



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP
Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo

HELENYLSON JESUS PEREIRA

**MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS COM UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS
SUSTENTÁVEIS: UM ESTUDO DE APLICAÇÃO PARA O HIDS**

CAMPINAS

2021



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP
Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo

HELENYLSON JESUS PEREIRA

**MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS COM UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS
SUSTENTÁVEIS: UM ESTUDO DE APLICAÇÃO PARA O HIDS**

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Especialista em Arquitetura, Urbanismo e Engenharia Civil.

Orientador: Dr. José Gilberto Dalfré filho

CAMPINAS

2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

P414m Pereira, Helenilson Jesus, 1995-
Manejo de águas pluviais urbanas com utilização de sistemas sustentáveis :
Um estudo de aplicação para o HIDS / Helenilson Jesus Pereira. – Campinas, SP
: [s.n.], 2021.

Orientador: José Gilberto Dalfré Filho.

Trabalho de Conclusão de Curso (especialização) – Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Desenvolvimento urbano sustentável. 2. Drenagem. 3. Aguas pluviais -
Drenagem. 4. Hidrologia urbana. I. Dalfré Filho, José Gilberto, 1976-. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo. III. Título.

Informações adicionais, complementares

Palavras-chave em inglês:

Sustainable urban development

Drainage

Rainwater - Drainage

Urban hydrology

Titulação: Especialista em Arquitetura, Urbanismo e Engenharia Civil

Data de entrega do trabalho definitivo: 13-09-2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, pelo dom da vida, pela sabedoria dada no decorrer dessa jornada, logo após agradeço aos meus pais, José Carlos Rodrigues Pereira e Maria Lizonete Jesus Pereira, por todo amor e confiança que sempre tiveram em mim. À minha esposa Nayara por todo apoio, compreensão e companheirismo nos momentos bons e difíceis desta etapa.

Ao Prof. Dr. José Gilberto Dalfré Filho, orientador deste trabalho, pela oportunidade concedida e por todo conhecimento compartilhado. Agradeço também aos demais mestres que estiveram presentes no decorrer do curso, por dividirem seus conhecimentos que foram de grande relevância.

Aos colegas de curso, que apesar da distância foram fundamentais nesta caminhada, onde sempre estiveram dispostos a ajudar, independentemente das dificuldades.

Ao Fundo de Apoio ao Ensino, à Pesquisa e à Extensão (FAEPEX), pela bolsa de estudos que possibilitou a dedicação integral ao programa de pós graduação e a realização deste estudo.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo conceituar e modelar dispositivos de drenagem urbana sustentáveis visando auxiliar no planejamento do manejo de águas pluviais no HUB Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS), que se trata de uma iniciativa com proposta construir um espaço voltado a prover contribuições concretas para o desenvolvimento sustentável de forma ampla. O mesmo possui uma área de 1130 ha (ou 11,33 km²), que abrange duas microbacias de Campinas, a do Ribeirão Anhumas e a do Ribeirão das Pedras. A maior parte da área do HIDS é drenada diretamente pelo Ribeirão das Anhumas, que corre ao leste da área, no sentido sul-norte. Este estudo de aplicação foi realizado na área do Platô Central do HIDS, localizada na região a norte da Fazenda Argentina. Nesse sentido esta pesquisa buscou modelar soluções de microdrenagem baseadas na natureza buscando atender o cenário físico-espacial do HIDS, com a utilização de medidas de controle na fonte, tais jardins de chuva e bacias de retenção, visando utilizar mecanismos com princípios similares aos encontrados na natureza para mitigar os impactos causados pela urbanização, auxiliando na manutenção das vazões do cenário pré-ocupação e redução da poluição difusa.

Palavras-chave: HIDS. Drenagem urbana. Soluções baseadas na natureza.

ABSTRACT

This study aims to conceptualize and model sustainable urban drainage devices to assist in planning stormwater management at the International HUB for Sustainable Development (HIDS), which is an initiative with the proposal to build a space that aims to make concrete contributions to the sustainable development, most widely. It has an area of 1130 ha (or 11.33 km²), which covers two micro-watersheds in Campinas, Ribeirão Anhumas and Ribeirão das Pedras. Most of the HIDS area is directly drained by the Ribeirão das Anhumas, which runs to the east of the area, in a south-north direction. This case study was carried out in the area of the Central Plateau of HIDS, located in the northern region of Fazenda Argentina. In this sense, this research sought to model natural-based microdrainage solutions seeking to meet the physical-spatial scenario of HIDS, with the use of control measures at the source, such as rain gardens and detention basins, using mechanisms with principles as found in nature to mitigate the impacts caused by urbanization, helping to maintain the flow of the pre-occupation scenario and reduce the diffuse pollution.

Keywords: HIDS. Urban drainage. Nature-based solutions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática do ciclo hidrológico	15
Figura 2 - Efeitos da impermeabilidade no escoamento e infiltração	16
Figura 3 – Jardins de chuva	21
Figura 4 - Pavimentos Permeáveis	21
Figura 5 - Trincheira de infiltração.....	22
Figura 6 - Desenho esquemático de um exemplo de reservatório de retenção.....	22
Figura 7 - Bacia de infiltração	23
Figura 8 - Vala de infiltração.....	24
Figura 9 - Fluxograma da pesquisa.....	26
Figura 10 - Hidrogramas típicos de pequenas áreas urbanas, onde o tempo de concentração é muito pequeno	29
Figura 11 – Macrolocalização do platô central	31
Figura 12 – Vista isométrica do platô central.....	32
Figura 13: Subáreas do HIDS (Vermelho: contorno HIDS e verde: contorno Platô Central)..	36
Figura 14: Subáreas internas do Platô Central.....	37
Figura 15: distribuição dos dispositivos de drenagem na subárea A-1	41
Figura 16: distribuição dos dispositivos de drenagem na subárea A-2	42
Figura 17: distribuição dos dispositivos de drenagem na subárea A-3	42
Figura 18: distribuição dos dispositivos de drenagem na subárea A-4	43
Figura 19: distribuição dos dispositivos de drenagem na subárea A-5	44
Figura 20: distribuição dos dispositivos de drenagem na subárea A-6	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais elementos da rede de microdrenagem	18
Tabela 2 - Tempos de retorno para sistemas de drenagem urbanos	27
Tabela 3 - Sistema de pontuação para avaliação de possíveis locais de implantação de dispositivos de infiltração e/ou percolação.....	28
Tabela 4 - Valores de C de acordo com superfícies de revestimento.....	33
Tabela 5 - Características das áreas de contribuição	37
Tabela 6 – Volume de reservação.....	38
Tabela 7 – Pontuação para definição da utilização de dispositivos de infiltração	39
Tabela 8 – Quantitativo de dispositivos de retenção A-1	40
Tabela 9 – Quantitativo de dispositivos de retenção A-2	41
Tabela 10 – Quantitativo de dispositivos de retenção A-3	42
Tabela 11 – Quantitativo de dispositivos de retenção A-4	43
Tabela 12 – Quantitativo de dispositivos de retenção A-5	44
Tabela 13 – Quantitativo de dispositivos de retenção A-6	45
Tabela 14 – Vazões de saída.....	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVOS.....	11
1.1.1. Gerais.....	11
1.1.2. Específicos.....	11
1.2. Justificativa.....	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS).....	13
2.2. Processos hidrológicos e a urbanização	14
2.2.1. Ciclo hidrológico a bacias hidrográficas	14
2.2.2. Impactos da urbanização	15
2.3. Princípios da drenagem urbana	17
2.3.1. Microdrenagem	17
2.3.2. Macrodrenagem.....	19
2.4. Soluções baseadas na natureza	20
2.4.1. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana	20
2.5. Vantagens e desvantagens da utilização de técnicas sustentáveis em substituição das tradicionais	24
3. METODOLOGIA	26
3.1. Característica da pesquisa	26
3.2. Etapas do projeto	26
3.3. Critérios de projeto.....	27
3.4. Equacionamento dos dispositivos de drenagem urbana sustentáveis (SUDS) ...	27
3.4.1. Viabilidade da implantação de dispositivos de infiltração.....	27
3.4.2. Dispositivos de reservação	29
3.5. Local de estudo.....	31
3.6. Coleta de dados	32

3.7.	Análise hidrológica local	32
3.8.	Modelagem dos dispositivos na área de estudo	34
3.9.	Análise do estudo de caso do HIDS	35
4.	RESULTADOS E ANÁLISES	36
4.1.	Áreas de contribuição	36
4.2.	Volume de reservação	37
4.3.	Dispositivos de controle na fonte	38
4.3.1.	Subárea A-1	40
4.3.2.	Subárea A-2	41
4.3.3.	Subárea A-3	42
4.3.4.	Subárea A-4	43
4.3.5.	Subárea A-5	44
4.3.6.	Subárea A-6	44
4.4.	Análise de desempenho	45
5.	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

O Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS) é uma iniciativa idealizada para funcionar como um complexo de laboratórios vivos, com a intenção de se tornar uma referência internacional de distrito inteligente e sustentável, capaz de proporcionar um modelo de desenvolvimento regional que impulse o desenvolvimento inovador e sustentável, tornando-se um centro de inovação líder na América Latina (MARIUZZO, 2020). O mesmo possui uma área de aproximadamente 1130 ha (ou 11,30 km²), que está inserido em duas microbacias de Campinas, a do Ribeirão Anhumas e a do Ribeirão das Pedras. A maior parte da área é drenada diretamente pelo Ribeirão das Anhumas, que corre ao leste da área, no sentido sul-norte (DEPI, 2021).

A precipitação em uma bacia rural como a do HIDS atualmente tem a oportunidade de infiltrar, ser retida por depressões e vegetações e evaporar pelo tempo que fica retida ou se desloca na bacia. Devido ao processo de urbanização, e consequentemente aumento das superfícies impermeáveis, ocorre um aumento no escoamento superficial e no tempo de concentração, diminuindo a capacidade de infiltração e elevando as vazões de pico (TUCCI, 2016).

Geralmente, as alternativas para lidar com os problemas das enchentes urbanas ocasionadas pela urbanização e consequentemente impermeabilização do solo quase sempre são idealizadas como obras de caráter corretivo, partindo do conceito higienista, onde as águas devem ser afastadas o mais breve possível através de dispositivos hidráulicas. No entanto, a preocupação da manutenção dos sistemas naturais de drenagem como meio de conservar a capacidade de infiltração do solo e, assim, amenizar os problemas relacionados com as inundações decorrentes da urbanização, tem se tornado cada vez mais presente (MARTINS, 2006).

Desde o início do século XXI, o conceito de Soluções baseadas na Natureza (SbN) vem ganhando destaque entre os órgãos internacionais e como uma aposta para a adaptação às mudanças climáticas. As SbN's são técnicas que se inspiraram ou tomaram como base processos encontrados na natureza, visando gerar benefícios sociais, ambientais e econômicos para a sociedade de forma geral (FRAGA; ALEIDA; SAYAGO, 2020).

A fim de enfrentar desafios como o risco de inundações, adota-se uma das SbN's, que se trata do Sistema de Drenagem Sustentável (SUDS), que tem como objetivo minimizar os efeitos da urbanização na quantidade e qualidade do deflúvio, visando maximizar a oferta de

bem estar e biodiversidade. Dessa forma visando reduzir o volume que escoar superficialmente, diminuindo assim a possibilidade de ocorrência de enchentes (GONÇALVES; NUCCI, 2017).

