

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MARIA CAROLINA BOGUCHESKI**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE DRENAGEM COMPENSATÓRIAS:  
VALA DE INFILTRAÇÃO E JARDIM DE CHUVA**

**CAMPO MOURÃO**

**2022**

**MARIA CAROLINA BOGUCHESKI**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE DRENAGEM COMPENSATÓRIAS:  
VALA DE INFILTRAÇÃO E JARDIM DE CHUVA**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPENSATORY DRAINAGE SYSTEMS:  
INFILTRATION DITCH AND RAIN GARDEN**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Prof. Dr. Helton Rogério Mazzer.

**CAMPO MOURÃO**

**2022**



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

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

**MARIA CAROLINA BOGUCHESKI**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE DRENAGEM COMPENSATÓRIAS:  
VALA DE INFILTRAÇÃO E JARDIM DE CHUVA**

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: 17 de Novembro de 2022

---

Eliana Fernandes dos Santos  
Doutorado em Infra-estrutura de Transportes  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Helton Rogério Mazzer  
Doutorado em Agronomia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Paula Cristina de Souza  
Doutorado em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CAMPO MOURÃO**

**2022**

Dedico este trabalho à minha mãe Sandra e meu  
companheiro de vida Alysson, pelos momentos de  
ausência.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a pessoa que mais me incentivou em toda a minha vida, aquela que me deu a vida, minha mãe Sandra Regina Beltrani. Sem o seu apoio, afeto e motivação, jamais terminaria essa caminhada.

Ao meu melhor amigo, meu porto seguro, Alysson Beltrame Pinto, por estar ao meu lado nos momentos bons e ruins, por aguentar as minhas mudanças de humor e ser a minha fortaleza diante de todas as turbulências que tentaram me derrubar no decorrer da jornada.

Ao meu orientador professor Dr. Helton Rogério Mazzer e sua esposa Abilene Stirle Mazzer, por todo apoio, sabedoria, dedicação e carinho comigo. Vocês se tornaram a minha inspiração e segunda família.

À minha família Pórticos, especialmente meus eternos amigos da gestão 2019, por todo aprendizado, incentivo e união. Minha graduação não teria sido a mesma sem a experiência vivenciada dentro da empresa júnior, a qual levarei comigo pro resto da vida.

Aos meus amigos que entenderam meus momentos de ausência e estresse, especialmente: Ana Luiza, Ariadne, Isabela, Jonathan e Kauana, por se tornarem peças fundamentais para o sucesso da caminhada acadêmica, compartilhando dos momentos bons e ruins, fazendo com que o trajeto fosse mais leve e descontraído.

A toda a minha família, que de forma direta ou indireta viabilizaram que esse sonho se tornasse realidade, me incentivando a ser perseverante e focada.

A todos os professores e colaboradores do Departamento de Construção Civil, sinto um carinho e admiração imenso por cada um de vocês, e sem dúvidas serei eternamente grata pelo suporte e aprendizado que me repassaram durante esses cinco anos.

Não poderia deixar de agradecer a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, minha querida UTFPR, todos os setores de forma geral foram de suma importância para o suporte nessa trajetória acadêmica. Levarei comigo o sentimento de gratidão pelos momentos vividos, e alguns rostos que fizeram parte dessa história.

Certamente estes parágrafos não irão contemplar todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. E por essa razão, aproveito para

me desculpar àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

E por fim, estendo os agradecimentos para todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

O sucesso é a soma de pequenos esforços  
repetidos dia após dia.  
(COLLIER; ROBERT, 1950).

## RESUMO

As técnicas compensatórias de drenagem são medidas cujo o intuito é complementar os sistemas clássicos de drenagem, uma vez que a infraestrutura urbana existente se encontra defasada, e os condutos são insuficientes para atender o volume de água pluvial que recebem. O objetivo do presente trabalho é realizar uma análise comparativa entre dois sistemas de drenagem compensatórios: a vala de infiltração e o jardim de chuva, tomando como base critérios hidráulicos, hidrológicos, econômicos e sociais. A pesquisa foi realizada na cidade de Campo Mourão, nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A partir de ensaios de infiltração realizados em dois protótipos distintos e no bosque da universidade, foi possível mensurar a técnica compensatória de melhor desempenho tanto em solo seco quanto no solo úmido, obtendo dessa forma que a vala de infiltração é a alternativa mais vantajosa, com uma infiltração acumulada geral de 148,65% maior que o jardim de chuva.

Palavras-chave: técnicas compensatórias; vala de infiltração; jardim de chuva; drenagem urbana.



## **ABSTRACT**

Compensatory drainage techniques are measures whose purpose is to complement classical drainage systems. Since the existing urban infrastructure is outdated, and the conduits are insufficient to meet the volume of rainwater they receive. The objective of the present work is to carry out a comparative analysis between two compensatory drainage systems: the infiltration ditch and the rain Garden, based on hydraulic, hydrological, economic and social criteria. The research was carried out in the city of Campo Mourão, on the Federal Technological University of Paraná. From infiltration tests carried out in two different prototypes and in university woods, it was possible to measure the best performance compensatory technique in both dry and wet soil, thus obtaining that the infiltration trench is the most advantageous alternative, with an overall accumulated infiltration of 148,65% higher than rain Garden.

Keywords: compensatory techniques; infiltration ditch; rain garden; urban drainage.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo Hidrológico da Água.....	20
Figura 2 – Linha de capacidade de infiltração com barras de precipitação .....	22
Figura 3 – Curva de velocidade de infiltração e infiltração acumulada por tempo, com o solo inicialmente úmido e seco .....	23
Figura 4 – Escoamento Superficial .....	26
Figura 5 – Enchente e Inundação .....	27
Figura 6 – Classificação das Drenagens .....	30
Figura 7 – Representação esquemática de valas de infiltração no software PCSWMM.....	34
Figura 8 – Vala de Infiltração .....	34
Figura 9 – Projeto de Jardim de Chuva .....	36
Figura 10 – Exemplo de Jardim de Chuva.....	36
Figura 11- Mapa Campo Mourão/PR .....	40
Figura 12 – Infiltrômetro de Anel .....	42
Figura 13 – Materiais Utilizados no Ensaio de Infiltração.....	43
Figura 14 – Projeto Simulador de Chuva.....	44
Figura 15 – Materiais Simulador de Chuva .....	45
Figura 16 – Simulador de Chuva Real .....	45
Figura 17 – Estrutura Vala de Infiltração .....	46
Figura 18 – Estrutura Jardim de Chuva.....	47
Figura 19 – Vista Superior Jardim de Chuva .....	49
Figura 20 – Vista Tridimensional Jardim de Chuva.....	50
Figura 21- Vista Superior Vala de Infiltração .....	51
Figura 22- Vista Tridimensional Vala de Infiltração.....	52
Figura 23 – Resultados Vala de Infiltração.....	57
Figura 24 – Coleta Água Infiltrada .....	59
Figura 25 – Resultados Vala de Infiltração.....	61
Figura 26 – Resultados Jardim de Chuva .....	62

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Técnicas Compensatórias .....	32
Quadro 2 - Resumo Variáveis de Cálculo.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de Velocidades de Infiltração .....	23
Tabela 2 – Coeficiente de Escoamento .....	48
Tabela 3 – Porosidades Efetivas .....	49
Tabela 4 – Ensaio 1 – Infiltração no Solo .....	54
Tabela 5 – Ensaio 2 – Infiltração no Solo .....	55
Tabela 6 – Ensaio 1 Vala de Infiltração .....	60
Tabela 7 – Ensaio 1 Jardim de Chuva .....	60
Tabela 8 – Resultados Vala de Infiltração .....	61
Tabela 9- Resultados Jardim de Chuva.....	61
Tabela 10- Análise Comparativa .....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LID	Low Impact Development
PCSWMM	Store Water Management Model
SbN	Soluções baseadas na Natureza
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VIB	Velocidade de Infiltração Básica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Contexto Histórico</b> .....	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>Ciclo Hidrológico da Água</b> .....	<b>19</b>
4.2.1	Infiltração de Água no Solo .....	21
4.2.2	Aumento do Escoamento Superficial.....	25
4.2.3	Enchentes Urbanas .....	27
4.2.4	Degradação da Qualidade da Água .....	28
<b>4.3</b>	<b>Medidas de Controle dos Impactos</b> .....	<b>29</b>
<b>4.4</b>	<b>Técnicas Compensatórias ou Sistemas Alternativos de Drenagem</b>	<b>31</b>
4.4.1	Vala de Infiltração.....	33
4.4.2	Jardim de Chuva .....	35
<b>4.5</b>	<b>Critério para Avaliação de Sistemas de Drenagens</b> .....	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>39</b>
<b>5.1</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>39</b>
<b>5.2</b>	<b>Pesquisa de Campo</b> .....	<b>39</b>
5.1.1	Características da Área de Estudo .....	39
5.1.2	Teste de Infiltração .....	41
5.1.3	Simulador de Chuva .....	44
5.1.4	Montagem dos Protótipos.....	46
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE A - Resultados dos Ensaios de Infiltração</b> .....	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento desenfreado da população que vive nas áreas urbanas durante as últimas décadas proporcionou um grande déficit na infraestrutura urbana. Especialmente na drenagem nas cidades, os condutos que levam a água pluvial até os cursos d'água, que antes suportavam as vazões das cidades, na atualidade não conseguem atender toda a vazão demandada.

Isso ocorre devido à construção de edifícios, crescimento do número de múltiplas edificações em um mesmo terreno com o intuito de otimizar o território disponível, outra medida diz respeito a alteração do plano diretor dos municípios, permitindo que zonas residenciais possam ser utilizadas como comerciais, dessa forma, aumentando o coeficiente de aproveitamento dos terrenos, além de outras medidas para o desenvolvimento urbano. Onde antes havia espaço para a água pluvial infiltrar-se ao solo, hoje com a construção de edifícios e pavimentação de áreas urbanas, escoam superficialmente e é direcionada totalmente para o sistema de drenagem que não foi projetado para receber todo esse volume de água. O resultado é a ineficiência da infraestrutura urbana, enchentes e doenças transmitidas à população.

Somado aos problemas de atendimento às necessidades da população, há também as questões ambientais, pois antes da urbanização, o ciclo hidrológico da água havia seu curso natural, garantindo a manutenção dos animais e plantas, além de retornar de forma efetiva aos cursos d'água. Devido à alteração da superfície, canalização do escoamento, contaminação tanto do ar, superfícies e material sólido que entram em contato com a população, essas alterações trouxeram mudanças na qualidade da água e ar, acarretando na modificação do microclima local.

As técnicas compensatórias surgiram com o intuito de suprir os déficits na drenagem urbana, complementar os sistemas clássicos e dar uma nova função para a água da chuva. Os recursos naturais são esgotáveis, e o processo de extinção de diversos desses recursos já estão acontecendo, por essa razão, é crucial procurar maneiras de reutilizá-los e poupá-los ao máximo, para que principalmente a água potável, recurso vital aos seres vivos, não se esgote.

A vala de infiltração é uma técnica compensatória de fácil adesão, pois trata-se de uma forma de captação da água pluvial que armazena de forma temporária esse

volume de água, possibilitando a infiltração ao solo de forma lenta e direciona essa água restante aos cursos d'água. O intuito dessa técnica é eludir um grande pico de vazão nesses cursos, direcionada em conjunto no sistema clássico de drenagem. Ou seja, a vala prorroga a chegada da água pluvial até o curso d'água.

Já os jardins de chuva, um tipo de sistema de biorretenção, parte do mesmo princípio da vala de infiltração, pois adia a chegada do volume de água pluvial aos cursos d'água. Porém, essa técnica compensatória consiste em jardins, compostos de solo permeável e vegetação, os quais direcionam a água da chuva, retendo-a temporariamente para que a mesma infiltre parcialmente no solo, e o restante seja direcionado de forma lenta aos rios, lagos ou outro corpo receptor.

São diversos aspectos que são levados em consideração ao selecionar a melhor técnica compensatória, entre eles: critérios hidráulicos, hidrológicos e sociais. Portanto, o presente trabalho tem como finalidade abordar as duas técnicas e selecionar a de melhor desempenho para o solo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Campo Mourão.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Apresentar uma abordagem qualitativa comparando dois sistemas de técnicas compensatórias de baixo impacto: vala de infiltração e de jardim de chuva, com base em critérios hidráulicos, hidrológicos, econômicos, sociais, entre outros na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Campo Mourão.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Estudar o conceito e as técnicas de avaliação de desempenho no manejo de águas pluviais, e aplica-las no desenvolvimento do procedimento objeto de avaliação;
- Selecionar critérios para avaliação de desempenho dos diferentes sistemas de drenagem;
- Analisar a infiltração no solo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Campo Mourão;
- Produzir um protótipo de vala de infiltração e de jardim de chuva;
- Desenvolver um simulador de chuva;
- Propor métodos para quantificar o desempenho dos sistemas de drenagem, a partir dos critérios utilizados para avaliação;
- Selecionar o de melhor desempenho.

### 3 JUSTIFICATIVA

No Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010, o Brasil tinha uma população de em torno de 191 milhões de habitantes, onde desse número, cerca de 161 milhões moravam nas zonas urbanas, e apenas 29 milhões viviam na zona rural. Esse salto da população para a área urbana, ocorreu de forma expressiva na década de 90, onde com a Terceira Revolução Industrial muitas pessoas que residiam no campo se mudaram para as áreas urbanas, e estas não estavam preparadas para receber esse grande volume de habitantes, tornando a infraestrutura existente insuficiente para atender todas essas pessoas.

Diante de toda problemática do estudo das águas pluviais no decorrer do tempo, e do quanto isso afeta uma sociedade como um todo, fez-se necessário criar soluções alternativas para escoamento correto dessas águas, bem como diferentes destinações.

Dessa maneira, haverá outros meios para captação dessa água, uma vez que os projetos de drenagens urbanas estão cada vez mais desfasados em relação ao crescimento do setor urbano de forma desordenada, onde o solo está impermeabilizado e os pontos de drenagem são insuficientes para o volume das áreas das cidades.

Tanto a vala de infiltração quanto o jardim de chuva, são formas de auxiliar na captação e reaproveitamento da água pluvial, que apesar de não ser apropriada para o consumo humano, pode ter outras destinações, ao invés de ser descartada e contaminada posteriormente. Além disso, a água da chuva, quando contaminada pela falta de escoamento, é um fator responsável por diversas patologias nas construções civis, e grande proliferador de doenças a população quando há um déficit na infraestrutura urbana.

