G.; NICOLODI, E. G.; PRETTO, L. S.; FRANCO, M. C. V.; KIELWAGEN, M. F.; RICHTER, M.; JUNIOR, O. L. S.; REOLON, S.; MARTINS, G.; PAULINO, R. B. **Área urbana consolidada de Joinville**: diagnóstico sociambiental. Joinville, v. 2, 2016.
- AMARAL, D. P. B. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na gestão das águas pluviais urbanas**: estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio Morto, Rio de Janeiro. 2014. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. D.; SANTORO, J.; AMARAL, R (Org.). **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO. **Divisões de bacias**. [s.d]. Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=9cc5900ceb0d4c279305d43197980dd8>.
- BACOCINA, D. **Gentileza urbana**: como os jardins de chuva estão tornando o centro de SP mais verde. [S. L.], 2021. Acesso em: 21 nov. 2024. Disponível em: <https://avidanocentro.com.br/cidades/gentileza-urbana-jardins-de-chuva/>.
- BARROS, E. N.; CABRAL, J. J. S. P.; PALECHOR, E. U. L.; TAVARES, P. R. L.; MENEZES, L. A. A.; SILVA JÚNIOR, M. A. B. Jardins de chuva para mitigação dos alagamentos urbanos: Análise de um projeto piloto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. L.], v.17, n. 2, p. 1396-1411, fev. 2024.
- BEMFICA, D. C. **Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre**. 1999. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Instituto De Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 1999.
- BORBA, F. M.; ALMEIDA, G. T. O Rio Mathias na paisagem joinvilense e os espaços patrimoniais no entorno. In: Encontro Estadual de História da ANPUH – SC, 17., 2018, Joinville. **Anais** [...]. Joinville: UNIVILLE, 2023.
- BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Portaria Conjunta nº 148 de 18 de dezembro de 2013**. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, 24 dez. 2013. Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em:

<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=24/12/2013&jornal=1&pagina=58&totalArquivos=168>.

BUENO, L. S.; NASCIMENTO, L. A.; VASQUES, E. R. Jardim de chuva: Técnica compensatória de drenagem urbana. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, São Paulo, SP. . Ano 7, ed. 3, v. 2, p. 195-212. mar. 2022.

CALVÁRIO, A. C.; OLIVEIRA, M. D. Jardim de chuva: Uma revisão sistemática da literatura. **XXIV ENGEMA**, São Paulo, p. 1 – 15, nov. 2022.

CÁRDENAS, E. F. S. **Avaliação dos sistemas urbanos de drenagem sustentável mediante o modelo urban water use (UWU) em área urbana da cidade de Curitiba**. 2017. Dissertação (Mestre Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, 2017.

CAVALCANTI, A. A. **Utilização do software SWMM na modelagem hidrológica da sub-bacia do Ribeirão Vai e Volta – Poços De Caldas/MG**. 2020. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2020.

CEMADEN - CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Inundação**. [S. L.], 2022. Acesso em: 21 nov. 2024. Disponível em:

<https://www.gov.br/cemaden/pt-br/paginas/ameacas-naturais/inundacao#:~:text=Os%20alagamentos%20s%C3%A3o%20caraterizados%20pela%20extrapola%C3%A7%C3%A3o%20da,o%20alagamento%20n%C3%A3o%20conforma%20um%20desastre%20natural>.

CEOLIN, L. F. M.; COSTA, M. E. L.; KOIDE, S. Avanços na calibração do SWMM: revisão de literatura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 25., 2023, Sergipe. **Anais** [...]. Sergipe: Centro de Convenções AM Malls, 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, RJ, v. 43, n. esp. 3, p. 94-108, dez. 2019.

CLIMA TEMPO. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Joinville, BR**. [S.L.], 2024. Acesso em: 22 nov. 2024. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/381/joinville-sc>.

CLIMATE DATE. **Clima joinville (Brasil)**. [S. L], [s.d]. Acesso em: 22 nov. 2024. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/santa-catarina/joinville-4496/>.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015. 336p.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídrico, 2013.