Portanto, esta pesquisa faz uma abordagem com a utilização desses dispositivos, os chamados sistemas sustentáveis de drenagem urbana (SUDS), com o intuito de maximizar o controle na fonte, buscando reduzir os volumes escoados superficialmente.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Gerais

Apresentar, conceituar e modelar dispositivos de drenagem baseados na natureza voltados para as características físico-espaciais do HIDS, visando auxiliar no planejamento do manejo de águas pluviais dos futuros empreendimentos.

1.1.2. Específicos

- Apresentar e conceituar os sistemas de drenagem urbana sustentáveis deste estudo;
- Analisar o comportamento hidrológico local;
- Desenvolver uma proposta de implementação;
- Modelar os dispositivos de drenagem urbana sustentáveis no HIDS;
- Avaliar a eficácia dos dispositivos estudados;

1.2. Justificativa

Esta pesquisa se justifica pela importância de se conhecer técnicas de drenagem urbana que minimizem o impacto ambiental e que sejam eficientes quanto ao controle de enchentes. Haja visto que devido o rápido crescimento das cidades, está ocorrendo uma substituição significativa da camada vegetal do solo por superfícies impermeáveis, trazendo várias consequências negativas, como a redução do tempo de concentração e a diminuição da capacidade de infiltração das bacias hidrográficas, fazendo assim com que ocorra um aumento no escoamento superficial gerando uma elevação das vazões de pico que desembocam a jusante do corpo receptor.

O presente estudo visa conceituar, modelar e auxiliar no planejamento dos dispositivos de drenagem pluviais dos futuros empreendimentos na área do HIDS, com a utilização de dispositivos compensatórios, promovendo o controle na fonte por meio de soluções baseadas na natureza, buscando oferecer um desempenho satisfatório de forma que atendam às necessidades locais, porém analisando os impactos a jusante.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS)

A Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) adquiriu em 2013 a Fazenda Argentina, uma área à leste do campus da Universidade, localizada no Distrito de Barão Geraldo, em Campinas com área de aproximadamente 1,4 milhões de m². Aquisição essa que gerou uma expansão de 60% de área no campus, que gerou diversas discussões entre o quadro técnico da Universidade sobre as formas de ocupar essa área, tendo como objetivo promover o desenvolvimento sustentável e justo, visando atender os anseios da sociedade, além de fortalecendo a agenda estratégica do Brasil, especialmente no sentido de gerar novos modelos mais sustentáveis nos pontos de vista econômico e socioambiental. A ocupação da área é considerada como uma oportunidade de explorar iniciativas visando promover, atender e incentivar a Agenda 2030, com os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (2015). Desde então passou-se a considerar a possibilidade de criar um Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS) na Fazenda Argentina.

O HIDS busca apresentar um ambiente capaz de articular ações por meio de parcerias e cooperações entre instituições com competências e interesses voltados a promover contribuições concretas para o desenvolvimento sustentável de forma ampla, incluindo as ações que tenham impactos nos diversos eixos, tais como social, econômico e ambiental. E visa contribuir para o processo do desenvolvimento sustentável, através de esforços nacionais e internacionais buscando gerar conhecimento, tecnologias inovadoras e educação das futuras gerações, amortecendo e superando as fragilidades sociais, ambientais e econômicas da sociedade (DEPI, 2018).

Com a evolução das atividades que poderiam ser desenvolvidas no HIDS, tornou-se evidente a sinergia e a oportunidade desta iniciativa com a vocação dos diversos atores que já compõem a região do Ciatec II, um Polo de Alta Tecnologia situado em uma área de 8,8 milhões de metros quadrados, no qual uma parte da Unicamp se encontra. A região do Ciatec II é identificada como Polo Estratégico de Desenvolvimento do município de Campinas (DEPI, 2018).

Desta forma, levando-se em consideração as oportunidades e os desafios relacionados aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, o reconhecimento da área como um Polo Estratégico de Desenvolvimento e as vocações dos atores já presentes nesta. A prospecção do HIDS avançou, tendo as universidades como centralidades atratoras e irradiadoras de

conhecimento para promover, com Campinas e região, a criação de um distrito sustentável, com impacto diretor local e regional, tendo como referência internacional as *smart cities*. Portanto, o HIDS passou a compreender toda a área que contém a região do Ciatec II, da PUC-Campinas e da Unicamp (MARIUZZO, 2020).

O HIDS está sendo idealizado para atuar como um laboratório vivo, com a intenção de se tornar um modelo internacional de distrito inteligente e sustentável em seu sentido amplo. Para isso, será preciso explorar o uso misto do solo e adotar como referência as melhores práticas mundiais de cidades que planejaram seus espaços urbanos ancorados em princípios sustentáveis e inovadores.

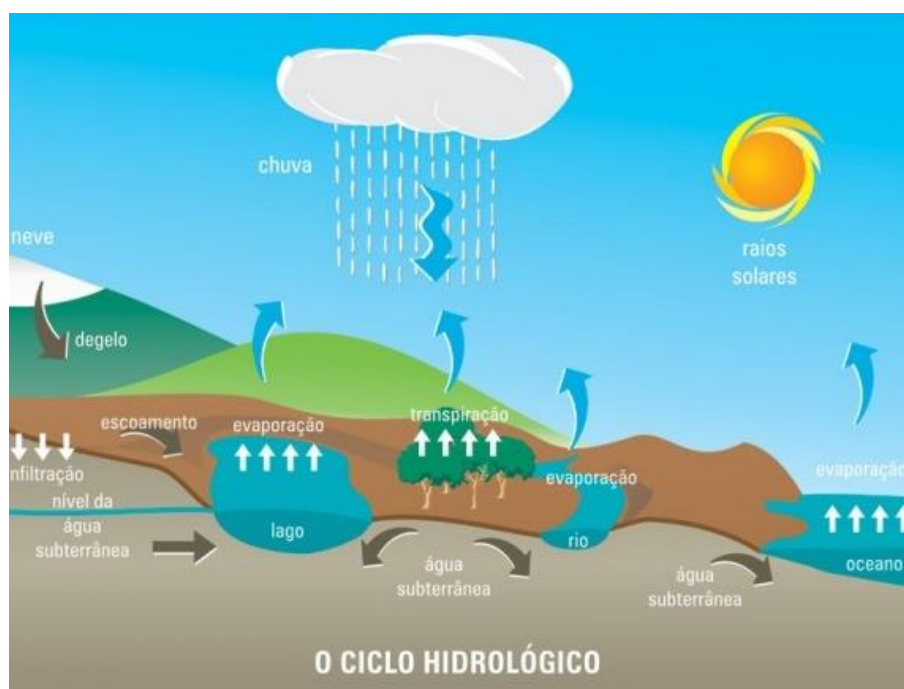
2.2. Processos hidrológicos e a urbanização

2.2.1. Ciclo hidrológico a bacias hidrográficas

Rocha e Santos (2018) definem a bacia hidrográfica como “um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado na saída da Bacia Hidrográfica”. Nesse contexto, observa-se uma dinâmica natural que conta, ainda, com as perdas pelo processo de evapotranspiração da água. Os autores apontam que, nos casos de bacias de grande extensão, os efeitos climáticos também interferem fortemente no padrão de runoff no exutório, isto é, no volume escoado na saída do corpo hídrico.

O bom entendimento do ciclo hidrológico natural é essencial para a correta identificação dos impactos que o processo de urbanização pode desencadear sobre o mesmo. Paz (2004) define as etapas do ciclo hidrológico iniciando-se pela evaporação da água dos oceanos. Este vapor sobe até se agrupar na atmosfera formando nuvens, que começam a saturar e as águas contidas nesta camada de ar se precipitam, podendo ser em forma de chuva, neve ou granizo. Ainda segundo o autor, chegando ao solo uma parte desta água se perde ao longo de todo o percurso de queda, outra parte fica nas vegetações e a maior porcentagem percola na superfície do solo em direção aos lagos, rios entre outros. Grande parte deste escoamento infiltra no solo, carregando os aquíferos que conduzem esta água pelo lençol freático em direção aos corpos de água, concluindo todo o ciclo hídrico que é constante e ininterrupto.

Figura 1 - Representação esquemática do ciclo hidrológico



Fonte: Oliveira, Silva e Henriques (2009)

O processo mostrado na Figura 1 não finda, ele é contínuo, daí o nome de ciclo hidrológico. Numa escala global, o ciclo hidrológico é fechado. Porém, se considerarmos em escala regional, podem existir alguns subciclos. No entanto, para que esse ciclo continue em seu curso natural, é necessário que não haja alteração nos volumes de água que permanecem em uma ou outra fase do processo, ou seja, na atmosfera, na superfície e no solo. Mesmo que todas as etapas do processo sejam importantes, normalmente o ciclo hidrológico é estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica (PAZ, 2004).

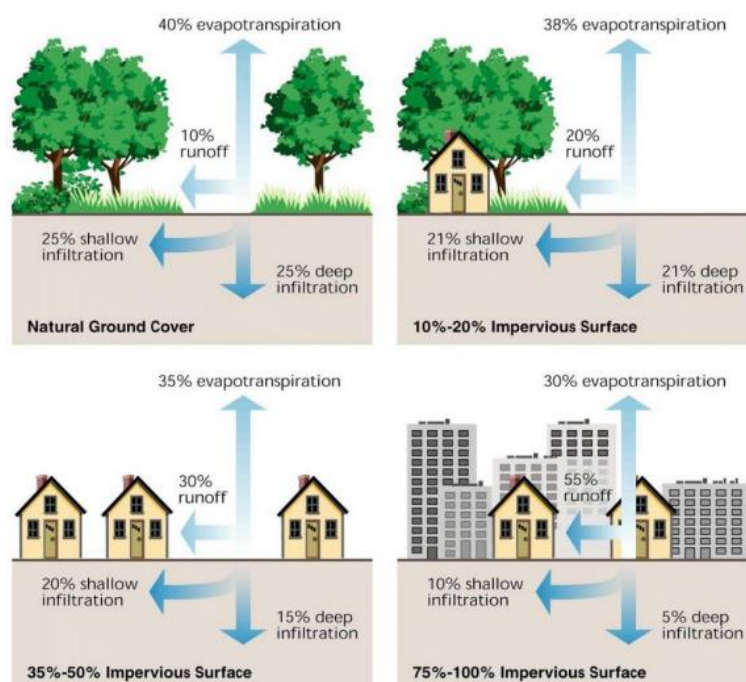
De acordo com Teresina (2011), embora o ciclo hidrológico seja um processo natural, diversas ações, dentre elas antrópicas e não antrópicas podem desestabilizar este equilíbrio. Entre as ações antrópicas que mais impactam o ciclo hidrológico natural, vale ressaltar o processo de urbanização, conforme discutido a seguir.

2.2.2. Impactos da urbanização

A precipitação numa bacia rural tem a oportunidade de infiltrar, ser retida por depressões e vegetações e evaporar pelo tempo que fica retida ou se desloca na bacia. Com a urbanização, a precipitação ocorre sobre espaços impermeáveis, aumentando assim o escoamento superficial e a velocidade de deslocamento por condutos e canais, diminuindo a

infiltração e reduzindo a evapotranspiração (Figura 2). Este processo produz aumento da vazão de cheia e o volume superficial do hidrograma (TUCCI, 2016).

Figura 2 - Efeitos da impermeabilidade no escoamento e infiltração



Fonte: FISRWG, 2001, apud CARDOSO, 2008, p.7

O aumento da vazão média de cheia, de uma bacia totalmente urbana, é da ordem de seis a sete vezes maior, com relação ao escoamento de condições da mesma bacia em condições rurais. Tucci (2007) mostrou, com dados da Região Metropolitana de Curitiba, aumento da vazão média de cheia de seis vezes na bacia do rio Belém, com relação as suas condições rurais.

