

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL FELIPE DAMO

THIAGO JOHANN LEITE

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL PARA
CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA FONTE EM UM
LOTEAMENTO NO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL DO OESTE – SC**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2022

**GABRIEL FELIPE DAMO
THIAGO JOHANN LEITE**

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL PARA
CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA FONTE EM UM
LOTEAMENTO NO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL DO OESTE – SC**

**Evaluation of sustainable urban drainage practices to control surface runoff at
the source in an allotment in the municipality of São Miguel Do Oeste - SC**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Cesar Augusto Medeiros
Destro.

PATO BRANCO

2022



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

GABRIEL FELIPE DAMO
THIAGO JOHANN LEITE

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL PARA
CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA FONTE EM UM
LOTEAMENTO NO MUNICÍPIO DE SÃO MIGUEL DO OESTE – SC**

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

Data de aprovação: 23/junho/2022

Cesar Augusto Medeiros Destro
Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cleovir José Milani
Doutorado em Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Murilo Cesar Lucas
Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO

2022

RESUMO

No Brasil, a partir da década de 70 houve uma grande intensificação da migração da população das áreas rurais para as áreas urbanas, sem planejamento, ocasionando uma ocupação desordenada do espaço. Muito em função disso, ao longo dos anos, percebe-se a ocorrência de desastres naturais em áreas urbanas que geram danos materiais e perda de vidas humanas. Uma das principais categorias de desastres em regiões urbanas refere-se àquelas originadas em função da falta de um manejo adequado das precipitações e do escoamento superficial gerado por elas, uma vez que os efeitos dessa falta de gestão são potencializados pelas intervenções humanas no uso e ocupação do solo, como a impermeabilização de áreas urbanas que afetam diretamente o ciclo hidrológico. A fim de mitigar os efeitos adversos do aumento de escoamento superficial, foram desenvolvidos sistemas de drenagem urbana. Porém, com o passar dos anos, o aumento das áreas impermeáveis tem levado a necessidade de ampliar a rede de drenagem ou aumentar o diâmetro das galerias pluviais para conseguir controlar o escoamento superficial. Nesse contexto, os sistemas sustentáveis de drenagem urbana surgem como alternativa para complementar e otimizar o sistema tradicional, a fim de prevenir falhas e garantir uma maior vida útil sem necessidade de redimensionamento ou alterações estruturais na rede de drenagem. Este estudo teve como objetivo simular a aplicação de medidas de drenagem urbana sustentável, em escala de loteamento, usando o modelo hidráulico-hidrológico EPA SWMM. Foram utilizados isoladamente os dispositivos barris de chuva, pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração e uma combinação desses três dispositivos. Foram construídas chuvas de projeto com diferentes períodos de retorno. Obtiveram-se resultados satisfatórios a respeito do uso dos sistemas drenagem sustentável, reduzindo-se em cerca de 12% as vazões de pico com os barris de chuva e com a combinação de dispositivos, 25% com os pavimentos permeáveis e 8% com as trincheiras de infiltração, além de equiparar vazões de picos de chuvas com períodos de retorno diferentes e prevenir o extravasamento de água pluvial para as vias públicas.

Palavras-chaves: Sistemas de Drenagem Sustentável (SuDS). Retenção na Fonte. Escoamento Superficial

ABSTRACT

In Brazil, from the 1970s onwards, there was a great intensification of the migration of the population from rural areas to urban areas, without planning, causing a disorderly occupation of space. Much as a result of this, over the years, natural disasters have occurred in urban areas that generate material damage and loss of human lives. One of the main categories of disasters in urban areas refers to those caused by the lack of adequate management of precipitation and the surface runoff generated by them, since the effects of this lack of management are potentiated by human interventions in the use and occupation of the soil, such as the waterproofing of urban areas that directly affect the hydrological cycle. In order to mitigate the adverse effects of increased surface runoff, urban drainage systems were developed. However, over the years, the increase in impermeable areas has led to the need to expand the drainage network or increase the diameter of storm drains in order to control surface runoff. In this context, sustainable urban drainage systems emerge as an alternative to complement and optimize the traditional system, in order to prevent failures and guarantee a longer useful life without the need for resizing or structural changes in the drainage network. This study aimed to simulate the application of sustainable urban drainage measures, on a subdivision scale, using the EPA SWMM hydraulic-hydrological model. The devices used alone were rain barrels, permeable pavements, infiltration trenches and a combination of these three devices. Design rains with different return periods were constructed. Satisfactory results were obtained regarding the use of sustainable drainage systems, reducing peak flows by about 12% with rain barrels and the combination of devices, 25% with permeable pavements and 8% with trenches. of infiltration, in addition to matching rainfall peaks with different return periods and preventing rainwater from overflowing onto public roads.

Keywords: Sustentable Drainage System (SuDS). Retention Of Source. Runoff.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos de revestimentos usados em pavimentos permeáveis.....	18
Figura 2 - Esquema de camadas de pavimentos permeáveis	19
Figura 3 - Secção típica de trincheira de infiltração.....	21
Figura 4 - Trincheira de infiltração.....	22
Figura 5 - Trincheira de infiltração.....	22
Figura 6 - Trincheira de infiltração com cobertura vegetal.....	23
Figura 7 - Esquema de funcionamento de um poço de infiltração	24
Figura 8 - Telhado verde em edifício	26
Figura 9 - Estrutura de um telhado verde.....	27
Figura 10 - Bacia de retenção em um parque	28
Figura 11 - Esquema de funcionamento de um sistema de captação de água pluvial.....	30
Figura 12 - Dispositivo de biorretenção em parque	31
Figura 13 - Localização da área de estudo.....	35
Figura 14 - Projeto de drenagem urbana implantado no EPA SWMM	36
Figura 15 - Localizações dos exutórios das sub-bacias.....	37
Figura 16 - Hietograma de projeto para período de retorno de um ano	44
Figura 17 - Hietograma de projeto para período de retorno de dois anos	44
Figura 18 - Hietograma de projeto para período de retorno de cinco anos	45
Figura 19 - Resultados da implantação de barril de chuva para precipitação com período de retorno de 1 ano	46
Figura 20 - Resultados da implantação de barril de chuva para precipitação com período de retorno de 2 anos	47
Figura 21 - Resultados da implantação de barril de chuva para precipitação com período de retorno de 5 anos	48
Figura 22 - Localização do trecho crítico.....	49
Figura 23 - Perfil do trecho crítico sem o uso de SuDS para precipitação com período de retorno de 5 anos	49
Figura 24 - Perfil do trecho crítico com o uso de barris de chuva para precipitação com período de retorno de 5 anos.....	50

Figura 25 - Resultados da implantação de pavimentos permeáveis para precipitação com período de retorno de 1 ano.....	51
Figura 26 - Resultados da implantação de pavimentos permeáveis para precipitação com período de retorno de 2 anos.....	52
Figura 27 - Resultados da implantação de pavimentos permeáveis para precipitação com período de retorno de 5 anos.....	53
Figura 28 - Perfil do trecho crítico com o uso de pavimentos permeáveis para precipitação com período de retorno de 5 anos.....	54
Figura 29 - Resultados da implantação de trincheiras de infiltração para precipitação com período de retorno de 1 ano.....	55
Figura 30 - Resultados da implantação de trincheiras de infiltração para precipitação com período de retorno de 2 anos.....	56
Figura 31 - Resultados da implantação de trincheiras de infiltração para precipitação com período de retorno de 5 anos.....	57
Figura 32 - Figura 20 - Perfil do trecho crítico com o uso de trincheiras de infiltração para precipitação com período de retorno de 5 anos	58
Figura 33 - Resultados do uso da combinação de dispositivos para precipitação com período de retorno de 1 ano.....	59
Figura 34 - Resultados do uso da combinação de dispositivos para precipitação com período de retorno de 2 anos.....	60
Figura 35 - Resultados do uso da combinação de dispositivos para precipitação com período de retorno de 5 anos.....	61
Figura 36 - Perfil do trecho crítico com o uso da combinação de dispositivos para precipitação com período de retorno de 5 anos	62
Figura 37 - Valores do coeficiente de escoamento	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculo da chuva de projeto para período de retorno de um ano	76
Tabela 2 - Cálculo da chuva de projeto para período de retorno de dois anos .	77
Tabela 3 - Cálculo da chuva de projeto para período de retorno de cinco anos	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo Geral.....	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	Efeito da urbanização	14
3.2	Sistemas de drenagem urbana sustentável.....	15
3.3	Medidas de controle.....	15
3.3.1	Medidas estruturais	16
<u>3.3.1.1</u>	<u>Pavimentos permeáveis e semipermeáveis.....</u>	<u>17</u>
<u>3.3.1.2</u>	<u>Trincheiras de infiltração</u>	<u>20</u>
<u>3.3.1.3</u>	<u>Trincheiras de infiltração com cobertura vegetal (swales)</u>	<u>23</u>
<u>3.3.1.4</u>	<u>Poços de infiltração.....</u>	<u>23</u>
<u>3.3.1.5</u>	<u>Telhados verdes</u>	<u>25</u>
<u>3.3.1.6</u>	<u>Bacias de retenção</u>	<u>28</u>
<u>3.3.1.7</u>	<u>Sistemas de captação de água pluvial (barris de chuva).....</u>	<u>29</u>
<u>3.3.1.8</u>	<u>Dispositivos de biorretenção.....</u>	<u>30</u>
3.3.2	Não estruturais.....	31
3.4	EPA SWMM	33
4	METODOLOGIA	35
4.1	Área de estudo	35
4.2	Modelagem dos sistemas de drenagem urbana no EPA SWMM	35
4.3	Chuvas de projeto	37
4.4	Hietograma de projeto	38
4.5	Dimensionamento dos SuDS	38
4.5.1	Barris de chuva	39
4.5.2	Pavimentos permeáveis	39
4.5.3	Trincheiras de Infiltração	40
4.6	Cenários de simulação	40
4.6.1	Simulação com barris de chuva	41
4.6.2	Simulação com pavimentos permeáveis	41

4.6.3	Simulação com trincheiras de infiltração	41
4.6.4	Simulação com combinação de dispositivos	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
5.1	Chuvas de projeto	43
5.2	Barris de chuva	45
5.3	Pavimentos permeáveis	51
5.4	Trincheiras de infiltração.....	54
5.5	Combinação de dispositivos de drenagem urbana sustentável	58
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
	APÊNDICE A - CÁLCULO DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTOS PERMEÁVEIS.....	70
	APÊNDICE B – CALCULO DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS TRINCHEIRAS PERMEÁVEIS.....	73
	APÊNDICE C – RESULTADOS DAS CHUVAS DE PROJETO PELO MÉTODO DOS BLOCOS ALTERNADOS	75

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Perfil dos Municípios Brasileiros de 2013, realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), entre os anos de 2008 e 2013, em 97,4% dos municípios com mais de 500 mil habitantes registraram algum tipo de desastre natural. Ademais, revela-se que 48% dos municípios brasileiros não tem nenhum instrumento para enfrentar esse tipo de ocorrência e que mais de um milhão de pessoas perderam suas moradias ou ficaram desabrigadas, gerando grande impacto financeiro para essas famílias e também para os órgãos estatais.

Grande parte dos problemas com desastres naturais se dá pela intensa ocupação das cidades brasileiras, sem o devido planejamento e adequação de infraestrutura para atender a demanda do contingente populacional.

O acelerado processo de urbanização no Brasil, como decorrência das migrações internas, é um fenômeno relativamente recente e se articula com um conjunto de mudanças ocorridas na economia, na sociedade e na política brasileira, no século passado, especialmente na sua segunda metade. Essa maciça redistribuição da população modificou o perfil da própria população urbana. Em 1970, mais da metade da população urbana já residia em cidades com mais de cem mil habitantes, e um terço naquelas acima de quinhentas mil pessoas. Em 2000, cerca de 60% da população urbana residia em cidades com mais de cem mil habitantes, mostrando que urbanização e concentração da população nas grandes cidades foram processos simultâneos no Brasil (BRITO, 2006).

No Brasil, mais de 80% da população brasileira vive em cidades. Como consequência desse crescimento populacional, há impermeabilização do solo, ocupação das faixas marginais de proteção dos rios, desmatamentos, canalização de rios, quantidade crescente de resíduos sólidos que são jogados nesses corpos hídricos, dentre outras. Quando ocorre grande precipitação pluvial, os corpos hídricos transbordam provocando inundações com danos materiais, humanos, ambientais que impactam a saúde da população (CHRISTOFIDIS; ASSUMPÇÃO; KLIGERMAN, 2019).

Dessa forma, muitos dos principais desastres naturais presentes no cotidiano brasileiro originam-se da gestão incorreta dos volumes de escoamento superficial nas diversas regiões do país, muito em função da própria ausência de normas técnicas a

respeito de drenagem urbana bem como pela falta de investimentos de infraestrutura na área, contribuindo para uma realidade de alagamentos notadamente em períodos do ano onde se registram os maiores volumes de chuva.

Nesse sentido, os sistemas sustentáveis de drenagem urbana surgem com uma alternativa para mitigar problemas ligados à gestão ineficiente das precipitações, uma vez que podem complementar e otimizar os sistemas tradicionais de drenagem urbana através de técnicas que objetivam reduzir os efeitos da impermeabilização do solo, tais como aumento do escoamento superficial e vazões de pico que levam a enchentes, alagamentos, entre outras adversidades que trazem consequências sociais, econômicas e de saúde à sociedade brasileira.

Dessa forma, com o intuito de analisar o efeito da utilização dos sistemas sustentáveis de drenagem urbana para a redução de vazões de pico, prevenção de falhas em sistemas convencionais de drenagem e a otimização dos mesmos a fim de garantir a eles uma maior vida útil sem redimensionamentos ou alterações estruturais na rede, o presente trabalho busca trazer uma análise dos benefícios da drenagem urbana sustentável em um loteamento do município de São de Miguel do Oeste – SC.

Tal análise de dará através da utilização do software de modelagem de gestão de águas pluviais EPA SWMM com a implantação no loteamento de alguns tipos de dispositivos de drenagem sustentável bem como com a simulação de precipitações com diferentes períodos de retorno, a fim de verificar a eficácia dos sistemas sustentáveis para a mitigação de problemas decorrentes de chuvas intensas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo é simular o desempenho de medidas estruturais de drenagem urbana sustentável para redução do pico e volume de escoamento superficial, em escala de loteamento, a partir do modelo hidráulico-hidrológico EPA SWMM.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar cenários com precipitações com diferentes períodos de retorno na região de estudo.

- Propor alternativas de otimização do sistema de drenagem do loteamento, sendo essas alternativas ligadas aos sistemas de drenagem sustentável.

- Propor, projetar e simular alternativas de controle na fonte do escoamento superficial.

- Caracterizar os hidrogramas de saída da rede de microdrenagem da área para diferentes chuvas de projeto.

- Analisar o efeito da utilização de sistemas sustentáveis de drenagem de urbana para redução das vazões de pico, otimização da drenagem urbana convencional e prevenção de falhas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Efeito da urbanização

A população mundial apresentou uma intensificação no crescimento populacional urbano no planeta. Modificações essas, que podem ser observadas em países que estão em processo de desenvolvimento, como os países da América Latina, onde o processo de urbanização tornou-se bastante concentrado e expressivo (LOPES; MENDONÇA, 2010).

A urbanização desenfreada tem causado fortes modificações no meio ambiente, sobretudo nos cursos hídricos, nos ciclos hidrológicos, nas variações climáticas, nas cheias naturais dos rios e córregos e no solo por meio dos usos e ocupações indevidas e/ou inadequadas. O principal fator desses problemas são a falta de planejamento, gestão e controle municipal ou ainda a falta de execução das legislações nos âmbitos municipal e estadual (MOTA, 2003; BARROS, 2005; TUCCI, 2007).

Os principais fatores responsáveis pela produção de inundações urbanas são diversos, vão desde aumento gradativo do volume de sedimentos e do escoamento superficial, devido ao lançamento de sólidos nos rios, galerias e canais até a inexistência de legislações. Estas questões legais quando existem, não abordam o controle e a fiscalização quanto às ocupações indevidas do solo ou não consideram aspectos de drenagem das bacias hidrográficas. As inundações acontecem quando um rio normalmente ocupa o leito menor e com uma precipitação passa a ocupar o leito maior e transborda. Diferentemente do conceito de cheia ou enchente de um rio, que nesse caso não há o transbordamento. Tais efeitos são notados com facilidade nas estações chuvosas, principalmente em zonas sazonais, apresentando chuvas intensas e mal distribuídas. É quando os grandes problemas surgem, pois a ocupação dos leitos de córregos e rios, acrescentados às grandes áreas impermeabilizadas, a consequente diminuição da infiltração e o aumento do escoamento superficial de águas pluviais contribuem para a produção de inundações urbanas (DOS SANTOS JÚNIOR; SANTOS, 2014).

3.2 Sistemas de drenagem urbana sustentável

Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), Low Impact Development (LID), ou Water Sensitive Urban Design (WSUD), são terminologias diferentes para expressar o mesmo conceito, sendo a primeira usada principalmente no Reino Unido, a segunda nos Estados Unidos da América e a terceira na Austrália (LOURENÇO, 2009).

Os SUDS são um conjunto de técnicas sustentáveis de controle e gestão das águas pluviais e surgiu como alternativa ao sistema tradicional de drenagem das águas pluviais das áreas urbanas. Este sistema foi concebido para gerir os riscos ambientais do escoamento urbano e contribuir sempre que possível para a melhoria/aprimoramento do ambiente urbano (WOODS-BALLARD et al., 2007).

Para Christofidis (2010), a drenagem urbana é formada por uma série de infraestruturas que envolvem elementos de concepção e respeito à ação natural da água, tendo em vista apresentação de soluções que leva má priorização da infiltração em vez do escoamento superficial, propondo uma capacidade de retorno à condição natural.

De acordo com Vasco (2017), o principal objetivo dos sistemas sustentáveis de drenagem urbana é promover benefício aos volumes totais de escoamento e alguns de seus benefícios são o controle da qualidade da água pluvial, prevenindo a poluição, controle dos riscos de inundações, melhora do ambiente para os indivíduos, manutenção do ciclo natural da água e lugares melhores na natureza.

Agostinho e Poleto (2012) listam alguns tipos de sistemas sustentáveis mais utilizados, como, pavimento permeável e semipermeável, reservatórios de retenção e retenção, trincheiras de infiltração, vala e valeta de infiltração, poço de infiltração, telhado verde e faixa gramada.

3.3 Medidas de controle

Dentre as medidas que podem ser tomadas como drenagem sustentável, existem as estruturais e as não estruturais. As medidas não estruturais promovem uma conscientização da população, por meio, por exemplo, de ações educativas,

impondo normas e regulamentos, prevenindo com zoneamento e alerta de enchentes. E as estruturais consistem em projetos e construções de estruturas capazes de diminuir o escoamento superficial, reservar e utilizar o volume pluvial (TUCCI, 2012).

3.3.1 Medidas estruturais

De acordo com o Tucci (2012), as medidas estruturais constituem-se em projetos e construções de estruturas que podem reduzir o escoamento superficial, reservar e utilizar o volume das águas pluviais.

São aquelas que envolvem soluções físicas de engenharia, denominadas obras de engenharia hidráulica, implantadas para atenuar os impactos causados pelas cheias. Geralmente apresentam custos elevados, não significando isto que devam ser evitadas. Em termos rigorosos, o controle do risco de inundação deve conjugar medidas estruturais e não estruturais. As medidas estruturais podem ser de caráter intensivo ou extensivo. Medidas de caráter intensivo são estruturas lineares e pontuais, que atuam diretamente nos cursos de água, como os diques, os muros de contenção, bacias de retenção ou qualquer obra de engenharia com a finalidade de alterar o escoamento natural de um curso de água, de forma a mitigar os efeitos das cheias. As medidas de caráter extensivo caracterizam-se como medidas físicas diretas, aplicadas ao nível da bacia, com o objetivo de reduzir o escoamento superficial, a erosão e as cheias. Geralmente abrangem vastas áreas. Como exemplos de medidas extensivas, podem citar-se os pavimentos permeáveis, as coberturas verdes e as trincheiras de infiltração (LOURENÇO, 2009).