COLLODEL, M. G. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. 2009. Dissertação (Mestre em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

COSTA, J. Como trabalhar com chuva de projeto no SWMM?. Vídeo. 5min2s. Publicado pelo canal Youtube. 30 mai. 2023. Acesso em: 28 nov. 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1w-lfdiXXaM>.

COSTA, M. E. L. **Monitoramento e modelagem de águas de drenagem urbana na bacia do Lago Paranoá**. 2013. Dissertação (Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Faculdade de Tecnologia, Universidade De Brasília, Brasília, 2013.

COSTA, T. F. **Aplicação do modelo SWMM para análise de inundações na área urbana de Itajubá – MG**. 2022. Mestrado (Mestre em Engenharia Hídrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2022.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Atlas Pluviométrico do Brasil: Equações Intensidade-Duração-Frequência (Desagregação de Precipitações Diárias)**. Município: Joinville, Estação Pluviográfica: Primeiro Salto do Cubatão Código 02649060 e Estação Pluviométrica: Joinville (RVPSC) Código 02648014. Weschenfelder, A. B.; Pickbrenner, K.; Pinto, E. J. A. Porto Alegre: CPRM, 2014. Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17514>.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM. Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em: <https://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php/solucoes/climatologia/>.

EPAL - Empresa Pública das Águas Livres. **Ciclos da Água**. Grupo Águas de Portugal, 2024. Acesso em: 22 nov. 2024. Disponível em: <https://www.epal.pt/EPAL/menu/epal/comunica%C3%A7%C3%A3o-ambiental/ciclo-da-%C3%A1gua>. Acesso em: 14 Novembro 2024.

FADU, A. C.; PENELA, G. M. O.; SILVA, B. L.; SILVA, C. B; SODRÉ, S. S. V. Caracterização morfométrica e o uso da terra como instrumentos de planejamento e gestão da sub-bacia hidrográfica do Rio Maú no nordeste paraense. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**. São Paulo, v. 9, n. 4, p. 383 – 398, abr. 2023.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. 2013. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistemas de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 19, n.1, p. 243 – 254, jan. / mar. 2014.

FERREIRA, E. C. **Modelagem computacional com aplicação de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto na bacia urbana do riacho Moxotó na**

cidade de Recife/PE. 2017. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

FONSECA, P. L. L. **Resiliência urbana associada aos sistemas de drenagem sustentáveis:** Técnicas compensatórias em manejo de águas pluviais. 2023. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2023.

FRANÇA, L. R. C.; COURA, M. A.; OLIVEIRA, R.; RODRIGUES, A. C. L.; MEDEIROS, D. L. R. Aplicação de técnicas de desenvolvimento urbano de baixo impacto no controle da poluição das águas do Riacho das Piabas, Campina Grande, Brasil. **Eng Sanit Ambient**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, p. 541-552, maio. / jun. 2022.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D. Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Cancela – RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 1, n. 4, p. 99-108, out. / dez. 2006.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. Considerações a respeito das inundações no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

GONÇALVES, L. S. M. **Desenvolvimento de ferramenta para simulação de dispositivos de drenagem urbana sustentável utilizando eventos de chuva característicos.** 2022. Tese (Doutor em Engenharia Urbana) - Centro De Ciências Exatas e De Tecnologia, Universidade Federal De São Carlos, São Carlos, 2022.

GONÇALVES, L. S. **Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite.** 2011. Dissertação (Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GOOGLE EARTH. **Google Earth Pro para computador.** Versão 7.3. (s.d). Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/versions/#earth-pro>.

GUERRA, R. A. **Águas pluviais urbanas:** integração da drenagem sustentável ao plano diretor de desenvolvimento urbano (PDU) em Guararapes/SP. 2020. Dissertação (Mestre em Engenharia Urbana) - Centro De Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal De São Carlos, São Carlos, 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal.** 2022. Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama.** Joinville, 2023. Acesso em: 21 nov. 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>.

INNOCENTE, C.; MONTEIRO, L. R.; CORSEUIL, C. W.; KOBAYAMA, M.; CHAFFE, P. L. B. C. Um estudo sobre a definição da duração crítica da chuva de projeto na bacia da UFSC, Florianópolis-SC. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 1., 2018, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 2018.