Na grande maioria das cidades, o desenvolvimento urbano intensivo tem como resultado em uma grande parcela do solo pavimentado ou recoberto com superfícies impermeáveis, tais como ruas e passeios públicos. Árvores, vegetação e culturas agrícolas, que interceptam a precipitação, são removidas e as depressões naturais responsáveis por armazenarem água temporariamente, são transformadas em uma topografia uniforme, por meio de obras para terraplenagem. Por conta disso, solo torna-se severamente compactado, devido ao tráfego de veículos pesados, e esse processo conduz a um aumento do escoamento superficial durante a ocorrência de eventos de chuva, com consequente aumento das inundações. Somam-se a isso, os impactos causados pelas superfícies impermeáveis, como telhados, estacionamentos, e outras, que impedem a infiltração da água no solo (TERESINA, 2011).

A água, que antes conseguia infiltrar no solo, agora escoar de forma superficial, gerando um maior volume escoado superficialmente que, com maior velocidade, acaba convergindo para regiões de cota topográfica inferior, gerando assim focos de inundação. Pequenos eventos

de chuva, que anteriormente não chegavam a produzir escoamento superficial, passam a gerar significativos volumes escoados. Este cenário acarreta na transferência de impactos de montante para jusante, que acabam sendo transferidos à sociedade (CRUZ; TUCCI, 2008).

2.3. Princípios da drenagem urbana

Desde tempos remotos a humanidade buscou ocupar as margens dos corpos d'água, já que estes ofereciam abundância em água, fator essencial para a vida humana. Além de proporcionar vários outros benefícios, tais como a pesca, irrigação de culturas, locomoção pelas águas fluviais e dessedentação de animais. Por outro lado, essa proximidade oferecia alguns riscos por conta das inundações naturais desses corpos hídricos (TOMINAGA, 2013).

Segundo Tucci (1997), a finalidade básica da drenagem urbana é o escoamento rápido e eficiente das águas das chuvas em excesso até um local apropriado. Isto deve estar associado ao menor impacto ambiental possível, ou seja, a bons projetos de drenagem urbana, que são aqueles que procuram evitar modificações nas características do ciclo hidrológico do local em questão.

Segundo o Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (DEP/IPH, 2005), os sistemas de drenagem são definidos como: drenagem na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. A drenagem na fonte é definida pelo escoamento que ocorre no lote, condomínio, ou empreendimento individualizado.

A Lei Federal nº 11.445 de janeiro de 2007, define a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (BRASIL, 2007).

2.3.1. Microdrenagem

Segundo Tominaga (2013), a rede de microdrenagem, também conhecida como sistema inicial de drenagem ou coletor de águas pluviais, é composta pelo sistema de condutos e canais nos loteamentos ou na rede primária urbana associada ao sistema viário. Este tipo de sistema de drenagem é projetado para atender a drenagem de precipitações com risco hidrológico moderado, ou seja, para vazões de 2 a 10 anos de período de retorno. Os principais elementos que compõem a rede de microdrenagem são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais elementos da rede de microdrenagem

Terminologia	Descrição
Galeria	Canalizações utilizadas para a condução das águas pluviais que adentram o sistema por meio das bocas-de-lobo e das ligações privadas.
Poços de visita	Dispositivos localizados em pontos estratégicos do sistema de galerias para permitirem a inspeção e limpeza. Estes dispositivos devem ser posicionados, em média a cada 100 m, ao longo do sistema, para facilitar a inspeção e limpeza, ou em pontos onde ocorre mudança de direção, declividade e/ou diâmetro das galerias
Trecho	Porção da galeria situada entre dois poços de visita.
Boca de lobo	Dispositivos localizados nas sarjetas, em pontos estrategicamente localizados para a captação de águas pluviais. Podem ser do tipo: com grade de entrada, com grade lateral, com grade e entrada lateral e de fenda longitudinal.
Conduitos de ligação	Canalizações que conduzem as águas pluviais captadas nas bocas-de-lobo para as caixas de ligação ou poços de visita a jusante.
Caixas de ligação ou de passagem	Caixas de concreto ou alvenaria, sem tampão externo ou visitável ao nível da rua.
Meio fios	Estruturas dispostas entre o passeio e a via de rodagem, paralelas ao eixo da rua e cuja face superior posiciona-se no mesmo nível do passeio.
Sarjetas	Canais situados junto ao meio-fio e ao longo da via, que recebem as águas do escoamento superficial e as conduz para os locais de captação (bocas-de-lobo).
Sarjetões	Calhas localizadas nos cruzamentos de vias, que conduzem o fluxo das águas na travessia de ruas transversais ou desviam o

	fluxo de um lado para outro da rua. Os sarjetões podem ser formados pela própria pavimentação ou de concreto.
Estruturas de dissipação de energia hidráulica	Devem ser utilizadas nas saídas das galerias em cursos d'água para evitar a erosão causada pela concentração do escoamento pluvial.
Condutos forçados	Elementos que conduzem as águas pluviais sob pressão diferente da atmosférica.
Estações de bombeamento	Equipamentos utilizados para conduzir as águas pluviais em locais onde o escoamento por gravidade não é possível.

Fonte: Bidone e Tucci (1995)

O adequado dimensionamento e manutenção da rede de microdrenagem resultam em melhorias nas inconveniências ou interrupções das atividades urbanas quando da ocorrência de alagamentos e enxurradas (FCTH, 1999). A limpeza do sistema inicial de drenagem deve ser executada com periodicidade regular, devendo ser intensificada no período de chuvas. Atualmente, o gerenciamento dos serviços de limpeza pode contar com ferramentas tecnológicas como sistemas de gerenciamento e controle operacional em tempo real (SMDU, 2012).

2.3.2. Macrodrenagem

A rede de macrodrenagem tem por função a condução final dos escoamentos de diferentes sistemas de microdrenagem. Esta rede compreende as intervenções de fundo de vale e é constituída pelos canais abertos e fechados com dimensões maiores do que os condutos da microdrenagem, além da rede natural de drenagem das bacias, formadas pelos córregos, riachos e rios urbanos. Também fazem parte da macrodrenagem os reservatórios de amortecimento implantados para a contenção de cheias.

A macrodrenagem pode abranger áreas superiores a 4 km² ou 400 ha e os projetos desta rede devem considerar precipitações de 25 a 100 anos de tempo de retorno (FCTH, 1999).

Igualmente ao sistema de drenagem inicial a manutenção do sistema de macrodrenagem é de extrema importância para manter o funcionamento adequado das estruturas que compõe este sistema, evitando os riscos de inundação e os riscos inerentes à

poluição hídrica. As principais ações de um sistema de manutenção adequado devem estar voltadas para o desassoreamento de canais e manutenção de equipamentos e limpeza das estruturas de armazenamento (SMDU, 2012).

Os principais elementos que compõem a rede de macrodrenagem são normalmente estruturas de maiores dimensões, como canais naturais ou construídos, galerias de grandes dimensões e reservatórios de detenção e retenção.

2.4. Soluções baseadas na natureza

2.4.1. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana

O termo SUDS é utilizado para denominar técnicas sustentáveis para o controle de enchentes, minimizando os riscos de ocorrência de inundação e melhorando a qualidade dos corpos d'água.

Os sistemas convencionais de drenagem urbana são baseados no rápido escoamento do excesso pluvial, contribuindo para o aumento nos volumes e vazões de água e a diminuição no tempo do escoamento. Os sustentáveis visam compensar sistematicamente as consequências da urbanização, não só em quantidade, mas também em qualidade, agindo de forma mais integrada ao espaço como um todo, com o urbanismo e com menor impacto ao meio ambiente (RAMOS; PEDROZO, 2018).

2.4.1.1. Jardins de chuva

Os jardins de chuva consistem em uma escavação longitudinal rasa com solo preparado para o plantio de uma diversidade de espécies de plantas, sendo dimensionada para receber o escoamento pluvial, geralmente oriundo de uma área pequena de captação de água da chuva (Figura 3). Além de propiciar a infiltração, esses dispositivos permitem que as plantas, em conjunto com os micróbios presentes no solo realizam processos físicos, químicos e biológicos, removendo poluentes e controlando quantitativamente as águas pluviais (TERESINA, 2011).

Figura 3 – Jardins de chuva

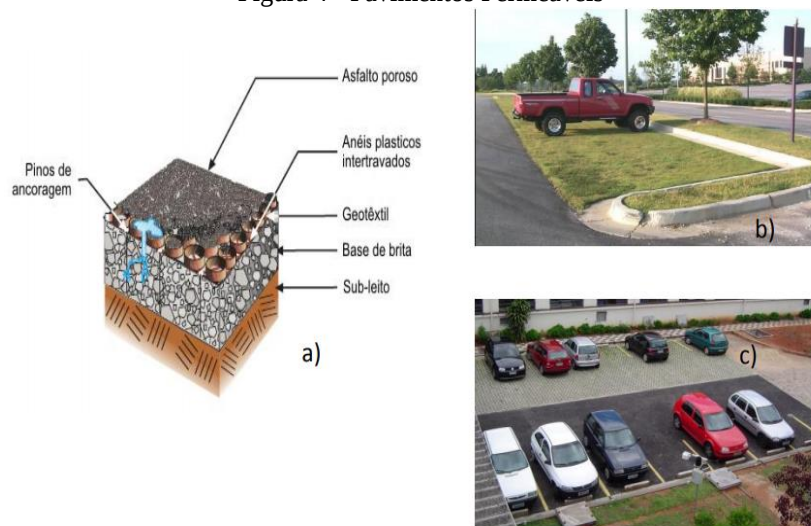


Fonte: (BULGARELI, 2020)Bulgareli (2020)

2.4.1.2. Pavimentos Permeáveis

Os pavimentos permeáveis consistem na utilização de concreto/pavimento poroso/blocos vazados em sua camada superior, além de uma camada de base (normalmente brita) e uma manta geotêxtil visando impedir a migração de material entre camadas (Figura 4) (TERESINA, 2011).

Figura 4 - Pavimentos Permeáveis



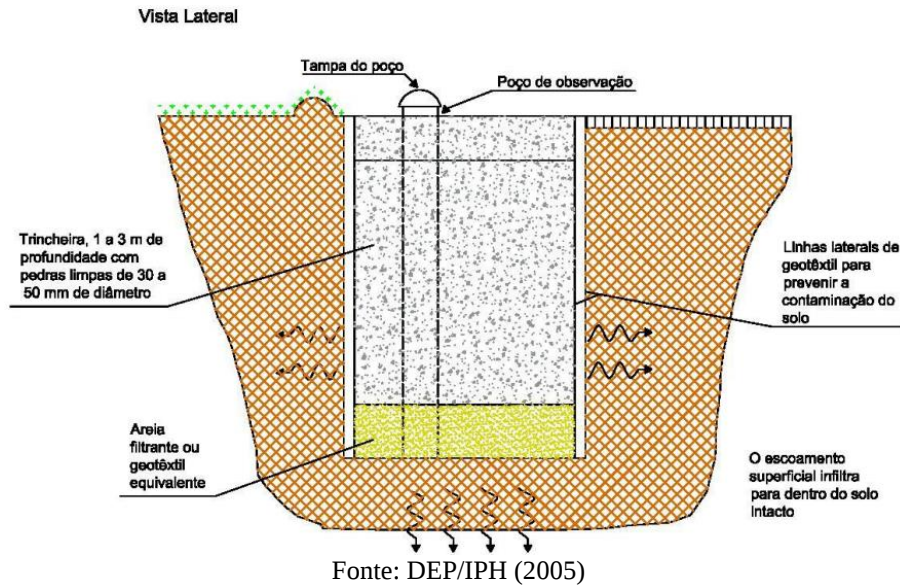
Fonte: Teresina (2011)

2.4.1.3. Trincheira de infiltração

A trincheira de infiltração, consiste de uma vala escavada longitudinalmente preenchida com material poroso de determinada granulometria para manter a forma da

escavação. Quando ocorrer um evento chuvoso, parte da água ficará armazenada, enquanto parte infiltra na base e nas laterais (Figura 5) (CIRIA, 2015).