Atualmente, é necessário para atender toda essa população, que vêm crescendo de forma exponencial ao longo dos anos, um planejamento que atenda tanto a área urbana no presente, como estimar o número de habitantes no futuro. Trata-se de criar alternativas viáveis economicamente e de forma sustentável, uma vez que os recursos do meio ambiente estão cada vez mais escassos.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Contexto Histórico

O desenvolvimento urbano no Brasil, conforme Brito (2006 *apud* BAPTISTA 2005), iniciou-se na década de 1960 e ocorreu seu ápice até o final dos anos de 1990. Neste período, a população que antes vivia predominantemente no campo, passou a viver no setor urbano, em grande volume nas metrópoles. Esse fato gerou um aumento da poluição e da frequência de inundações, já que a região urbana foi impermeabilizada e canalizada, impedindo que a água retornasse como antes aos cursos de água. Nas periferias, Brito (2006 *apud* BAPTISTA 2005), relata ainda que esse evento foi ainda mais drástico, pois não houve projeto correto de infraestrutura que pudesse prever a população em massa ocupando pequenas áreas, tornando o risco de inundações e escorregamento iminente.

O processo de drenagem urbana, conforme descreve Riguetto, Moreira e Sales (2009), ocorreu em três fases, que são caracterizadas pela evolução da percepção humana ao longo do tempo. A primeira fase, denominada de drenagem urbana tradicional, tinha como objetivo reduzir o impacto das cheias por meio do controle das águas. Para tanto, utilizou-se de medidas estruturais e não estruturais, ou seja, o propósito era coletar e afastar as águas pluviais. A percepção humana nessa fase era que as águas em excesso eram prejudiciais e danosas e precisava ser eliminada o quanto antes.

Já a segunda fase, houve uma assimilação diferente das funcionalidades das águas pluviais. Nesse período, surgiram modos de gestão e manejo das águas pluviais, controlando as águas provenientes da chuva e induzindo-as à infiltração e retenção, como soluções para recompor o ciclo hidrológico natural e minimizar picos de cheias. Essa etapa recebeu o nome de drenagem urbana sustentável, e buscava principalmente postergar os picos de cheias, além de oferecer condições e espaço para o desenvolvimento sustentável.

A terceira etapa, foi onde ocorreu de fato uma evolução de paradigmas, pois o ser humano torna-se consciente da necessidade do cuidado com as águas. Torna-se reconhecida a proposta de Soluções baseadas na Natureza (SbN). Christofidis (2018) relata que “a gestão das águas em sintonia com a natureza eleva o patamar da

existência humana pela admiração e contemplação das águas, dimensão que se denominou por hidrossuperação e hidromaturidade.”

Sabe-se que para a construção da sustentabilidade urbana é necessário planejamento, pensado de forma estratégica, participativa e global. A especial finalidade do planejamento urbano é a superação de problemas de injustiça social, visando a melhoria da qualidade de vida e conseqüente positiva mudança social. Esta finalidade deve ser a norteadora de todo processo que busque o desenvolvimento econômico das cidades integrado com a responsabilidade de manter e melhorar o meio ambiente cidadão. (SAUGO E MARTINS, 2008. p.6)

## 4.2 Ciclo Hidrológico da Água

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, o ciclo hidrológico da água, ou ciclo da água, trata do movimento que ocorre constantemente na água em razão da força da gravidade, bem como da energia do sol, que faz com que a água evapore, retorne às nuvens, e

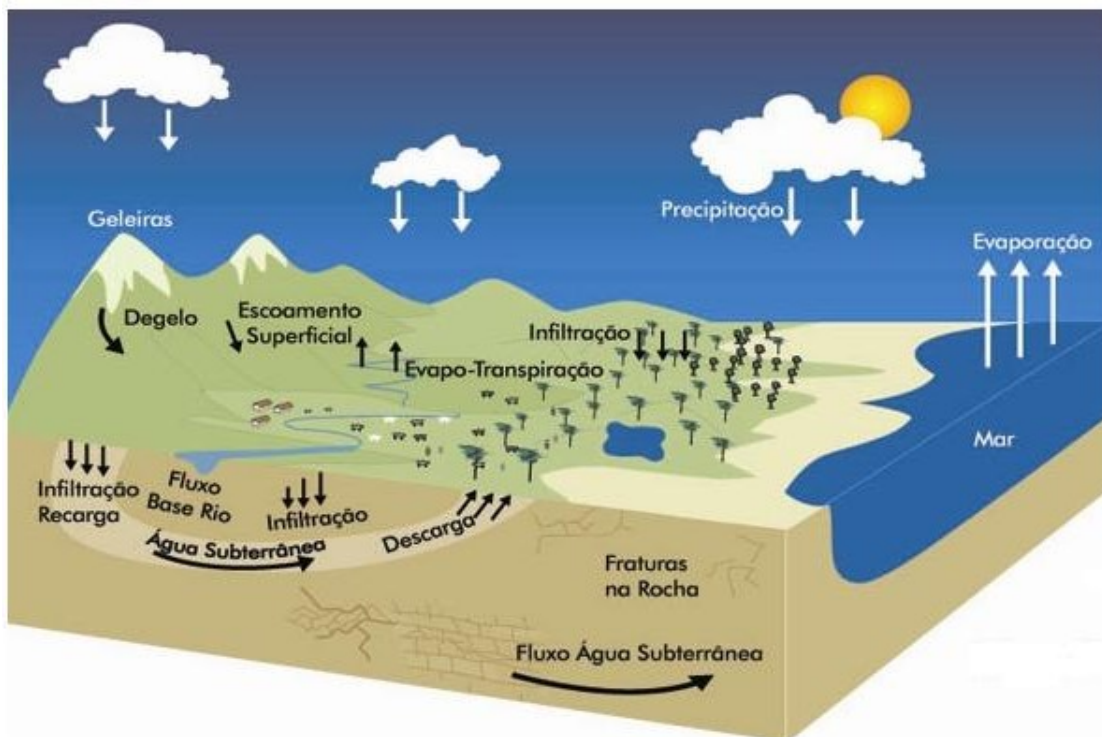
estas quando carregadas, provocam precipitações sob forma de chuva, granizo, orvalho ou até mesmo neve. Essa água está presente nos mais diversos meios, como: oceanos, continentes (na superfície, solo ou nas rochas), e na atmosfera.

Quando se encontra nos continentes, a água precipitada pode seguir os diferentes caminhos, sendo estes:

- **Infiltração e percolação:** trata-se do processo de passagem lenta de um líquido através de um meio, ou seja, a água presente no solo ou nas rochas, pode formar aquíferos, e então retornar para a superfície na forma de nascentes, fontes, pântanos, ou alimentar rios e lagos.
- **Entre as partículas e espaços vazios nos solos e rochas:** a água pode fluir de forma lenta entre as partículas e espaços vazios dos solos e das rochas, gerando um armazenamento nesses locais por um período de tempo, que varia, formando os aquíferos.
- **Escoamento sobre a superfície:** quando a precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo, a água escoar sobre a superfície.
- **Evaporação:** a água presente nos rios, lagos e solos evapora e retorna à atmosfera.

- Evapotranspiração: somado a parcela de água que evapora nos solos, rios e lagos, uma parcela é absorvida pelas plantas, as quais liberam a água para a atmosfera por meio da transpiração.
- Formação de gelo: uma parte das águas que estão na superfície são congeladas, gerando as camadas de gelo nos cumes de montanhas e geleiras. Apesar de existir diferentes classificações para a água (água superficial, subterrânea e atmosférica), a água é uma só e somente está mudando de condição, se movimentando e passando por todo o seu ciclo, conforme observamos na figura 1.

**Figura 1 – Ciclo Hidrológico da Água**



Fonte: Instituto Água e Terra do Paraná, 2021, p. 1

O Instituto Água e Terra do Paraná (2021), ressalta que apesar da abundância de água existente no planeta Terra, ela é um recurso natural que pode ser esgotado. Por essa razão, a quantidade de água subterrânea que pode ser bombeada com segurança no decorrer dos anos, depende da capacidade do reservatório natural existente e das condições climáticas e geológicas que permitam que o aquífero seja recuperado. Ou seja, a água presente em um reservatório natural pode ter sido acumulada por anos, ou até séculos, porém apenas se a quantidade de água retirada

por meio do poço for inferior ao volume recuperado através da infiltração, o bombeamento pode continuar por prazo indefinido sem causar qualquer efeito desastroso. Contudo, se o bombeamento for superior à recarga, há a possibilidade de, em longo prazo, esgotar o aquífero.

De acordo com Medeiros (2019 *aput* TUCCI 2003), todo esse evento histórico de urbanização refletiu diretamente no ciclo hidrológico, devido à alteração da superfície, canalização do escoamento, contaminação tanto do ar, superfícies e material sólido que entram em contato com a população, aumentando ainda mais a poluição. Atrelado a toda essa problemática, a drenagem urbana é feita de forma insustentável e irregular. Como consequência, veio o aumento da vazão máxima, bem como sua frequência, uma vez que o escoamento se dá por condutos e canais impermeabilizados na superfície, aumento da produção de sedimentos, em razão da falta de proteção adequada de superfícies e excesso de resíduos sólidos (lixo), queda da qualidade da água, pelo transporte de material sólido, ligações clandestinas de esgoto cloacal ao pluvial e contaminação de aquíferos.

#### **4.2.1 Infiltração de Água no Solo**

Fiorin (2008), descreve o termo infiltração como o processo de entrada de água na superfície, sendo este fluxo vertical descendente ou tanto de forma parcial como completa da superfície do território. De acordo com Costa (2004), o comportamento típico de movimentação inicial da água, na camada superficial do pavimento, é sob a ação da gravidade, onde o caminho a ser percorrido se dá pelas fendas largas e outros espaços intersticiais grandes, isso significa a porosidade não capilar.

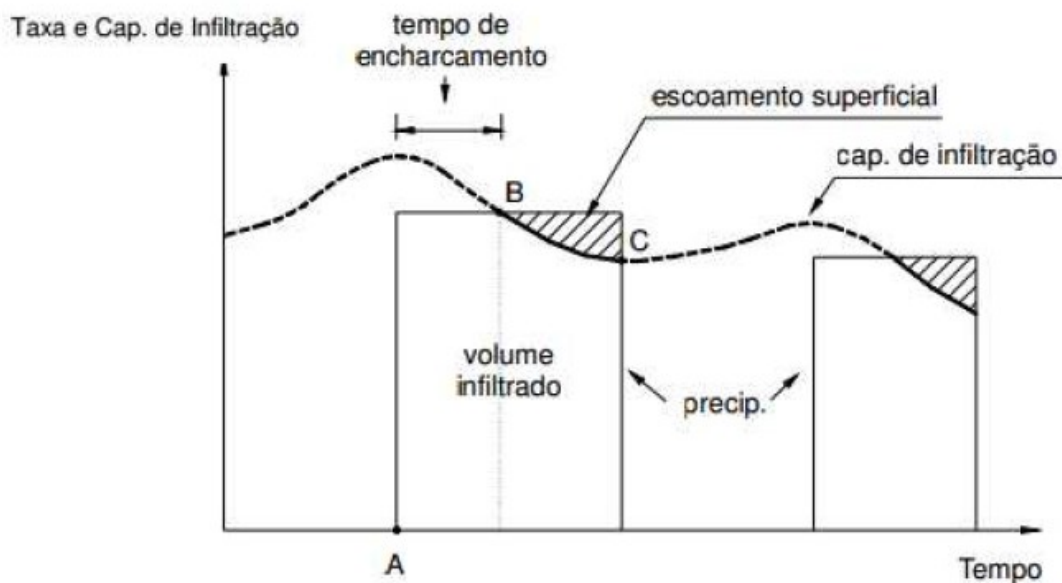
A velocidade com que essa água é infiltrada, conforme Lima (2009) relata, é a velocidade média com que a água escoar através do solo saturado, ou seja, trata da quantidade de água que passa pelo pavimento em um determinado tempo, sendo a unidade geralmente utilizada metros por segundo, metros por dia ou mesmo metros cúbicos por metro quadrado e por dia.

Segundo Fuzer (2013 *aput* SILVEIRA 2010), “os principais fatores que interferem na infiltração de água no pavimento são: o tipo de solo, declividade do terreno, altura de retenção superficial e espessura da camada saturada, teor de

umidade, ação da precipitação sobre o solo, compactação devido a homens e animais, macroestrutura do terreno, temperatura, presença do ar e variação da capacidade de infiltração.”

Na figura 2 verifica-se o “desenvolvimento típico das curvas representativas da evolução temporal da infiltração real e da capacidade de infiltração com a ocorrência de uma precipitação” (FUZER, 2013, p. 12 *aput* CARVALHO e SILVA, 2006, p. 66).

**Figura 2 – Linha de capacidade de infiltração com barras de precipitação**



Fonte: Carvalho e Silva, 2006, p. 13

Bernardo (1995) e Barreto *et al.* (2004), descrevem que o comportamento inicial, baseando-se na curva comumente apresentada da velocidade de infiltração, é ser relativamente alta no início, e ter uma redução de forma gradual, até que atinja um valor constante. Assim, ao alcançar este ponto onde a velocidade varia de forma irrisória, verifica-se a Velocidade de Infiltração Básica (VIB). Segundo Fuzer (2013 *aput* COSTA 2004), a VIB “é determinada pelo horizonte do qual a passagem de água é mais lenta, e ao atingir um valor estável considera-se uma medida de drenagem interna do solo. Sendo essa relacionada com as taxas reais de infiltração e com o escoamento superficial.” O solo pode ser classificado com base na sua velocidade de infiltração, conforme Carvalho e Silva (2006) demonstram na tabela abaixo.