IPEF - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTUDOS FLORESTAIS. **Publicado o zoneamento climático detalhado do Brasil**. [S. L.], 2014. Acesso em: 22 nov. 2024. Disponível em: <https://www.ipef.br/ipefexpress/nr071.htm>.

JABÔR, M. A. **Drenagem de rodovias**: Estudos hidrológicos e projetos de drenagem. Belo Horizonte: Campos Jabôr Engenharia e Consultoria Ltda, 2022.
KÖENE, R. **Análise do processo de inundação da cidade de Rio Negro/PR**. 2013. Dissertação (Mestre em Gestão do Território) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2013.

LENHS - Laboratório de eficiência energética e hidráulica em saneamento. **EPA SWMM 5.0**: Modelo de gestão de drenagem urbana. João Pessoa: Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, Universidade Federal da Paraíba, 2012. In: ROSSMAN, L. A, Cincinatti: National Risk Management Research Laboratory, 2010.

LENHS - Laboratório de eficiência energética e hidráulica em saneamento. **SWMM: manual do SWMM BRASIL**: programa SWMM BRASIL Paraíba. 2020. Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em: <https://ct.ufpb.br/lenhs/contents/menu/assuntos/swmm>.

LUIZ, T. B. P., SCHRÖDER, T. Modelos chuva-vazão: Uso de técnicas de aprendizagem de máquinas para calibração de modelos em uma pequena bacia hidrográfica. **Revista Geo Ambiente On-Line**, Jataí, GO, n. 37, mai. / ago. 2020.

MARINHO FILHO, G. M.; ANDRADE, R. S.; ZUKOWSKI JÚNIOR, J. C.; MAGALHÃES FILHO, L. N. L. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, RS. v. 6, n. 2, p. 35 – 47, 2012.

MAROSTICA, S. D. **Método de aplicação de técnicas de baixo impacto (LID) no controle dos alagamentos urbanos**: O caso da sub-bacia do Arroio Dilúvio, RS. 2023. Dissertação (Mestre) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

MARTINS, L. G. B. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas**. 2017. Tese (Doutor Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

MEDEIROS, G. M. G. **Modelo conceitual para gestão de águas de drenagem urbana em regiões semiáridas**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2021.

MELLO, Y. R.; SIMM, M.; VIEIRA, C. V. **Características físicas da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, Joinville (SC)**. Acta Biológica Catarinense, Joinville. dez, 2017.

MELO, T. A. T. **Jardim de chuva: sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas**. 2011. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. **Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v. 14, n. 4, p. 147-165, out. / dez. 2014.

MIRANDA, R. A. C.; OLIVEIRA, M. V. S.; SILVA, D. F. **Ciclo hidrológico planetário: Abordagens e conceitos. Geo UERJ**, Rio de Janeiro, RJ, v. 1, n. 21, 2010.

NOGUEIRA, R. D. **Sertão e água: Soluções de infraestrutura verde para manejo e drenagem das águas pluviais nas sub-bacias do Rio Sitiá, em Quixadá-CE**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências da Cidade) - Universidade De Fortaleza, Fortaleza, 2021.

PARANÁ, GOVERNO DO ESTADO. Secretaria De Estado Do Meio Ambiente E Recursos Hídricos. **Manual de drenagem urbana região metropolitana de Curitiba - PR**. Curitiba, 2002.

PARRA, G. G.; TEIXEIRA, B. A. N. **Análise de cenários resultantes da impermeabilização de espaços destinados à circulação e permanência de pedestres. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, ago. 2020.

PAULINO, P. F. **Estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros do método SCS na determinação de hidrogramas de cheia em bacias urbanas**. 2014. Dissertação (Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. **Simulação Hidrológica de Rios com Grandes Planícies de Inundação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L], v. 15, n. 4, p. 31-43, out. / dez., 2010.

PINTO, J. L. **Potencialidades da infraestrutura verde para a cidade do Rio de Janeiro**. 2021. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) - Escola De Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021.

PIROLI, E. L. **Água e bacias hidrográficas: Planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas**. São Paulo: Editora UNESP, 2022, 141 p. ISBN: 978-65-5714-298-1.