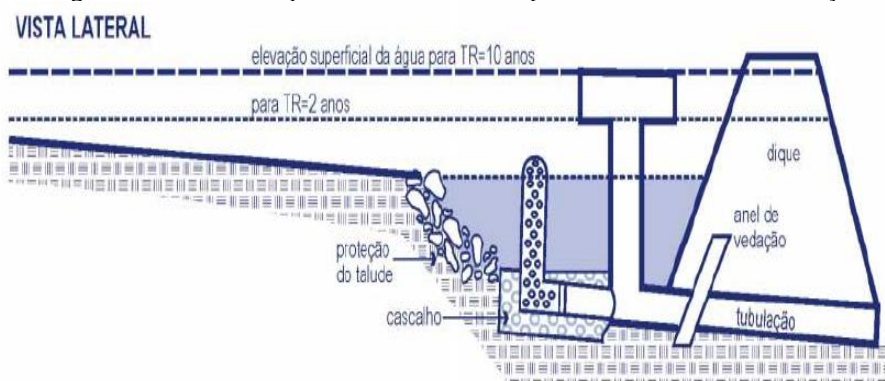
Figura 5 - Trincheira de infiltração



2.4.1.4. Reservatórios de retenção/ Retenção

Os reservatórios de retenção/retenção (Figura 6) têm como objetivo principal armazenar um certo volume de água por um determinado tempo, assim, redistribuindo as vazões durante um período maior com o intuito de diminuir as vazões de pico durante os eventos chuvosos. Além disto, as bacias de retenção/retenção também têm sido utilizadas como espaços de lazer e recreação, e também como forma de melhorar a qualidade da água pelo controle de sedimentos e poluição (TERESINA, 2011).

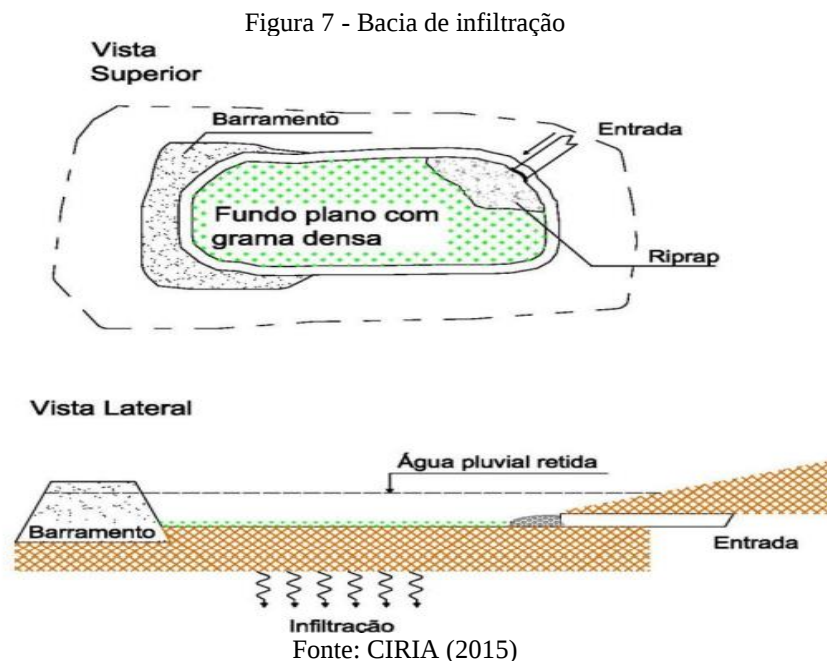
Figura 6 - Desenho esquemático de um exemplo de reservatório de retenção



Fonte: PARANÁ (2002)

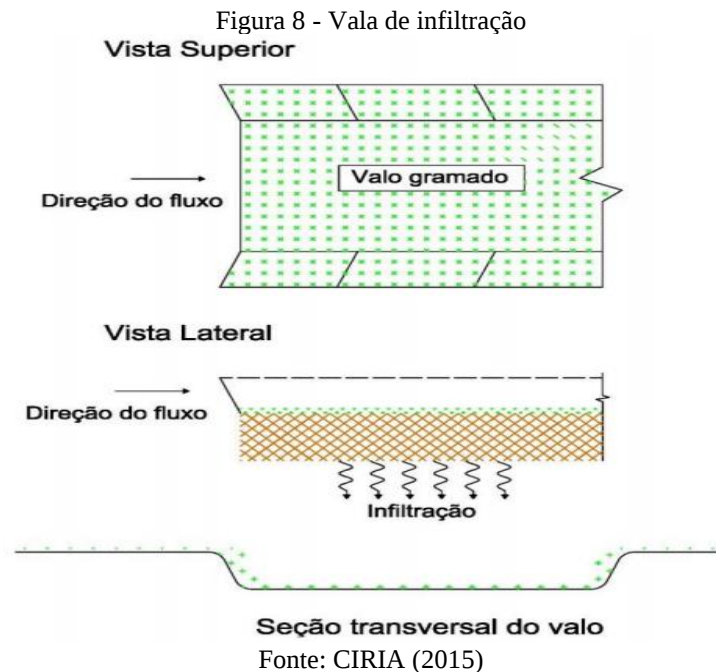
2.4.1.5. Bacias de infiltração

As bacias de infiltração são dispositivos construídos com a finalidade de recolher a água das superfícies visando criar condições de escoamento da mesma através do solo. Trata-se, portanto, de uma área de solo circundada por uma margem ou contenção capaz de reter as águas pluviais até que estas infiltrem por meio da base e das paredes laterais. Em geral são escavadas, no entanto podem ser aproveitadas pequenas encostas pré-existentes (Figura 7) (CIRIA, 2015).



2.4.1.6. Valas de infiltração

As valas de infiltração, quando vegetadas também conhecidas como biovaletas, são dispositivos de drenagem lateral, muitas vezes utilizados paralelos às ruas, estradas, estacionamentos e conjuntos habitacionais, entre outros. Essas valas concentram o fluxo das áreas adjacentes e criam condições para uma infiltração ao longo do seu comprimento, de forma que eles também podem agir como canais, armazenando e transportando água para outros dispositivos de drenagem. (Figura 8) (DEP/ IPH, 2005).



2.5. Vantagens e desvantagens da utilização de técnicas sustentáveis em substituição das tradicionais

Como todo sistema de drenagem, os dispositivos sustentáveis possuem diversas vantagens e desvantagens. Nas quais podem-se enumerar pontos positivos e negativos a respeito de sua utilização. Entre os positivos, destacam-se:

- Aumento das taxas de infiltração das águas da chuva e consequentemente a recarga dos lençóis freáticos, além de auxiliar no controle da poluição difusa.
- Redução do escoamento superficial por meio de processos de reservação, retardo ou infiltração, auxiliando no controle erosivo nas áreas urbanas, além de auxiliar no controle de inundações.
- Possibilidade de reutilização das águas de chuva para fins não potáveis.
- criação de áreas de lazer com caráter paisagístico capaz de promover uma educação ambiental, destacando a importância de viver em harmonia com o meio ambiente.

É importante ter em mente os desafios desse sistema, como:

- Necessidade de manutenção frequente, que poderá ser superada com programas de educação ambiental, uma vez que a maioria dos problemas ocorrem pela destinação inadequada de resíduos sólidos por parte da população.

- Alto custo de implantação, quando realizadas em caráter corretivo, no entanto toma-se mais barata quando planejada em conjunto com a questão urbanística.
- Processo de colmatção dos dispositivos de infiltração, ocasionada pelo acúmulo de sedimentos, sendo necessárias técnicas de retenção de sedimentos.

No entanto, apesar das dificuldades, a implantação dos sistemas sustentáveis possui um excelente custo benefício, sendo sempre necessária uma análise de viabilidade ambiental-econômica (AGOSTINHO; POLETO, 2012).

3. METODOLOGIA

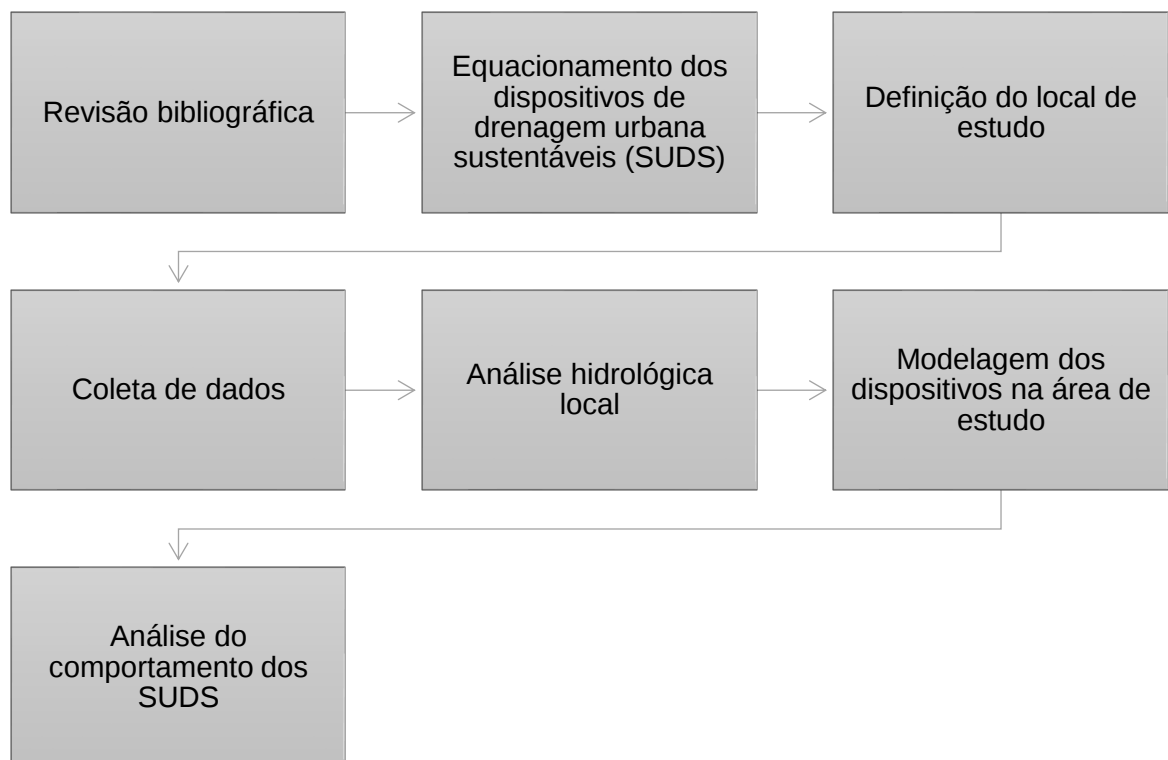
3.1. Característica da pesquisa

O estudo desenvolvido trata de uma pesquisa de abordagem quali-quantitativa, pois este tipo de pesquisa envolve métodos quantitativos e qualitativos de pesquisa, de modo a obter uma compreensão e explicação mais ampla do tema estudado. Esse tipo de pesquisa permite que o pesquisador consiga um cruzamento de conclusões, tendo mais confiança nos seus dados. Quanto à natureza da investigação é uma pesquisa aplicada por ter como finalidade a resolução de um problema concreto (PASCHOARELLI; MEDOLA; BONFIM, 2015).