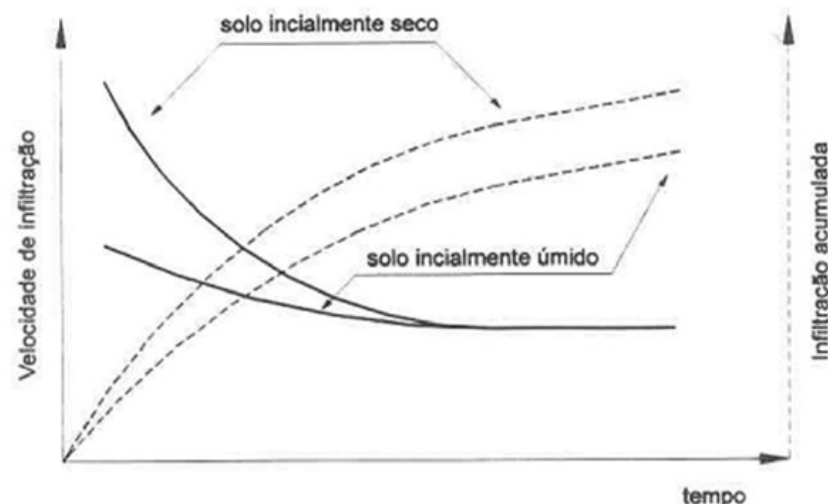
Tabela 1 – Classificação de Velocidades de Infiltração

CLASSIFICAÇÃO	PARÂMETROS
Solo de VIB baixa	$VIB < 5 \text{ mm/h}$
Solo de VIB média	$5 < VIB < 15 \text{ mm/h}$
Solo de VIB alta	$15 < VIB < 30 \text{ mm/h}$
Solo de VIB muito alta	$VIB > 30 \text{ mm/h}$

Fuzer (2013, p. 14 Adaptado de CARVALHO E SILVA 2006)

A figura 3 apresenta a curva de velocidade de infiltração, bem como a infiltração acumulada por tempo, em duas situações distintas: com o solo úmido e seco.

Figura 3 – Curva de velocidade de infiltração e infiltração acumulada por tempo, com o solo inicialmente úmido e seco



Fonte: Carvalho e Silva, 2006, p. 14

Na figura 3, ilustra-se quatro curvas, sendo duas com concavidades para cima, que representam a velocidade de infiltração com tempo, e as outras duas, caracterizadas pela concavidade voltada para baixo, referem-se à infiltração acumulada com o tempo, onde em cada dupla de curvas uma delas é sob as condições de solo inicialmente seco e outra molhado.

Desse modo, Costa (2004) e Daker (1984) concluíram que em solo seco a infiltração inicial é mais alta, se comparado com o solo mais úmido. Isso ocorre em razão do valor elevado do gradiente de tensão. Vale ressaltar que o choque dos pingos da chuva com o afastamento das partículas finas em terrenos sem vegetação tende a



formar uma camada superficial compacta, e como consequência diminui a infiltração na superfície do solo. “Tanto o impacto das gotas de chuva quanto à ação cisalhante da enxurrada modifica as condições físicas da superfície do solo, como a rugosidade e a porosidade, e, conseqüentemente, a taxa de infiltração de água.” (PANACHUKI *et al*, 2011, p. 1778).

Para Bernardo (1995) e Righetto (1998), a velocidade de infiltração tem influência de diversos fatores, principalmente em períodos de estiagem, entre eles: umidade inicial do solo, a porosidade e camadas menos permeável no decorrer do perfil. Em um mesmo tipo de solo há ainda variação com base nas condições externas presentes, sendo: radiação solar, temperatura do ar e velocidade do vento. Portela *et al* (2011) diz que, a infiltração da água possui relação direta com as condições físicas tanto internas quanto externas do solo em que está inserida. Sendo que a textura e compactação características de grande relevância, já que se refere a distribuição geométrica dos poros, bem como sua estruturação. Os poros existentes nos solos, de acordo com Fiorin (2008), são os espaços entre as partículas do solo ou entre agregados, fruto do arranjo, distribuição e orientação das partículas do solo, os quais possuem capacidade de armazenar água e ar.

Panachuki *et al* (2011) relata que, solos caracterizados pela constante alteração de sua estrutura possuem tendencia de ter seus agregados desfragmentados, como consequencia há uma redução nos macroporos (poros maiores responsáveis pela drenagem e aeração do solo) e aumento tanto dos microporos (poros capilares com a função de retenção da água no solo) quanto de sua densidade. O reflexo deste processo é a redução de infiltração de água e aumento das taxas de escoamento superficial.

Segundo Barreto *et al* (2004), a infiltração torna-se mais expressiva em solos arenosos ou argilosos com partículas bem agregadas, isso ocorre por conta do alto teor de macroporos presentes. Já em argilas, Peixoto (2011) relata que o declínio da curva da capacidade de infiltração por tempo é mais ágil, além disso, no seu trecho constante a taxa de infiltração é menor, em comparação com os solos arenosos.

Fuzer (2013 *aput* DAKER 1984), afirmam que em terrenos planos o valor da velocidade de infiltração básica está associado com a textura do solo, de forma que:

- Solos de textura pesada – 5 a 12 mm/hora;
- Solos de textura média – 12 a 20 mm/hora;
- Solos arenosos leves – 20 a 40 mm/hora.

Vale ressaltar que a recomendação de Daker (1984) é que esses valores possam ser aumentados com cobertura vegetal correta e reduzidos conforme a declividade do terreno.

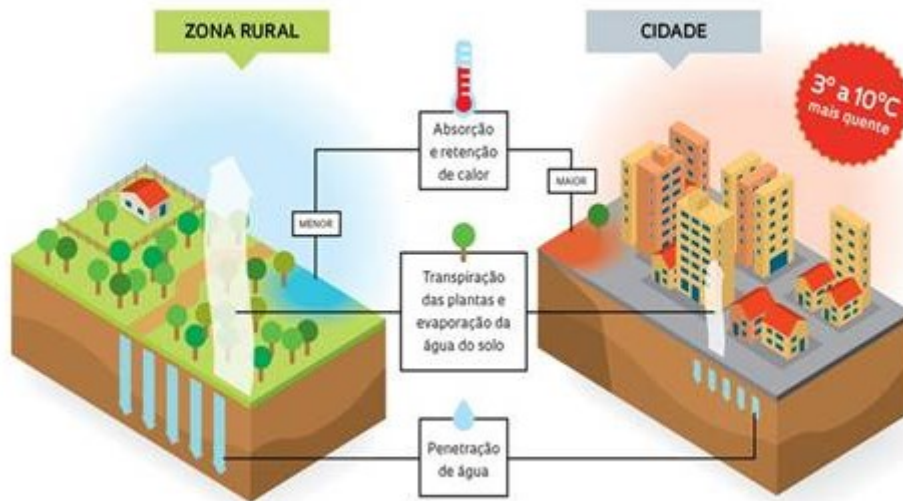
Righeto (1998) observa que, na movimentação de água no solo, a resistência do ar pode ser desprezada, salvo se existir a possibilidade de haver ar aprisionado. Nestes casos, a pressão torna-se maior que a atmosférica e pode causar pistonamento na umidade, resultando em alteração neste movimento de água. Daker (1984) ressalta que a infiltração é um fator que depende da pressão hidrostática, isto é, da coluna d'água codicionado ao solo no decorrer do período observado.

#### **4.2.2 Aumento do Escoamento Superficial**

Para Carvalho e Silva (2006), o escoamento superficial é o processo onde ocorre o transporte da água na superfície terrestre. O aproveitamento dessa água superficial é objeto de muitos estudos, pois trata-se de um recurso natural que está em constante mudança, conforme dito anteriormente. O ciclo da água é um processo contínuo, que ocorre devido à precipitação. Dessa forma, assim que a precipitação atinge o solo, uma porção dessa água fica retida em depressões, na forma de uma película ao redor de partículas sólidas. Já o excedente da água retida, uma parte se infiltra e a outra parte escoar superficialmente. Também há a possibilidade de a água infiltrada aflorar na superfície posteriormente como ocorrência de um novo escoamento superficial.

A figura 4 mostra um comparativo entre a zona rural, onde o solo não está impermeabilizado, permitindo que a água possa infiltrar-se com facilidade, e a zona urbana, onde o processo de urbanização fez com que a água tenha menos pontos de infiltração, acarretando no escoamento superficial e aumento da temperatura.

**Figura 4 – Escoamento Superficial**



Fonte: Pivetta, 2012, p. 80

De acordo com Pivetta (2012), salienta-se que o escoamento superficial engloba desde o excesso de precipitação que se desloca livremente no solo, ocorrido logo após uma chuva intensa, até o escoamento de um rio, que pode ser nutrido por duas fontes: tanto pelo excesso de precipitação como pelas águas subterrâneas.

O escoamento superficial para Brito (2006), é uma das parcelas do ciclo hidrológico na bacia urbana com grande relevância para o dimensionamento e controle da drenagem pluvial, o qual depende do tipo de cobertura do solo e da sua taxa de infiltração.

A construção civil é responsável pela enorme parcela de superfícies impermeabilizadas, pois Brito (2006) afirma que com a construção de edifícios, e a pavimentação das ruas, a infiltração e armazenamento das águas pluviais através do perfil do solo, torna-se mais difícil, fator este que aumenta o escoamento superficial e conseqüentemente torna as tubulações hidráulicas urbanas, dimensionadas para receber um determinado volume de água, insuficientes ou até mesmo ineficientes. Além disso, o caminho que transporta os resíduos pelo escoamento superficial causa entupimento e degradação dos elementos da micro drenagem, propiciando a ocorrência de enchentes e acúmulo de grandes volumes de águas pluviais.

### 4.2.3 Enchentes Urbanas

A chuva é um fenômeno natural sazonal conhecido como a mais comum espécie de precipitação. A água da chuva é responsável pela manutenção dos cursos d'água, contribuindo para o escoamento superficial de uma bacia hidrográfica. O excedente de precipitação, aliado ao crescente desenvolvimento urbano e a consequente impermeabilização das superfícies é normalmente a causa das enchentes urbanas. (BRITO, 2006, p. 6)

A ocorrência de enchentes, de modo geral, é em função do uso e ocupação do solo, dessa forma, a taxa de infiltração e armazenamento da água no território é inferior a necessária para permear no interior do solo, ocasionando o acúmulo dessa água nas superfícies. Medeiros (2019) *aput* TUCCI, (1994), relata que as enchentes são um problema não só das regiões urbanas, em regiões ribeirinhas, o leito do rio ocupa uma região maior quando há chuvas extremas, em média com o tempo de retorno. A figura 5 ilustra o nível de um rio em situação normal e quais alturas este rio pode alcançar em situações de enchente e inundação.

**Figura 5 – Enchente e Inundação**



**Fonte: Adaptado de Defesa Civil de São Bernardo do Campo/SP *aput* Nascimento, Borges e Lima, 2019, p. 1**

Nascimento, Borges e Lima (2019) afirmam que as mudanças que ocorrem devido à ação humana na natureza, como o desmatamento e as construções de edifícios, ruas, calçadas, pátios, entre outros, fazem com que a parcela de precipitação que ficava retida pelas plantas, e infiltrava de forma lenta no solo, incorporou-se a parte que escoava pelos condutos, aumentando esse volume e exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

As enchentes são ainda mais drásticas nas áreas urbanas, pois é um problema somático, que cresce de forma desenfreada com a urbanização e aumento da população. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Pesquisa (IBGE), o saneamento básico é um dos principais problemas que atinge a população brasileira, especialmente a macrodrenagem, já que em torno de 80% da população vive com esse problema no cotidiano. Os prejuízos que as enchentes trazem vão além dos econômicos, englobam assoreamentos e doenças de veiculação hídrica, fator que representa uma parcela das causas de óbitos no Brasil.

#### **4.2.4 Degradação da Qualidade da Água**

Tucci (2008) salienta que: “As águas urbanas englobam o sistema de abastecimento de água e esgotos sanitários, a drenagem urbana e as inundações ribeirinhas, a gestão dos sólidos totais, tendo como metas a saúde e conservação ambiental.”

Na década de 1970, nos Estados Unidos, houve a aprovação do "*Clean Water Act*" (Lei de água limpa), que foi um grande marco para o país. Tucci (2008) descreve que se trata de uma legislação a qual exige que todos os efluentes sejam tratados com a melhor tecnologia disponível, com o intuito de recuperar e conservar os rios. A implantação da lei fez com que os Estados Unidos investissem em grande escala em tratamento de esgoto doméstico e industrial, e como consequência, a qualidade da água dos sistemas hídricos melhoraram consideravelmente, além de evitar a proliferação de doenças e danos nos rios e fontes de abastecimentos.

Mesmo com essa grande mudança na dinâmica do saneamento básico, percebeu-se que ainda persistia uma parte da poluição por conta das inundações urbanas e rurais, denominadas de poluição de fontes difusas. E então, desde a década de 90, não só os Estados Unidos, mas muitos países desenvolvidos têm investido no desenvolvimento de uma política de desenvolvimento sustentável urbano com ênfase no tratamento das águas pluviais urbanas e rurais, além da preservação do escoamento pluvial e tratamento dos efluentes. O propósito é a implementação da urbanização, de forma que seja preservado os cursos naturais do escoamento e sobrepondo a infiltração.

Já nos países em desenvolvimento, Tucci (2008) traz em seus estudos que a dinâmica é outra, as cidades variam de estágio. De forma inicial, quando a população da cidade em questão é pequena, o abastecimento é feito através de poços ou de um corpo d'água próximo, enquanto o esgoto é descartado na drenagem (quando existe) ou direcionado para poços negros ou fossas sépticas. Com isso, há o risco de a água de abastecimento ser contaminada pelo próprio esgoto.

O contexto que países nessa situação vivem é preocupante, já que existe a possibilidade de o esgoto escoar pelas ruas ou pela drenagem, quando o solo possui baixa capacidade de infiltração, ou o desempenho das fossas não é eficiente. Esse estágio, com base no relato de Tucci (2008), vem antes ainda do higienismo, ocasionando a proliferação de doenças transmitidas pela água.

Tucci (2008) conclui que o Brasil ainda está na fase higienista, por conta da ausência de tratamento de esgoto, transferência de inundação na drenagem e falta de controle dos resíduos sólidos.

Brito (2006 *apud* PORTO 1995) descreve que os impactos na qualidade da água do corpo receptor, ocasionadas pelo escoamento superficial urbano são: alterações estéticas (cor, turbidez); depósitos de sedimentos, gerando arruinamento de habitats e redução do potencial de escoamento; redução de substâncias do oxigênio dissolvido, contaminação por organismos patogênicos e a eutrofização. Todos os impactos, conforme explicitados anteriormente, se relacionam com patologias humanas.