PORTO, R.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C.E. M.; BIDONE, F. **Drenagem urbana**. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2. ed. 2. reimpr. Porto Alegre: UFRGS / ABRH, 2001. p. 805 – 842.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Downloads Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas (SIMGeo)**: levantamento hidrográfico: altimetria: limites: hipsometria. 2024. Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/downloads-sistema-de-informacoes-municipais-georreferenciadas-simgeo/>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Editais de licitação nº 680/2022**. Contratação para elaboração de laudo pericial e serviço técnico especializado de engenharia para diagnóstico da etapa executada e atualização do projeto executivo, conforme o presente estágio da obra e atuais normativas técnicas, para continuidade das obras de ampliação da capacidade hidráulica do Rio Mathias. Anexo IV – P22 a P25. Joinville, 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Plano diretor de drenagem urbana da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira**. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. Secretaria de Infraestrutura Urbana – SEINFRA. Unidade de drenagem – UND. **Imagem da galeria do Rio Mathias**. Executada por: Azimute Engenharia. 2023. (Imagem disponibilizada via whatsapp).

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão. **Base cartográfica do município de Joinville**. 2010; 2024. Escala 1:10.000 / 1:5.000. Executado por: Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento, 2010. Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/downloads-sistema-de-informacoes-municipais-georreferenciadas-simgeo/>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. SEPUD – SECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Joinville cidade em dados 2018**: aspectos físicos naturais. Joinville, 2018.

QGIS Development Team. 2024. **QGIS Geographic Information System**. v. 3.34.7. [Software]. Acesso em: 23 jul. 2024. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html>

RAMOS, C. Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações. **Default journal**, p. 1 – 16, 2013.

RAUEN, M.; TSCHÖKE, G. V. Equação de chuvas intensas para o município de Rio Negro – Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Centro de Convenções de Florianópolis – CentroSul, 2023.

REVISTA PREFEITOS DE SÃO PAULO. **Jardins de chuva em SP**: Prefeitura ultrapassa a marca de 200. São Paulo, 2022. Acesso em: 22 nov. 2024. Disponível em: <https://www.revistaprefeitosdesaopaulo.com.br/jardins-de-chuva-em-sp-prefeitura-ultrapassa-a-marca-de-200/>.

RIBEIRO, J. M. G; OLIVEIRA, T. M. N. **Cartilha geográfica: Bacias hidrográficas dos rios Cubatão (norte) e Cachoeira Joinville**. 1. ed. 40p. Joinville. Mercado de Comunicação, 2014.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RIGHETTO, A. M., GOMES, K. M., FREITAS, F. R. S. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. **Eng Sanit Ambient**, v. 22, n. 6, p. 1109-1120, nov. / dez. 2017.

ROCHA, E G. A. Módulo 3: Bacias Hidrográficas. In: ROCHA, E G. A. **Conceitos básicos de hidrologia e drenagem para projetos rodoviários**. Brasília: Escola Nacional de Administração Pública, 2022. p. 30-49.

RODRIGUES, G. C.; SANTINI JR, M. A. Avaliação do Emprego de Técnicas Compensatórias na sub-bacia urbana Ribeirão do Santa Rita do Município de Fernandópolis, São Paulo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.26, n. 2, p. 231-237, 2021.

ROSA, D. W. B. **Resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica urbana à implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana - Bacia do Córrego do Leitão**. 2017. Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal De Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

ROSSMAN, L. A. **EPA SWMM 5.0: Modelo de gestão de drenagem urbana**. Tradução: Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2012. Título original: Storm water management model – user’s manual EPA. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, 2010.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. **Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC)**. Florianópolis,[s.d]. Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em:<https://sigsc.sc.gov.br/>.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30). Acesso em: 21 nov. 2024. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/16221/1/Doc_30.pdf.

SDE – SECRETARIA DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E INOVAÇÃO. Prefeitura municipal de Joinville. **Cidade em dados 2024**. Joinville, 2024. 81p. Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2024/07/Joinville-Cidade-em-Dados-2024-%E2%80%93-Ambiente-Construido.pdf>.