3.2. Etapas do projeto

Para melhor compreensão e acompanhamento da sequência de etapas necessárias para realização desta pesquisa, foi elaborado o fluxograma (Figura 9) abaixo:

Figura 9 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autor (2021)

3.3. Critérios de projeto

Na elaboração deste trabalho alguns critérios de projeto foram respeitados, baseados em recomendações presentes na literatura acadêmica, em manuais de drenagem de alguns municípios brasileiros, como Porto Alegre (DEP/ IPH, 2005) e Teresina (2011).

Os tempos de retorno (TR) usualmente recomendados por diferentes fontes da literatura para o dimensionamento de sistemas urbanos de drenagem são apresentados na Tabela 2 (DEP/ IPH, 2005).

Tabela 2 - Tempos de retorno para sistemas de drenagem urbanos

Sistema	Característica	Intervalo (anos)	Valor Recomendado (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 – 5	2
	Comercial	2 – 5	2
	Áreas de prédios públicos	2 – 5	2
	Áreas comerciais e avenidas	2 – 10	2
	Aeroporto	5 – 10	5
Macro drenagem		10 – 50	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 – 100	50*

Fonte: DEP/IPH (2005)

Portanto, para o estudo em questão o tempo de retorno adotado para o sistema de microdrenagem será de 2 anos, porém para dispositivos de reservação será dimensionado para 10 anos, visando uma maior segurança para o sistema.

3.4. Equacionamento dos dispositivos de drenagem urbana sustentáveis (SUDS)

Com o objetivo de analisar os efeitos da urbanização e do sistema de drenagem baseados no conceito de desenvolvimento urbano sustentável, seguem a metodologia de cálculo do dimensionamento dos dispositivos que utilizam técnicas compensatórias aplicadas ao sistema de drenagem.

3.4.1. Viabilidade da implantação de dispositivos de infiltração

De acordo com Urbonas e Stahre (1993), a disposição de águas pluviais por infiltração não é recomendada sob as seguintes condições:

- Regiões com profundidade do lençol freático no período chuvoso inferior a 1,20 m, abaixo da superfície infiltrante;
- Camada impermeável a 1,20 m ou menos da superfície infiltrante;
- A superfície infiltrante está preenchida (ao menos que este preenchimento seja de areia ou cascalho limpos);
- Os solos superficiais e subsuperficiais são classificados, segundo o SCS, como pertencentes ao grupo hidrológico D, ou a taxa de infiltração saturada é menor que 7,60 mm/h, como relatado pelas pesquisas de solo do SCS.

Quando estas condições não excluírem o local, deve ser realizada uma segunda avaliação, por meio do método da Swedish Association for Water and Sewer Works (1983) e apresentado por Urbonas e Stahere (1993). Onde cada característica do local é associada uma pontuação. Na Tabela 3 é mostrado os valores dos pontos de acordo com cada característica. Onde o somatório dos pontos informa o resultado da avaliação. Assim:

- Se o total for menor que 20, o local deve ser descartado;
- Entre 20 e 30, o local é um candidato a receber um dispositivo de infiltração;
- Se o total for maior que 30, o local pode ser considerado excelente.

Para verificar se o local é um candidato a uma estrutura do tipo desejado, preenche-se o modelo de procedimento de projeto chamado “triagem inicial da aplicabilidade para estruturas de infiltração. Em casos de aprovação passa-se para a etapa de modelagem das estruturas desejadas.

Tabela 3 - Sistema de pontuação para avaliação de possíveis locais de implantação de dispositivos de infiltração e/ou percolação.

	Características	Pontos
1.	Razão entre área impermeável contribuinte (A_{IMP}) e área de infiltração (A_{INF})	
	• $A_{INF} > 2.A_{IMP}$	20
	• $A_{IMP} < A_{INF} < 2.A_{IMP}$	10
	• $0,50.A_{IMP} < A_{INF} < A_{IMP}$	5
	Superfícies de infiltração menores que $0,50.A_{IMP}$ não devem ser usadas para infiltração	
2.	Natureza da camada de solo superficial	
	• Solos grosseiros com baixa taxa de material orgânico	7
	• Solo com taxas de matéria orgânica intermediárias	5
	• Solos granulados finos com alta taxa de material orgânico	0

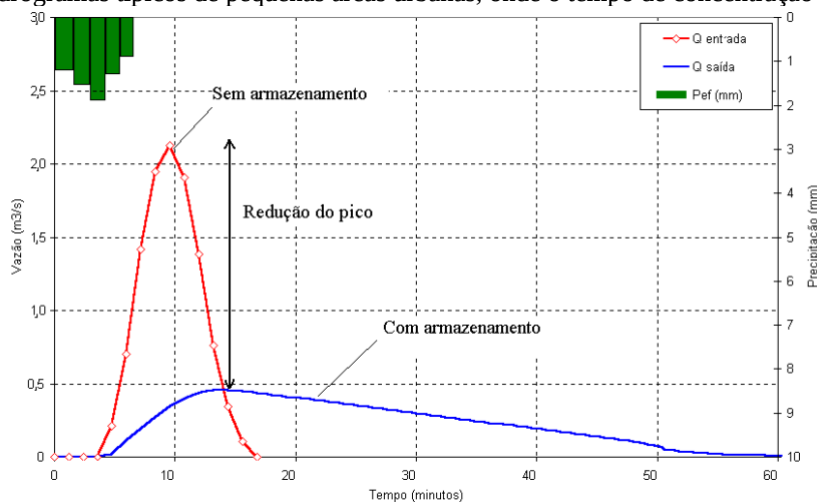
3.	Subsuperficial	
	- Se os solos subsuperficiais são mais grosseiros que os solos da superfície, associe o mesmo número de pontos daquele dos solos de superfície associado no item 2 - Se os solos subsuperficiais são mais granulados finos que os solos da superfície, use os seguintes pontos: Cascalho ou areia	7
	Areia siltosa ou lemo	5
	Silte fino ou argila	0
4.	Declividade (S) da superfície de infiltração	
	$S < 7 \%$	5
	$7 < S < 20 \%$	3
	$S > 20 \%$	0
5.	Cobertura vegetal	
	Cobertura de vegetação natural, saudável	5
	Gramado bem estabelecido	3
	Gramado novo	0
	Sem vegetação – solo nu	- 5
6.	Grau de tráfego na superfície de infiltração	
	Pouco tráfego de pedestres	5
	Tráfego de pedestres médio (parque, gramado)	3
	Muito tráfego de pedestres (campos esportivos)	0

Fonte: Urbonas e Stahre, 1993

3.4.2. Dispositivos de reservação

O armazenamento mediante o emprego de estruturas de reservação promove o amortecimento do escoamento, reduzindo a vazão de pico. O efeito do armazenamento sobre o escoamento no hidrograma de pequenas áreas pode ser observado na Figura 10. O efeito do volume do reservatório utilizado na reservação é de diminuição do pico do hidrograma.

Figura 10 - Hidrogramas típicos de pequenas áreas urbanas, onde o tempo de concentração é muito pequeno



Fonte: DEP/IPH (2005)

Neste estudo, para o cálculo dos volumes de reservação será utilizado o método de volume estimado de Urbonas e Glidden (1983). Desenvolvido através do estudo de diversas bacias pilotos localizados em Denver, Colorado, EUA. Foi elaborado um estudo computacional para bacias de 25km² onde pode-se extrair dados de volume de retenção e vazão efluente máxima para TRs de 10 e 100 anos.

Este método é utilizado na fase de estudo, com a finalidade de se observar a viabilidade técnica da solução num determinado local, levando em consideração espaço, volume e vazão efluente.

As relações encontradas por Urbonas e Glidden (1983) para TR = 10 anos são apresentadas pelas equações 6 e 7:

- Vazão efluente máxima

$$Q = 1,68 \cdot A \quad (6)$$

- Volume de retenção

$$V = 304,8 \cdot A \cdot (0,95 \cdot I - 1,90) \quad (7)$$

onde V é o volume de retenção (m³); A é a área de drenagem (km²); Q é a vazão (m³/s) e I é a área impermeabilizada da bacia (%).

Por se tratar de um modelo de cálculo baseado nas características pluviométricas de uma cidade nos EUA, Canholi (2014) recomenda que é necessária uma correção para as características do local de estudo a ser aplicado.

Para chuvas com durações de 2 horas, Denver possui as seguintes características:

- Tempo de recorrência de 10 anos: 47 mm
- Tempo de recorrência de 100 anos: 73 mm

Para encontrar um volume de reservação adaptado as características da cidade em estudo, é necessário encontrar o fator de correção “K”, calculado pela Equação 8:

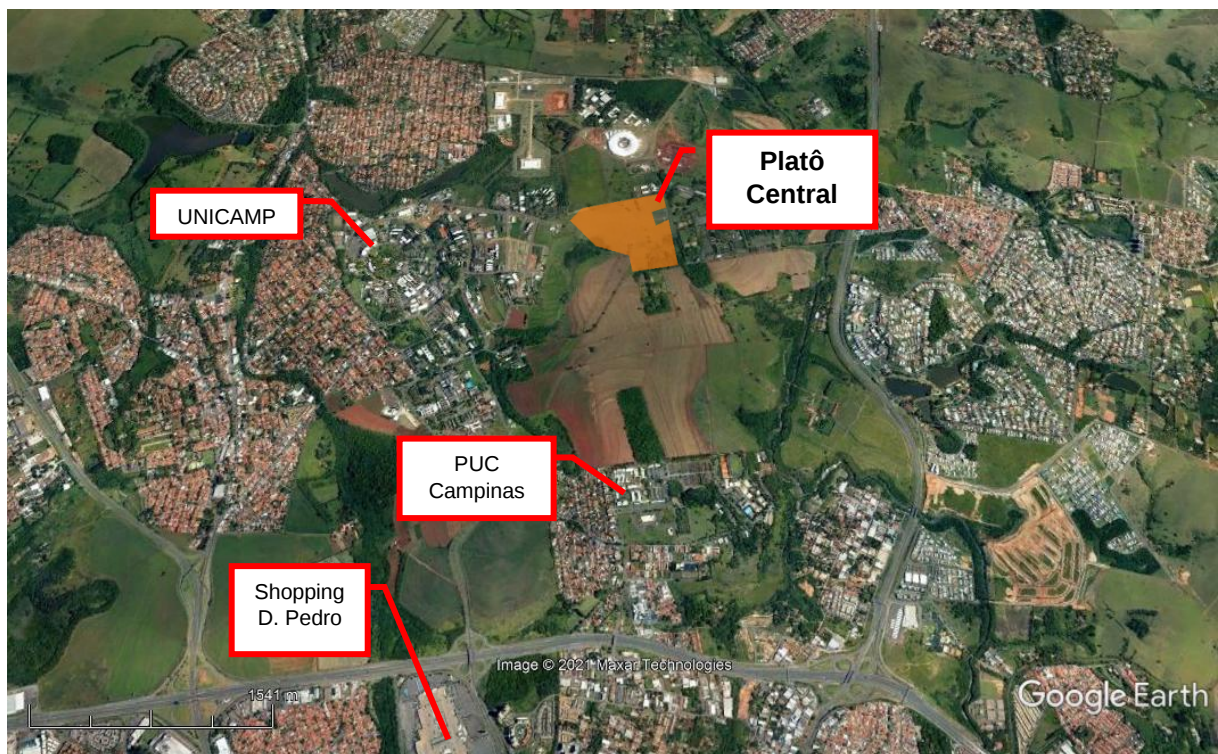
$$K_{TR} = \frac{\text{Chuva da cidade em estudo (2h)}}{\text{Chuva de Denver (2h)}} \quad (8)$$

Portanto, para encontrar o volume dos dispositivos de reservação é necessário multiplicar o volume de retenção calculado pela Equação 7 pelo fator de correção definido pela Equação 8. Dessa forma, temos o volume de retenção mínimo necessário para controle das vazões de saída.