Medidas estruturais são de grande importância para a solução de grande parte dos problemas das inundações, porém isoladas não representam soluções eficazes e sustentáveis, sem contar com os altos custos de sua implantação e manutenção. A própria comunidade possui influência direta quando se busca soluções para a minimização das inundações, preferindo quase sempre medidas estruturais, talvez por serem obras vultosas que chamam a atenção e dão a sensação de proteção (POLEZA; MACHADO, 2017).

Designa-se por técnicas de controle na origem de águas pluviais o conjunto diversificado de técnicas, ou procedimentos, de controle a montante do sistema físico, que é a rede de coletores, e que interferem ao nível da bacia de drenagem. Permitem

a redução nas vazões e dos volumes de águas pluviais afluentes aos coletores, essencialmente através de processos de retenção, de infiltração ou da combinação de ambos (LOURENÇO, 2009).

Para Matos (2010), as técnicas de controle na origem têm como objetivo principal promover a infiltração e/ou a retenção de águas pluviais *in situ*, para efeitos de regularização de caudais de ponta, permitindo uma maior aproximação ao ciclo hidrológico natural. As soluções de controle na origem de águas pluviais devem merecer especial atenção logo numa fase precoce do planeamento do território, e apresentam particular potencialidade de aplicação em áreas menos consolidadas da cidade, do ponto de vista da ocupação edificada.

Dentre estas técnicas merecem destaque as bacias de retenção, os pavimentos permeáveis, os poços de infiltração, as trincheiras de infiltração e as coberturas verdes. Estas técnicas, quando corretamente projetadas, implementadas e exploradas, constituem soluções que versam a filosofia do desenvolvimento sustentável e contribuem para a redução do risco de inundação e para a redução das descargas de poluentes para o meio receptor (LOURENÇO, 2009).

A seguir são apresentados e detalhados os principais dispositivos sustentáveis de controle de drenagem na fonte.

3.3.1.1 Pavimentos permeáveis e semipermeáveis

Os dois tipos de pavimentos, permeável e semipermeável, são uma alternativa de captação de parte da água pluvial “*in loco*”. O pavimento permeável é uma alternativa de dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície de terreno (URBONAS e STAHRÉ, 1993).

Os pavimentos permeáveis são uma técnica alternativa para a gestão das águas pluviais em meio urbano. Distinguem-se dos pavimentos tradicionais por permitirem a drenagem das águas pluviais através da superfície para as camadas subjacentes, onde a água é armazenada temporariamente até se infiltrar no solo, ser reutilizada ou ser encaminhada para outro componente de drenagem ou para uma linha de água (WOODS-BALLARD et al., 2007).

Para Vasco (2017), tais sistemas contam com a possibilidade de remoção de poluentes através das camadas constituintes do pavimento, realizando o tratamento

do efluente em consequência dos processos filtração, adsorção, biodegradação e sedimentação. Além disso, contribuem também para um maior conforto da comunidade, com a redução de ruídos e menor formação de aquaplanagem.

Urbonas e Stahre (1993) classificam os pavimentos permeáveis em três tipos:

- pavimento asfalto poroso: possui sua camada superior construída semelhantemente aos pavimentos convencionais, com uma diferença na fração de areia fina que é retirada da mistura dos agregados empregados na construção da pavimentação;
- pavimento de concreto poroso: assim como o pavimento asfalto poroso, possui apenas a diferença na fração de areia, em relação aos pavimentos convencionais;
- pavimento semipermeável.

Este tipo de pavimento busca reduzir o volume de água referente ao escoamento superficial e, por consequência, reduzir a solicitação do sistema de drenagem urbana e a probabilidade de enchentes. Como efeitos complementares, tem-se a melhora da qualidade de água infiltrada por carrear menor quantidade de poluição difusa e a contribuição para a recarga (FERGUSON, 2005).

De acordo com Silveira (2002), são pavimentos que agem, normalmente, no controle do pico e volume do escoamento superficial, no controle da poluição difusa, e, quando infiltram a água no solo, promovem a recarga de águas subterrâneas. Os pavimentos porosos são adequados para uso em vias de tráfego leve, estacionamentos, calçadas, praças e quadras de esporte.

Figura 1 - Exemplos de revestimentos usados em pavimentos permeáveis

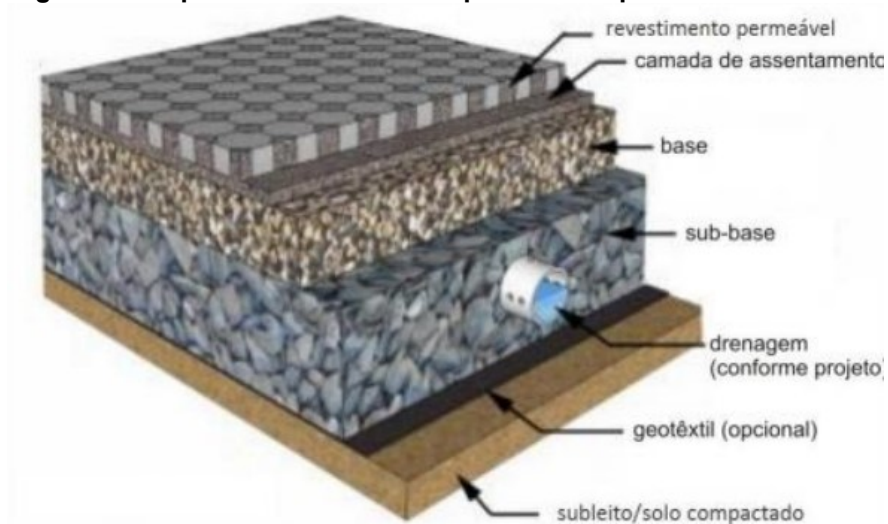


Fonte: Agostinho e Poletto (2012)

De acordo com Araújo et al. (2000), o uso de pavimentos permeáveis elimina a necessidade de caixas de captação e tubos de condução da água, pois o dispositivo praticamente não gera escoamento. Além dos custos de implantação dos pavimentos permeáveis existe o custo de manutenção que consiste na limpeza dos poros dos pavimentos porosos (concreto poroso) com jatos de água e máquinas de aspiração de sedimentos e poeiras. Estes custos não foram estimados devido à inexistência de empresas especializadas na manutenção deste tipo de dispositivo no país. Ainda segundo os autores recém-citados, para se ter uma ideia o custo médio gasto em manutenção nos Estados Unidos é na ordem de 1 a 2% do custo de implantação do dispositivo.

Tipicamente, são constituídos por camadas. A primeira, camada da superfície, é o pavimento propriamente dito. Na segunda camada tem-se o filtro, formado por agregados finos ou médios e, por fim, o reservatório de pedras, composto por agregados graúdos. Assim, uma vez armazenada, a água é transportada por tubulações subterrâneas (BEUX; OTTONI, 2015).

Figura 2 - Esquema de camadas de pavimentos permeáveis



Fonte: Oliveira (2018)

A aplicação de pavimentos permeáveis em alternativa aos que pouco ou nada favorecem a infiltração das águas pluviais é sempre recomendada. Esta medida apresenta grande potencial na redução do escoamento superficial em meio urbano, uma vez que pode ser aplicada a uma escala significativa e proporcional à área impermeabilizada (ARAÚJO, 2013).

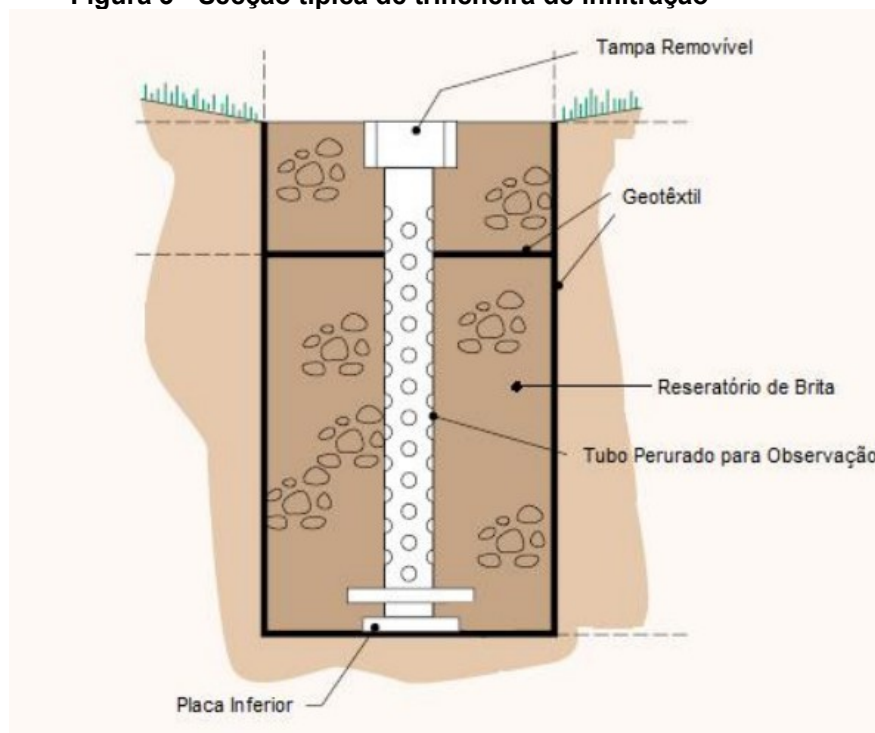
3.3.1.2 Trincheiras de infiltração

De acordo com Silva (2007) as trincheiras de infiltração (percolação ou/e drenantes) são estruturas lineares nas quais o comprimento prepondera sobre a largura e a profundidade. A geometria depende da infiltrabilidade do solo e da própria área disponível para que se proceda à infiltração. Dependendo das condições locais e do volume a infiltrar, o projeto pode priorizar a infiltração, armazenamento ou ambos. Geralmente as trincheiras se destinam a grandes volumes de água a serem infiltrados, são fechadas e permitem o uso paisagístico em harmonia com as demais estruturas.

São estruturas constituídas por valetas cobertas com material granular com porosidade à volta dos 35% (dependendo do material utilizado). Embora reduza o volume útil de armazenamento da trincheira, o preenchimento da vala deve ser realizado tanto para segurança como para a estabilização dos taludes, evitando desabamentos. As valas são preenchidas total ou parcialmente com material granular, como brita, seixo, cascalho ou blocos de drenagem (blocos de material plástico com elevado volume de vazios). Todo o material deverá estar envolvido em geotêxtil para impedir a migração de materiais finos, detritos e/ou sujidades para o seu interior e evitar a contaminação do solo. No entanto, a finalidade principal deste material, que funciona como filtro, é evitar a colmatação da estrutura, que causaria a perda de permeabilidade e de eficiência/desempenho (LOURENÇO, 2009).

Além de contribuírem como reservatórios de amortecimento das vazões de pico, as trincheiras de infiltração atuam na redução de poluentes no escoamento, filtrando sedimentos finos, metais e hidrocarbonetos. Outro benefício é o incentivo aos processos de adsorção e biodegradação (WOODS-BALLARD et al., 2007).

Esses sistemas são adequados em locais de solos permeáveis e onde o nível do lençol freático encontra-se em maior profundidade, abaixo do fundo da trincheira. Nesse sentido, áreas urbanas densas, cujos solos apresentam baixa infiltração, devem ser evitadas. Assim, a instalação das trincheiras de infiltração é indicada para lugares tais como parques de estacionamento, estradas e áreas residenciais abertas, não havendo prejuízos à paisagem local (LOURENÇO, 2009).

Figura 3 - Secção típica de trincheira de infiltração

Fonte: Lourenço (2009)

É aconselhável associar sistemas de pré-tratamento às trincheiras de infiltração. Não só para evitar falhas prematuras no funcionamento, resultantes da colmatagem da estrutura, como também prevenir a contaminação dos aquíferos. São exemplos de sistemas de pré-tratamento as faixas filtrantes, as valas revestidas, as bacias de retenção e as câmaras de retenção (LOURENÇO, 2009).

Figura 4 - Trincheira de infiltração



Fonte: Lourenço (2009)

Figura 5 - Trincheira de infiltração



Fonte: Gutierrez et al. (2010)

3.3.1.3 Trincheiras de infiltração com cobertura vegetal (swales)

Segundo Lourenço (2009), as trincheiras de infiltração com cobertura vegetal são uma técnica de controle na origem e representam dispositivos de desenvolvimento longitudinal, a céu aberto, geralmente de pequena profundidade, de secção variável, podendo ser triangular, trapezoidal ou curva de pequena curvatura, e revestidas com cobertura vegetal. As valas podem possuir pequenos travessões para melhorar a infiltração e a sedimentação.

Figura 6 - Trincheira de infiltração com cobertura vegetal



Fonte: Lourenço (2009)

Estas estruturas são de fácil execução e requerem um baixo custo de instalação e manutenção, podendo funcionar como alternativa a um sistema de drenagem tradicional em locais onde a formação de escoamento superficial seja relativamente baixa. Estes dispositivos podem também proporcionar a remoção de poluentes de uma forma semelhante às faixas filtrantes. Porém são concebidos para transportar volumes maiores e, por isso, as taxas de remoção de poluentes são inferiores (LOURENÇO, 2009).

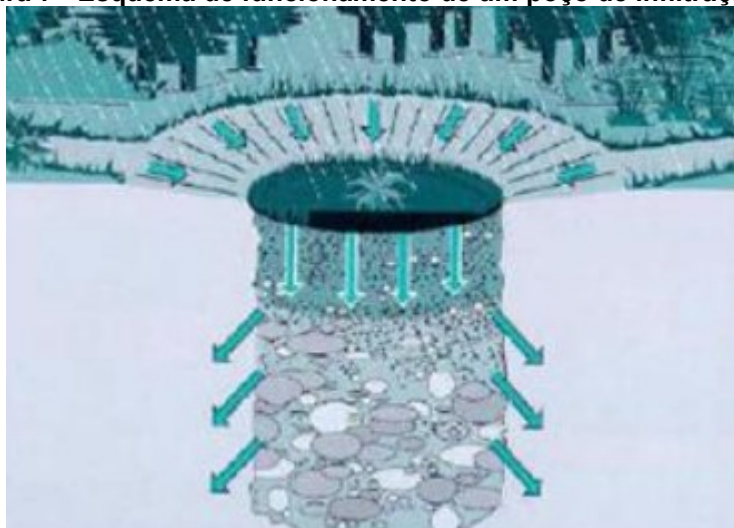
3.3.1.4 Poços de infiltração

Os poços de infiltração ou poços absorventes são infra-estruturas que permitem a infiltração direta das águas pluviais no solo. (LOURENÇO, 2009). De

acordo com Pinto (2011), tais dispositivos devem ser aplicados em locais onde o solo seja permeável, ou onde a camada superficial não apresente permeabilidade significativa, mas as camadas mais profundas.

Em termos estruturais os poços de infiltração são estruturas, geralmente, cilíndricas, enterradas, e a sua profundidade e diâmetro dependem das características do solo e da quantidade de água que se pretende infiltrar. São constituídos por anéis pré-fabricados de betão perfurados, ou alvenaria, com juntas abertas, revestidos com geotêxtil ou material drenante. Os poços de infiltração são projetados e construídos para permitir o armazenamento temporário e a infiltração das águas pluviais, com vista à atenuação dos caudais de ponta de cheia e, conseqüentemente, diminuir os volumes de escoamento superficial, bem como melhorar a qualidade da água pluvial infiltrada. Consoante as características do solo, o tratamento da água faz-se por sedimentação, filtração e biodegradação, à medida que a água percola pelo solo de infiltração. O funcionamento dos poços de infiltração é bastante simples: a alimentação pode ser feita diretamente pela superfície, ou através de uma rede de coletores, e a água infiltra-se através do fundo ou das paredes do poço (LOURENÇO, 2009).

Figura 7 - Esquema de funcionamento de um poço de infiltração



Fonte: Lourenço (2009)

Estas estruturas são adequadas para infiltrar as águas pluviais provenientes de áreas impermeáveis, como por exemplo: habitações individuais ou grupos de habitações, edifícios, praças e parques de estacionamento. Nesta última aplicação, deve garantir-se pré-tratamento para remoção da carga poluente. Ao permitir a

infiltração das águas no solo, a resistência do solo tende a diminuir, devido ao aumento da humidade, podendo dar origem a roturas, recalques e colapso estrutural do solo (LOURENÇO, 2009).

3.3.1.5 Telhados verdes

As coberturas verdes (green roofs) são uma medida de controle na origem, para gestão de águas pluviais em meio urbano. Consistem no desenvolvimento de um revestimento vegetal (plantas, flores, arbustos e/ou árvores) ao nível da cobertura, cultivado de forma intencional. As coberturas verdes podem desenvolver-se em coberturas planas ou inclinadas, acessíveis ou de acesso limitado (LOURENÇO, 2009).

Segundo Heneine (2008), os telhados verdes, no atual momento, são mais difundidos nos países de língua germânica da Europa Central e estão se espalhando para o norte, noroeste da Europa e norte da América. Tais dispositivos são constituídos de uma cobertura verde composta de vegetação e solo, salientando que a cobertura possui um crescimento médio e é plantada sobre uma base impermeável. Todavia camadas adicionais, como por exemplo, de uma barreira de raízes, drenagem e sistema de irrigação também podem e devem ser incluídos.

As coberturas verdes são um elemento importante na transformação das cidades atuais em ambientes urbanos mais sustentáveis. Mediante o tipo de vegetação utilizada, a área coberta e as características do substrato, ajudam não só a reduzir a quantidade de águas pluviais que é escoada até aos sistemas de drenagem, como também afetam a qualidade das mesmas (CASTELO-BRANCO, 2012).

Figura 8 - Telhado verde em edifício



Fonte: Costa (2010)

Tassi et al. (2014), define a estrutura do telhado verde da seguinte forma:

- Camada de vegetação: responsável pela interceptação da água pluvial, evitando que parte desta chegue ao solo. Através da evapotranspiração, a água é transferida para a atmosfera e, conseqüentemente, há maior potencial de retenção pelo substrato. Além disso, ao atingir a saturação do solo, a vegetação contribui também para o retardo do escoamento superficial;
- Substrato: dá o suporte para a fixação das plantas, fornecendo água e nutrientes. Também atua no armazenamento temporário da água durante o período de chuva;
- Geotêxtil: consiste em uma camada filtrante, responsável por evitar a passagem de partículas do substrato para as próximas etapas do sistema;
- Camada de drenagem: evita o alagamento indesejável da área, além de reter parte da água pluvial, necessária para a vegetação em períodos de estiagem;
- Camada protetora: fornece proteção física para a membrana de impermeabilização, retendo umidade e nutrientes;

- Impermeabilização: responsável por evitar o contato da água com a estrutura do telhado;
- Estrutura do telhado, que deve suportar toda a carga acima.

Tal estrutura é exemplificada a seguir:



Fonte: Costa (2010)

De acordo com Costa et al. (2011) os telhados verdes reduzem o escoamento superficial que daria origem as “enxurradas”, além de trazer benefícios à fauna e amenizar o calor nas edificações. Com relação ao estilo de plantar dois enfoques se distinguem, sendo eles o “intensivo” (necessita de mais solo, mais profundo e acomoda plantas maiores que podem chegar às árvores e arbustos) e o “extensivo” (necessita de pouco solo e comporta plantas rasteiras e gramados). Dessa forma, pode-se utilizá-lo, por exemplo, na produção de alimentos em centros urbanos, desde que se leve em consideração os problemas de poluição atmosférica local. Além dos benefícios hidrológicos e sociais, os telhados verdes também promovem a redução do calor em edificações e, conseqüentemente, reduzem a necessidade de refrigeração gerando benefícios econômicos.