SEPUD – SECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Joinville Cidade em Dados 2018**. Joinville, 2018. 297p.

SHINMA, T. A. **Avaliação de incertezas na calibração automática do modelo SWMM**. 2015. Tese (Doutor Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

SHINMA, T. A. **Calibração multiobjetivo do SWMM aplicada à transformação chuva-vazão**. 2011. Dissertação (Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SILVA, N. R. L.; VINAGRE, M. V. A.; BELLO, L. A. L.; CUNHA, M. A. Aplicação do modelo de gestão de drenagem urbana (SWMM) na sub - bacia 2 da estrada nova em Belém do Pará. **Sustentare**, Três Corações, MG, v. 1, n. 1, p. 1-17, ago. / dez. 2017.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2. ed. 2. reimpr. Porto Alegre: UFRGS / ABRH, 2001. p. 35 – 40.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 10, n. 1, p. 5-23, Jan. / Mar. 2005.

SIRHESC - SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS HÍDRICOS DE SANTA CATARINA. **O que é uma bacia hidrográfica?**. Florianópolis, 2013. Acesso em: 21 nov. 2024. Disponível em: <https://www.aguas.sc.gov.br/servicos/duvidas-frequentes/item/19-o-que-e-uma-bacia-hidrografica/19-o-que-e-uma-bacia-hidrografica>.

SOBRINHO, V. F. **Aplicação do método das isozonas na obtenção das equações IDF de chuvas intensas dos municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha e Crato – CE**. 2011. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal Do Ceará, Juazeiro do Norte, 2011.

SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. Tese (Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto De Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2002.

SUBPREFEITURA SÉ, Cidade de São Paulo. **Subprefeitura Sé promove ações que minimizam alagamentos e enriquece a biodiversidade urbana: 130 intervenções paisagísticas utilizando SbNs foram feitas pelas equipes da Subprefeitura Sé**. São Paulo, 2024. Acesso em: 21 nov. 2024. Disponível em: <https://capital.sp.gov.br/web/se/w/noticias/121529>.

TAVANTI, D. R.; BARBASSA, A. P. Análise dos desenvolvimentos urbanos de baixo impacto e convencional. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 17, n. 4, p. 17-28, out. / dez. 2012.

TEIXEIRA, C. A. **Apostila de hidrologia aplicada**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Construção civil, 2010. p. 133.

TOPODATA. **Banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Escala 1:250.000. (s.d). Acesso em: 29 nov. 2024. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>.

TSUJI, T. M. **Monitoramento e Modelagem das Águas de Drenagem Pluvial no Núcleo Urbano da Bacia do Ribeirão Riacho Fundo, Brasília – DF**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Livro *Água Doce*. Porto Alegre: Instituto de Pesquisa Hidráulica - UFGRS, 1997. 40 p.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Ministério das cidades, 2005.

TUCCI, C. E. M., CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 2, n. 1, p. 135-152, jan. / jun. 1997.

TUCCI, C. E.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América Do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

VILLANUEVA, A. O. N.; TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; BEMFICA, D.; TUCCI, C. Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 8, n. 1, p. 5-18, jan. / jun. 2011.

APÊNDICE A – INTENSIDADE DA CHUVA POR TEMPO DE RETORNO

TR (anos)	5	10	25	50
t (min)	i (mm/h)			
5	91,92	105,56	126,76	145,58
10	83,45	95,84	115,09	132,17
15	76,57	87,94	105,59	121,27
20	70,85	81,36	97,70	112,21
25	66,01	75,81	91,03	104,54
30	61,85	71,04	85,30	97,97
35	58,25	66,90	80,33	92,25
40	55,09	63,26	75,97	87,24
45	52,29	60,05	72,11	82,24
50	49,79	57,18	68,66	82,81
55	47,54	54,60	65,57	78,85
60	45,52	52,27	62,77	72,09

Fonte: Autora (2024)