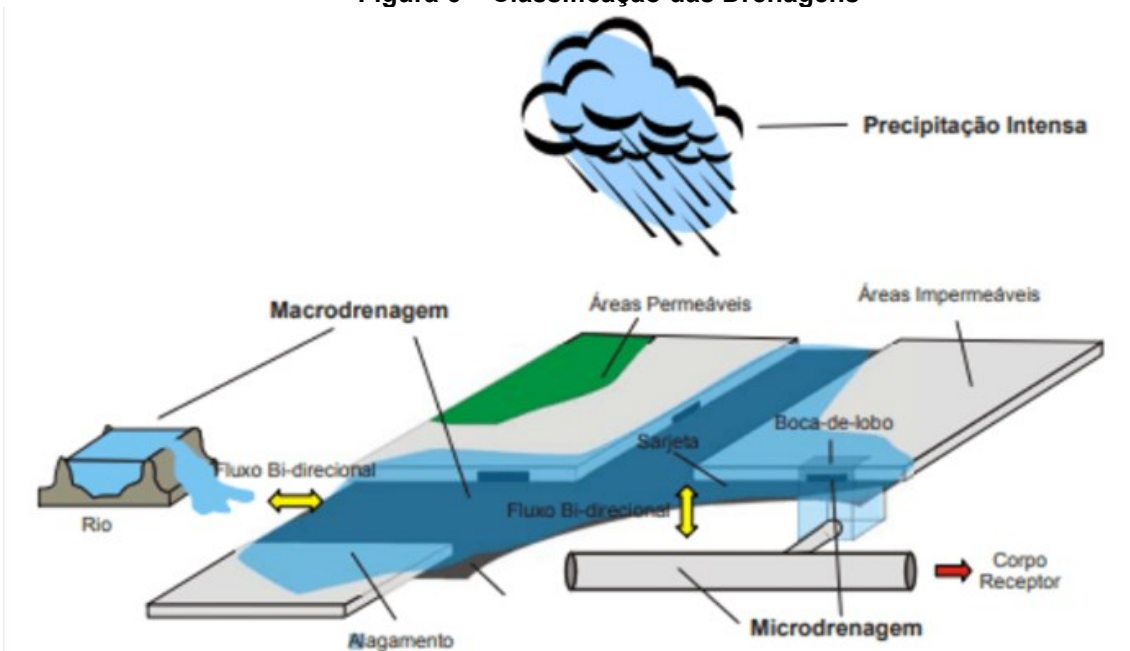
### **4.3 Medidas de Controle dos Impactos**

Atualmente, existem medidas de controle dos impactos quantitativos na drenagem, Tucci (2005) descreve que são classificadas em:

- a) na fonte: o controle é feito no nível de lote ou qualquer área primária de desenvolvimento;
- b) na microdrenagem: adota-se medidas em nível de loteamento;
- c) na macrodrenagem: as medidas são implantadas nos rios urbanos.

Onde cada medida é adotada em conformidade com o estágio de desenvolvimento da área de estudo e pode ser vista na figura 6.

**Figura 6 – Classificação das Drenagens**



Fonte: Meller, 2004, p. 17

Brito (2006) e TUCCI E GENZ, (1995) classificam as medidas de controle ainda com base na forma em que podem ocorrer, sendo elas:

- a) Infiltração e percolação: dessa forma, permite que a água tenha maior infiltração e percolação no solo, uma vez abaixo deste, pode ser armazenada e esse fluxo subterrâneo faz com que o processo de escoamento superficial seja retardado;
- b) Armazenamento: através de reservatórios que variam de 1 a 3 metros cúbicos, é possível reter parte do volume de escoamento superficial, trazendo uma vazão mais concisa ao longo do tempo e com isso reduz o seu pico;
- c) Aumento da eficiência do escoamento: o objetivo dessa medida é transferir enchentes, por meio de condutos e canais, é possível drenar áreas inundadas e transferir essa água para outra área, geralmente é utilizado em conjunto com reservatórios de detenção;
- d) Diques e estações de bombeamento: alternativa usual de controle para enchentes localizadas em áreas urbanas sem espaço para amortecimento da inundação.

#### **4.4 Técnicas Compensatórias ou Sistemas Alternativos de Drenagem**

De acordo com Baptista (2007), na década de 70, na Europa e na América do Norte, surgiu uma nova abordagem para tratar o problema de drenagem urbana. Trata-se do conceito de tecnologias alternativas ou compensatórias de drenagem, cujo objetivo é neutralizar ou minimizar os efeitos da urbanização acerca dos processos hidrológicos, juntamente com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental.

Já nos sistemas clássicos, onde as águas pluviais são captadas e carreadas a condutos artificiais, Baptista (2007) afirma serem usualmente subterrâneos, por meio da gravidade, sendo retiradas das zonas urbanas e conduzidas até os corpos d'água de forma rápida. Sendo constituídos os sistemas clássicos de drenagem urbana, basicamente de: dispositivos de captação das águas superficiais, um arranjo de condução das águas captadas, sendo canais abertos ou condutos enterrados, além de obras complementares, como por exemplo, bueiros e dissipadores de energia.

As técnicas compensatórias, conforme descrito por Baptista (2007), são tecnologias alternativas que comparada às soluções clássicas trazem um diferencial, em razão de levarem em consideração os impactos da urbanização de maneira completa, tornando a bacia hidrográfica um fator de grande relevância e objeto de estudo, além disso, tem o intuito de compensar sistematicamente os efeitos da urbanização, cuja forma de controle é direto na fonte, a produção de água oriunda da impermeabilização em excesso, através de infiltração, e poupando a transição de forma rápida para jusante, através de estruturas de armazenamento temporário.



**Quadro 1- Técnicas Compensatórias**

Técnicas compensatórias não-estruturais	Legislação		
	Racionalização do uso do solo urbano		
	Educação ambiental		
	Tratamento de fundo de vale		
Técnicas compensatórias estruturais	Bacias	Detenção e Retenção	
		Infiltração	
		Detenção/Retenção e Infiltração	
	Obras lineares	Trincheiras	
		Valas e Valetas	
		Pavimentos	Revestimento permeáveis
			Pavimento reservatório
		Obras pontuais	Poços de infiltração
	Telhados		
	Técnicas adaptadas à parcela		

**Fonte: Adaptado de Batista; Nascimento; Barraud (2011)**

As técnicas compensatórias são classificadas conforme a posição de implantação da estrutura e da área a ser drenada pela mesma, conforme citado por Baptista (2007), são as técnicas:

- a. Técnicas para controle na fonte: são executadas em conjunto com as parcelas ou pequenos grupos de parcelas atreladas à drenagem de áreas pequenas. São exemplos de técnicas de controle na fonte: valas, valetas, trincheiras e poços de infiltração.
- b. Técnicas para controle nos sistemas viário: são estabelecidas juntamente com os sistemas de infraestrutura viária existentes. São exemplos dessa técnica: pavimentos de concreto permeável, pavimentos de asfalto permeável, pavimentos de blocos vazados, pavimentos intertravados, e pavimentos de alvenaria poliédrica.
- c. Técnicas para controle a jusante: são feitas em conjunto com parcelas ou grupos de parcelas atreladas à drenagem de áreas maiores. São exemplos de técnicas de controle a jusante: bacias de detenção gramadas, bacias de detenção em concreto, e bacias de detenção enterradas.

Baptista (2007) ressalta ainda que estas tecnologias alternativas trazem muitas vantagens na sua implementação, pois permitem:

- a. Prosseguimento do desenvolvimento urbano sem um aumento expressivo de custos aos municípios;
- b. Modular o sistema de drenagem em torno do crescimento urbano;

- c. Além de atrelar o tratamento às questões de drenagem pluvial na zona urbana com as demais questões do setor urbano.

A contribuição das tecnologias alternativas, conforme a descrição de Baptista (2007), vai além da preservação do meio ambiente, pois trazem uma melhora significativa na qualidade de vida em meio urbano, além de possibilitar uma recuperação do meio ambiente, através da diminuição da carga de poluição vinda das águas pluviais. Vale ressaltar que as vantagens descritas acima dependem, da solução validada e sua implementação correta no ambiente, porém, de fato a adoção destas tecnologias alternativas na drenagem urbana está intimamente ligada às condições primordiais para o desenvolvimento sustentável em áreas urbanas.

#### **4.4.1 Vala de Infiltração**

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na norma NBR 12266, o conceito de vala trata-se de uma abertura executada no solo, através de um processo mecânico ou manual, contendo uma seção transversal pré-estabelecida, com a função de receber tubulações. Especificamente as valas e valetas de infiltração são um tipo de técnica compensatória, que conforme descreve Baptista (2005), tem como função receber águas pluviais, armazenando-as de forma temporária, para posteriormente favorecer sua infiltração.

A principal diferença entre as valas e valetas de infiltração de acordo com Baptista (2005), são em função das suas dimensões. As valas são caracterizadas pela sua largura grande e declividade no sentido longitudinal, sendo escavadas na terra. Já as valetas, são valas com uma profundidade pequena.

Para Brito (2006), a função primordial das valas é diminuir o pico de vazões escoadas por meio da infiltração ou retenção, ou seja, por armazenar temporariamente as águas pluviais acaba postergando o volume das vazões. O funcionamento dessa técnica se dá pela captação das águas pluviais, as quais escoam para o interior das valas com o auxílio das superfícies laterais. Então as valas armazenam essa água captada no seu interior, ao ar livre. Em seguida, o volume armazenado é evacuado por meio da infiltração, ou por um exutório. A figura 7 ilustra a representação esquemática de uma vala de infiltração pelo software PCSWMM,

onde percebe-se como funciona o escoamento no interior da vala, enquanto que a figura 8 representa uma aplicação real de vala de infiltração.



Fonte: Delci, 2019, p. 6

**Figura 8 – Vala de Infiltração**



Fonte: Jesus *et al*, 2020, p. 9

Essa técnica compensatória conforme relata Brito (2008), permite um maior ganho financeiro, em razão da diminuição das tubulações à jusante, além de contribuir na paisagem vegetal, diminuir a probabilidade de ocorrer inundações, recarrega os aquíferos, extinguindo muitas vezes a necessidade de exutório, e purifica a água

através da decantação. Por outro lado, a implantação de valas de infiltração traz o risco de poluir o lençol freático, e estagnação da água em sua estrutura, com isso pode ocorrer a colmatação, ou seja, entupimento das valas. Por isso é de suma importância efetuar a manutenção de forma regular das valas.

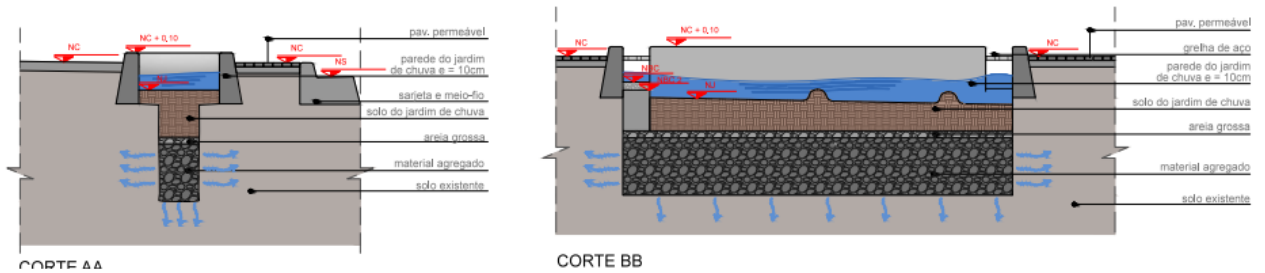
A praticidade e dinamismo de funcionamento dessa técnica compensatória frente aos sistemas clássicos de drenagem, com base na afirmação de Baptista (2005), cumpre de forma eficiente seu papel de reduzir o volume de água pluvial escoado, além de trazer uma melhoria nessa água. Isso conseqüentemente traz não só benefícios ambientais, como também econômicos e sociais, tornando o sistema sustentável.

#### **4.4.2 Jardim de Chuva**

De acordo com Trowsdale e Simcock (2011), os jardins de chuva tratam-se de um tipo de sistema de biorretenção, que consiste em áreas escavadas e completadas com solo permeável e materiais orgânicos. O intuito dessa técnica compensatória é propiciar a infiltração das águas pluviais bem como o crescimento vegetativo, ocasionando assim um maior controle da quantidade e qualidade das águas oriundas do escoamento superficial por meio das propriedades químicas, físicas e biológicas da vegetação e do solo presente.

Os jardins de chuva segundo Melo (2011), assim como nos demais sistemas de biorretenção, contribuem significativamente para o desempenho de atividades, como a agricultura, em razão de transformar poluentes em nutrientes, e na zona urbana em específico, permite reconstruir o ciclo natural da água através da infiltração e evapotranspiração das plantas. A figura 9 representa dois cortes de um projeto de jardim de chuva, demonstrando a composição para montagem em calçadas urbanas. Já a figura 10, traz uma representação real de jardim de chuva implantado no Rio de Janeiro.

**Figura 9 – Projeto de Jardim de Chuva**



Fonte: Soluções para Cidades, 2021, p. 3 e 4

**Figura 10 – Exemplo de Jardim de Chuva**



Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro, 2021, p. 1

Os sistemas de biorretenção proporcionam benefícios ambientais aos moradores, criam habitat para animais, promovem a conservação das plantas, melhoraram a qualidade do ar, amenizam as ilhas de calor, encorajam a administração ambiental e valorizam as propriedades em torno de 20%, devido aos benefícios estéticos. (DE MELO, 2011. p.20 *aput* PRINCE GEORGE'S COUNTRY, 2007. p.16)

Essa técnica compensatória conforme relata Melo (2011), permite um manejo das águas pluviais no lote, controlando assim o escoamento, além disso, remove poluentes, minimiza as ilhas de calor, e possui fácil aplicação. Entretanto é importante levar em conta que os jardins de chuva precisam estar dimensionados conforme a porcentagem da área impermeável, pois assim consegue comportar toda a vazão que

chegará até ele. Outro fator a ser considerado é as espécies de plantas utilizadas, sendo preferencialmente adequadas as nativas e de fácil manuseio, cujas raízes não são grandes e se espalham com frequência, e deve-se cuidar para que não haja colmatação.