3.3.1.6 Bacias de retenção

As bacias de retenção são dispositivos que armazenam o volume de chuva a fim de evitar o escoamento elevado da precipitação e seus eventuais problemas.

Constituem um mecanismo de controle, regularização e armazenamento das águas pluviais da bacia hidrográfica, questão que permite a restituição total ou parcial das águas a jusante com caudais compatíveis com o meio recetor. Por conseguinte, o armazenamento das águas pluviais atribui uma função qualitativa, ao permitir melhorar a qualidade da água armazenada, principalmente por efeito de sedimentação dos materiais em suspensão. Para além do efeito de amortecimento dos caudais de ponta, as bacias de retenção podem servir um outro propósito: o da resolução dos problemas relacionados com a ausência de pluviosidade. De fato, a capacidade de armazenamento das águas pluviais permite a resolução de duas situações extremas e antagónicas: as cheias e as secas. Por último, se se tratar a água coletada, esta poderá ter um campo de aplicação bastante amplo e muito útil. (LOURENÇO, 2009).

Conforme Poleto e Tassi (2011), a grande vantagem dos reservatórios de retenção é que podem ser instalados em áreas públicas, como praças, parques, quadras, que tenham outra destinação após as precipitações. Os reservatórios de detenção, por sua vez, são mantidos com uma lâmina d'água e têm controlada a qualidade da água. Podem ser aplicados em banhados ou reservatórios urbanos.

Figura 10 - Bacia de retenção em um parque



Fonte: Lourenço (2009)

Lourenço (2009) cita alguns benefícios das bacias de retenção:

- Melhoria do comportamento do sistema de drenagem, através da capacidade de armazenamento e conseqüente diminuição do risco de inundação;
- Evita obras de remodelação ou reforço da rede de drenagem de águas pluviais em zonas onde se encontra subdimensionada;
- Redução da carga poluente presente no escoamento – melhoria da qualidade das águas pluviais através de diversos processos físicos, químicos e microbiológicos;
- Controle da erosão;
- Melhora da paisagem – valorização do ambiente urbano (através do efeito de espelho de água.
- Criação de polos de interesse recreativo, turístico e lazer;
- Recarga dos aquíferos por infiltração, quando a qualidade das água pluviais não apresenta riscos para a qualidade da água subterrânea;
- Criação de reservas de água para fins agrícolas, combate a incêndios, rega, utilizações municipais e atividades industriais;

Ainda segundo Lourenço (2009), as principais desvantagens das bacias de retenção são a necessidade de ocupação de grandes áreas, risco de proliferação de insetos e doenças, risco de segurança caso as margens não possuam proteção e a possibilidade de impacto negativo no ambiente urbano.

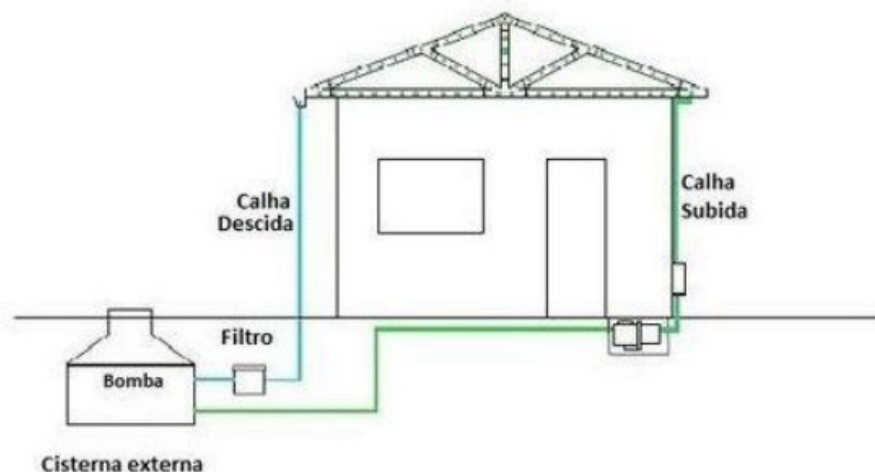
3.3.1.7 Sistemas de captação de água pluvial (barris de chuva)

A água da chuva é coletada através de calhas, transportada por condutores verticais e horizontais e, posteriormente, armazenada em reservatório. No sistema, ocorre a separação dos resíduos sólidos presentes nas calhas através de filtros seletores, fazendo com que a água chegue filtrada na cisterna. Subseqüentemente, com a utilização de um conjunto motobomba, a água é conduzida para o reservatório superior (caixa d'água) e então distribuída para os respectivos usos (ALMEIDA, 2020).

Os sistemas de captação de água da chuva são utilizados como fonte para o reuso futuro em atividades menos nobres. A água é captada através de telhados

verdes ou áreas impermeáveis, armazenada, tratada - quando necessário - e utilizada para fins domésticos ou industriais (lavagens de pisos, regas de jardins e descargas sanitárias, entre outros) (WOODS-BALLARD et al., 2007).

Figura 11 - Esquema de funcionamento de um sistema de captação de água pluvial



Fonte: Almeida (2020)

Essa alternativa é capaz de auxiliar no atendimento de parte da demanda de água em edifícios, além de contribuir para a redução do volume de escoamento superficial e na redução do volume de água num sistema de atenuação de um determinado local (WOODS-BALLARD et al., 2007).

3.3.1.8 Dispositivos de biorretenção

Os sistemas de biorretenção, também designados “jardins de chuva” são bacias pouco profundas e de pequenas dimensões, concebidas para captar e filtrar quantidades moderadas de escoamento superficial, usando para isso solo e vegetação. Na sua forma mais simples são apenas pequenos jardins (ou partes de jardins), a uma cota ligeiramente inferior ao resto do solo, e densamente preenchidos com várias plantas (SANTOS et al., 2010).

As espécies vegetais mais usadas incluem plantas ornamentais, herbáceas, arbustos e árvores. Para as zonas mais sujeitas ao alagamento devem adotar-se espécies com capacidade para suportar as flutuações do nível de água. Normalmente, são projetados para permitir a infiltração da água no solo. Contudo, poderão conter uma tubagem enterrada para coletar e transportar a água recolhida para o

componente de SUDS seguinte. Em situações extremas, devem prever-se descarregadores de superfície (ou uma câmara de by-pass) para conduzir os caudais excessivos para o meio recetor ou outro componente de SUDS (LOURENÇO, 2009).

Figura 12 - Dispositivo de biorretenção em parque



Fonte: Lourenço (2009)

Pela componente estética que esta solução oferece, e os baixos custos associados, são geralmente aplicadas ao nível residencial, podendo também aplicar-se ao longo de estradas, auto-estradas e parques de estacionamento (LOURENÇO, 2009).

3.3.2 Não estruturais

As medidas de carácter preventivo e corretivo, executadas através da implementação de diretrizes de aspecto legislativo ou institucional denominam-se por medidas não estruturais (LOURENÇO, 2009).

As medidas não estruturais incluem normas e regulamentos que disciplinam a ocupação e o uso do solo, bem como estratégias de conscientização da população, por meio da educação ambiental (ações educativas), para observação e cumprimento de tais normas e regulamentos. Estas são extremamente importantes na temática da mitigação dos riscos de cheia na medida em que são um elemento fulcral para a limitação e controle do uso do solo nas áreas potencialmente afetadas, bem como a redução dos danos (ARAÚJO, 2013).

As medidas não estruturais, geralmente, possuem menores custos quando comparadas com as medidas estruturais. A solução ideal deve ser definida para cada caso em função das características do local e dos impactos que poderá causar em termos sociais. Certamente, para cada caso, podem combinar-se medidas estruturais e não estruturais, com vista a obter uma melhor solução. As medidas não estruturais, geralmente, possuem menores custos quando comparadas com as medidas estruturais. A solução ideal deve ser definida para cada caso em função das características do local e dos impactos que poderá causar em termos sociais. Certamente, para cada caso, podem combinar-se medidas estruturais e não estruturais, com vista a obter uma melhor solução. (LOURENÇO, 2009).

Lourenço (2009) cita exemplos de medidas de controle não estruturais, estando elas listadas abaixo:

- Implementação de regulamentos;
- Sistema de seguros;
- Sistemas de previsão e aviso de cheia (concebidos para fornecerem aviso antecipado da ocorrência de cheias em zonas de risco ribeirinhas, baseados na modelação hidrológica e hidráulica e na recolha de dados hidrológicos em tempo real);
- Planejamento do uso do solo;
- Planos de emergência;
- Ações de informação e sensibilização públicas, entre outros;
- Zonamento de áreas inundáveis;
- Definição dos níveis de cheia nas zonas ribeirinhas para diferentes períodos de retorno e interdição de construção nessas zonas;
- Proteção econômica para as perdas resultantes de inundações;
- Proteção de zonas suscetíveis de elevada erosão e transporte de sedimentos (zonas de grande inclinação);
- Minimizar as alterações ao terreno, incluindo a desmatagem, a alteração da inclinação, a compactação do solo.

3.4 EPA SWMM

O Storm Water Management Model foi criado em 1971, tendo sofrido, desde então, diversas atualizações. O SWMM da U.S.EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas; pode ser utilizado para a simulação de um único evento chuvoso, bem como para uma simulação contínua de longo prazo. O componente relativo ao escoamento superficial do SWMM opera com um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem precipitações e geram escoamentos e cargas poluidoras (ROSSMAN, 2010).

O SWMM possui uma ampla capacidade de modelagem, sendo as principais:

- Precipitações variáveis no tempo;
- Evaporação de águas empoçadas;
- Acumulação e degelo da neve;
- Interceptação de precipitações por armazenamento em depressões;
- Infiltração das precipitações em camadas do solo não saturadas;
- Percolação da água infiltrada nas camadas dos aquíferos;
- Troca de fluxo entre os aquíferos e o sistema de drenagem;
- Modelagem do fluxo superficial por meio de reservatórios não-lineares;
- Captação e retenção das precipitações e dos escoamentos em diversos dispositivos de baixo impacto.

Com essa capacidade de modelagem e a variabilidade especial que o programa obtém ao dividir uma determinada área de estudo de captação de água, menores e homogêneas, denominadas sub bacias, cada uma com sua própria fração de subáreas permeáveis e impermeáveis. O escoamento superficial é conduzido entre as diversas subáreas, entre as diferentes subbacias ou entre os pontos de entrada de um sistema de drenagem (ROSSMAN, 2010).

Além de modelar a geração e transporte do escoamento superficial, o SWMM também pode estimar a produção e a evolução de cargas de agentes poluentes associadas a este tipo de escoamento (ROSSMAN, 2010).

Desde a sua criação, o SWMM tem sido utilizado em milhares de estudos de redes de drenagem, tanto de águas residuárias como de águas pluviais. Entre as aplicações típicas podem-se mencionar: (LENHS, 2012).

- Concepção e dimensionamento de componentes da rede de drenagem para controle de inundações;
- Dimensionamento de estruturas de retenção e acessórios, para o controle de inundações e a proteção da qualidade das águas;
- Delimitação de zonas de inundação em leitos naturais;
- Concepção de estratégias de controle para minimizar o transbordamento de sistemas unitários e mistos;
- Avaliação do impacto de contribuições e infiltrações sobre o transbordamento de sistemas de drenagem de águas residuárias;
- Geração de poluição difusa para estudos de lançamento de efluentes (carga de contaminantes);
- Avaliação da eficácia das BMPs (Boas Práticas de Manejo) para reduzir o carreamento de poluentes durante a chuva;

Ainda sobre o SWMM, temos que o método de chuva-vazão é o módulo de escoamento fornece os hidrogramas a partir dos dados da precipitação e de um conjunto de parâmetros, que descrevem fisicamente e hidrológicamente a bacia hidrográfica, e geram as saídas que podem ser sob a forma de escoamento superficial, evaporação ou infiltração. Nas simulações, a bacia é dividida em sub-bacias com características uniformes, modeladas como reservatórios não-lineares, onde cada sub-bacia é dividida em áreas impermeáveis e permeáveis, com um valor máximo de armazenamento. Quando a profundidade da água do reservatório é maior do que o valor máximo do armazenamento ocorre o escoamento superficial (ROSSMAN, 2010).

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O loteamento objeto de análise do estudo localiza-se no município de São Miguel do Oeste – SC, estando localizado na Mesorregião do Oeste Catarinense, na bacia hidrográfica do Rio Uruguai.

Figura 13 - Localização da área de estudo

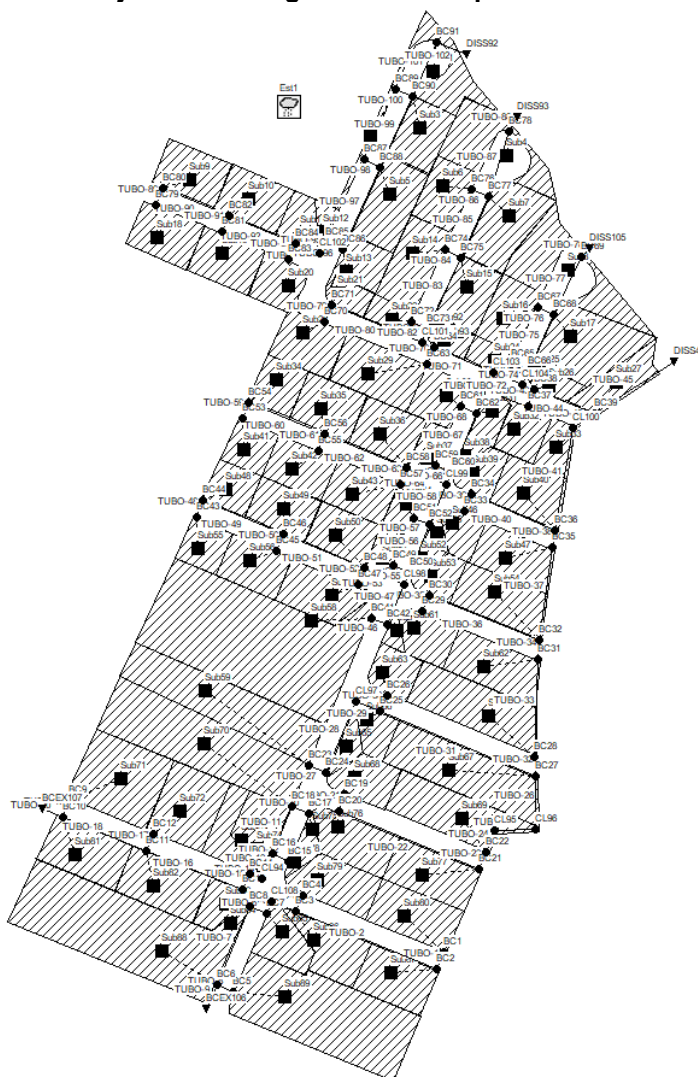


Fonte: Adaptado de Wikipedia (2022)

Para a realização do estudo, o projeto do loteamento, juntamente com a representação das curvas de nível do local e o projeto de drenagem urbana tradicional foram disponibilizadas pelo responsável técnico do projeto.

4.2 Modelagem dos sistemas de drenagem urbana no EPA SWMM

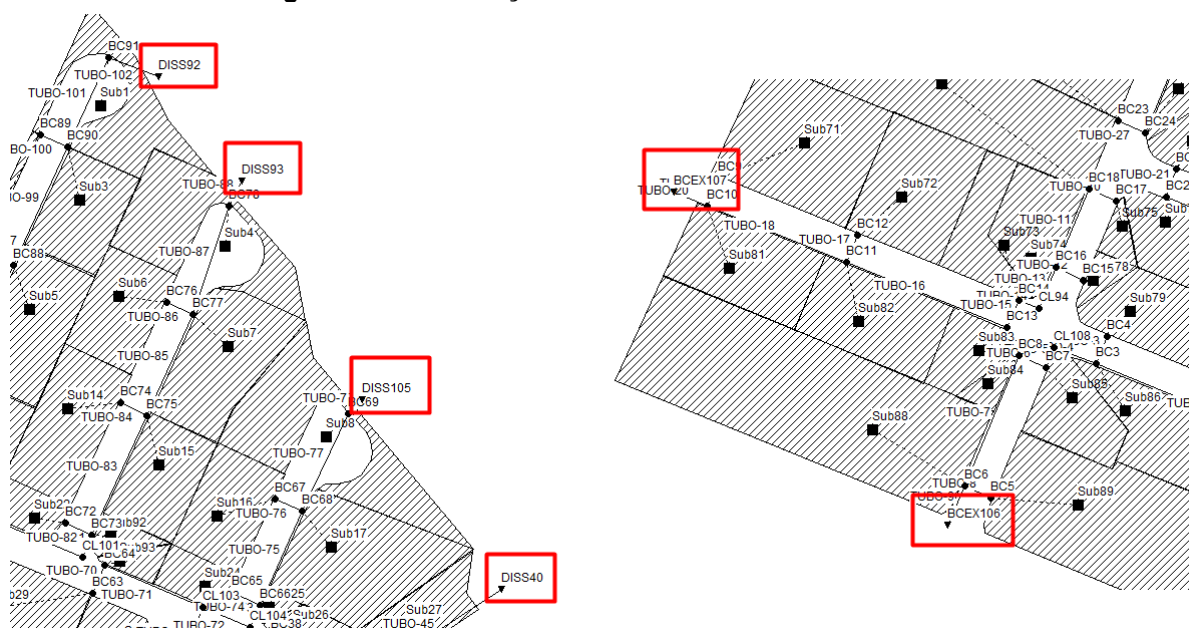
Para a modelagem de cenários de drenagem urbana convencional e com sistemas sustentáveis de drenagem urbana, é necessário a implementação do projeto de drenagem no software EPA SWMM. O arquivo do projeto já no software de modelagem, com o diâmetro e traçado dos coletores da rede de drenagem, foi disponibilizado pelo responsável técnico do projeto.

Figura 14 - Projeto de drenagem urbana implantado no EPA SWMM

Fonte: Autoria própria (2022)

O loteamento está dividido em seis sub-bacias, sendo o escoamento de cada uma delas direcionado para exutórios posicionados em função das curvas de nível e declividades do terreno. Tais exutórios são identificados no projeto pelos nomes de DISS92, DISS93, DISS105, DISS40, BCEX106 E BCEX107.

Figura 15 - Localizações dos exutórios das sub-bacias



Fonte: Autoria própria (2022)

Os exutórios serviram para fazer a análise do volume de escoamento gerado com a aplicação de chuvas de projeto em diferentes cenários.

Os cenários estudados referem-se a situações com a utilização de chuvas de projeto aplicadas no sistema de drenagem urbana convencional, com a implantação de sistemas sustentáveis de drenagem urbana de forma isolada e com a combinação de SuDS, sendo a análise realizada através dos hidrogramas de saída nos exutórios em cada caso simulado com diferentes períodos de retorno.

4.3 Chuvas de projeto

Para a obtenção de chuvas de projeto a serem aplicadas nos cenários simulados, optou-se por utilizar a equação de intensidade, duração e frequência (equação IDF) do município de São José do Cedro – SC, o qual está localizado a cerca de 35 quilômetros do município de São Miguel do Oeste – SC, em função da não disponibilidade da equação IDF para a localidade do estudo. A equação IDF de São José do Cedro é dada por:

$$i = \frac{835,5 \cdot T_r^{0,1672}}{(t + 11)^{0,7116}} \quad (1)$$

Onde i é a intensidade de precipitação (mm/h), T_r é o período de retorno (anos) e t é o tempo de duração da chuva (min).

Para a realização das simulações optou-se por obter chuvas com duração máxima de 30 minutos. Já para o período de retorno, os valores adotados foram de 1, 2 e 5 anos.

4.4 Hietograma de projeto

Para a distribuição das chuvas ao longo do tempo de duração adotado foi necessária a construção do hietograma do projeto, o qual foi obtido com os dados provenientes da equação IDF aplicados no Método dos Blocos Alternados. De acordo com Tucci (2007), o método dos blocos alternados baseia-se na desagregação dos totais de chuva em intervalos de tempo discretizados pela sua duração total e, com os incrementos totais acumulados de precipitação, transformados em altura de chuva, os blocos obtidos são rearranjados de forma que no centro da duração da chuva, situe-se o bloco maior e, em seguida, os demais blocos, em ordem decrescente, um à direita e o outro à esquerda do bloco maior, alternadamente.