3.5. Local de estudo

Para execução da parte prática desse trabalho foi selecionado uma porção do território, localizada na região a norte da Fazenda Argentina, configura-se como um platô, aqui intitulado de Platô Central do HIDS (coordenadas: 22°48'46.2"S 47°03'08.4"W). As existências “situadas no Platô Central incluem um trecho da Linha de Alta Tensão (“linhão”), uma Subestação de Energia Elétrica, uma área de proteção ambiental ao redor de uma nascente situada na divisa da Fazenda Argentina e ruínas de um conjunto arquitetônico abandonado, circundadas por um fragmento de mata secundária. Trata-se de um espaço com potencial de ocupação voltado ao uso residencial, comercial e empresarial. Assim, possui como diferencial a viabilidade de articulação com atividades existentes no entorno com vocação à Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico. Além do relevo ser bastante plano nessa área e, portanto, favorável à ocupação, sua conformação topográfica possibilita visadas cênicas da paisagem ao redor, um aspecto que também pode ser explorado. Na Figura 11 é mostrada a macrolocalização do platô central, enquanto na Figura 12 é mostrada uma isométrica da área de estudo.

Figura 11 – Macrolocalização do platô central



Fonte: Google Earth (2021)

Figura 12 – Vista isométrica do platô central



Fonte: Celani (2021)

3.6. Coleta de dados

Os dados coletados nesta pesquisa foram obtidos em referências bibliográficas de pesquisas referente a hidrologia e drenagem pluviais, tais como artigos, dissertações e teses, além de usar como base de referencial os manuais de drenagem de Porto Alegre (DEP/ IPH, 2005) e Teresina (2011) reconhecidos nacionalmente e internacionalmente como o The SUDS Manual (CIRIA, 2015).

No estudo de caso foi adotado o projeto urbanístico da área do Platô Central do HIDS, desenvolvido pelos alunos da especialização em arquitetura, urbanismo e engenharia civil – 90E da Unicamp (2021).

3.7. Análise hidrológica local

Para este dimensionamento o pico de vazão afluente para cada trecho de projeto foi calculado através do método racional (Equação 1).

$$Q = \frac{CiA}{360} \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão afluente de pico (m³/s);

C = coeficiente de escoamento da área de contribuição (adimensional);

i = intensidade de chuva (Equação 3) (mm/h);

A = área de contribuição total (ha).

A área de contribuição total é a soma das subáreas de contribuição das estruturas, ou trechos, a montante, além da soma das subáreas de contribuição laterais, que contribuem diretamente ao trecho em análise.

As faixas de valores de referência do coeficiente de escoamento, C, para diversos tipos de superfícies são fornecidos por Porto Alegre (DEP/ IPH, 2005) e Teresina (2011) na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de C de acordo com superfícies de revestimento

Superfície	C
Pavimento:	
Asfalto	0,70 – 0,95
Concreto	0,80 – 0,95
Calçadas	0,75 – 0,85
Telhado	0,75 – 0,95
Cobertura: grama/areia	
Plano (declividade 2%)	0,05 – 0,10
Médio (declividade de 2 a 7%)	0,10 – 0,15
Alta (declividade 7%)	0,15 – 0,20

Fonte: ASCE (1969)

O coeficiente de escoamento ponderado (C_p) da área de contribuição total de cada trecho foi obtido através da equação 2 por média geométrica, ou seja:

$$C_p = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i} \quad (2)$$

O coeficiente C para a rede de drenagem pluvial foi determinado de forma ponderada de acordo com a composição de superfícies afluentes, sendo áreas impermeáveis consideradas iguais a 0,90 e áreas permeáveis iguais a 0,10.

Já para a intensidade de chuva, i (mm/h), Campinas possui a equação IDF de Vieira (1981). No entanto Zuffo (2004) defendeu a atualização desta equação, em razão das alterações pluviométricas ocorridas na região com o passar dos anos. Portanto, nesse estudo foi utilizada a equação IDF (equação 3) de Zuffo e Leme (2005), pois é uma versão mais atual para encontrar a intensidade das chuvas de Campinas.

$$i = \frac{2357,83 T_R^{0,188}}{(t + 20)^{0,917}} \quad (3)$$

Onde:

T_R = tempo de retorno (anos);

t = duração da chuva (min).

No método racional, supõe-se que a duração da chuva é igual ao tempo de concentração (t_c) da bacia. Para um sistema de drenagem, este foi calculado tomando-se o tempo de escoamento sobre o solo (t_s) até a entrada numa estrutura de condução mais o somatório dos tempos de propagação da água através das estruturas (t_e) a montante do trecho analisado, considerando o percurso mais longo. Para o cálculo do tempo de escoamento sobre o solo (t_s em min), foi utilizada a equação 4, de Kirpich.

$$t_s = 0,01947 L_b^{0,77} S_b^{-0,385} \quad (4)$$

Em que:

L_b = comprimento do maior talvegue da bacia (m);

S_b = declividade média do maior talvegue da bacia (m/m).

Já o tempo de propagação da água numa estrutura (t_e) foi calculado pela relação entre do comprimento do trecho (L) e a velocidade de escoamento (U), calculada pela equação de Manning.

O tempo de duração da chuva foi definido a um valor mínimo de 5 min, mesmo que o tempo de concentração calculado seja inferior (t_c).

3.8. Modelagem dos dispositivos na área de estudo

Nesse estudo foram abordados jardins de chuva, por poderem ser usadas tanto em processos de infiltração como para reservação, dessa forma auxiliando no controle das vazões.

Além disso será desenvolvido o procedimento de cálculo de reservatórios de retenção, responsáveis por armazenar o excesso de água da chuva, de forma que a mesma seja liberada aos poucos para jusante, evitando assim aumento do deflúvio. Esses espaços podem ser utilizados nos períodos secos para fins recreativos, tornando-os espaços públicos.

3.9. Análise do estudo de caso do HIDS

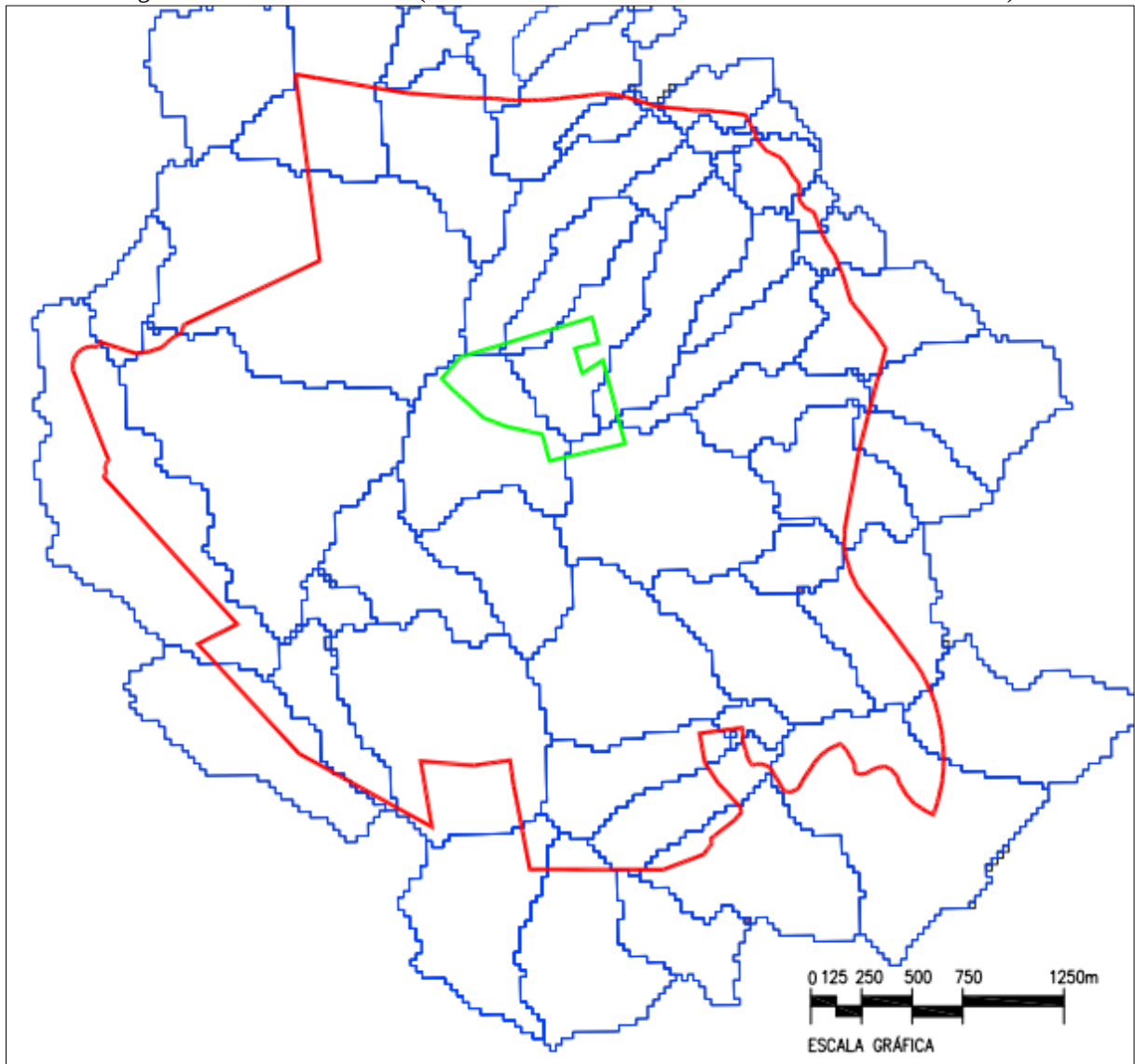
Foram construídas tabelas com o auxílio do Microsoft Excel (2016) com os dados obtidos. Os resultados foram apresentados através de comparações entre os valores aferidos, levando em consideração a eficiência dos métodos de dimensionamento em cada ponto estudado. Assim, buscando demonstrar a eficiência dos dispositivos de drenagem urbana sustentável para o Platô Central da região.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1. Áreas de contribuição

Na Figura 13 é mostrada as divisões das subáreas hidrográficas do HIDS, definidas de acordo com a altimetria local. Já na Figura 14 é mostrada as subáreas presentes no contorno do Platô Central. Na Tabela 5 podem ser vistas as características das áreas de contribuição e o quantitativo das suas composições de superfícies

Figura 13: Subáreas do HIDS (Vermelho: contorno HIDS e verde: contorno Platô Central)



Fonte: Autor (2021)

Figura 14: Subáreas internas do Platô Central



Fonte: Autor (2021)

Tabela 5 - Características das áreas de contribuição

Subárea	A _{Total} (m ²)	A _{PERM}		A _{IMP}	
ID	m ²	m ²	%	m ²	%
A-1	130598	62090	48%	68508	52%
A-2	4514	529	12%	3985	88%
A-3	15883	5286	33%	10597	67%
A-4	166062	52035	31%	114027	69%
A-5	20170	8197	41%	11973	59%
A-6	23949	15150	63%	8799	37%

Fonte: Autor (2021)

4.2. Volume de reservação

Ao utilizar o método de Urbonas e Glidden (1983), que foi desenvolvido originalmente para as características pluviométricas de Denver (EUA), foi necessário definir um fator de correção “K” visando efetuar uma correção para as características de Campinas-SP, onde a precipitação média para tempos de retorno de 10 anos e duração de 2 horas de Denver é de 47 mm, enquanto a de Campinas é 41,64 mm (ZUFFO; LEME, 2005). O fator K_{TR10} é definido pela Equação 8.

$$K_{TR10} = \frac{41,64 \text{ mm}}{47 \text{ mm}} = 0,8859$$

De posse da constante “K”, foram calculados os volumes de reservação de acordo com a Equação 7, em seguida esse valor foi multiplicado pelo $K=0,8859$. Dessa forma encontrando o volume adequado as características pluviométricas do local de estudo (Tabela 6).