Assim como as valas, Prince George's County (2007) assegura que os jardins de chuvas são de fácil aplicabilidade, e trazem uma economia financeira em razão da facilidade de execução. Se dimensionado corretamente, atenderá aos mesmos critérios de eficiência de sistemas clássicos e ainda tornará o ambiente onde foi implantado mais harmonioso e agradável, principalmente em termos climáticos, devido à presença de vegetação.

#### **4.5 Critério para Avaliação de Sistemas de Drenagens**

O intuito do presente trabalho é analisar de forma prática a eficiência de dois sistemas de técnicas compensatórias, sendo eles, a vala de infiltração e o jardim de chuva. Para tanto, é crucial estabelecer critérios para avaliar o desempenho dos sistemas de drenagem em questão. Baptista (2007) descreve que os principais parâmetros que devem ser observados dizem respeito a diferentes aspectos, sendo os aspectos físicos a serem observados:

- Topografia do local;
- Capacidade de infiltração do solo;
- Estabilidade do subsolo;
- Nível das águas subterrâneas;
- Aporte permanente de água.

Já relacionados aos aspectos urbanísticos e de infraestrutura, tem como parâmetros:

- Disponibilidade de espaço;
- Inclinação e forma dos telhados, para técnicas que utilizam esse meio;
- Redes existentes.

Outro aspecto que deve ser observado é em relação aos aspectos sanitários e ambientais, os quais trazem como parâmetros:

- Risco de poluição;

- Risco de água com finos;
- Risco sanitário associado à proliferação de doenças.

Por fim temos os aspectos socioeconômicos, cujos parâmetros são:

- Percepção da população próxima à área com relação à estrutura a ser implantada;
- Critérios relativos à manutenção e ao custo.

Baptista (2007) completa ainda que, existem diversas tentativas de sistematização e de desenvolvimento de sistemas com o objetivo de auxiliar no processo decisório para a escolha de técnicas compensatórias, e ainda possui outras técnicas de sistematização em desenvolvimento afim de identificar as técnicas adaptadas a determinada situação. E ainda há diversos processos envolvendo sistemas informatizados de auxílio à decisão para utilização na fase de seleção e comparação de uma técnica em relação a outra. São exemplos de softwares com fins acadêmicos para seleção: *TecAlt* e *AvDren* (disponíveis em: [www.ehr.ufmg.br](http://www.ehr.ufmg.br)).



## **5 METODOLOGIA**

O método de pesquisa utilizado é o quantitativo e exploratório, onde foram usadas as técnicas de coleta de dados. De acordo com Tucci (2003), a pesquisa de análise de técnicas de drenagem compensatórias não busca enumerar ou medir eventos. Ela serve para obter dados descritivos que expressam os sentidos dos fenômenos.

A pesquisa foi desenvolvida a partir de:

### **5.1 Revisão Bibliográfica**

Os conceitos analisados foram: técnicas de avaliação de desempenho no manejo de águas pluviais, e suas aplicações no desenvolvimento do procedimento objeto de avaliação, e estudos de quais critérios para avaliação de desempenho dos diferentes sistemas de drenagem, análise de como é feita a infiltração no solo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, e quais critérios para avaliação dos sistemas de drenagem. O principal autor que contribuiu com o trabalho foi Tucci.

### **5.2 Pesquisa de Campo**

Utilizando dois protótipos das técnicas compensatórias para serem validadas e um simulador de chuva, afim de mensurar diferentes volumes de chuvas que os protótipos estariam submetidos. Além disso, será feita a análise da infiltração no solo da UTFPR - Câmpus Campo Mourão, e a quantificação do desempenho dos sistemas de drenagem, a partir dos critérios utilizados para avaliação, para por fim, selecionar o de melhor desempenho.

#### **5.1.1 Características da Área de Estudo**

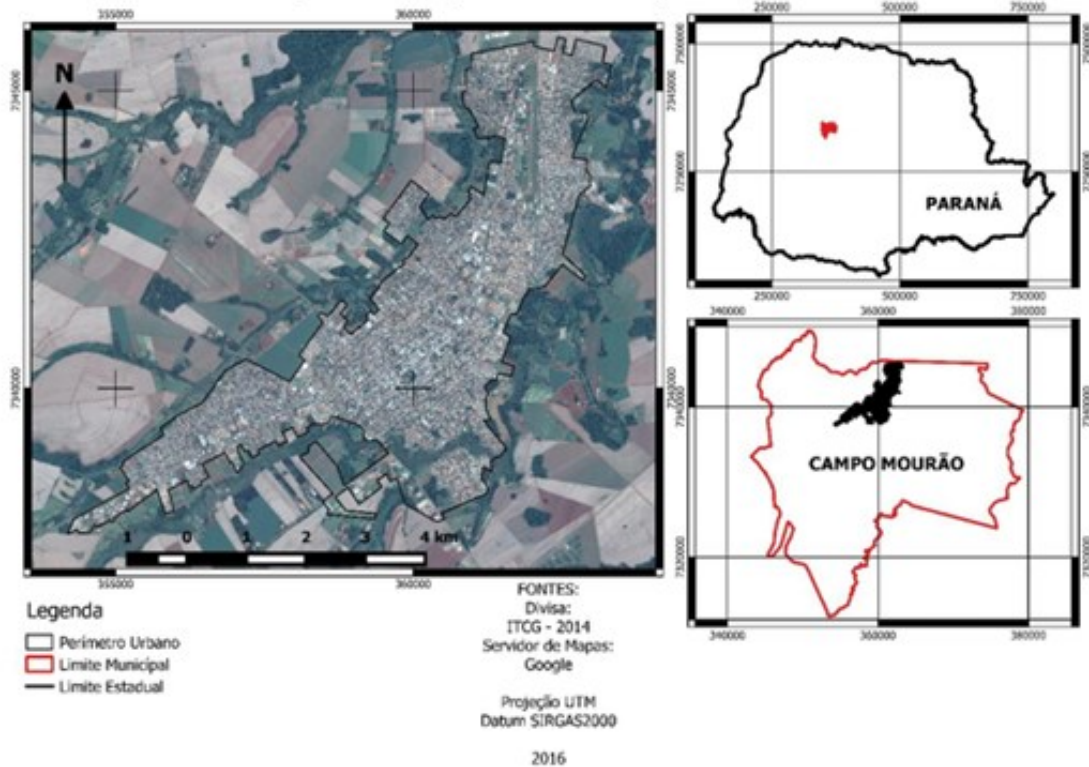
O presente trabalho foi realizado na cidade de Campo Mourão, Estado do Paraná, Brasil (Figura 11), conforme Cidade Brasil (2022), com área de 757,9 km<sup>2</sup>, e



situado a 596 metros de altitude, Campo Mourão tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 24° 2' 46" Sul, Longitude: 52° 23' 2" Oeste.

De acordo com o Censo Demográfico de 2010, o município apresentou população de 87194 habitantes com densidade demográfica de 115,05 habitantes/km<sup>2</sup>.

**Figura 11- Mapa Campo Mourão/PR**



**Fonte: Miranda, Larocca, Angelis, 2017, p. 291**

Para Roderjan *et al* (2002), o município se encontra sob relevo suavemente ondulado, com vegetação predominante de Floresta Ombrófila Mista e Estacional Semidecidual, com a presença de áreas de cerrado. De acordo com Yokoo (2009), o solo da região é caracterizado como Nitossolo Vermelho, cuja origem se dá pela decomposição das rochas basálticas. Pertencente à mesorregião Centro Ocidental Paranaense. Campo Mourão localiza-se no Terceiro Planalto Paranaense, de acordo com a classificação de Köppen. Villwock *et al* (2017) complementa que o clima desta região é subtropical úmido mesotérmico (Cfa), caracterizado por verões frescos e geadas frequentes a cada cinco anos, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida, sendo que os índices pluviométricos apresentam-se em média entre 1.400 mm e 1.500 mm por ano.

A equação da intensidade pluviométrica de Campo Mourão é obtida por meio da equação 1.

$$i_{max} = \frac{901,51 * T_R^{0,1803}}{(t+11)^{0,7508}} \quad (1)$$

(ARANTES *et al*, 2009)

Onde o valor de  $TR$  é o tempo de retorno e  $t$  corresponde a duração da chuva, já o  $i$  é a intensidade pluviométrica máxima.

### 5.1.2 Teste de Infiltração

Para determinação da capacidade de infiltração de água no solo, realizou-se o ensaio de infiltração com infiltrômetro de anel. O ensaio é descrito pela norma internacional *Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer* (ASMT 3385, 2003), a qual consiste na cravação vertical dos anéis no solo em posições concêntricas.

Logo após o nivelamento das superfícies, é vedado o anel interno e inserido água no anel externo até cinco centímetros da borda, este procedimento é realizado para evitar pressão lateral exercida durante o ensaio. Então é preenchido com água o anel interno conforme feito anteriormente. O ensaio inicia-se no momento que o anel interno é cheio, com a cronometragem de tempo e acompanhamento do nível de água, com o auxílio de uma régua graduada, em intervalos de tempos pré-definidos, conforme tabelas 3 e 4. Ao atingir o nível de água de um dos anéis próximos de dez centímetros do fundo do anel, é feita a reposição de água manualmente até a medida inicial. O ensaio finaliza-se quando a taxa de infiltração se torna constante em dois intervalos de tempo.

A figura 12 ilustra o ensaio sendo realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Campo Mourão, já a figura 13 mostra os materiais utilizados para realização do ensaio.

**Figura 12 – Infiltrômetro de Anel**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Figura 13 – Materiais Utilizados no Ensaio de Infiltração**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

De acordo com Carvalho e Silva (2006), a determinação da taxa de infiltração é calculada pela variação da altura de coluna d'água em função do tempo, e este valor é dado em mm.h-1. Para a leitura das alturas de coluna d'água, é necessário o auxílio de uma régua graduada, localizada no anel interno do infiltrômetro. Dada segundo a equação 2 utilizada para obter a taxa de infiltração.

$$t. i. = \frac{\Delta h}{\Delta t} (2)$$

Sendo *t. i.* a taxa de infiltração,  $\Delta h$  a variação da altura da coluna de água em mm e  $\Delta t$  a variação de tempo em hora.

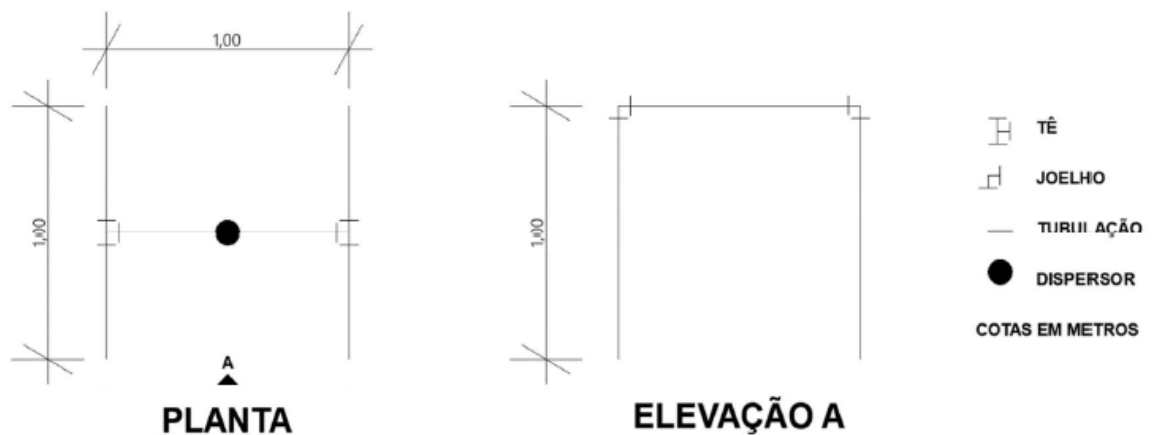
Os ensaios de infiltração foram realizados na região próxima ao bloco A, especificamente no bosque em frente ao bloco B, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Campo Mourão. A escolha do local se deu em razão do acúmulo de água pluvial neste ponto.

Com o objetivo de reduzir o acúmulo de água nesta região, criou-se duas alternativas de técnicas compensatórias de drenagem: uma vala de infiltração e um sistema de biorretenção comumente conhecido como jardim de chuva. A validação da eficiência das duas técnicas se deu por meio da confecção de protótipos.

### 5.1.3 Simulador de Chuva

Devido à incerteza de chuva no período de março a maio na cidade de Campo Mourao, desenvolveu-se um simulador de chuva, para que o estudo não dependa das condições climáticas do local. Conforme o modelo desenvolvido por Medeiros (2019), foi confeccionado um simulador de chuva com tubulação e conexões em policloreto de vinilla (PVC), aspersor de água, hidrômetro e mangueira. A execução do mesmo se deu com tubulação e peças hidráulicas de 25 mm de diâmetro, sendo necessário 2 tê, 2 joelhos de 90 e uma barra de tubulação de 6 metros. Sua estrutura é caracterizada por ter formato de pórtico espacial, cuja estrutura pode ser vista na figura 14, já a montagem do simulador real pode ser vista na imagem 15 e 16.

Figura 14 – Projeto Simulador de Chuva



Fonte: Medeiros, 2019, p. 21



**Figura 15 – Materiais Simulador de Chuva**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Figura 16 – Simulador de Chuva Real**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Para a estimativa da intensidade pluviométrica utilizou-se um pluviômetro analógico, na base inferior do simulador de chuva, de modo a captar a precipitação

obtida. Com o auxílio de um cronômetro, estipulou-se o tempo de 5 minutos de precipitação, obtendo dessa maneira o volume em milímetros da intensidade pluviométrica local.

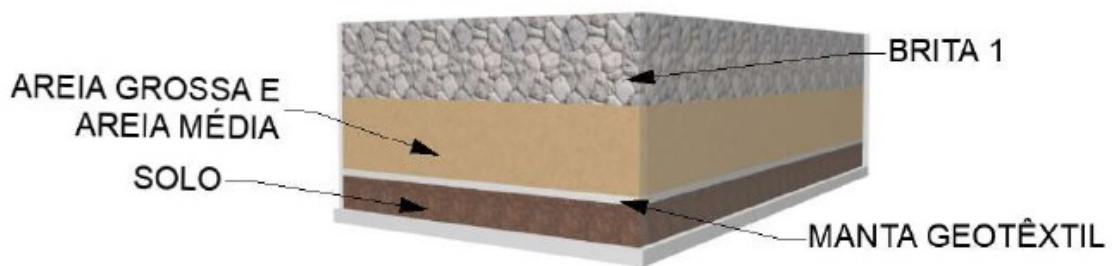
#### 5.1.4 Montagem dos Protótipos

Para a montagem dos protótipos, utilizou-se duas caixas de polietileno cujas dimensões são de 38 cm x 25 cm x 60 cm, com uma torneira acoplada na face frontal inferior de cada caixa com o objetivo de coletar o volume de água absorvido pelo conjunto.