Após a organização dos dados conforme determina o método dos blocos alternados, foi obtido o hietograma de projeto com as alturas de precipitações ao longo do tempo para os períodos de retornos adotados, as quais foram inseridas nas estações de chuvas dentro do EPA SWMM.

4.5 Dimensionamento dos SuDS

Dentre os diversos SuDS disponíveis, optou-se por utilizar para efeitos de simulação alguns dos mais conhecidos e comumente utilizados, sendo eles o pavimento permeável, trincheiras de infiltração e barris de chuva (cisternas ou sistemas de captação de água pluvial). Tais sistemas foram dimensionados seguindo a literatura especializada, tais como o próprio manual do software e o Manual de SuDS

da CIRIA (2015), e posteriormente criados no EPA SWMM por meio do painel de inserção de LIDs e implantados em cada sub-bacia do loteamento.

4.5.1 Barris de chuva

Para o dimensionamento dos barris de chuvas, ou cisternas, utilizou-se o Método Prático Inglês, método empírico presente na NBR 15527:2007. Dessa forma, obtém-se a equação de cálculo de volume da cisterna:

$$V = 0,05 \cdot P \cdot A \quad (2)$$

Onde V é o volume de água aproveitável (L), P é a precipitação média anual (mm) e A é a área de coleta em projeção (m^2).

Analisando-se a série histórica de chuvas do município de São José do Cedro estima-se uma precipitação média anual de 2075 mm. Para a área de coleta em projeção, considerou-se o sistema de coleta de águas pluviais instalado em uma residência situada em cada lote com área de projeção média de $100 m^2$, onde a precipitação que cai sobre o telhado é direcionada ao reservatório.

Foi realizado o cálculo e conforme obtido o volume necessário do reservatório, buscou-se modelos comerciais disponíveis no mercado, obtendo-se dos fabricantes as dimensões que foram inseridas no software para a simulação do dispositivo.

4.5.2 Pavimentos permeáveis

Para o pré-dimensionamento considera-se somente o aspecto quantitativo de retenção e/ou redução do escoamento superficial, sem abordar controle de poluição. Também não são considerados alguns aspectos importantes como os solos suportes (SILVEIRA E GOLDENFUM, 2007).

Dentre os diversos tipos de pavimento permeável, para esse estudo foi escolhido o pavimento de infiltração porosa com infiltração local, com superfície impermeável. O pavimento permeável foi considerado em toda área de calçada do lote, escolhendo-se como material o bloco de cimento convencional, conhecido comumente por paver para pavimentação de calçada.

Já no pré-dimensionamento dos pavimentos, em relação ao solo, não foi possível realizar em campo os estudos de caracterização do solo, utilizando-se o decreto do município para determinar o solo mais comum da região. Com essa informação, buscou-se na literatura as características do solo necessárias.

Os cálculos referentes ao pré-dimensionamento dos pavimentos utilizados encontram-se no Apêndice A, sendo eles baseados no estudo da Suderhsa (2002).

4.5.3 Trincheiras de Infiltração

As trincheiras são um sistema tipicamente longas e estreitas, para reduzir a área da base que supostamente é obstruída por partículas finas após algum tempo de operação do sistema, e aumentar a relação entre a área efetiva (os lados) e o volume de armazenamento (MIKKELSEN et al., 1996).

Com a definição acima e considerando que as trincheiras também não devem ocupar grande parte do loteamento, foram dimensionadas com 2 metros de comprimento e uma largura de 0,7 metros.

Os cálculos para obtenção da altura do nível de armazenamento estão presentes no Apêndice B, sendo foram considerados os mesmos dados de solo utilizados para os pavimentos permeáveis. Ainda, esses cálculos se basearam em Silveira e Goldenfum (2007), e no estudo da Suderhsa (2002).

4.6 Cenários de simulação

Para a realização de análises do efeito dos sistemas sustentáveis de drenagem urbana nas vazões de pico quando aplicadas ao loteamento as chuvas com período de retorno de 1, 2 e 5 anos, optou-se por fazer simulações utilizando-se cenários com cada um dos três dispositivos de forma isolada e em combinação

4.6.1 Simulação com barris de chuva

Para a implantação dos barris de chuva no sistema de drenagem, considerou-se que em todos os lotes de cada sub-bacia do loteamento haveria um dispositivo no local, dotado de um reservatório inicialmente vazio. Tal cenário visa simular que em cada lote haveria uma residência de 100 m² de projeção, como citado anteriormente, onde toda a precipitação que cai sobre o telhado seria recolhida por sistemas de captação de água pluvial e direcionada ao barril de chuva.

4.6.2 Simulação com pavimentos permeáveis

Para o caso dos pavimentos permeáveis, considerou-se também que todos os lotes de cada sub-bacia teriam esse tipo de sistema sustentável de drenagem implementando, ocupando, considerando calçadas e demais pavimentos dentro do lote, um total de 30% da área da bacia, valor obtido através de estimativas analisadas fazendo uso do projeto do loteamento utilizado.

4.6.3 Simulação com trincheiras de infiltração

De maneira análoga aos pavimentos permeáveis, para o uso de trincheiras de infiltração considerou-se que todos os lotes de teriam um desses dispositivos instalados, ocupando um total de 10% da área da sub-bacia.

4.6.4 Simulação com combinação de dispositivos

Em uma situação mais realista de utilização de sistemas sustentáveis de drenagem urbana no loteamento em análise, é de se esperar que não serão aplicados exclusivamente um tipo de dispositivo em todos os lotes das sub-bacias, ou seja, apenas barris de chuvas, ou apenas pavimentos permeáveis ou trincheiras de infiltração. Da mesma forma, não se espera que em todos os lotes sejam utilizados os três dispositivos de forma combinada, em função de viabilidades técnicas e

econômicas. Assim, para a obtenção de um cenário de simulação que mais se aproximasse da realidade, foi realizada uma distribuição randomizada dos três dispositivos nas sub-bacias, considerando que cada uma teria apenas um dos dispositivos seguindo os critérios de ocupação da área citados anteriormente. A escolha por uma distribuição randomizada se deu através da idealização de uma situação hipotética onde, após todos os lotes do loteamento terem sido comercializados, seria recomendado para cada proprietário a instalação de no mínimo um dos dispositivos, cabendo a critério individual a escolha de qual seria. Assim, não havendo uma perspectiva de como ocorreria tal distribuição dos dispositivos e para fins de evitar vícios, optou-se pela randomização.

Dessa forma, há um total de 90 lotes projetados no loteamento, sendo que para essa análise dos SuDS combinados, em 28 deles foram implantados barris de chuvas, em 35 deles pavimentos permeáveis e em 27 trincheiras de infiltração. Ou seja, os barris de chuva representaram 31% dos dispositivos, 39% os pavimentos permeáveis e 30% as trincheiras de infiltração.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

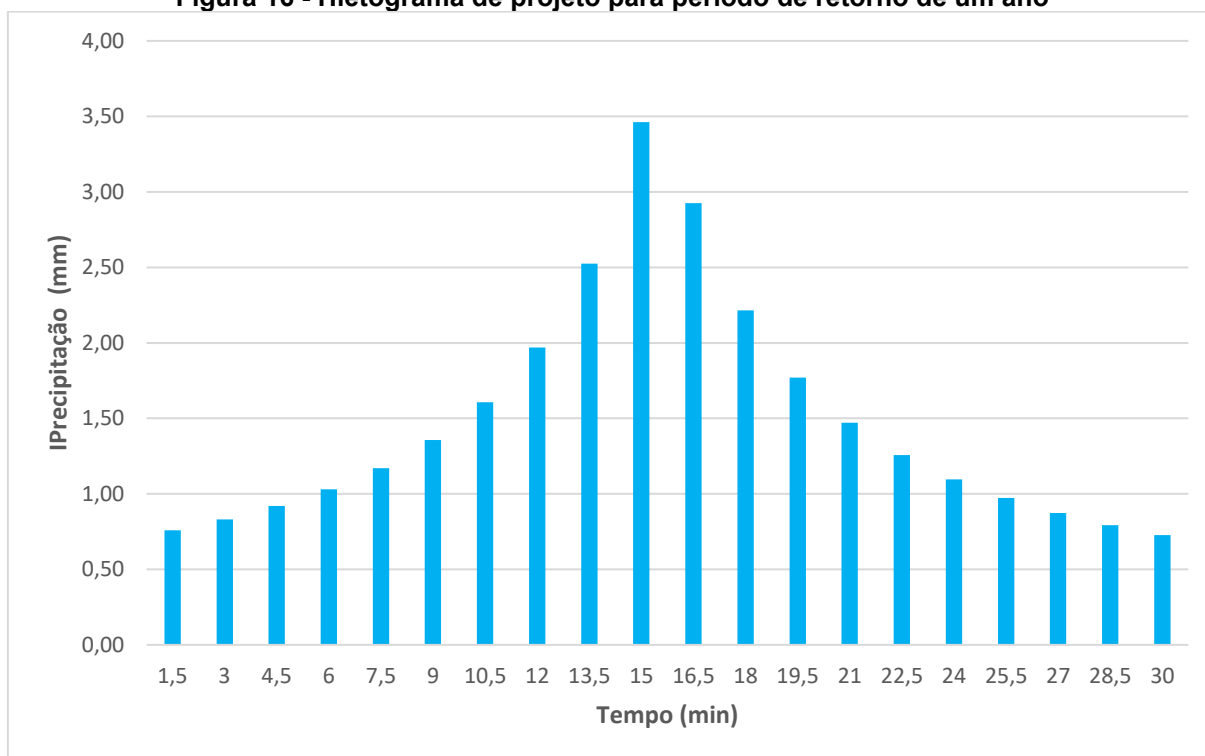
Conforme citado, o projeto de drenagem urbana convencional possui seis exutórios. Para efeito de análise dos resultados obtidos nas simulações de drenagem convencional e com a implementação dos SuDS em diferentes períodos de retorno, optou-se por focar em apenas um destes exutórios, utilizando como critério aquele que tivesse a maior vazão dentre os seis, a fim de comparar qual foi o efeito da utilização dos sistemas sustentáveis. Dessa forma, o exutório escolhido foi o nomeado de DISS105, visto que é ele que recebe as maiores vazões em função da distribuição feita no projeto de drenagem urbana.

5.1 Chuvas de projeto

Após a obtenção das chuvas de projeto pela equação IDF e posterior confecção dos hidrogramas de projeto com a utilização dos Método dos Blocos Alternados, os hidrogramas para os diferentes períodos de retorno estão expostos a seguir. As tabelas detalhadas sobre a distribuição das chuvas de projeto constam no Apêndice C.

Para o período de retorno de 1 ano, o hietograma de projeto está apresentado na Figura 16.

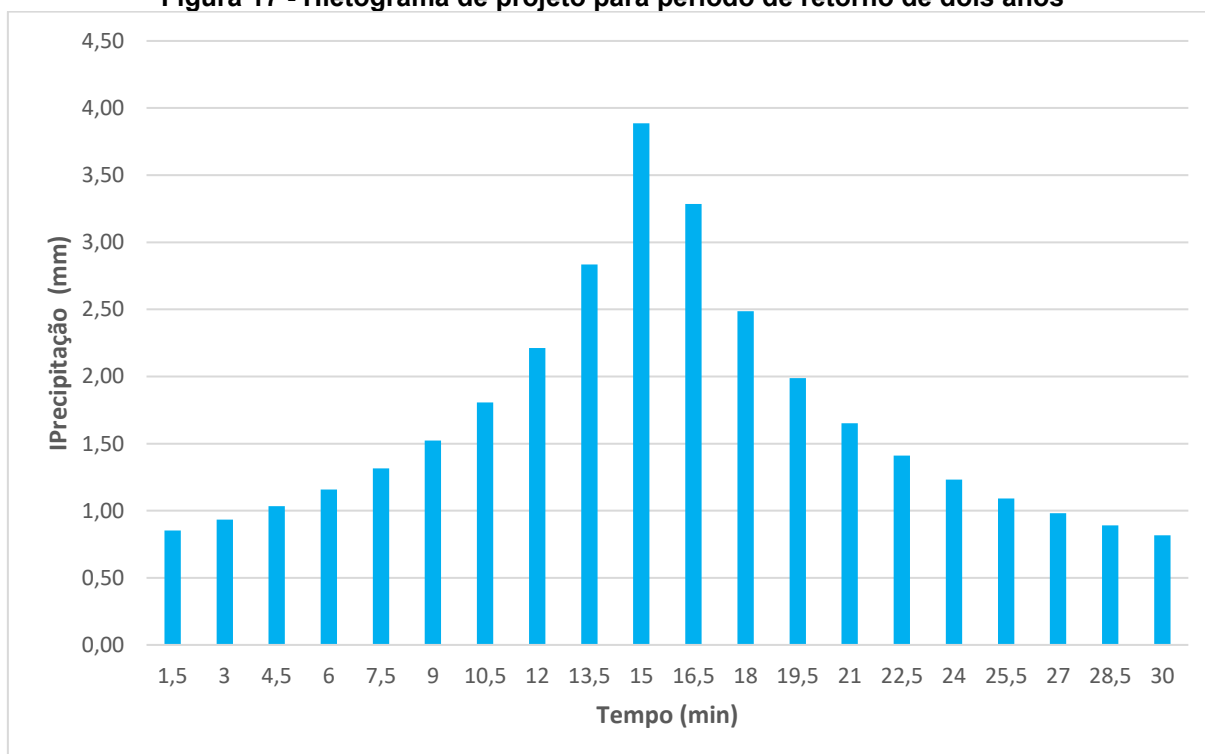
Figura 16 - Hietograma de projeto para período de retorno de um ano



Fonte: Autoria própria (2022)

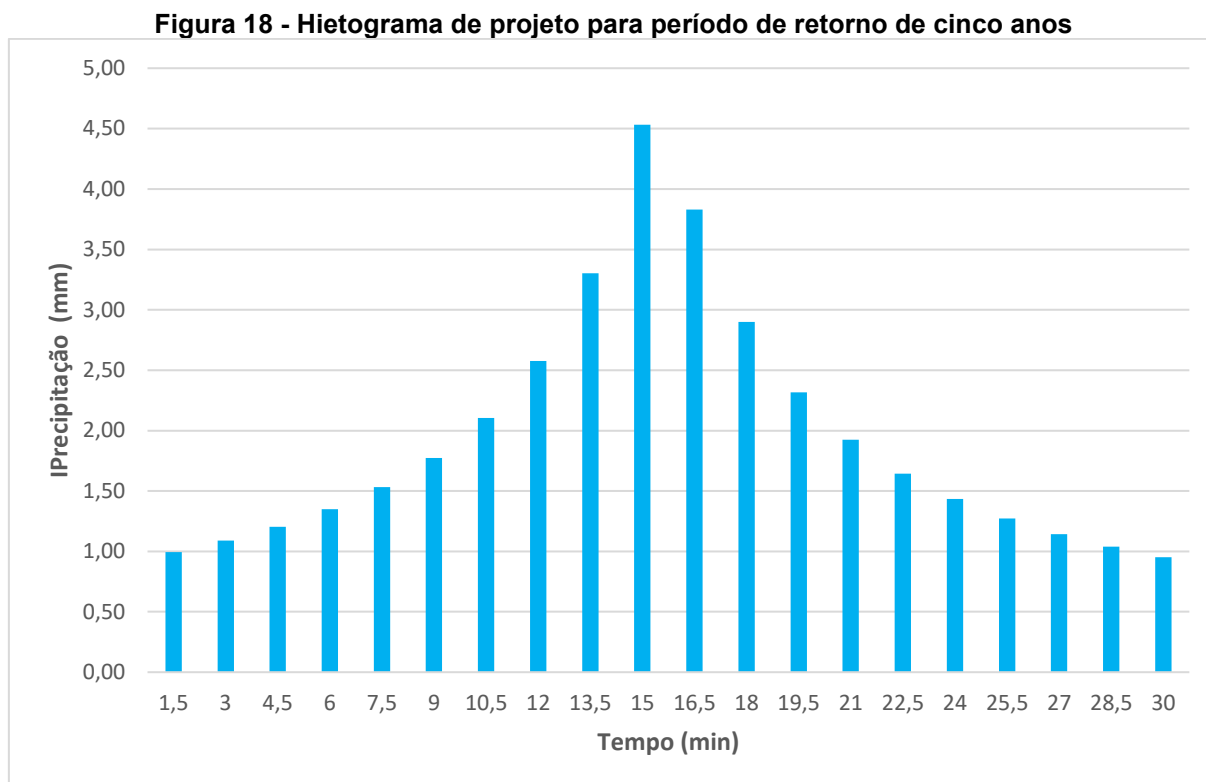
Para o período de retorno de 2 anos o hietograma de projeto está exibido na Figura 17.

Figura 17 - Hietograma de projeto para período de retorno de dois anos



Fonte: Autoria própria (2022)

Já para o período de retorno de 5 anos o hietograma de projeto está apresentado na Figura 18.

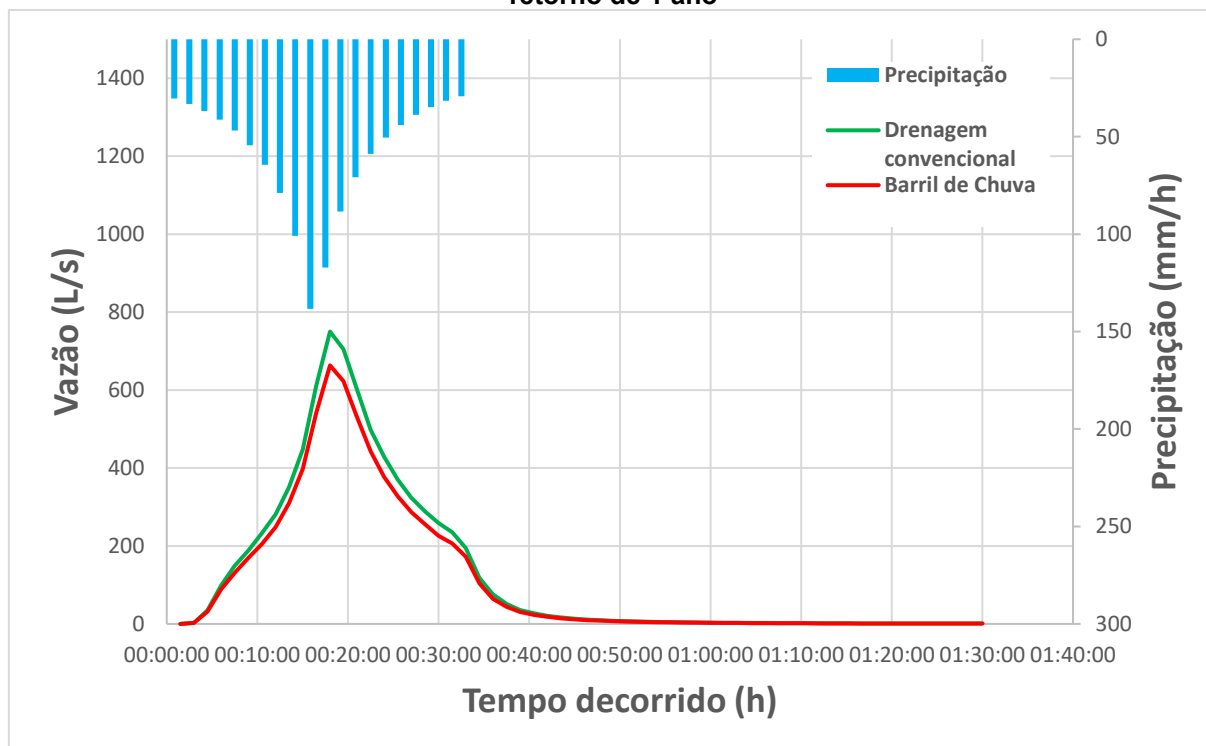


Fonte: Autoria própria (2022)

5.2 Barris de chuva

Para o período de retorno de 1 ano, obteve-se como resultado os gráficos das vazões escoadas em função do tempo de duração no exutório em análise no cenário apenas com o sistema de drenagem urbana convencional e com a utilização dos barris de chuvas. O gráfico está exposto na Figura 19.