Tabela 6 – Volume de reservação

SUB-BACIA	VOLUME CALCULADO	VOLUME CORRIGIDO
A-1	1908 m ³	1690 m³
A-2	113 m ³	100 m³
A-3	298 m ³	264 m³
A-4	3206 m ³	2840 m³
A-5	335 m ³	297 m³
A-6	241 m ³	213 m³

Fonte: Autor (2021)

4.3. Dispositivos de controle na fonte

Nesta etapa foi realizado uma triagem inicial em cada subárea, conforme citado no subtópico 3.4.1., referente a viabilidade da implantação dos dispositivos de infiltração. Devido à ausência de informações referentes a primeira fase, tais como nível do lençol freático, classificação hidrológica do solo e por se tratar de uma pesquisa acadêmica sem fins executivos, esta fase foi desconsiderada, passando, portanto, para segunda fase da triagem, recomendada por Urbonas e Stahre (1993). Porém vale ressaltar que em projetos futuros com finalidade executiva todas as etapas e dados de campo devem ser consideradas.

A segunda fase da avaliação foi realizada, conforme recomendado na Tabela 3, que define pontuações para cada subárea e suas características. Com base neste método, locais com áreas de infiltração menores que 50% da área impermeável são automaticamente descartadas. O método também cita que áreas com pontuação inferiores a 20 também são descartadas para utilização desse tipo de dispositivos.

O quantitativo das pontuações de cada subáreas são mostradas na Tabela 7, onde apenas a A-6 tem a possibilidade de utilizar dispositivos de infiltração, enquanto as demais foram descartadas nesta triagem, portanto necessitarão de dispositivos de reservação para mitigar os impactos da urbanização.

Tabela 7 – Pontuação para definição da utilização de dispositivos de infiltração

Características	SUBÁREAS											
	A-1		A-2		A-3		A-4		A-5		A-6	
	Encontrado	Nota	Encontrado	Nota	Encontrado	Nota	Encontrado	Nota	Encontrado	Nota	Encontrado	Nota
Razão AIMP e AINF	$0,50.AIMP < AINF < AIMP$	5	$AINF < 0,50.AIMP$	0	$AINF < 0,50.AIMP$	0	$AINF < 0,50.AIMP$	0	$0,50.AIMP < AINF < AIMP$	5	$AIMP < AINF < 2.AIMP$	10
Natureza da camada do solo superficial	Solos granulados finos com alta taxa de material orgânico	0							Solos granulados finos com alta taxa de material orgânico	0	Solos granulados finos com alta taxa de material orgânico	0
Subsuperficial	Silte fino ou argila	0							Silte fino ou argila	0	Silte fino ou argila	0
Declividade da superfície de infiltração	$7 < S < 20 \%$	3							$S < 7 \%$	5	$S < 7 \%$	5
Cobertura Vegetal	Cobertura de vegetação natural, saudável	5							Gramado novo	0	Cobertura de vegetação natural, saudável	5
Grau de tráfego na superfície de infiltração	Tráfego de pedestres médio (parque, gramado)	3							Tráfego de pedestres médio (parque, gramado)	3	Tráfego de pedestres médio (parque, gramado)	3
TOTAL	16		0		0		0		13		23	

Fonte: Autor (2021)

Visando unificar o dimensionamento para todas as subáreas, para este cálculo foram desconsideradas todas as taxas de infiltração. Portanto todos os dispositivos funcionam como sistemas de retenção, sejam eles jardins de chuvas ou reservatórios de detenção.

Buscando atender o volume mínimo de detenção necessário, conforme o mostrado na Tabela 7, foram distribuídos jardins de chuva no interior das quadras e nas áreas de fruição com dimensões de 1,20 m de largura e 0,50 m de profundidade, preenchidas por material granular (brita ou seixo) com 40% de porosidade.

Os volumes de reservação restantes serão destinadas a lagoas de detenção, localizadas nas partes mais baixas de cada subárea visando atender o volume mínimo calculado e consequentemente mitigar os impactos da urbanização.

4.3.1. Subárea A-1

A subárea A-1, possui aproximadamente 130598 m² e está localizada na margem oeste do Platô Central, com presença de áreas de preservação ambiental, com uma nascente na parte mais baixa. A Tabela 8 é mostrado o quantitativo de cada estrutura de drenagem, enquanto na Figura 15 é mostrado a localização de cada dispositivo.

Tabela 8 – Quantitativo de dispositivos de detenção A-1

Volume necessário	1690,00 m³		
Jardins de chuva		Lagoa de detenção	
Largura	1,20 m	Área	1200,00 m ²
Profundidade	0,50 m		
Comprimento linear	3907,00 m	Profundidade	0,65 m
Porosidade	40%		
Volume	937,68 m ³	Volume	780 m ³
Volume calculado	1717,68 m³		

Fonte: Autor (2021)

Figura 15: distribuição dos dispositivos de drenagem na subárea A-1



Fonte: Autor (2021)

4.3.2. Subárea A-2

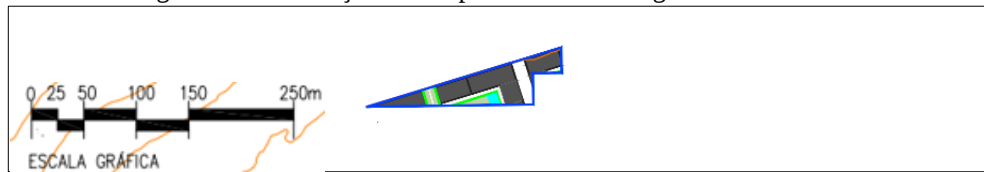
A subárea A-2, possui aproximadamente 4514 m² e está localizada na margem norte do Platô Central, uma área com topografia plana e com previsão de total urbanização. A Tabela 9 é mostrado o quantitativo de cada estrutura de drenagem, enquanto na Figura 16 é mostrado a localização de cada dispositivo.

Tabela 9 – Quantitativo de dispositivos de retenção A-2

Volume necessário	100,00 m³		
Jardins de chuva			
Largura	1,00 m	Área	85,00 m
Profundidade	0,50 m		
Comprimento linear	96,00 m	Profundidade	1,00 m
Porosidade	40%		
Volume	19,2 m ³	Volume	85 m ³
Volume calculado	104,2 m³		

Fonte: Autor (2021)

Figura 16: distribuição dos dispositivos de drenagem na subárea A-2



Fonte: Autor (2021)

4.3.3. Subárea A-3

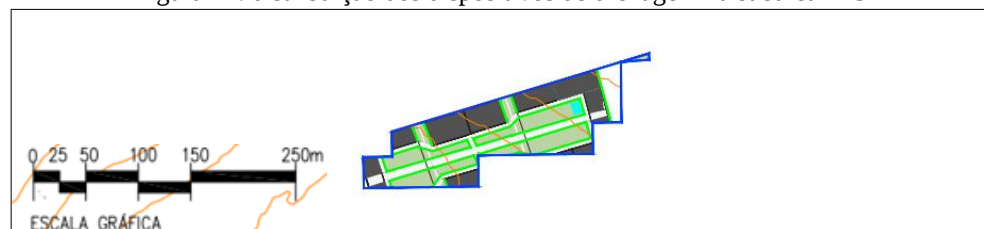
A subárea A-3, possui aproximadamente 15883 m² e está localizada na margem norte do Platô Central, uma área com topografia plana e com previsão de total urbanização. A Tabela 10 é mostrado o quantitativo de cada estrutura de drenagem, enquanto na Figura 17 é mostrado a localização de cada dispositivo.

Tabela 10 – Quantitativo de dispositivos de retenção A-3

Volume necessário	264,00 m³		
Jardins de chuva			
Largura	1,00 m	Área	60,00 m ²
Profundidade	0,50 m		
Comprimento linear	1023,00 m	Profundidade	1,00 m
Porosidade	40%		
Volume	204,6 m ³	Volume	60 m ³
Volume calculado	264,6 m³		

Fonte: Autor (2021)

Figura 17: distribuição dos dispositivos de drenagem na subárea A-3



Fonte: Autor (2021)

4.3.4. Subárea A-4

A subárea A-4, possui aproximadamente 166062 m² e está localizada na margem nordeste do Platô Central, uma área com topografia inclinada e com previsão de bastante urbanização, porém conta com considerável área verde. A Tabela 11 é mostrado o quantitativo de cada estrutura de drenagem, enquanto na Figura 18 é mostrado a localização de cada dispositivo.

Tabela 11 – Quantitativo de dispositivos de retenção A-4

Volume necessário	2839,00 m³		
Jardins de chuva			
Largura	1,00 m	Área	1324,00 m ²
Profundidade	0,50 m		
Comprimento linear	4688,00 m	Profundidade	1,50 m
Porosidade	40%		
Volume	937,6 m ³	Volume	1986 m ³
Volume calculado	2923,6 m³		

Fonte: Autor (2021)

Figura 18: distribuição dos dispositivos de drenagem na subárea A-4



Fonte: Autor (2021)

4.3.5. Subárea A-5

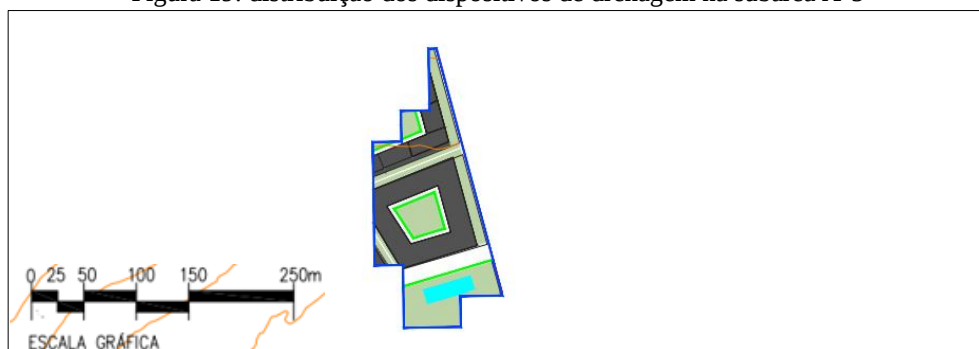
A subárea A-5, possui aproximadamente 20170 m² e está localizada na margem leste do Platô Central, uma área com topografia inclinada e com previsão de considerável urbanização, porém conta com uma área de preservação ao sul. A Tabela 12 é mostrado o quantitativo de cada estrutura de drenagem, enquanto na Figura 19 é mostrado a localização de cada dispositivo.