Conforme De Souza (2002), os materiais constituintes são dispostos em camadas no interior das caixas. Sendo para a vala de infiltração os seguintes materiais constituintes: material granular de origem mineral (brita 1, areia grossa e areia média), manta geotêxtil e solo. Já para o jardim de chuva são necessárias as seguintes camadas: cobertura vegetal e seu solo, areia grossa e areia média, manta geotêxtil e solo (DE MELO *et al*, 2013).

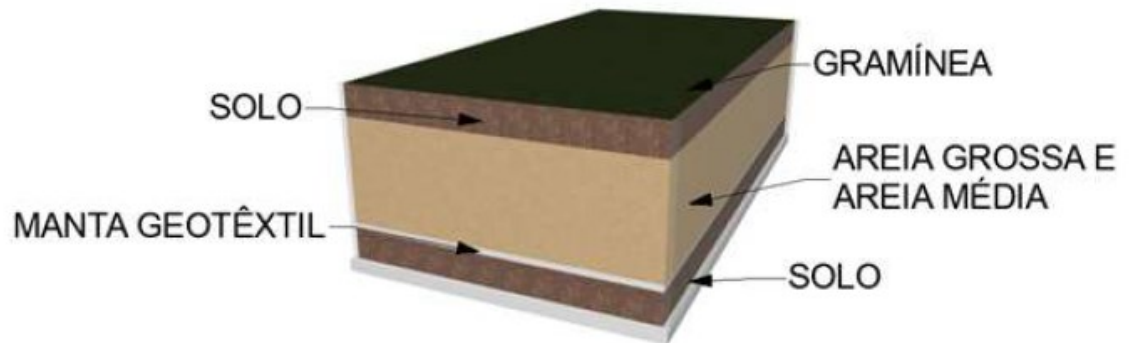
As Figuras 17 e 18 apresentam os protótipos a serem desenvolvidos de vala de infiltração e jardim de chuva, respectivamente.

Figura 17 – Estrutura Vala de Infiltração



Fonte: Medeiros, 2019, p. 18

Figura 18 – Estrutura Jardim de Chuva



Fonte: Medeiros, 2019, p. 18

Para a determinação das alturas das camadas de cada um dos elementos, necessitou-se a adoção da altura da camada de areia, sendo estipulado a altura de 5 centímetros, para então calcular-se a altura da camada de brita. (DE SOUZA, 2002; DE MELO *et al*, 2013).

Para fins de dimensionamento da altura da camada de brita ( $H_b$ ) é utilizada a equação 3, conforme segue.

$$H_b = \frac{V_{ent} - I_{ac} b l - h_a (I_{ac} l + I_{ac} b + b l \eta a)}{b l \eta b + I_{ac} (l + b)} \quad (3)$$

O processo de cálculo inicia-se com a determinação da intensidade pluviométrica, assim como o volume de entrada e de saída do sistema compensatório, conforme recomenda De Souza (2002) e De Melo *et al* (2013).

Por meio da Equação 1, é possível determinar a intensidade da chuva de Campo Mourão. Para ambos os modelos, adotou-se o tempo de retorno de 5 anos e duração de chuva do projeto como sendo de 20 minutos, conforme recomendação de Tucci (2003) para projetos de drenagem entre 10 e 40 minutos.

Já a determinação do volume de entrada ( $V_{ent}$ ) é obtida por meio do produto entre a vazão  $Q_{ent}$  e o tempo de percolação ( $t$ ) (4). Para calcular a vazão de entrada ( $Q_{ent}$ ) é necessário fazer uso do Método Racional (5).

$$V_{ent} = Q_{ent} t \quad (4)$$

$$Q_{ent} = c i A_{in} \quad (5)$$

Onde:  $c$  é o coeficiente de escoamento e  $A_{in}$  é a área de captação.

O valor do coeficiente de escoamento superficial ( $c$ ) da fórmula acima descrita, pode ser adotado seguindo o Tabela 3, sendo este uma adaptação da tabela de Wilken (1978).



Tabela 2 – Coeficiente de Escoamento

ZONAS	C
De edificação muito densa (áreas centrais)	0,70 a 0,95
De edificação não muito densa (áreas adjacentes as centrais)	0,60 a 0,70
De edificação com pouca superfície livre (áreas residenciais com ruas pavimentadas)	0,50 a 0,60
Edificação com muitas superfícies livre (áreas residências com ruas macadamizadas)	0,25 a 0,50
De subúrbios com alguma edificação	0,10 a 0,25
De matas, parques e campos de esporte (locais sem pavimentação)	0,05 a 0,01

Adaptada de Wilken (1978) apud Medeiros (2019)

Para o cálculo da área de infiltração, equação 6, seguiu-se a recomendação de Gautier (1998), onde utiliza-se para fins de cálculo apenas a área da base como área de percolação e infiltração, sendo as paredes laterais das caixas de polietileno consideradas impermeáveis.

Assim:

$$A_{in} = b l \quad (6)$$

Cujos valores de  $b$ ,  $l$  e  $h$ , representam respectivamente os valores do comprimento, largura e altura do sistema de compensatório.

Na equação 3, a altura da camada de areia ( $H_a$ ), conforme já mencionado, é de 5 centímetros. As porosidades de areia ( $\eta_a$ ) e brita ( $\eta_b$ ), são aderidas de acordo com a tabela 2 de Urbonas e Stahre (1993).

Tabela 3 – Porosidades Efetivas

MATERIAL	POROSIDADE EFETIVA
Brita Grossa	30
Cascalho de granulometria uniforme	40
Brita Graduada (menores que ¼")	30
Areia	25
Seixo Rolado	15-25

Urbonas e Stare (1993)

As figuras 19, 20, 21 e 22 ilustram os protótipos da vala de infiltração e do jardim de chuva respectivamente em diferentes perspectivas.

Nos dois protótipos realizou-se a captação da água infiltrada em um recipiente de polietileno e os resultados dos volumes infiltrados realizada com o auxílio de uma proveta graduada.

Figura 19 – Vista Superior Jardim de Chuva



Fonte: Autoria própria (2022)

**Figura 20 – Vista Tridimensional Jardim de Chuva**



**Fonte: Aatoria própria (2022)**

**Figura 21- Vista Superior Vala de Infiltração**



**Fonte: Autoria própria (2022)**



**Figura 22- Vista Tridimensional Vala de Infiltração**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O local escolhido para realização dos testes não possui um tráfego grande de pessoas (por tratar-se de um bosque), entretanto, é um local onde há empocamento de água após chuvas. O quadro 2, refere-se a um resumo das variáveis utilizadas nos cálculos.

**Quadro 2 - Resumo Variáveis de Cálculo**

<b>Incógnita</b>	<b>Valor Utilizado</b>	<b>Unidade</b>
$\eta_a$	0,30	-
$\eta_b$	0,25	-
$h_a$	5,00	cm
$l$	38,00	cm
$b$	25,00	cm
$I_{ac}$	6,80	cm/hr
$i_{max}$	91,54	mm/hr
$Q_{ent}$	0,434	m <sup>3</sup> /hr
$V_{ent}$	0,036	m <sup>3</sup>
$H_b$	32,00	cm

Fonte: Autoria Própria (2022)

Os resultados obtidos do ensaio de infiltração no solo são mostrados nas tabelas 4, 5 e 6.

**Tabela 4 – Ensaio 1 – Infiltração no Solo**  
**Análise de Infiltração no Solo**

<b>Tempo</b>	<b>Altura</b>	<b>Diferença</b>	<b>Infiltração Acm.</b>	<b>Velocidade de Infiltração</b>
<b>0</b>	5,0	0,0	0,0	
<b>1</b>	5,3	0,3	0,3	18,0
<b>3</b>	6,0	0,7	1,0	20,0
<b>5</b>	6,4	0,4	1,4	16,8
<b>10</b>	7,3	0,9	2,3	13,8
<b>15</b>	8,5	1,2	3,5	14,0
<b>20</b>	9,1	0,6	4,1	12,3
<b>25</b>	9,4	0,3	4,4	10,6
<b>30</b>	10,0	0,6	5,0	10,0
<b>40</b>	11,0	1,0	6,0	9,0
<b>50</b>	11,5	0,5	6,5	7,8
<b>60</b>	12,0	0,5	7,0	7,0
<b>70</b>	12,5	0,5	7,5	6,4
<b>80</b>	12,5 5,0	0,0	7,5	5,6
<b>90</b>	6,5	-6,0	1,5	1,0
<b>95</b>	7,5	1,0	2,5	1,6
<b>100</b>	8,0	0,5	3,0	1,8
<b>105</b>	9,0	1,0	4,0	2,3
<b>110</b>	9,5	0,5	4,5	2,4
<b>115</b>	10,0	0,5	5,0	2,6
<b>120</b>	10,0	0,0	5,0	2,5
<b>125</b>	10,0	0,0	5,0	2,4
		5,0		

Fonte: Autoria Própria (2022)

**Tabela 5 – Ensaio 2 – Infiltração no Solo**  
**Análise de Infiltração no Solo**

Tempo	Altura	Diferença	Infiltração Acm.	Velocidade de Infiltração
0	3,0	0,0	0,0	
1	3,2	0,2	0,2	12,0
3	3,7	0,5	0,7	14,0
5	4,2	0,5	1,2	14,4
10	5,0	0,8	2,0	12,0
15	6,0	1,0	3,0	12,0
20	7,0	1,0	4,0	12,0
25	7,6	0,6	4,6	11,0
30	7,6	0,0	4,6	9,2
35	7,8	0,2	4,8	8,2
40	8,0	0,2	5,0	7,5
45	8,2	0,2	5,2	6,9
50	8,7	0,5	5,7	6,8
55	9,2	0,5	6,2	6,8
60	9,7 3,0	0,5	6,7	6,7
65	3,5	-6,2	0,5	0,5
70	4,3	0,8	1,3	1,1
75	5,0	0,7	2,0	1,6
80	5,7	0,7	2,7	2,0
85	6,4	0,7	3,4	2,4
90	7,1	0,7	4,1	2,7
95	7,7	0,6	4,7	2,9
100	8,3	0,6	5,3	3,2
105	9,1	0,8	6,1	3,5
110	9,5	0,4	6,5	3,5
115	9,8	0,3	6,8	3,5
		6,8		

Fonte: Autoria Própria (2022)



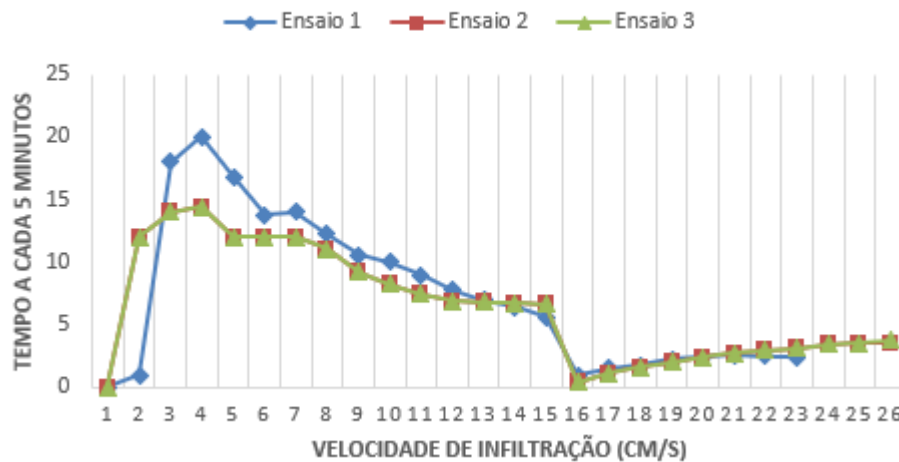
**Tabela 6 – Ensaio 3 – Infiltração no Solo**  
**Análise de Infiltração no Solo 06/06**

Tempo	Altura	Diferença	Infiltração Acm.	Velocidade de Infiltração
0	3,0	0,0	0,0	
1	3,2	0,2	0,2	12,0
3	3,7	0,5	0,7	14,0
5	4,2	0,5	1,2	14,4
10	5,0	0,8	2,0	12,0
15	6,0	1,0	3,0	12,0
20	7,0	1,0	4,0	12,0
25	7,6	0,6	4,6	11,0
30	7,6	0,0	4,6	9,2
35	7,8	0,2	4,8	8,2
40	8,0	0,2	5,0	7,5
45	8,2	0,2	5,2	6,9
50	8,7	0,5	5,7	6,8
55	9,2	0,5	6,2	6,8
60	9,7 3,0	0,5	6,7	6,7
65	3,5	-6,2	0,5	0,5
70	4,3	0,8	1,3	1,1
75	5,0	0,7	2,0	1,6
80	5,7	0,7	2,7	2,0
85	6,4	0,7	3,4	2,4
90	7,1	0,7	4,1	2,7
95	7,7	0,6	4,7	2,9
100	8,3	0,6	5,3	3,2
105	9,1	0,8	6,1	3,5
110	9,5	0,4	6,5	3,5
115	10,2	0,7	7,2	3,7
		7,2		

Fonte: Autoria Própria (2022)

O ensaio de infiltração do solo foi repetido cinco vezes, porém em razão da discrepância de dois desses ensaios, selecionou-se apenas três. A figura 23 representa a união dos três ensaios considerados para obtenção da taxa de infiltração no solo da UTFPR de Campo Mourão, sendo que conforme visto na revisão bibliográfica do presente trabalho, apresentam-se comportamentos típicos. A característica do ensaio é que a primeira oscilação representa o tempo de encharcamento do solo, a segunda oscilação a capacidade de infiltração, e o final do gráfico o período em que a velocidade de infiltração se torna constante.