Figura 19 - Resultados da implantação de barril de chuva para precipitação com período de retorno de 1 ano

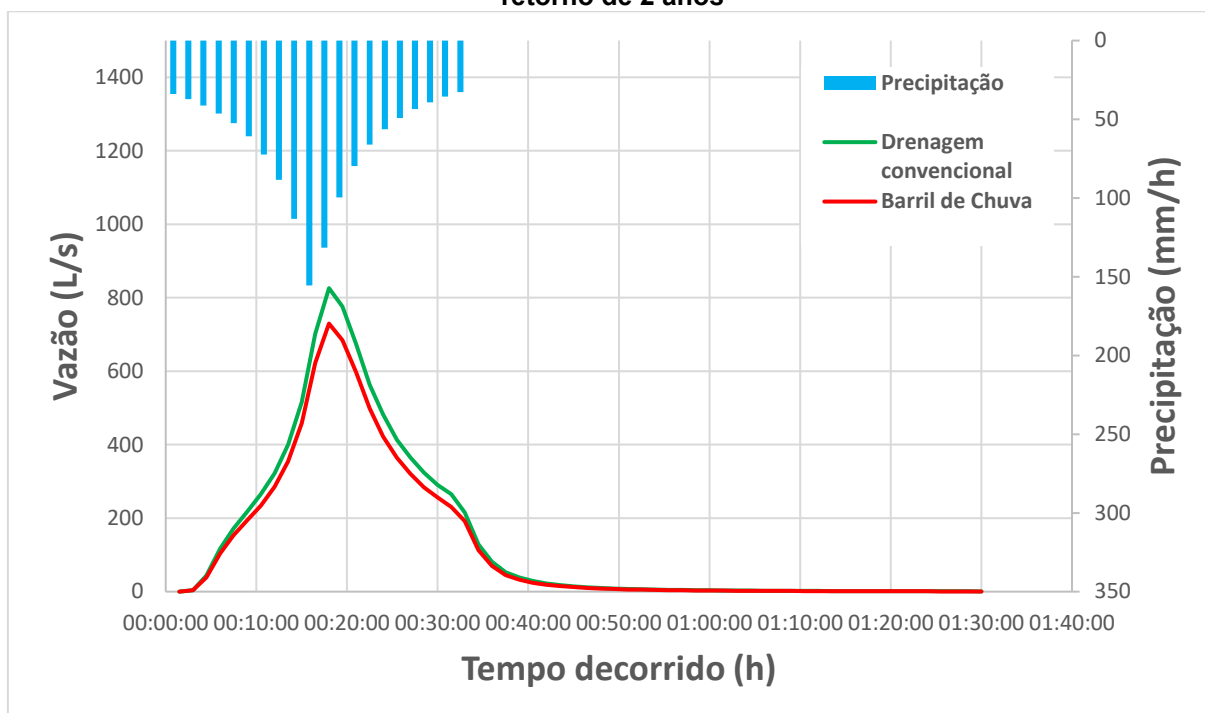


Fonte: Autoria própria (2022)

Verifica-se nesse caso que para o cenário sem a inserção do barril de chuva, a vazão de pico foi de 749,93 L/s atingida aos 18 minutos após o início da precipitação, no intervalo seguinte ao maior volume de precipitação. Já com o uso dos SuDS dessa situação, a vazão de pico foi de 663,33 L/s, também atingida aos 18 minutos, representando, portanto, uma redução de 11,55% na vazão máxima, porém, sem alteração no tempo de pico.

Para o período de retorno de 2 anos também foram obtidos os gráficos das vazões nos dois cenários, bem como da chuva de projeto para esse caso. Os resultados estão apresentados na Figura 20.

Figura 20 - Resultados da implantação de barril de chuva para precipitação com período de retorno de 2 anos



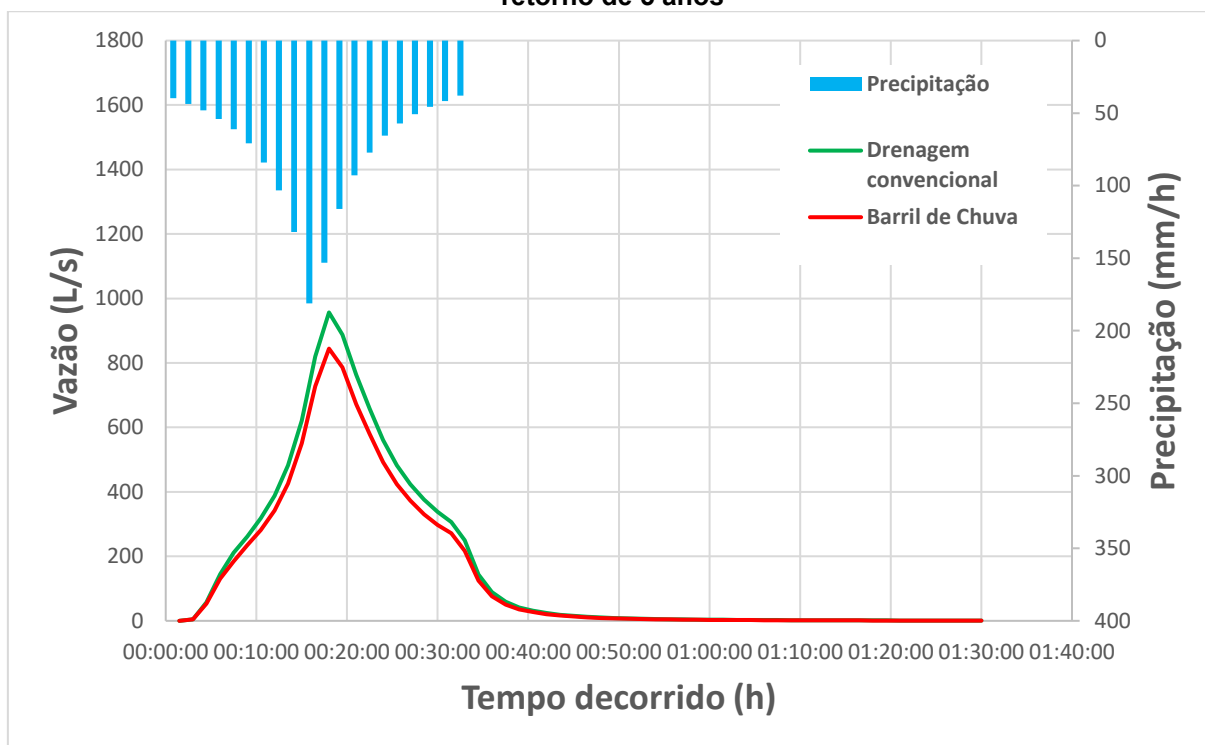
Fonte: Autoria própria (2022)

Como era de se esperar, em função do aumento de volume da precipitação, também as vazões de pico aumentaram, sendo elas de 826,12 L/s para o cenário sem os sistemas sustentáveis e de 729,67 L/s para o cenário com uso dos barris de chuvas, ambas atingidas 18 minutos após o início da precipitação. Assim, temos nesse caso uma redução de 11,68% nas vazões de pico e a permanência tempo de pico.

Percebe-se que a vazão de pico para o período de retorno de 2 anos com os barris de chuva está próxima e até menor que a vazão de pico do período de retorno de 1 ano sem a utilização dos dispositivos, ou seja, com a implantação desse sistema de drenagem urbana sustentável, foi possível garantir uma vida útil maior ao sistema de drenagem apenas com o uso dos SuDS, não necessitando de um redimensionamento da rede para um período de retorno maior.

Já para o caso utilizando o período de retorno de 5 anos, os gráficos estão dispostos na Figura 21.

Figura 21 - Resultados da implantação de barril de chuva para precipitação com período de retorno de 5 anos



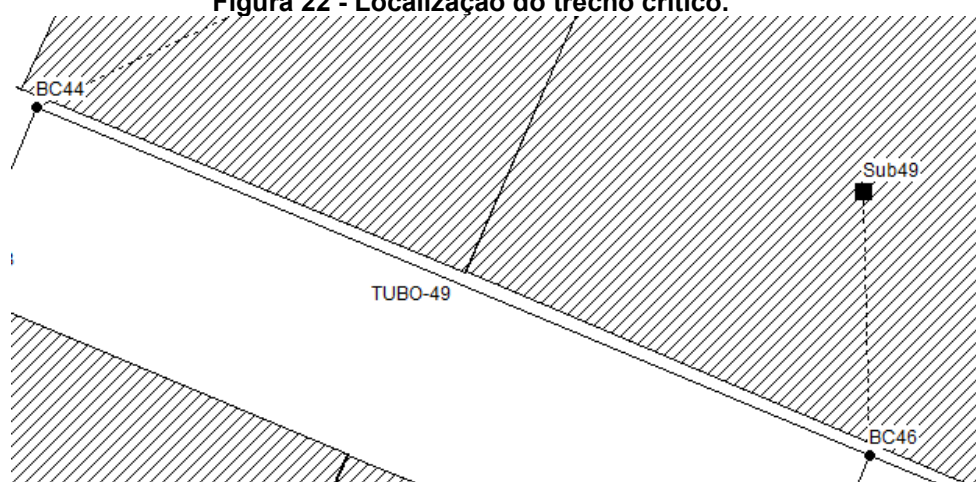
Fonte: Autoria própria (2022)

Nesse caso, para o cenário sem o barril de chuva, a vazão de pico foi de 956,62 L/s atingida aos 18 minutos após o início da precipitação. Já com o uso do dispositivo a vazão de pico foi de 844,43 L/s, também atingida aos 18 minutos, representando, portanto, uma redução de 11,73% na vazão máxima, porém, sem alteração no tempo de pico.

Assim como no caso do período de retorno de 2 anos, onde a vazão de pico com o uso dos barris de chuva se aproximou da vazão de pico para o período de retorno de 1 ano sem os dispositivos, de forma análoga, a vazão de pico com período de retorno de 5 anos com os SuDS ficou próxima a do período de retorno de 2 anos sem eles, otimizando o sistema mesmo sem alterações estruturais na rede.

Há na rede de drenagem urbana do loteamento um trecho que merece atenção em função da baixa declividade que a topografia do terreno permite que os condutores de água sejam instalados. Tal trecho pode representar problemas de drenagem uma vez que dependendo da intensidade da chuva, pode ocorrer extravasamento de água pluvial para a via pública, ou seja, uma falha no sistema de drenagem. A Figura 22 demonstra o posicionamento do referido trecho no projeto.

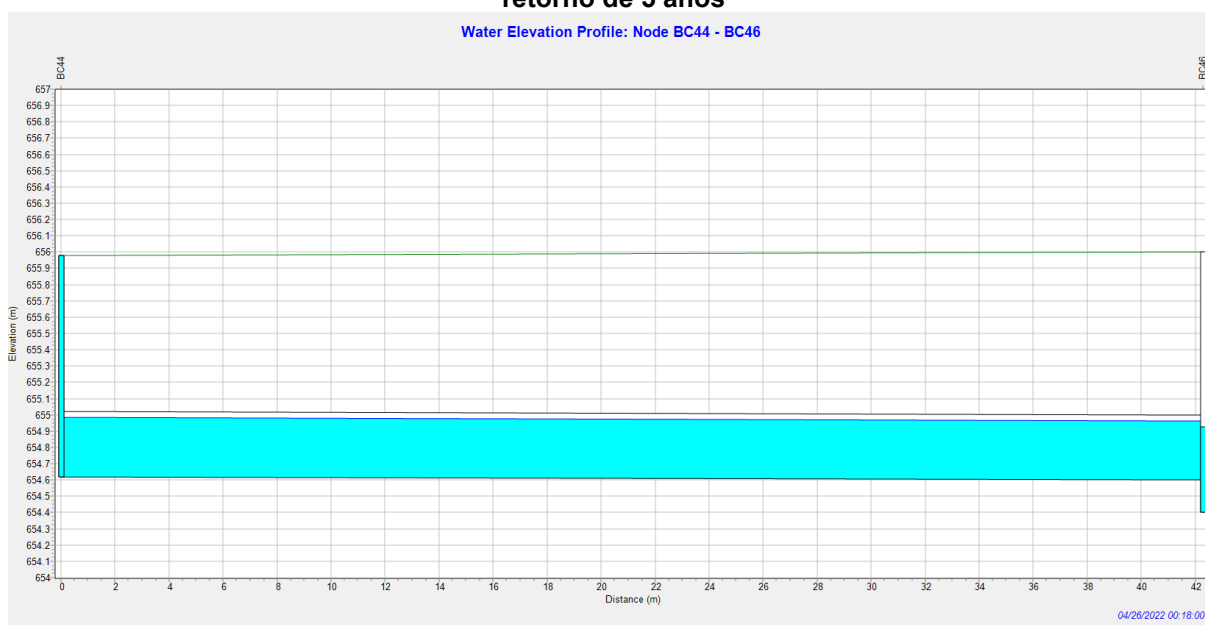
Figura 22 - Localização do trecho crítico.



Fonte: Autoria própria (2022)

Para as chuvas de período de retorno de 1 e 2 anos a situação de extravasamento não ocorreu, porém, no caso da chuva com período de retorno de 5 anos, ocorre a falha em um dos nós nesse trecho, nomeado de BC44, conforme pode ser visualizado no traçado do perfil do trecho (23).

Figura 23 - Perfil do trecho crítico sem o uso de SuDS para precipitação com período de retorno de 5 anos



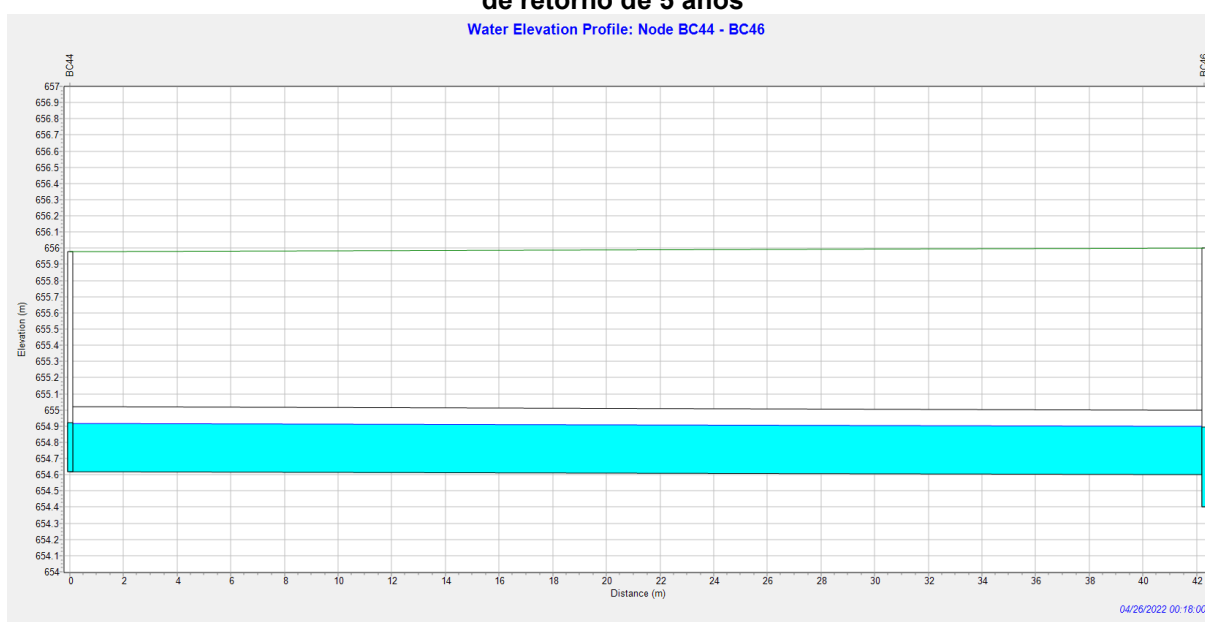
Fonte: Autoria própria (2022)

A situação de extravasamento no nó BC44 ocorre aos 18 minutos após o início da precipitação com período de retorno de 5 anos, ou seja, no mesmo instante em que também ocorrem as vazões de pico máximo, estando o sistema de drenagem

nesse caso apenas com o projeto convencional, sem a utilização de nenhum tipo de dispositivos de drenagem urbana sustentável.

Quando se analisa o mesmo trecho com a implantação dos barris de chuvas, verifica-se que o extravasamento não ocorre, mesmo com o pico da vazão que se dá aos 18 minutos. Tal situação é exposta na Figura 24.

Figura 24 - Perfil do trecho crítico com o uso de barris de chuva para precipitação com período de retorno de 5 anos



Fonte: Autoria própria (2022)

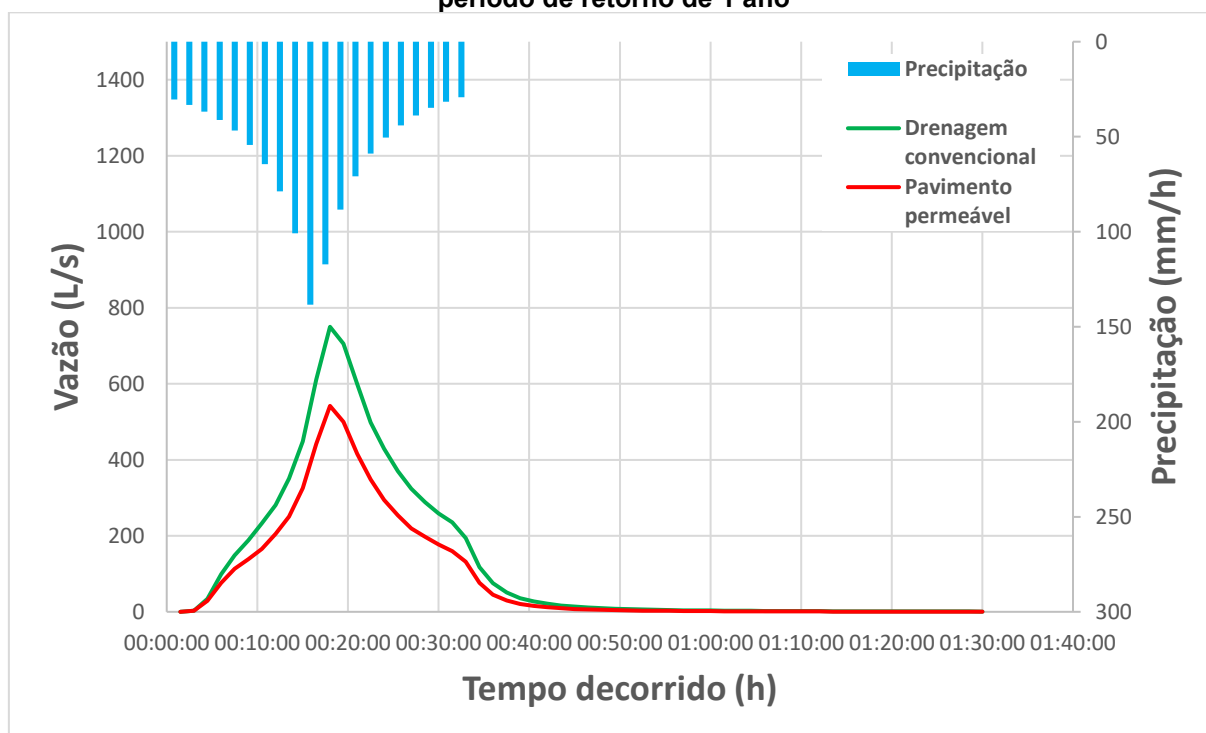
Assim, percebe-se que a utilização dos barris de chuva auxiliou para a mitigação de problemas de falha no sistema nesse trecho, uma vez que foi possível evitar o extravasamento de água para a via pública com a utilização dos dispositivos, permitindo otimizar o sistema no caso de uma chuva mais intensa, no caso, a com período de retorno de 5 anos.