APÊNDICE B – SÉRIE TEMPORAL POR TEMPO DE RETORNO

TR (anos)	5	10	25	50
Tempo (min)	i (mm/h)			
5	2,28	2,62	3,15	3,61
10	3,32	3,81	4,58	5,26
15	5,23	6,01	7,21	8,28
20	9,33	10,71	12,87	14,78
25	20,93	24,04	28,87	33,15
30	91,92	105,56	126,76	145,58
35	37,50	43,06	51,71	59,39
40	13,42	15,41	18,51	21,25
45	6,85	7,87	9,45	10,85
50	4,12	4,73	5,68	6,52
55	2,73	3,14	3,77	4,32
60	1,93	2,22	2,67	3,06

Fonte: Autora (2024)

APÊNDICE C - CARACTERÍSTICAS DOS CONDUTOS

Trecho	Geometria	Material	Dimensão (b x h) m	Comprimento (m)	n-Manning
T01	Retangular Fechado	Pré-moldado	3,24 x 3,24	165	0,014
T02	Retangular Fechado	Pré-moldado	3,24 x 3,24	8,17	0,014
T03	Retangular aberto	Pedra com alvenaria	3,15 x 3,15	229,09	0,018
T04	Retangular aberto	Pedra com alvenaria	2,00 x 3,20	19,93	0,018
T05	Retangular aberto	Pré-moldado	2,07 x 3,10	39,75	0,020
T06	Retangular aberto	Pré-moldado	3,10 x 3,10	16,31	0,020
T07	Retangular aberto	Pré-moldado	2,14 x 3,17	3,68	0,020
T08	Retangular aberto	Pré-moldado	2,04 x 3,80	20,12	0,020
T09	Retangular fechado	Pré-moldado	2,20 x 3,45	264,35	0,014
T10	Retangular aberto	Pré-moldado	1,47 x 2,16	23,09	0,020
T11	Retangular fechado	Pré-moldado	1,65 x 4,23	68,43	0,014
T12	Retangular fechado	Pré-moldado	2,67 x 2,67	11,78	0,014
T13	Retangular fechado	Pré-moldado	2,35 x 2,35	90,66	0,014
T14	Retangular aberto	Pré-moldado	1,92 x 2,12	20,19	0,020
T15	Retangular fechado	Pré-moldado	2,28 x 2,28	16,43	0,014
T16	Retangular aberto	Pré-moldado	2,43 x 2,22	50,54	0,020
T17	Retangular fechado	Pré-moldado	2,09 x 2,69	492,63	0,014
T18	Retangular fechado	Pré-moldado	2,09 x 2,69	138,27	0,014
T19	Retangular fechado	Pré-moldado	2,09 x 2,69	289,44	0,014
T20	Retangular fechado	Pré-moldado	2,09 x 2,69	185,93	0,014
T21	Retangular aberto	Pré-moldado	1,80 x 3,65	104,93	0,020
T22	Retangular aberto	Pré-moldado	1,79 x 4,55	3,14	0,020
T23	Retangular aberto	Pré-moldado	2,71 x 4,55	22,68	0,020
T24	Retangular fechado	Pré-moldado	2,90 x 5,07	24,93	0,014

Fonte: Autora (2024)

APÊNDICE D – CARACTERÍSTICA DAS MICROBACIAS

Microbacia	Área por microbacia (ha)	Perímetro (m)	% Imp.	% Perm.	Largura Equivalente (m)	Declividade	Área destinada para jardim de chuva (ha)
S01	5,40	1111,84	99,76%	0,24%	123,86	0,28%	1,08
S02	39,41	2829,98	92,23%	7,77%	375,41	2,85%	7,88
S03	41,66	2856,56	70,02%	29,98%	401,89	0,48%	8,33
S04	37,41	2835,84	72,44%	27,56%	345,66	3,71%	7,48
S05	59,48	3382,66	34,87%	65,13%	490,33	10,17%	-
S06	8,13	1240,81	98,78%	1,22%	184,64	0,42%	1,63
S07	24,93	2127,31	92,13%	7,87%	341,83	1,75%	4,99
S08	13,53	1707,33	75,97%	24,03%	207,38	6,00%	2,71
S09	22,05	2063,83	66,00%	34,00%	297,11	5,33%	-

Fonte: Autora (2024)