**Figura 23 – Resultados Vala de Infiltração**  
**ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO NO SOLO DA UTFPR**



Fonte: Autoria própria (2022)

O primeiro teste foi feito após vários dias sem chuva, ou seja, com o solo considerado seco, por essa razão, o pico do tempo de encharcamento do solo é maior se comparado aos ensaios 2 e 3. Já o segundo e terceiro testes foram realizados em torno de 24 horas após uma chuva de média intensidade, e por tratar-se de uma região com presença de árvores, o solo encontrou-se bem úmido, fato que explica o pico de encharcamento menor do solo. Porém, a capacidade de infiltração do solo nos três ensaios possui valores bem próximos, assim como as velocidades de infiltração obtidas.

Com o gráfico da figura 23, percebe-se que o teste com maior capacidade de absorção foi o solo seco, enquanto que o ensaio com solo úmido obteve uma diferença de absorção reduzida. Isso ocorre em razão da saturação do solo.

Conforme visto nos ensaios de infiltração do solo e tomando posse das características do solo da região, é possível concluir que solos argilosos possuem menor capacidade de absorção e maior probabilidade de escoamento superficial.

Para o dimensionamento da camada de brita, fez-se necessário calcular a intensidade da chuva, por meio da equação (1), resultando dessa forma em:

$$i_{max} = \frac{901,51 * T_R^{0,1808}}{(t+11)^{0,7508}} = 91,54 \text{ mm/hr}$$

A intensidade pluviométrica é necessária para o cálculo da camada de brita no protótipo. Além disso, o coeficiente de escoamento também é aplicado, sendo utilizado o valor de 0,05 escolhido da tabela 1 para locais sem pavimentação. Outra

variável é o tempo de percolação, adotando-se o valor de 5 minutos. Por fim a área da caixa onde montou-se os protótipos possui as seguintes dimensões: 25 cm de largura e 38 cm de comprimento.

$$Q_{ent} = c i A_{in} = 0,43 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$V_{ent} = Q_{ent} t = 0,04 \text{ m}^3$$

Adotando-se a camada de areia igual a 5 centímetros e empregando a infiltração obtida nos ensaios de infiltração do solo da UTFPR, obtêm-se a camada de brita da seguinte maneira:

$$H_b = \frac{V_{ent} - I_{ac} b l - h_a(I_{ac}l + I_{ac}b + b l \eta_a)}{b l \eta_b + I_{ac}(l + b)}$$

$$H_b = 32 \text{ cm}$$

As coletas da água infiltrada são obtidas de acordo com a figura 23. As medidas encontradas no copo medidor permitem a determinação do volume de água acumulado ao longo do tempo de ensaio. Outro aspecto observado foi o tempo de esvaziamento através da torneira de saída posicionada na parte inferior de ambos os protótipos, cujo diâmetro interno de saída é de 10 mm, sendo o sistema de saída caracterizado como de lâmina d'água variante.

A montagem dos protótipos ocorreu conforme as duas estruturas demonstradas nas figuras 16 e 17 do presente trabalho, sendo acrescentado em ambos os projetos uma camada de manta geotêxtil no fundo das caixas, antes da acomodação do solo, com o objetivo de não obstruir a saída de água. Os ensaios nos protótipos foram realizados em minha residência na cidade de Mamborê/PR, com amostras de solo indestrutíveis coletadas do bosque da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão. Repetiu-se os ensaios três vezes para cada protótipo, para verificar possíveis desvios de padrão.

Para a realização da análise comparativa, considerou-se duas condições, a primeira, com o solo seco, condições normais e as outras com o solo úmido, para que seja possível visualizar a absorção de água de cada técnica em diferentes situações. Os ensaios serão apresentados em tabelas constantes nos apêndices deste trabalho, sendo o primeiro nas tabelas 6, 7, 8 e 9.

O procedimento de ensaio consiste em alocar a caixa do protótipo no centro do simulador de chuva, alinhado com o aspersor localizado na parte superior central do simulador, de modo que a água incida diretamente sob a caixa. O aspersor é ligado

por cinco minutos e o volume de água acumulada no fundo da caixa é coletado por meio de uma torneira, conforme demonstrado na figura 24. O procedimento é repetido por 60 minutos, coletando o volume de 5 em 5 minutos. Os melhores ensaios de cada técnica são mostrados nas tabelas 6 e 7, enquanto que os demais experimentos estão constantes no apêndice deste trabalho.

**Figura 24 – Coleta Água Infiltrada**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Tabela 6 – Ensaio 1 Vala de Infiltração**  
**ENSAIO 1 - Análise Protótipo - Vala de Infiltração**

Tempo (min)	Tempo (hr)	Leitura (ml)	Infiltração Acm.	Velocidade de Infiltração
0	0		0	
5	0,08	2550	2550	510,0
10	0,16	3685	6235	623,5
15	0,25	3115	9350	623,3
20	0,33	4000	13350	667,5
25	0,42	4000	4000	160,0
30	0,50	4550	8550	285,0
35	0,58	4550	13100	374,3
40	0,66	3000	16100	402,5
45	0,75	3500	3500	77,8
50	0,80	3200	6700	134,0
55	0,91	3100	9800	178,2
60	1,00	2800	12600	210,0
MÉDIA				353,8

Fonte: Aatoria Própria (2022)

**Tabela 7 – Ensaio 1 Jardim de Chuva**  
**ENSAIO 1 - Análise Protótipo - Jardim de Chuva**

Tempo (min)	Tempo (hr)	Leitura (ml)	Infiltração Acm.	Velocidade de Infiltração
0	0,00		0	
5	0,08	0	0	0,0
10	0,16	1950	1950	195,0
15	0,25	2150	4100	273,3
20	0,33	2300	6400	320,0
25	0,42	1950	1950	78,0
30	0,50	1975	3925	130,8
35	0,58	2400	6325	180,7
40	0,66	2000	8325	208,1
45	0,75	1750	1750	38,9
50	0,80	1600	3350	67,0
55	0,91	1600	4950	90,0
60	1,00	1500	6450	107,5
MÉDIA				140,8

Fonte: Aatoria Própria (2022)

O resumo de cada um dos ensaios de ambas as técnicas compensatórias está descrito nas tabelas 8 e 9.

**Tabela 8 – Resultados Vala de Infiltração**  
**RESULTADOS - Vala de Infiltração**

ENSAIO	Solo Seco	Somatório infiltração (ml)	Média Volume Infiltrado (ml/min)
1	Sim	12600	353,8
2	Não	10100	309,1
3	Não	10075	274,5

Fonte: Autoria Própria (2022)

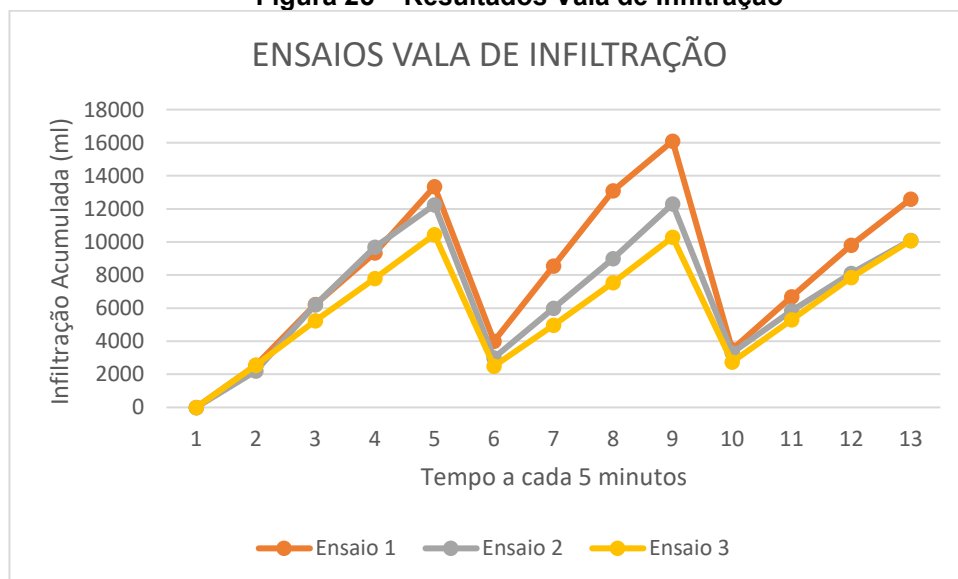
**Tabela 9- Resultados Jardim de Chuva**  
**RESULTADOS - Jardim de Chuva**

ENSAIO	Solo Seco	Somatório infiltração (ml)	Média Volume Infiltrado (ml/min)
1	Sim	6450	140,8
2	Não	10500	245,1
3	Não	10650	244,8

Fonte: Autoria Própria (2022)

As figuras 24 e 25 representam, respectivamente, os resultados dos três ensaios da vala de infiltração e do jardim de chuva.

**Figura 25 – Resultados Vala de Infiltração**



Fonte: Autoria própria (2022)

**Figura 26 – Resultados Jardim de Chuva**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Nos ensaios 2 e 3 realizados na vala de infiltração, são os que mais se aproximaram, sendo caracterizados por ápices de absorção de água e posterior queda. No final do experimento percebe-se que as leituras se tornam constantes e vão se reduzindo no decorrer do tempo. Isso ocorre em razão da saturação do solo, uma vez que todos os poros são preenchidos com água e não há mais espaço para absorção de água, assim as leituras de água infiltrada vão reduzindo de volume.

O mesmo ocorre com o jardim de chuva, sendo também os ensaios 2 e 3 os que mais se aproximaram. Na representação gráfica entre os três ensaios deste protótipo, é possível perceber que o mesmo comportamento da vala de infiltração acontece no decorrer do tempo, há ápices de absorção seguidos de queda. Entretanto, neste protótipo a infiltração foi mais lenta que na vala de infiltração, além de possuir um volume acumulado inferior, apesar da precipitação ter sido a mesma em ambos os casos, caracterizando um projeto que há mais escoamento superficial que infiltração de água.

Afim de comparar as duas técnicas de drenagem, criou-se a tabela 10 com os resultados de cada ensaio dos dois protótipos.

**Tabela 10- Análise Comparativa**  
**ANÁLISE COMPARATIVA**

<b>Ensaio</b>	<b>Tipo da média</b>	<b>Somatório infiltração (ml)</b>	<b>Média Volume Infiltrado (ml/min)</b>	<b>Relação entre as médias (%)</b>
<b>Jardim de Chuva</b>	Média Seca	6450	140,78	-
	Média Úmida	10575	244,96	-
	Média Geral	9200	210,23	-
<b>Vala de Infiltração</b>	Média Seca	12600	353,84	251,34
	Média Úmida	10087,5	291,84	119,14
	Média Geral	10925	312,50	148,65

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Com base nos resultados obtidos percebe-se que o melhor ensaio da vala de infiltração foi o 1, com uma infiltração acumulada de 12600 ml, já no jardim de chuva, o melhor ensaio foi o 3, com uma infiltração acumulada de 10650 ml. De posse da tabela de análise comparativa, é possível concluir que a técnica compensatória de drenagem mais eficiente é a vala de infiltração, pois a média geral de infiltração deste protótipo foi de 148,65% maior que o jardim de chuva.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao crescimento constante da população que habita as áreas urbanas durante as últimas décadas, a infraestrutura urbana vem sofrendo colapsos, isso implica em mau funcionamento ou ineficiência do sistema de drenagem urbana. Ou seja, os condutos que levam a água pluvial até os cursos d'água, que antes suportavam as vazões das cidades, na atualidade não conseguem atender toda a vazão demandada.

Os recursos naturais do nosso planeta são esgotáveis, e o processo de extinção de diversos desses recursos já estão acontecendo. Por essa razão, é crucial procurar maneiras de reutilizá-los e poupá-los ao máximo, para que principalmente a água, recurso vital aos seres vivos, não se esgote.

As técnicas compensatórias surgiram com o intuito de suprir esses déficits na drenagem urbana, sendo alternativas cujo objetivo é complementar os sistemas clássicos, além da possibilidade de dar um novo destino para a água da chuva.

O critério utilizado para avaliar o desempenho foi o quantitativo, sendo feita a análise de resultados numéricos obtidos através de experimentos. A partir dos ensaios de infiltração e observação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão, criou-se dois protótipos afim de verificar a eficiência de técnicas compensatórias de drenagens quanto à infiltração de água. Os experimentos realizados para obtenção da infiltração resultaram em valores entre 5 e 7,2 mm/h-1. Na região, apesar do solo ser classificado como argiloso, há alta porosidade se comparado aos solos arenosos. Embora o solo seja caracterizado dessa maneira, a quantidade de porosidade não representa a capacidade de infiltração, o que ocorre é justamente o inverso, solos argilosos tem propensão de uma menor capacidade de infiltração se comparado aos solos arenosos.

O método utilizado para quantificar o desempenho foi a velocidade de infiltração no solo, obtendo resultados que representam uma taxa de infiltração satisfatória, entretanto a vala de infiltração apresentou-se mais eficiente, sendo sua infiltração média de 10925 ml, já o jardim de chuva obteve uma média de 9200 ml. Assim, conclui-se que os sistemas de técnicas compensatórias são eficientes e podem ser utilizados em conjunto com o sistema de drenagem pluvial urbano tradicional, sendo

um complemento no processo de infiltração e auxiliando na redução do escoamento superficial.

Sob a ótica econômica e social, as duas técnicas são viáveis, já que o processo de montagem das camadas utiliza-se de materiais semelhantes, diferenciando-os apenas pela grama e brita na superfície. Na execução de ambos os protótipos, pode-se perceber que a brita apresenta um valor mais acessível, porém em grau de complexidade de produção, são equivalentes.

De forma global, ambos os projetos são alternativas viáveis de aplicação, porém, a vala de infiltração tornou-se a técnica mais atraente nos quesitos hidráulicos, hidrológicos, econômicos e sociais para reduzir a vazão de pico no hidrogramas urbanos.

Por fim, constata-se a aplicabilidade ambas as técnicas de drenagem para controle do escoamento superficial, sendo alternativas: valas de infiltração principalmente em locais com alta taxa de empoçamento ou grandes áreas impermeáveis, e calçadas ecológicas feitas por meio do sistema de biorretenção. Vale ressaltar que a implantação de alternativas sustentáveis é de interesse das cidades, para amenizar e até mesmo acabar com patologias relacionadas a infraestrutura urbana, sendo uma indicação para acréscimo nos planos diretores municipais.

Para pesquisas futuras relacionadas ao tema a sugestão é a realização de um número maior de ensaios para os protótipos, e reproduzi-los em áreas caracterizadas pela presença de escoamento superficial para verificação prática.