Dessa forma, diante dos cenários analisados com três diferentes períodos de retorno, percebe-se que o efeito da utilização dos barris de chuva é de uma redução de em torno de de 12% das vazões de pico do sistema quando comparadas ao sistema convencional, porém, sem alterações significativas no tempo de pico e no comportamento da curva de vazão, a não ser por uma diminuição do volume total escoado com o uso dos sistemas sustentáveis, conforme é um dos objetivos dos mesmos. Ademais, os barris de chuva foram eficientes em prevenir a falha do sistema no trecho mais crítico na chuva de maior intensidade utilizada.

5.3 Pavimentos permeáveis

Com a utilização dos pavimentos permeáveis, para o período de retorno de 1 ano, foram obtidas as curvas dos cenários sem os SuDS e com o uso dos dispositivos. Os resultados estão expostos na Figura 25.

Figura 25 - Resultados da implantação de pavimentos permeáveis para precipitação com período de retorno de 1 ano

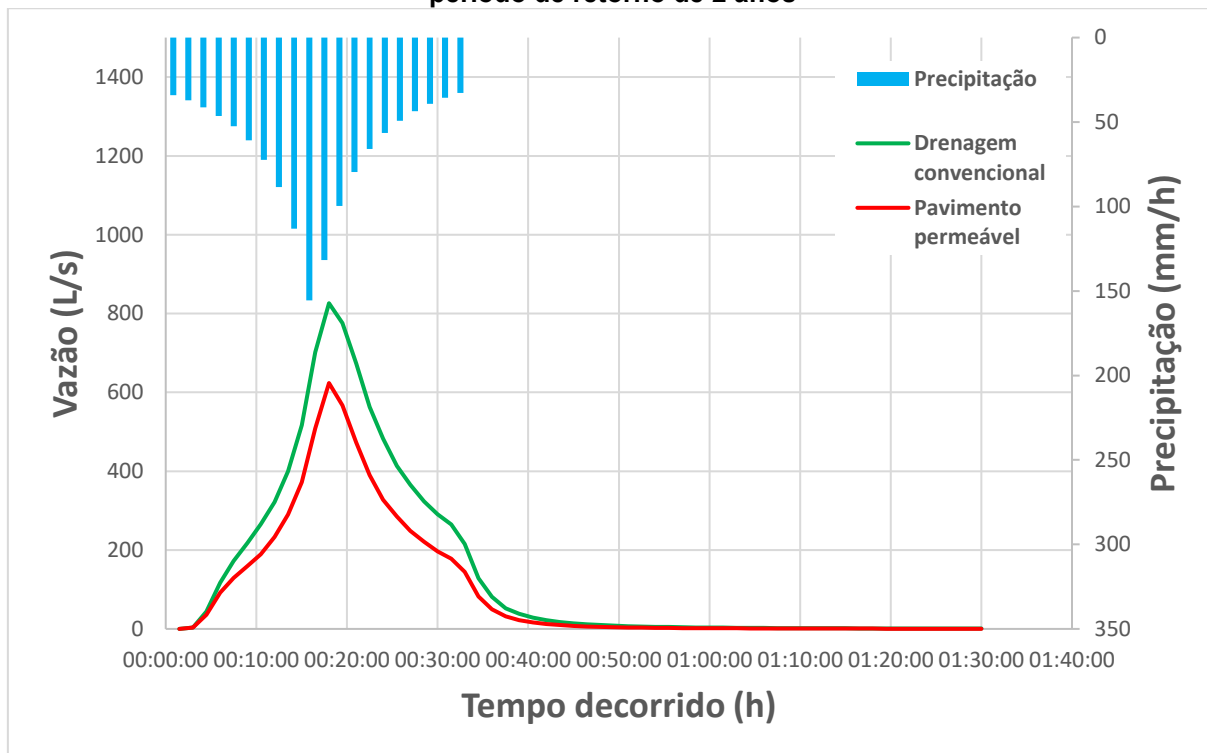


Fonte: Autoria própria (2022)

Obteve-se uma redução de 27,75% na vazão de pico com a utilização dos pavimentos permeáveis, sendo a vazão de pico no caso da drenagem convencional de 749,93 L/s e com os sistemas sustentáveis de 541,80 L/s.

Também para o período de retorno de 2 anos foi elaborado o hidrograma de saída, o qual está exposto na Figura 26.

Figura 26 - Resultados da implantação de pavimentos permeáveis para precipitação com período de retorno de 2 anos

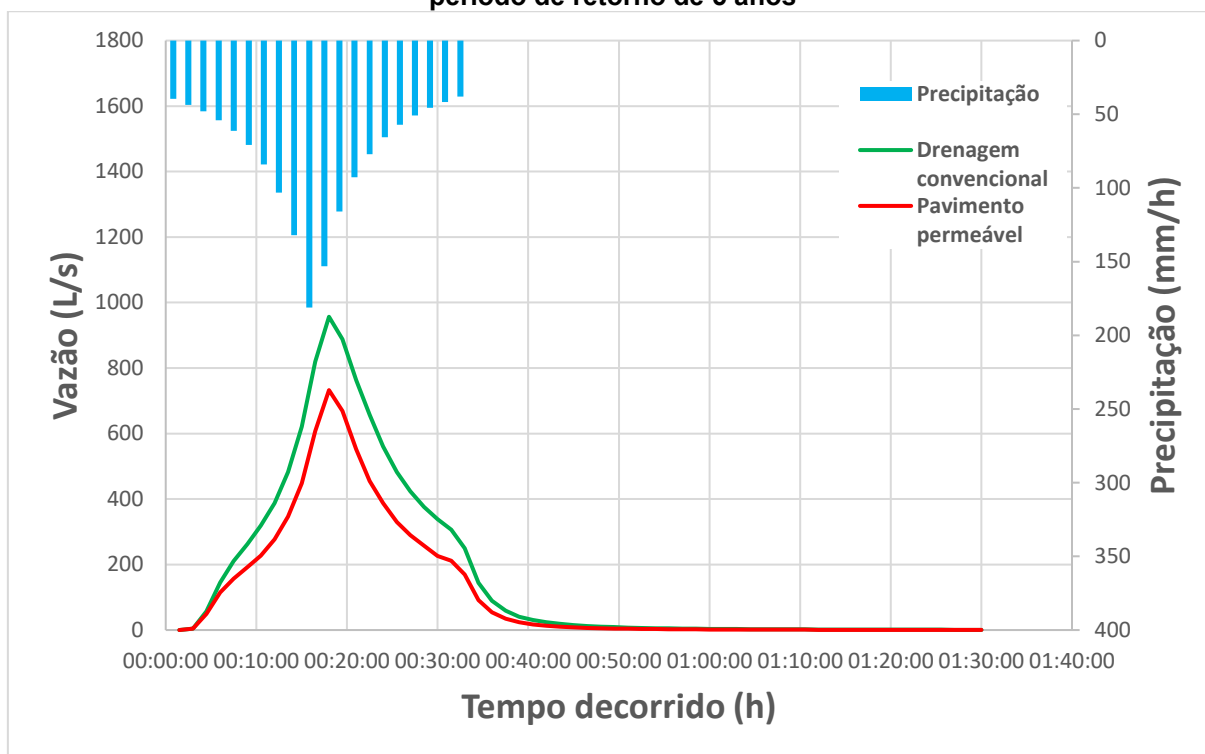


Fonte: Autoria própria (2022)

Nesse caso a vazão de pico sem o pavimento permeável é de 826,12 L/s e a vazão de pico com o uso dos SuDS foi de 623,62 L/s, representando uma redução de 24,51%.

Por fim, para o período de retorno de 5 anos, o gráfico das vazões está exposto na Figura 27.

Figura 27 - Resultados da implantação de pavimentos permeáveis para precipitação com período de retorno de 5 anos



Fonte: Autoria própria (2022)

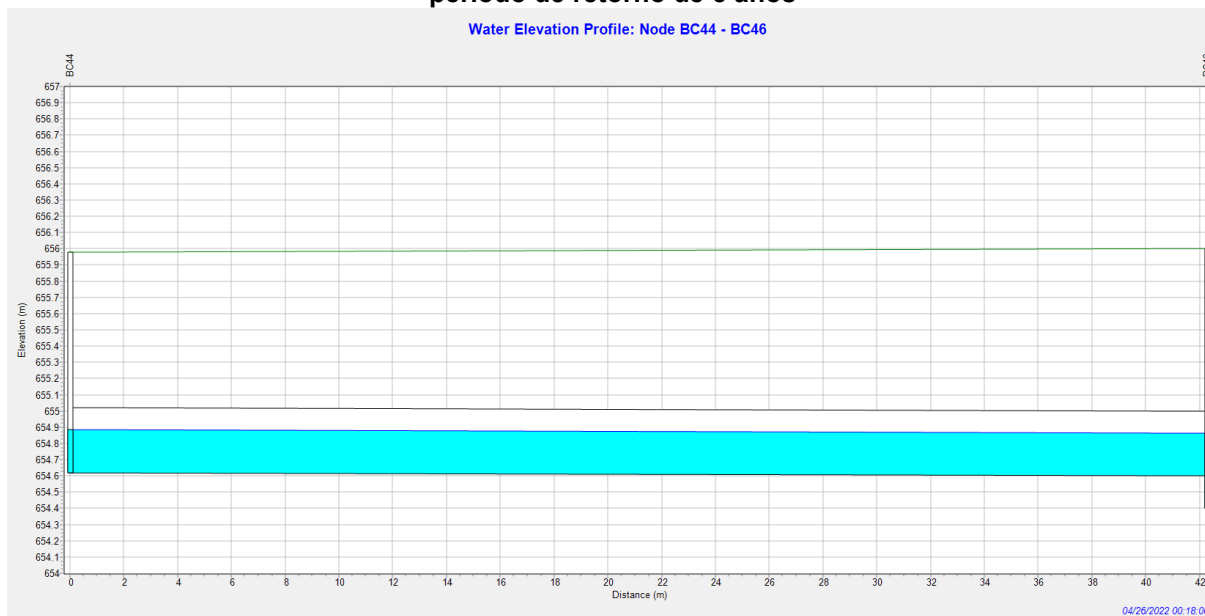
Para essa situação, a vazão de pico com o uso dos pavimentos permeáveis foi de 732,55 L/s, obtendo-se uma redução de 23,42% em relação à vazão de pico original de 956,62 L/s.

Em todos os casos citados com a utilização dos pavimentos permeáveis, o tempo de pico se deu aos 18 minutos após o início da precipitação, não sendo, portanto, influenciado pela implantação dos dispositivos sustentáveis de drenagem urbana.

Verificou-se uma diminuição nos valores percentuais de redução da vazão de pico conforme aumentou-se o período de retorno, o que pode indicar que os pavimentos permeáveis têm sua efetividade reduzida conforme mais intensa é uma precipitação.

Sobre o trecho já citado onde há maior probabilidade de ocorrer falha no sistema no caso da chuva com período de retorno de 5 anos, percebeu-se que os pavimentos permeáveis também foram capazes de evitar o extravasamento de água pluvial para a via pública, a exemplo do que já havia ocorrido com os barris de chuvas. A comprovação se dá pela análise do perfil do trecho mais crítico aos 18 minutos, quando ocorre a vazão de pico (Figura 28).

Figura 28 - Perfil do trecho crítico com o uso de pavimentos permeáveis para precipitação com período de retorno de 5 anos



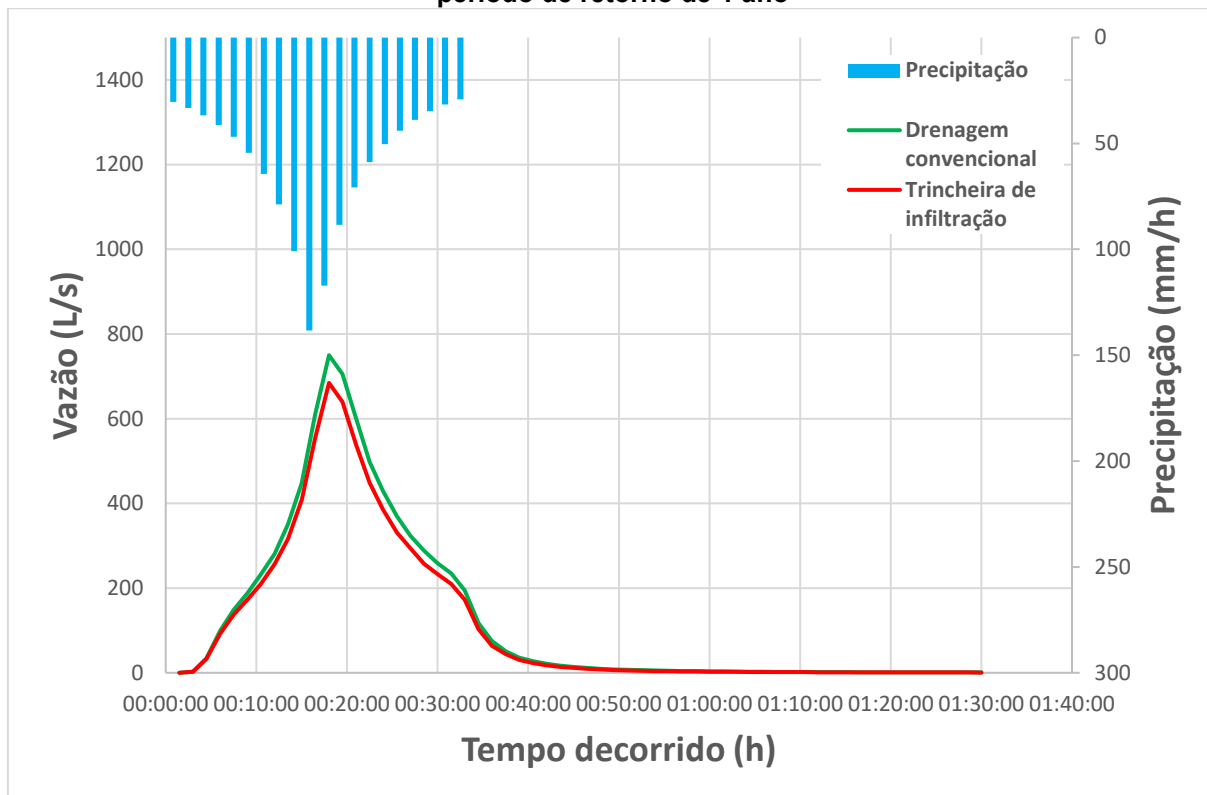
Fonte: Autoria própria (2022)

Assim como analisado para os barris de chuva, os pavimentos permeáveis foram eficazes em garantir a otimização do sistema quando comparando-se vazões de pico de período de retornos diferentes com e sem a utilização dos sistemas sustentáveis de drenagem urbana. A vazões de pico com o uso de dispositivos de drenagem sustentável para as chuvas com períodos de retorno de 2 e 5 anos foram até mesmo inferiores às vazões de pico sem o uso dos SuDS com chuvas de períodos de retorno de 1 e 2 anos, ou seja, a implementação dos pavimentos permeáveis permite otimizar o sistema de drenagem e evitar que ele falhe mesmo com chuvas mais intensas do que se esperava.

5.4 Trincheiras de infiltração

Seguindo-se o padrão de análise dos dispositivos anteriores, para o uso de trincheiras de infiltração com o período de retorno de 1 ano, foi obtido o hidrograma de saída no exutório estudado (Figura 29).

Figura 29 - Resultados da implantação de trincheiras de infiltração para precipitação com período de retorno de 1 ano

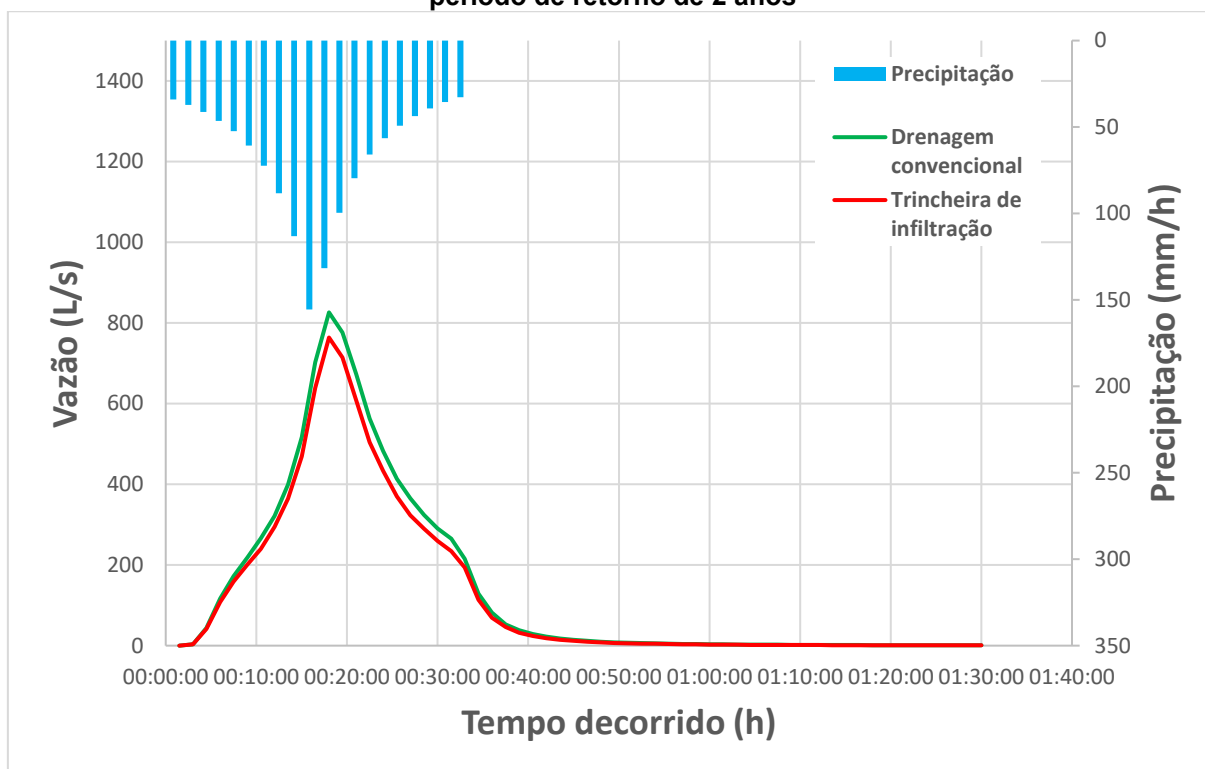


Fonte: Autoria própria (2022)

Obteve-se uma vazão de pico com o uso de trincheiras de infiltração de 684,49 L/s frente a uma vazão original de 749,93 L/s, representando uma redução de 8,73%.

Para o período de retorno de 2 anos, o gráfico das vazões está disposto na Figura 30.