Tabela 12 – Quantitativo de dispositivos de retenção A-5

Volume necessário	297,00 m³		
Jardins de chuva			
Largura	1,00 m	Área	600,00 m
Profundidade	0,50 m		
Comprimento linear	249,00 m	Profundidade	0,50 m
Porosidade	40%		
Volume	49,8 m ³	Volume	300 m ³
Volume calculado	349,8 m³		

Fonte: Autor (2021)

Figura 19: distribuição dos dispositivos de drenagem na subárea A-5



Fonte: Autor (2021)

4.3.6. Subárea A-6

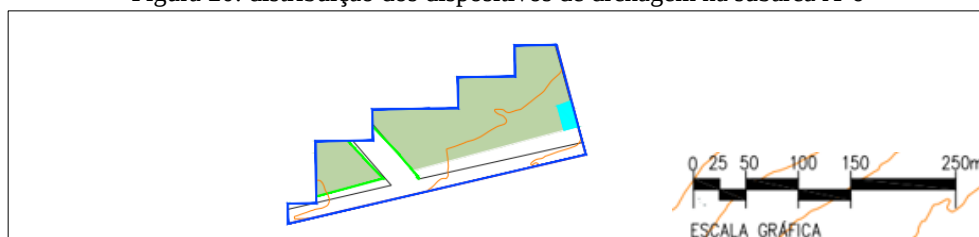
A subárea A-6, possui aproximadamente 23949 m² e está localizada na margem sudeste do Platô Central, uma área com topografia inclinada, seu território praticamente todo faz parte de uma área de preservação ambiental. A Tabela 13 é mostrado o quantitativo de cada estrutura de drenagem, enquanto na Figura 20 é mostrado a localização de cada dispositivo.

Tabela 13 – Quantitativo de dispositivos de retenção A-6

Volume necessário	213,00 m³		
Jardins de chuva			
Largura	1,00 m	Área	358,00 m ²
Profundidade	0,50 m		
Comprimento linear	200,00 m	Profundidade	0,50 m
Porosidade	40%		
Volume	40 m ³	Volume	179 m ³
Volume calculado	219 m³		

Fonte: Autor (2021)

Figura 20: distribuição dos dispositivos de drenagem na subárea A-6



Fonte: Autor (2021)

4.4. Análise de desempenho

Neste estudo, o volume de reservação do sistema de drenagem pluvial do Platô Central é composto por 2188,88 m³ dos jardins de chuvas e 3390 m³ das lagoas de retenção, totalizando um volume de 5578,88 m³, que terá como função mitigar os impactos da urbanização.

Outro fator importante a ser destacado com a utilização dos dispositivos dimensionados é a redução das vazões de saída, uma vez que o excesso gerado é armazenado pelo sistema de drenagem e são liberados para a jusante aos poucos. Gerando uma redução das vazões de pico e do tempo de concentração, tendo como consequência o controle do escoamento superficial. Na Tabela 14, é mostrada as vazões geradas com e sem a utilização dos dispositivos de drenagem sustentáveis. Para o cálculo sem os SUDS, foi utilizado como referência o método racional (Equação 1), que calcula as vazões geradas de acordo com a superfície em estudo. No caso da utilização dos SUDS, as vazões foram calculadas com base na equação de vazão efluente máxima, de Urbonas e Glidden (1983) (Equação 6).

Tabela 14 – Vazões de saída

Sub-bacia	Vazão sem SUDS	Vazão com SUDS	Redução
A-1	3,74 m ³ /s	0,19 m ³ /s	95%
A-2	0,19 m ³ /s	0,01 m ³ /s	97%
A-3	0,55 m ³ /s	0,02 m ³ /s	96%
A-4	5,83 m ³ /s	0,25 m ³ /s	96%
A-5	0,63 m ³ /s	0,03 m ³ /s	95%
A-6	0,54 m ³ /s	0,04 m ³ /s	93%

Fonte: Autor (2021)

Portanto, o sistema dimensionado tem capacidade de atender as áreas de estudo para eventos chuvosos para tempos de recorrência de 10 anos sem falhas, reduzindo drasticamente o risco de inundações promovendo um controle descentralizado da drenagem pluvial, de forma que as vazões geradas pelo sistema sejam iguais ou inferiores a do período pré-urbanização.

5. CONCLUSÃO

Devido ao desorganizado crescimento das cidades brasileiras torna-se mais importante a preocupação com a destinação das águas pluviais, pois o aumento do escoamento superficial vem causando perdas econômicas, humanas e ambientais. Por estes motivos, medidas de drenagem sustentáveis e de baixo impacto vem ganhando mais atenção no Brasil e no mundo.

Ao analisar os resultados obtidos podemos perceber que o solo não possui uma capacidade de infiltração suficiente utilizar os dispositivos de drenagem para tal finalidade, entretanto é possível gerenciar a questão hídrica de forma adequada, por meio da utilização de dispositivos de reservação, onde as estruturas de drenagem foram dimensionadas para armazenar o excesso escoado superficialmente e conseqüentemente retardar o tempo de concentração e controlar as vazões de saída.

Outro ponto bastante relevante diz respeito ao processo de manutenção dos dispositivos de drenagem, em especial nos preenchidos com material granular, uma vez que com o passar do tempo naturalmente ocorre o processo de colmatação. Portanto, é fundamental que em trabalhos com fins executivos seja realizado um planejamento de manutenções, visando a retirada das partículas acumuladas no sistema, visando seu correto funcionamento.

A partir dos resultados obtidos nesse estudo, fica como sugestão de pesquisas futuras a realização desse dimensionamento na escala da quadra ou lote, onde poderia haver um maior detalhamento do sistema, além de simular uma situação mais próxima do que é realizado na prática dos projetos de microdrenagem.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, M. D. S. P.; POLETO, C. Sistemas Sustentáveis De Drenagem Urbana: Dispositivos. **Holos Environment**, v. 12, n. 2, p. 121, 2012.
- ASCE. American Society of Civil Engineers. **Design and Construction of sanitary and storm sewers.** Manuals and Reports of Engineering Practice, 37. New York. 1969.
- BIDONE, F. R. A.; TUCCI, C. E. M. Microdrenagem. Drenagem Urbana, p. 77-105, 1995.
- BRASIL. Lei Federal nº 11.445 de janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico.** Brasília, 5 de janeiro de 2007.
- BULGARELI, M. **Jardins de chuva: você sabe o que é?** Jornal Noroeste. Maringá-PR, 04 de fevereiro de 2020. Disponível em: <www.jornalnoroeste.com/pagina/colunas/jardins-de-chuva-voce-sabe-o-que-e>. Acesso em 20 de setembro de 2021.
- CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes, 2 ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2014
- CARDOSO, A. S. Desenvolvimento de metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água em áreas urbanas. **Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos**, p. 1 a 197, 2008.
- CELANI, G. (org.). **Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS) - estudos para a ocupação do território.** Campinas: Biblioteca Central César Lattes, 2021 (ebook).
- CIRIA – Construction Industry Research and Information Association, 2015, **The SuDS Manual**, London, UK, CIRIA Report No. C753. Disponível em: <http://www.ciria.org/Memberships/The_SuDS_Manual_C753_Chapters.aspx> Acesso em 18 de maio de 2021.
- CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p. 59–71, 2008.

DEP/IPH – Departamento de Esgotos e Águas Pluviais de Porto Alegre, **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre, Manual de Drenagem Urbana Volume VI**. Porto Alegre, 2005.

DEPI – Diretoria Executiva de Planejamento Integrado. O que é o HIDS? Disponível em: <http://www.hids.depi.unicamp.br/sobre/>. Acesso em 26 de junho de 2021.

FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo**. São Paulo, 1999.

FRAGA, R. G.; ALEIDA, D.; SAYAGO, V. Soluções baseadas na Natureza: uma revisão sobre o conceito. In: **Parcerias Estratégicas - Edição Especial**. CGEE ed. Brasília: [s.n.]. v. 25p. 67–82.

GONÇALVES, F. T.; NUCCI, J. C. SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL (SUDS): PROPOSTAS PARA A BACIA DO RIO JUVEVÊ, CURITIBA-PR. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 42, p. 192–209, 2017.

GOOGLE Earth - Mapas. Website: <http://earth.google.com>. Consulta realizada em 30 de agosto de 2021.

MARIUZZO, P. N. DA S. Apoio a criação do Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS). **Consultoria para o desenvolvimento da estratégia de comunicação do HIDS**, p. 1–15, 2020.

MARTINS, P. A. G. Manejo de Águas Pluviais Urbanas: Estudo de Bacias de Amortecimento na Região Metropolitana de São Paulo. **Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIA**, p. 181, 2006.

OLIVEIRA, G. S.; SILVA, N. F. DA; HENRIQUES, R. Coleção Explorando o Ensino. In: **Journal of Chemical Information and Modeling**. v. 13. p. 47.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2018. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/pos2015/>> Acesso em 26 de junho de 2021.

PARANÁ. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano Diretor de**

Drenagem Para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba, 2002.

PASCHOARELLI, L.; MEDOLA, F.; BONFIM, G. Características Qualitativas, Quantitativas e Quali- quantitativas de Abordagens Científicas: estudos de caso na subárea do Design Ergonómico. **Revista do Design, Tecnologia e Sociedade**, v. 2, n. 1, p. 65–78, 2015.

PAZ, A. R. Hidrologia Aplicada. (Material Didático). **Apostila da disciplina para o curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia na unidade de Caxias do Sul - Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, p. 138, 2004.

RAMOS, H.; PEDROZO, C. DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL (SUDS) PARA PREVENÇÃO. **Anais do EVINCI – UniBrasil**, v. 4, n. 2, p. 175–190, 2018.

ROCHA, P. C.; SANTOS, A. A. DOS. Análise Hidrológica Em Bacias Hidrográficas. **Mercator**, v. 17, p. 1–18, 2018.

SMDU – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Plano Municipal de Gestão do Sistema de Águas Pluviais**. São Paulo, 2012.

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina**. Teresina: Concremat Engenharia, 2010.

TOMINAGA, E. N. S. Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte. **Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica**, p. 128, 2013.

TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia: ciência e aplicação. 2 ed. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS, 1997.

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. Porto Alegre: **ABRH/RHAMA** (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, V.11). 2007.

TUCCI, C. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 13, n. 1, p. 29–42, 2016.

URBONAS, B.; GLIDDEN, M. W. POTENTIAL EFFECTIVENESS OF DETENTION POLICIES. **Flood Hazard News**, v. 13, n. 1, p. 1, 1983.

URBONAS, B.; STAHERE, P. Stormwater Best Management Practices and Detention. In:

Prentice Hall. New Jersey: [s.n.]. p. 450.

VIEIRA, D. B. Análise das máximas intensidades de chuvas na cidade de Campinas. **IV SIMPÓSIO BRASILEIRO de HIDROLOGIA e RECURSOS HÍDRICOS**, v. 1, p. 375–386, 1981.

ZUFFO, A. C. Equações de chuvas são eternas? **XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica**, p. 9, 2004.

ZUFFO, A. C.; LEME, P. E. GRADEX E SANTA BÁRBARA - Método híbrido para cálculo de vazão de projeto para macro drenagem urbana. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, v. 16, 2005.