## REFERÊNCIAS

ÁGUA E TERRA, Instituto. **Águas Subterrâneas, Origem e Ocorrência**. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Aguas-Subterraneas-Origem-e-ocorrencia>. Acesso em: 03 de Dezembro de 2021.

ARANTES, E. J, PASSING, F. H, CARVALHO, K. Q, E ARANTES, E. DE A. Análise das Chuvas Intensas da Região Noroeste do Paraná. **OLAM – Ciência e Tecnologia**. p. 31. Rio Claro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 64572**. Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9813**. Solo — Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12266**: Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASTM INTERNACIONAL. **D3285**: Standard Test Method for Water Absorptiveness of Nonbulbous Paper and Paperboard. United States: ASTM, 1999.

BARRETO, A. N. **Irrigação e Drenagem na Empresa Agrícola**. 1 ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV, 1995.

BAPTISTA, M. B. Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas. *In* Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). **Guia do profissional em treinamento: nível 2 e 3**. 52 p. Belo Horizonte, 2007.

BAPTISTA, M. B, NASCIMENTO, N. BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2005.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Ciclo Hidrológico da Água**. Rio de Janeiro: Ministério do Meio Ambiente, 2006. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/420.html?Itemid=481>. Acesso em: 03 de Dezembro de 2021.

BRITO, Débora Silva de. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. 2006. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Publicação PTARH.DM-094/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Brasília, Brasília, DF, 2006.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2006. *E-book*. Disponível em:  
<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap2-CH.pdf>. Acesso em: 25 de Outubro de 2021.

CHRISTOFIDIS, D. Hidroética: água, ética e meio ambiente. *In*: Sganzerla, A. Rauli, P.M.F, Renk, V.E. **Bioética Ambiental**. Curitiba: PUCPRESS, 2018. p. 209-234.

DELICI, F. COSTA, M. E., KOIDE, S. **Estudo de Implantação de Sistemas de Drenagem Sustentável em Santa Maria, DF**. Distrito Federal, 2019.

COSTA, J. V. B. **Caracterização e Constituição do Solo**. 7 ed. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 2004.

DAKER, A. **Irrigação e drenagem: A água na agricultura**. 6 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1984.

DE MELO, Tássia dos Anjos Tenório. *et al.* **Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011.

DE SOUZA, Vladimir Caramori Borges. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. 2002. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

FIORIN, Tatiana Taschetto. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. 2008. Dissertação (Doutorado em ciência do solo) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.

FUZER, Hobwan. **Estudo da Velocidade de Infiltração Básica (VIB) no Solo da Bacia do Rio Mourão**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

GAUTIER, Armelle. **Contribution à la connaissance du fonctionnement d'ouvrages d'infiltration d'eau de ruissellement pluvial urbain**. 1998. Dissertação (Doutorado em engenharia mecânica, energética, civil e acústica) – Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. França, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E PESQUISA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:  
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/santa-rita/panorama>. Acesso em: 15 de Novembro de 2021.

MEDEIROS, Iago Rios. **Análise comparativa de sistemas de drenagem compensatórias: vala de infiltração e jardim de chuva**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2019.

- MELLER, Adalberto. **Simulação hidrodinâmica integrada de sistema de drenagem de Santa Maria – RS**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2004.
- MIRANDA, Y. C., LAROCCA, A. G., ANGELIS, B. L. D. A Evolução do Traçado Urbano e da Malha Viária de Campo Mourão – Pr. *In: Simpósio Brasileiro Online Gestão Urbana*. 2., 2017, Campo Mourão. **Anais**. Campo Mourão: Universidade Estadual do Paraná, 2017. p. 1-27.
- NASCIMENTO, G. E. F., BORGES, L. C., LIMA, B. H. A. Controle de escoamento pluvial em meio urbano: Um estudo no Município de Santa Rita – Paraíba. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. São Paulo. ed. 02. vol. 01. p. 108-146. Fev, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/escoamento-pluvial>. Acesso em: 29 de Novembro de 2021.
- PANACHUKI, Eloi. *et al.* **Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo**. 2008. Dissertação (Doutorado em agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, 2008.
- PEIXOTO, Vinicius Carvalho. **Análise paramétrica e dimensionamento de poços de infiltração para fins de drenagem urbana**. 2011. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2011.
- PIVETTA, M. Ilha de calor na Amazônia. **Pesquisa FAPESP**, v. 200, Out. 2012. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/10/11/ilha-de-calor-na-amazonia/>. Acesso em 02.jun.2016.
- PORTELA, J. C. *et al.* **Hidrogramas e sedimentogramas associados à erosão hídrica em solo cultivado com diferentes sequências culturais, com diferentes condições físicas na superfície**. *In: Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul*. Rio Grande do Sul, 2011.
- RIGHETTO, Antonio Marozzi. **Desenvolvimento de modelos de simulacao para o dimensionamento de redes de distribuicao de água**. 1998. Dissertação (Doutorado em hidráulica e saneamento) – Universidasde de São Paulo. São Carlos, 1998.
- PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. *In: Drenagem Urbana*. (Org). Tucci, C. E.; Porto, R. L. L.; Barros, M. T. ABRH – Editora da Universidade. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p.387-428. Porto Alegre, 1995.
- RIO DE JANEIRO (Município). Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Prefeitura ganha equipamentos especiais para monitoramento de drenagem**. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2021. Disponível em : <https://prefeitura.rio/meio-ambiente/jardim-de-chuva-de-copacabana-ganha-equipamentos-especiais-para-monitoramento-de-drenagem/>. Acesso em 03 de Novembro de 2021.

PRINCE GEORGE'S COUNTRY. Departamento of Environmental Resources. **Low-Impact Development Hydrologic Analysis**. Maryland, 2007. Disponível em: <https://www.princegeorgescountymd.gov/DocumentCenter/View/87/Low-Impact-Development-Hydrologic-Analysis-PDF>. Acesso em: 25 de Novembro de 2021.

RIGUETTO, A. M, MOREIRA , L. F. F e SALES, T. E. A. Manejo de águas pluviais urbanas. *In*: Riguetto A. M. **Manejo de águas pluviais urbanas**. p. 19-73. Rio de Janeiro: ABES; 2009.

RODERJAN, C. V., GALVÃO, F., KUNIYOSHI, Y. S. e HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. **Revista GEOMAE**. Campo Mourão. v.8, n. 232, p. 75-92. Campo Mourão, 2002. Disponível em: <https://docplayer.com.br/30568679-As-unidades-fitogeograficas-do-estado-do-parana-brasil-resumo-summary.html>. Acesso em: 03 de Novembro de 2021.

SAUGO, A. MARTINS, M. S. Benefícios da infraestrutura urbana integrada e do planejamento ambiental para o desenvolvimento sustentável de cidades. *In*: Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. 1., 2008, Bento Gonçalves. **Anais**. Bento Gonçalves: Universidade de Caxias do Sul, 2008. p. 6. Disponível em: [https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=34&ano=\\_primeiro](https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=34&ano=_primeiro). Acesso em: 25 de Novembro de 2021.

SILVEIRA, Gislaine Massuia da. **Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta**. 2010. Dissertação (Mestre engenharia civil) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

SOLUÇÕES PARA CIDADES. **Projeto Técnico: Jardins de Chuva**. São Paulo, 2020. *E-book*. Disponível em: [https://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF\\_Jardins-de-Chuva-online.pdf](https://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF_Jardins-de-Chuva-online.pdf). Acesso em: 03 de Novembro de 2021.

TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana. 2003, São Paulo. **Ciência e Cultura**. São Paulo: SBPC, 2003. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252003000400020](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020). Acesso em: 16 de Novembro de 2021.

TUCCI, C. E. M. Enchentes Urbanas no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, n. 12, p.117-137, 1994.

TUCCI, C. E. M. e Genz, F. Controle do Impacto da Urbanização. *In*: TUCCI, C. E, PORTO, R. L. L, BARROS, M. T. (Org). **Drenagem Urbana**. p. 277-347. Porto Alegre: ABRH, 1995.

URBONAS, B, STAHR, P. **Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management**. Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice Hall, 1993.

VILLWOCK, F. H. *et al.* Caracterização Geográfica do Cerrado: Em Campo Mourão e Jagariaíva, Paraná. **Revista GEOMAE**. Campo Mourão, v.8 n.3, p. 225 – 233. Campo Mourão, 2017. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ce/article/view/3820>. Acesso em: 03 de Novembro de 2021.

YOKOO, E. N. A dinâmica das frentes de ocupação territorial e da paisagem agrária na mesorregião centro-ocidental paranaense. *In: Encontro de Produção Científica e tecnológica*. 4., 2009, Campo Mourão. **Anais**. Campo Mourão: FECILCAM, 2009. p.1-14. Disponível em: [http://www.fecilcam.br/nupem/anais\\_iv\\_epct/PDF/ciencias\\_exatas/02\\_YOKOO.pdf](http://www.fecilcam.br/nupem/anais_iv_epct/PDF/ciencias_exatas/02_YOKOO.pdf). Acesso em: 25 de Novembro de 2021.

WILKEN, P.S. **Engenharia de drenagem superficial**. 1 ed. São Paulo: CETESB, 1978.

## **APÊNDICE A - Resultados dos Ensaios de Infiltração**



**ENSAIO 1 - Análise Protótipo - Vala de Infiltração**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Tempo (hr)</b>	<b>Leitura (ml)</b>	<b>Infiltração Acm.</b>	<b>Velocidade de Infiltração</b>
<b>0</b>	0,0		0	
<b>5</b>	0,08	2550	2550	510,0
<b>10</b>	0,16	3685	6235	623,5
<b>15</b>	0,25	3115	9350	623,3
<b>20</b>	0,33	4000	13350	667,5
<b>25</b>	0,42	4000	4000	160,0
<b>30</b>	0,50	4550	8550	285,0
<b>35</b>	0,58	4550	13100	374,3
<b>40</b>	0,66	3000	16100	402,5
<b>45</b>	0,75	3500	3500	77,8
<b>50</b>	0,80	3200	6700	134,0
<b>55</b>	0,91	3100	9800	178,2
<b>60</b>	1,00	2800	12600	210,0
<b>MÉDIA</b>				<b>353,8</b>

**ENSAIO 2 - Análise Protótipo - Vala de Infiltração**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Tempo (hr)</b>	<b>Leitura (ml)</b>	<b>Infiltração Acm.</b>	<b>Velocidade de Infiltração</b>
0	0,0		0	
5	0,08	2200	2200	440,0
10	0,16	4000	6200	620,0
15	0,25	3500	9700	646,7
20	0,33	2550	12250	612,5
25	0,42	3000	3000	120,0
30	0,50	3000	6000	200,0
35	0,58	3000	9000	257,1
40	0,66	3300	12300	307,5
45	0,75	3300	3300	73,3
50	0,80	2550	5850	117,0
55	0,91	2250	8100	147,3
60	1,00	2000	10100	168,3
<b>MÉDIA</b>				<b>309,1</b>

**ENSAIO 3 - Análise Protótipo - Vala de Infiltração**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Tempo (hr)</b>	<b>Leitura (ml)</b>	<b>Infiltração Acm.</b>	<b>Velocidade de Infiltração</b>
0	0,00		0	
5	0,08	2550	2550	510,0
10	0,16	2700	5250	525,0
15	0,25	2550	7800	520,0
20	0,33	2650	10450	522,5
25	0,42	2500	2500	100,0
30	0,50	2475	4975	165,8
35	0,58	2575	7550	215,7
40	0,66	2750	10300	257,5
45	0,75	2750	2750	61,1
50	0,80	2550	5300	106,0
55	0,91	2550	7850	142,7
60	1,00	2225	10075	167,9
<b>MÉDIA</b>				<b>274,5</b>

**ENSAIO 1 - Análise Protótipo - Jardim de Chuva**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Tempo (hr)</b>	<b>Leitura (ml)</b>	<b>Infiltração Acm.</b>	<b>Velocidade de Infiltração</b>
0	0,00		0	
5	0,08	0	0	0,0
10	0,16	1950	1950	195,0
15	0,25	2150	4100	273,3
20	0,33	2300	6400	320,0
25	0,42	1950	1950	78,0
30	0,50	1975	3925	130,8
35	0,58	2400	6325	180,7
40	0,66	2000	8325	208,1
45	0,75	1750	1750	38,9
50	0,80	1600	3350	67,0
55	0,91	1600	4950	90,0
60	1,00	1500	6450	107,5
MÉDIA				140,8

**ENSAIO 2 - Análise Protótipo - Jardim de Chuva**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Tempo (hr)</b>	<b>Leitura (ml)</b>	<b>Infiltração Acm.</b>	<b>Velocidade de Infiltração</b>
<b>0</b>	0,00		0	
<b>5</b>	0,08	2000	2000	400,0
<b>10</b>	0,16	2100	4100	410,0
<b>15</b>	0,25	2450	6550	436,7
<b>20</b>	0,33	2700	9250	462,5
<b>25</b>	0,42	2450	2450	98,0
<b>30</b>	0,50	2650	5100	170,0
<b>35</b>	0,58	2675	7775	222,1
<b>40</b>	0,66	2500	10275	256,9
<b>45</b>	0,75	2700	2700	60,0
<b>50</b>	0,80	2600	5300	106,0
<b>55</b>	0,91	2600	7900	143,6
<b>60</b>	1,00	2600	10500	175,0
<b>MÉDIA</b>				<b>245,1</b>

**ENSAIO 3 - Análise Protótipo - Jardim de Chuva**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Tempo (hr)</b>	<b>Leitura (ml)</b>	<b>Infiltração Acm.</b>	<b>Velocidade de Infiltração</b>
<b>0</b>	0,00		0	
<b>5</b>	0,08	2000	2000	400,0
<b>10</b>	0,16	2150	4150	415,0
<b>15</b>	0,25	2450	6600	440,0
<b>20</b>	0,33	2550	9150	457,5
<b>25</b>	0,42	2500	2500	100,0
<b>30</b>	0,50	2475	4975	165,8
<b>35</b>	0,58	2500	7475	213,6
<b>40</b>	0,66	2500	9975	249,4
<b>45</b>	0,75	2750	2750	61,1
<b>50</b>	0,80	2800	5550	111,0
<b>55</b>	0,91	2550	8100	147,3
<b>60</b>	1,00	2550	10650	177,5
<b>MÉDIA</b>				<b>244,8</b>