Figura 30 - Resultados da implantação de trincheiras de infiltração para precipitação com período de retorno de 2 anos

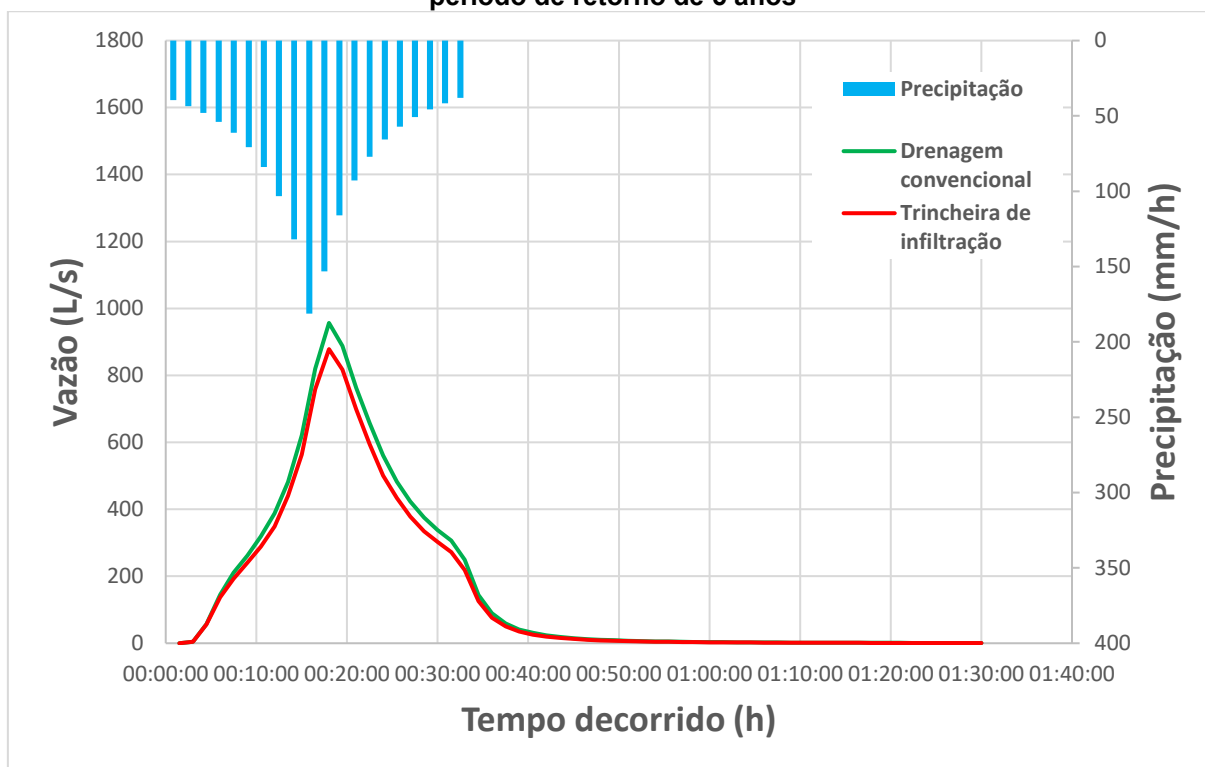


Fonte: Autoria própria (2022)

A vazão de pico sem sistemas sustentáveis para o período de retorno de 2 anos, conforme já citado é de 826,12 L/s e com o uso das trincheiras de infiltração obteve-se o valor de 763,87 L/s, atingindo uma redução de 7,54%.

Por último, para o período de retorno de 5 anos, o gráfico das vazões está apresentado na Figura 31.

Figura 31 - Resultados da implantação de trincheiras de infiltração para precipitação com período de retorno de 5 anos



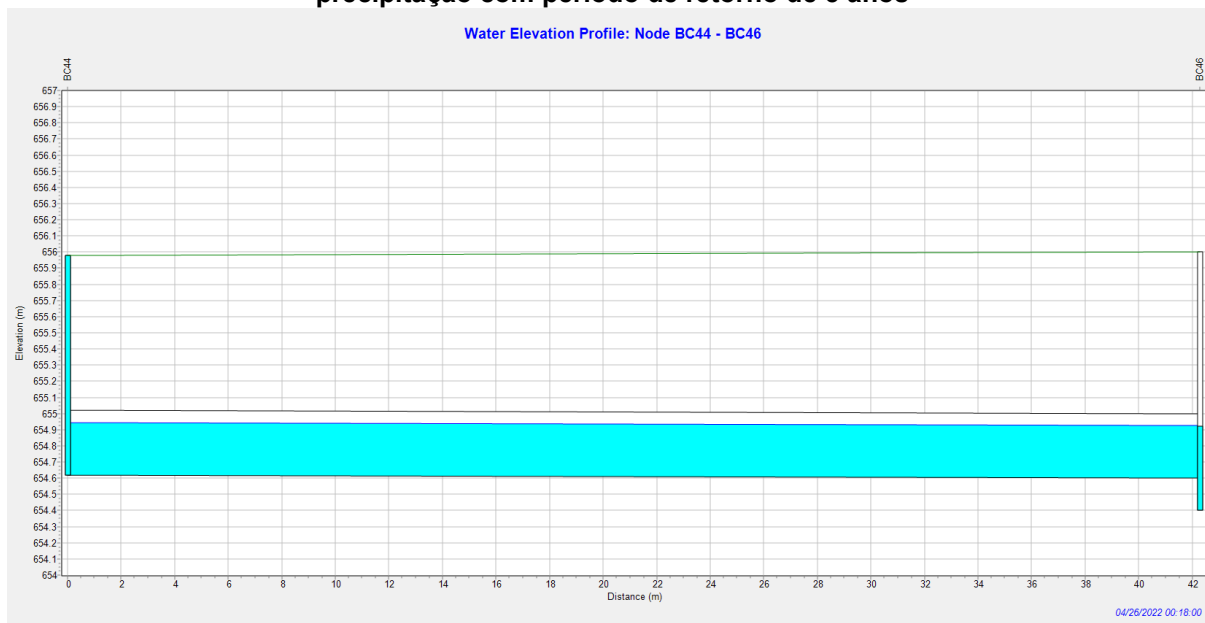
Fonte: Autoria própria (2022)

Sendo a vazão de pico original de 956,62 L/s, com a utilização das trincheiras de infiltração, ela caiu para 878,46%, obtendo-se uma redução de 8,17%.

Assim como nos demais dispositivos, em todas as situações analisadas o tempo de pico foi aos 18 minutos não sendo alterado com a inserção das estruturas de sistemas sustentáveis de drenagem urbana.

Sobre o trecho mais crítico do sistema onde ocorre falha na chuva de período de retorno de 5 anos, verificou-se que as trincheiras de infiltração, que já haviam demonstrado menor eficácia na redução das vazões de pico, não conseguiram evitar a o extravasamento no nó BC44 aos 18 minutos após o início da precipitação (Figura 32).

Figura 32 - Figura 20 - Perfil do trecho crítico com o uso de trincheiras de infiltração para precipitação com período de retorno de 5 anos



Fonte: Autoria própria (2022)

No caso da análise comparativa entre as vazões de pico com e sem o uso de SuDS para diferentes períodos de retorno como feita para os demais dispositivos, as trincheiras de infiltração também conseguiram aproximar as vazões de pico de 2 e 5 anos com os SuDS das vazões de pico de 1 e 2 anos sem eles, porém, em menor grau do que os barris de chuva e pavimentos permeáveis.

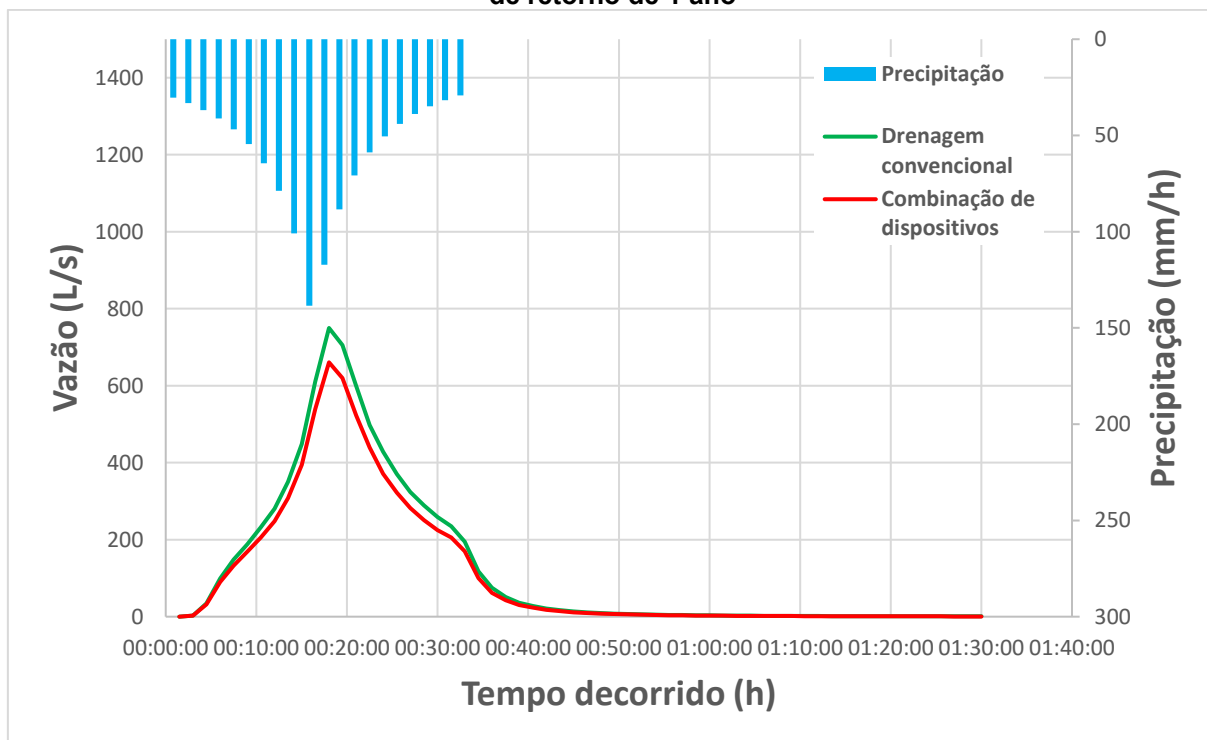
Portanto, dentre os três dispositivos analisados, percebeu-se a menor eficácia das trincheiras de infiltração, seja na redução das vazões de pico bem como na prevenção da falha no trecho mais desfavorável do sistema, no caso do período de retorno de 5 anos além da menor equiparação das vazões pico para períodos de retorno diferentes com e sem o uso de sistemas sustentáveis de drenagem.

5.5 Combinação de dispositivos de drenagem urbana sustentável

Com o intuito de obter-se uma simulação mais realista, optou-se por realizar uma análise com a utilização combinada dos três tipos de sistemas sustentáveis de drenagem urbana estudados, ao invés de analisar cada caso isoladamente. Assim como feito anteriormente, os cenários simulados foram com as precipitações dos períodos de retorno já citados.

Para o período de retorno de 1 ano com a utilização dos dispositivos de drenagem de forma combinada, foi obtido o gráfico das vazões, apresentado na Figura 33.

Figura 33 - Resultados do uso da combinação de dispositivos para precipitação com período de retorno de 1 ano

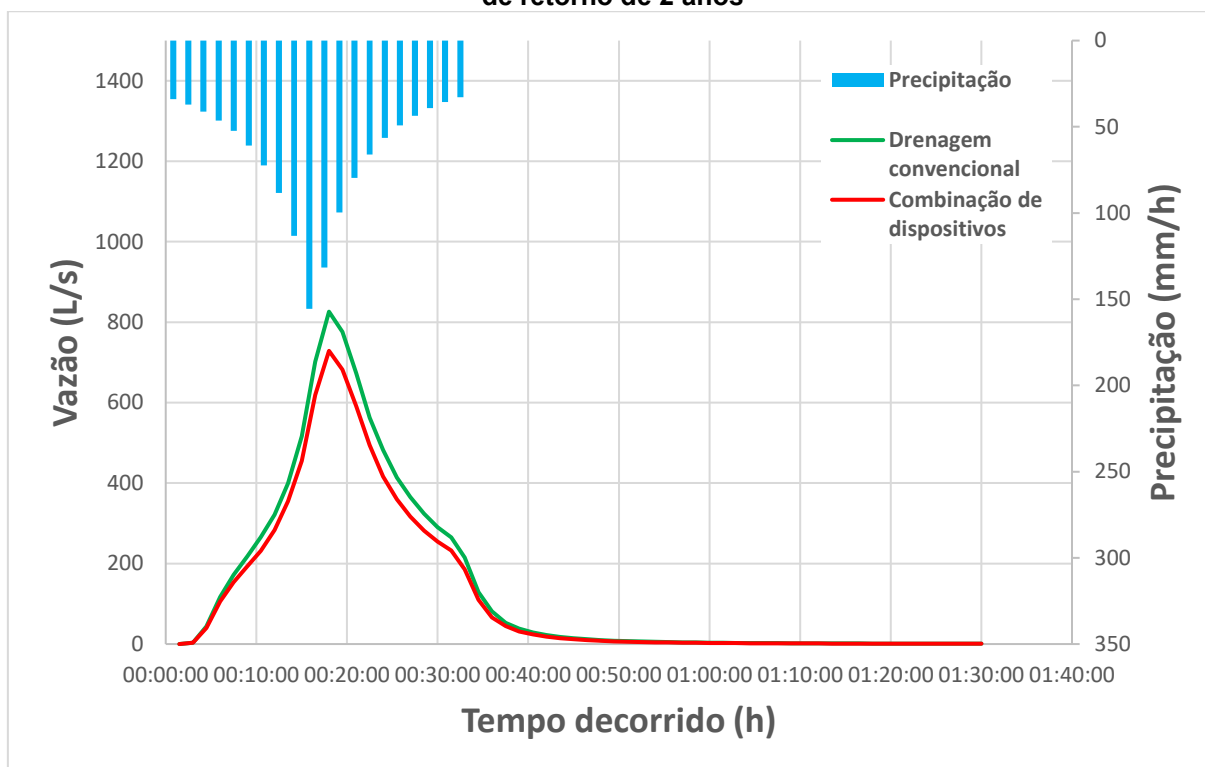


Fonte: Autoria própria (2022)

A vazão de pico original de 749,93 L/s foi reduzida para 660,73 L/s, ou seja, uma redução de 11,89%.

Para o período de retorno de 2 anos o gráfico está exposto na Figura 34.

Figura 34 - Resultados do uso da combinação de dispositivos para precipitação com período de retorno de 2 anos

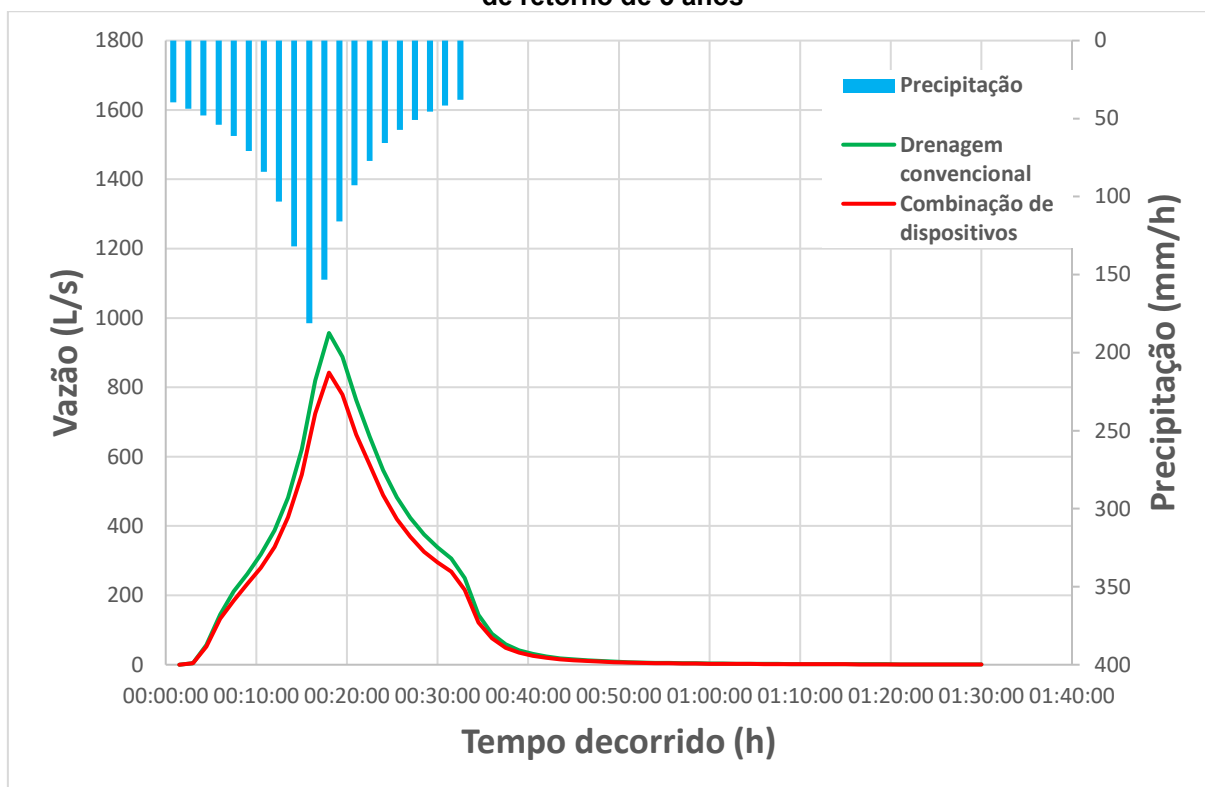


Fonte: Autoria própria (2022)

Nesse caso tinha-se a vazão de pico inicial de 826,12 L/s, a qual caiu para 728,79 L/s com a inserção da combinação de dispositivos, representando uma variação para baixo de 11,78%.

Por fim, para o período de retorno de 5 anos, o gráfico obtido está presente na Figura 35.

Figura 35 - Resultados do uso da combinação de dispositivos para precipitação com período de retorno de 5 anos



Fonte: Autoria própria (2022)

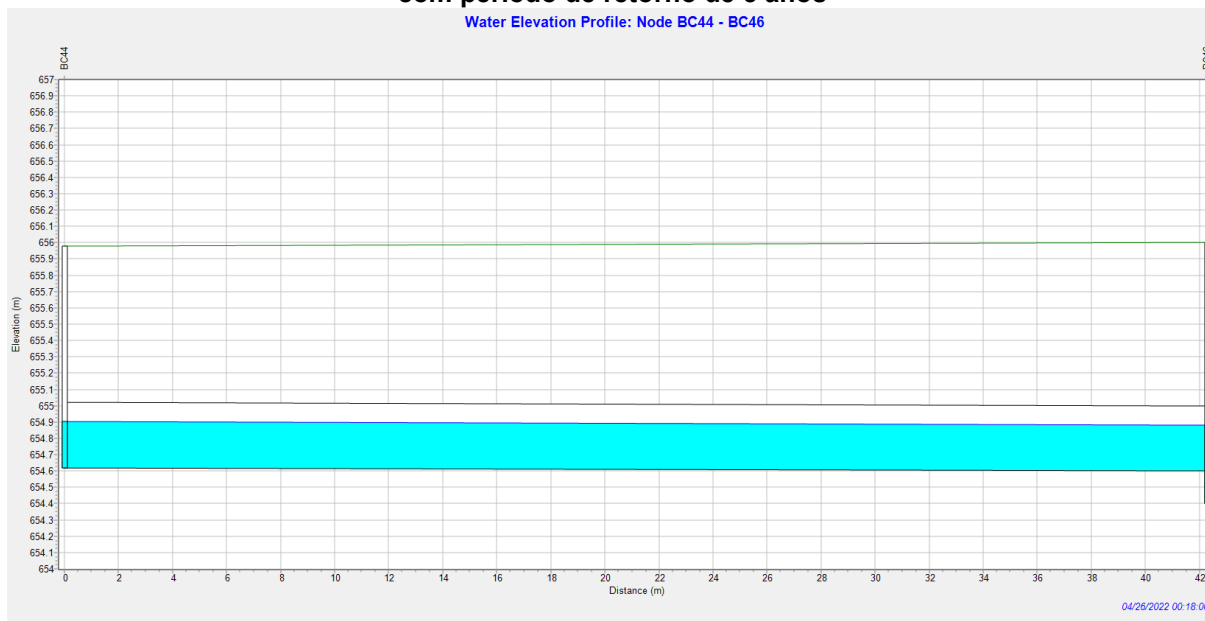
A vazão de pico com a drenagem convencional era de 956,62 L/s e foi rebaixada para 842,39 L/s, representando uma redução de 11,94%.

O tempo de pico em todos os casos com a combinação de dispositivos permaneceu em 18 minutos após o início da precipitação.

Verifica-se, portanto, que com a utilização de uma combinação de dispositivos, obteve-se uma redução de aproximadamente 12% nas vazões de pico.

Sobre o trecho mais crítico do sistema onde ocorreu a falha na chuva com período de retorno de 5 anos, verificou-se que a combinação de dispositivos, assim como os barris de chuva e os pavimentos permeáveis, conseguiu evitar o extravasamento de água pluvial para a via pública, conforme pode ser visto no traçado do perfil na Figura 36.

Figura 36 - Perfil do trecho crítico com o uso da combinação de dispositivos para precipitação com período de retorno de 5 anos



Fonte: Autoria própria (2022)

Assim como no uso isolado dos dispositivos, a combinação também foi útil em equiparar as vazões dos períodos de retorno dos anos de 2 e 5 anos com a utilização dos SuDS com as vazões de pico sem os SuDS para os períodos de retorno de 1 e 2 anos, respectivamente. Ou seja, nesse caso de uma situação mais realista, o sistema poderia ser otimizado e teria maior tempo de vida útil sem apresentar falhas sem precisar realizar alterações estruturais na rede.

Assim, assumindo-se que a situação de combinação de dispositivos seria aquela que mais se aproxima de uma situação real onde diversos SuDS estariam implantados no loteamento, espera-se reduzir em cerca de 12% as vazões de pico, reduzir falhas e proporcionar uma otimização permitindo um maior tempo de vida útil do sistema de drenagem urbana com o uso de dispositivos de drenagem sustentável.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de situações corriqueiras percebidas nas cidades do país que envolvem problemas de drenagem quando há a ocorrência de precipitações mais intensas do que as habituais, com o surgimento de alagamentos e enchentes, por exemplo, a proposta dos sistemas sustentáveis de drenagem urbana é de grande valia para otimizar sistemas de drenagem convencionais sem grandes alterações estruturais e permitir a redução de vazões de pico que ocasionam falhas nos sistemas ao longo dos anos.

Utilizando-se um loteamento de São Miguel do Oeste – SC já com o projeto de drenagem urbana devidamente realizado, foi possível através do software EPA SWMM simular situações de chuvas de projeto para períodos de retorno de 1, 2 e 5 anos, aplicando-as em cenários sem a utilização de sistemas sustentáveis de drenagem urbana, com o uso de barris de chuva, pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração de forma isolada em cada um dos três dispositivos e também com a combinação dos mesmos, sendo possível analisar o comportamento das vazões de pico nos exutórios das sub-bacias em cada cenário.

Para a inserção de cada dispositivo no EPA SWMM, foi necessário realizar seus respectivos dimensionamentos, sendo utilizada para isso a literatura especializada disponível no próprio manual do software, bem como normas técnicas além de manuais sobre o tema. Para a obtenção das chuvas de projeto procedeu-se com o uso da equação intensidade, duração e frequência da cidade de São José do Cedro – SC, próxima ao município onde está situado o loteamento estudado, em função da não disponibilidade da equação da IDF para São Miguel do Oeste – SC, gerando-se chuvas de projeto e distribuindo-as no tempo de duração através do Método dos Blocos Alternados.

Dessa forma, diante das análises realizadas com os três sistemas de drenagem urbana sustentável utilizados, percebe-se uma maior efetividade no uso de pavimentos permeáveis de forma isolada, visto que esses dispositivos reduziram em torno de 25% as vazões de pico. Os barris de chuvas diminuíram cerca de 12% das vazões de pico, assim como a combinação de dispositivos. O sistema menos efetivo foi o de trincheiras de infiltração, uma vez que conseguiram reduzir em aproximadamente 8% os valores das vazões. Também foi possível perceber que os

sistemas analisados não influenciaram no tempo de pico em nenhum dos casos, não sendo, portanto tão relevantes para esse fim. Além disso, em determinado trecho crítico do projeto analisado, percebeu que em precipitações com período de retorno de 5 anos, ocorreram falhas com extravasamento de água pluvial para a via pública, situação essa que foi solucionada com o uso dos barris de chuva, pavimentos permeáveis e com a combinação dos três dispositivos.

Ademais, a implantação dos sistemas sustentáveis de drenagem urbana foi efetiva na equiparação das vazões de pico para períodos de retorno de 2 e 5 anos com a utilização dos SuDS com as vazões de pico de período de retorno de 1 e 2 anos sem o uso dos sistemas sustentáveis. Assim, com a inserção dos dispositivos no loteamento estudado, seria possível otimizar o sistema projetado e garantir que não ocorresse falhas mesmo com chuvas mais intensas sem a necessidade de um redimensionamento da rede ou alterações estruturais.

Portanto, conclui-se que os sistemas sustentáveis de drenagem urbana são grandes aliados da engenharia em obras hidráulicas de drenagem pluvial, uma vez que complementam os sistemas convencionais e trazem benefícios que otimizam os mesmos e permitem um melhor manejo do escoamento gerado pelas precipitações. Dessa forma, incentiva-se a utilização desses sistemas em obras já estabelecidas bem como em obras futuras pois podem fornecer melhor segurança hidráulica sem necessariamente precisar de maiores dimensionamentos e custos e evitando problemas à população decorrentes da gestão não eficiente dos volumes de chuva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, Mariele de Souza Parra; POLETO, Cristiano. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos. *Holos Environment*, v. 12, n. 2, p. 121-131, 2012.

ALMEIDA, Isis de Castro. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: uma proposta para a bacia hidrográfica do Córrego São Pedro, em Juiz de Fora – MG. Orientador: Prof. M.Sc., Fabiano Cesar Tosetti Leal. Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2020. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental//files/2020/10/TFC2-Isis-de-Castro-Almeida1.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2022.

ARAÚJO, Iolanda Maria Gonçalves. Estratégias de mitigação do risco de cheia aplicadas ao estudo de caso da ribeira da Laje no concelho de Oeiras. 2013.

ARAÚJO, Paulo Roberto de; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; GOLDENFUM, Joel Avruch. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. *RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 5, n. 3 (jul./set. 2000), p. 21-29, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15527: Aproveitamento de Água de Chuva de Coberturas para Fins Não Potáveis. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

BEUX, Fernanda Christine; OTTONI, Adacto Benedicto. Métodos alternativos de drenagem a partir da retenção e infiltração das águas de chuva no solo, visando a redução das enchentes urbanas. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 3, n. 17, 2015.

BRITO, Fausto. O deslocamento da população brasileira para as metrópoles. *Estudos avançados*, v. 20, p. 221-236, 2006.

CASTELO-BRANCO, Marta Almeida Silva. Coberturas Ajardinadas: Influência dos Substratos na Gestão de Águas Pluviais. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Tecnica de Lisboa (Portugal).

CHRISTOFIDIS, Demetrios; ASSUMPÇÃO, Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes; KLIGERMAN, Débora Cynamon. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. Saúde em Debate, v. 43, p. 94-108, 2020.

CHRISTOFIDIS, Hugo do Vale. Drenagem urbana sustentável: análise do uso do Retrofit. 2010.

COSTA, Ana Cristina Martins da. Águas pluviais em meio urbano contribuição de Lisboa para o seu uso sustentável. 2010. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

COSTA, J.; ALEANDRI, G. A.; POLETO, C. Experimental Studies of Green Roof Systems as part of Sustainable Urban Watershed in order to minimize the problems of flooding. Anais: XII International Confer. of Urban Drainage (ICUD). Porto Alegre, p. 11-16, 2011.

DOS SANTOS JÚNIOR, Valdevino José; SANTOS, Carolina Oliveira. A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas. Estação Científica (UNIFAP), v. 3, n. 1, p. 19-30, 2014.

FERGUSON, B. K. Porous Pavements. Integrative Studies in Water Management and Land Development. Florida, 2005.

GUTIERREZ, L. A. R. Avaliação da qualidade da água de chuva e de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração no tratamento do escoamento superficial direto predial em escala real em São Carlos – SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia).

HENEINE, M.C.A.S. Cobertura Verde. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 49 p., 2008.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HIDRÁULICA EM SANEAMENTO (LENHS). Manual do Usuário EPA SWMM 5.0: modelo de gestão de drenagem urbana. Paraíba: Editora UFPB, 2012.

LEITE, Maria Beatriz Ayello. Telhados Verdes. Ambientebrasil. 2019. Disponível em: <<https://noticias.ambientebrasil.com.br/redacao/2019/06/19/152571-telhados-verdes.html>>. Acesso em: 11 mai. 2022.

LOPES, Edmilson A.; MENDONÇA, Francisco. Urbanização e recursos hídricos: conflitos socioambientais e desafios à gestão urbana na franja leste da região metropolitana de Curitiba (RMC)-Brasil. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, 2010

LOURENÇO, Rossana Ramos de Abreu. Sistemas urbanos de drenagem sustentáveis. 2014. Tese de Doutorado.

MATOS, J. Drenagem Urbana na Europa no Séc. XXI: Problemas, Desafios, Soluções e Perspectivas. ARH do Tejo - InfoTejo, N.º 7, pp. 2-3. 2010.

MIKKELSEN, Peter Steen; JACOBSON, Per; FUJITA, Shoichi. Infiltration practice for control of urban storm water. Journal of Hydraulic Research, v. 34, n. 6, p. 827-840, 1996.

OLIVEIRA, Laurent Feu Grancer Silva. Dimensionamento e análise de desempenho hidráulico de estacionamentos com drenagem convencional e pavimento permeável, apoiado por modelagem computacional. Rio de Janeiro, 2018.

PINTO, Liliane Lopes Costa Alves. O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

POLETO, Cristiano; TASSI, Rutinéia. Sustainable urban drainage systems. *Drainage Systems*, p. 55-72, 2012.

POLEZA, M. M; MACHADO, O. Medidas estruturais e não estruturais implementadas para minimizar impactos com as inundações no município de Taió, Artigo apresentado ao Programa de Desenvolvimento Regional Sustentável do Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí (UNIDAVI). Rio do Sul, SC. 2017

ROSSMAN, Lewis A.; UFPB, LEEHS. SWMM 5.0 Manual do Usuário. Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati, 2010.

SANTOS, João Pedro Moreira dos et al. Gestão de águas pluviais urbanas: mudança do paradigma nos sistemas públicos de drenagem. 2010.

SILVA, Joseleide Pereira da. Estudos preliminares para implantação de trincheiras de infiltração. 2007.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Drenagem urbana: aspectos de gestão. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da; GOLDENFUM, Joel Avruch. Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. *Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos*. Porto Alegre, RS. Vol. 12, no. 2 (abr./jun. 2007), p. 157-168, 2007.

SUDERHSA, CH2M HILL DO BRASIL. Manual de drenagem urbana–Região metropolitana de Curitiba/PR-versão 1.0. Suderhsa–Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Não publicado, 2002.

TASSI, Rutinéia et al. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 1, p. 139-154, 2014.

TUCCI, Carlos EM. *Gestão da drenagem urbana*. 2012.

TUCCI, Carlos EM. *Inundações urbanas*. Porto Alegre: ABRH/Rhama, v. 11, 2007.

URBONAS, Ben; STAHRÉ, Peter. *Stormwater: Best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management*. 1993.

VASCO, João Ricardo Justino. *Sistemas urbanos de drenagem sustentável*. 2017. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

WOODS-BALLARD, Bridget et al. *The SUDS manual*. London: Ciria, 2007

**APÊNDICE A - CÁLCULO DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTOS
PERMEÁVEIS.**

Com a equação IDF de São José do Cedro, foi possível definir os parâmetros a e b na equação (3), que foi utilizada para calcular o volume máximo de acumulação na área de estudo.

(3)

$$V_{max} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{\beta} * T^{\frac{b}{2}} - \sqrt{\frac{c}{60}} \sqrt{q_s} \right)$$

Para:

$$\beta = \frac{A_{pav} + C * A}{A_{pav}} \quad (4)$$

Onde:

β : coeficiente adimensional

A_{pav} : Área pavimentada

A : Área de contribuição do pavimento

C : Coeficiente de Escoamento

Como a área dos pavimentos (A) é dada pela soma das áreas impermeáveis em que o cenário adotado de pós-ocupação foi de 70% de área ocupada, obtém-se:

$$A = 7,55\text{Ha}$$

$$A_{pav} = 1,01 \text{ Ha}$$

Para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial, foi realizada uma média ponderada das áreas, levando em consideração cada coeficiente para sua respectiva área. Esses coeficientes foram retirados da Figura 37.

Figura 37 - Valores do coeficiente de escoamento

Tipo de superfície	Valor recomendado	Faixa de variação
Concreto, asfalto e telhado	0,95	0,90 – 0,95
Paralelepípedo	0,70	0,58 – 0,81
Blockets	0,78	0,70 – 0,89
Concreto e asfalto poroso	0,03	0,02 – 0,05
Solo compactado	0,66	0,59 – 0,79
Matas, parques e campos de esporte	0,10	0,05 – 0,20
Gramma solo arenoso	0,10	0,08 – 0,18
Gramma solo argiloso	0,20	0,15 – 0,30

Fonte: SUDERHSA (2002)

Então a média ponderada foi dada segundo a equação (5).

(5)

$$C = \frac{0,80 * A_{Edif} + 0,95 * A_{Rua}}{A_{Edif} + A_{rua}}$$

Com os valores considerados, obtém-se um valor de $C = 0,84$.

Aplicando-se na a equação (4) temos que $\beta = 7,28$.

Segundo a literatura, nos cambissolos a velocidade de infiltração é de 72,84 mm/hr.

Para obter a vazão de saída (q_s) do pavimento, foi adotado um coeficiente redutor conservador de 0,1.

Então:

$$q_s = V_i * \alpha \quad (6)$$

Com isso temos que $q_s = 7,23 \text{ mm/h}$.

Aplicando os valores encontrados na equação (3) e ainda considerando maior tempo de retorno de 5 anos, obtém-se:

$$V_{\max} = 196,28 \text{ mm}$$

Com a profundidade da camada sendo dada por:

$$H_p = \frac{V_{\max}}{\eta} \quad (7)$$

E η sendo a porosidade do material do pavimento, definido como brita com porosidade de 0,35, defini-se a altura como:

$$H_p = 560 \text{ mm ou } 56 \text{ cm}$$

**APÊNDICE B – CALCULO DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS TRINCHEIRAS
PERMEÁVEIS**

Com a equação IDF de São José do Cedro, foi possível definir os parâmetros a e b na equação (8), que foi utilizada para calcular a altura do reservatório abaixo da trincheira na área de estudo.

$$H = \left\{ \frac{k_1(k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta - k_2^2} \right\} \quad (8)$$

Onde:

H: Altura do reservatório

η : Porosidade do material

K_1 e K_2 serão calculados

Para k_1 :

$$K_1 = \sqrt{\frac{a}{60}} * \sqrt{\beta} * T^{\frac{b}{2}} \quad (9)$$

Em que:

$$\beta = \frac{C * A}{B * L} \quad (10)$$

Assim, obtém-se $K_1 = 29,85$

Para K_2 :

$$K_2 = \sqrt{\frac{c}{60}} * \sqrt{\gamma} * \sqrt{q_s} \quad (11)$$

Em que:

$$\gamma = \frac{2(L + B)}{B * L} \quad (12)$$

Assim, obtém-se $K_2 = 2,27$

Com os valores de K_1 e K_2 aplicados na equação (8), encontra-se:

$$H = 189 \text{ mm ou } 18,9 \text{ cm}$$

**APÊNDICE C – RESULTADOS DAS CHUVAS DE PROJETO PELO MÉTODO
DOS BLOCOS ALTERNADOS**

Tabela 1 - Cálculo da chuva de projeto para período de retorno de um ano

Intervalo	td (min)	i (mm/h)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação no intervalo (mm)	td (min)	Precipitação no intervalo (mm)
1	1,5	138,48	3,46	3,46	1,50	0,76
2	3	127,75	6,39	2,93	3,00	0,83
3	4,5	118,82	8,91	2,52	4,50	0,92
4	6	111,27	11,13	2,21	6,00	1,03
5	7,5	104,77	13,10	1,97	7,50	1,17
6	9	99,11	14,87	1,77	9,00	1,36
7	10,5	94,14	16,47	1,61	10,50	1,61
8	12	89,73	17,95	1,47	12,00	1,97
9	13,5	85,79	19,30	1,36	13,50	2,52
10	15	82,23	20,56	1,26	15,00	3,46
11	16,5	79,02	21,73	1,17	16,50	2,93
12	18	76,09	22,83	1,10	18,00	2,21
13	19,5	73,40	23,86	1,03	19,50	1,77
14	21	70,94	24,83	0,97	21,00	1,47
15	22,5	68,66	25,75	0,92	22,50	1,26
16	24	66,56	26,62	0,87	24,00	1,10
17	25,5	64,60	27,45	0,83	25,50	0,97
18	27	62,77	28,25	0,79	27,00	0,87
19	28,5	61,07	29,01	0,76	28,50	0,79
20	30	59,47	29,73	0,73	30,00	0,73

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 2 - Cálculo da chuva de projeto para período de retorno de dois anos

Intervalo	td (min)	i (mm/h)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação no intervalo (mm)	td (min)	Precipitação no intervalo (mm)
1	1,5	155,50	3,89	3,89	1,50	0,85
2	3	143,45	7,17	3,29	3,00	0,93
3	4,5	133,43	10,01	2,83	4,50	1,03
4	6	124,94	12,49	2,49	6,00	1,16
5	7,5	117,64	14,71	2,21	7,50	1,31
6	9	111,29	16,69	1,99	9,00	1,52
7	10,5	105,71	18,50	1,81	10,50	1,81
8	12	100,76	20,15	1,65	12,00	2,21
9	13,5	96,33	21,67	1,52	13,50	2,83
10	15	92,34	23,08	1,41	15,00	3,89
11	16,5	88,73	24,40	1,31	16,50	3,29
12	18	85,44	25,63	1,23	18,00	2,49
13	19,5	82,42	26,79	1,16	19,50	1,99
14	21	79,66	27,88	1,09	21,00	1,65
15	22,5	77,10	28,91	1,03	22,50	1,41
16	24	74,73	29,89	0,98	24,00	1,23
17	25,5	72,54	30,83	0,93	25,50	1,09
18	27	70,49	31,72	0,89	27,00	0,98
19	28,5	68,57	32,57	0,85	28,50	0,89
20	30	66,78	33,39	0,82	30,00	0,82

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 3 - Cálculo da chuva de projeto para período de retorno de cinco anos

Intervalo	td (min)	i (mm/h)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação no intervalo (mm)	td (min)	Precipitação no intervalo (mm)
1	1,5	181,24	4,53	4,53	1,50	0,99
2	3	167,20	8,36	3,83	3,00	1,09
3	4,5	155,52	11,66	3,30	4,50	1,20
4	6	145,62	14,56	2,90	6,00	1,35
5	7,5	137,12	17,14	2,58	7,50	1,53
6	9	129,72	19,46	2,32	9,00	1,77
7	10,5	123,21	21,56	2,10	10,50	2,10
8	12	117,44	23,49	1,93	12,00	2,58
9	13,5	112,28	25,26	1,77	13,50	3,30
10	15	107,63	26,91	1,64	15,00	4,53
11	16,5	103,42	28,44	1,53	16,50	3,83
12	18	99,58	29,87	1,43	18,00	2,90
13	19,5	96,07	31,22	1,35	19,50	2,32
14	21	92,84	32,50	1,27	21,00	1,93
15	22,5	89,87	33,70	1,20	22,50	1,64
16	24	87,11	34,84	1,14	24,00	1,43
17	25,5	84,54	35,93	1,09	25,50	1,27
18	27	82,16	36,97	1,04	27,00	1,14
19	28,5	79,92	37,96	0,99	28,50	1,04
20	30	77,83	38,92	0,95	30,00	0,95

Fonte: Autoria própria (2022)