

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA CIVIL
CÂMPUS APUCARANA

IAGO RIOS MEDEIROS

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

APUCARANA

2019

IAGO RIOS MEDEIROS

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

Monografia apresentada como parte dos requisitos necessários para aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Dra. Andrea Sartori Jabur

APUCARANA

2019



Ministério da Educação
**Universidade Tecnológica Federal do
Paraná**
Câmpus Apucarana
COECI – Coordenação do Curso de
Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE DRENAGEM COMPENSATÓRIA: VALA DE INFILTRAÇÃO E JARDIM DE CHUVA

por

Iago Rios Medeiros

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado aos 26 (vinte e seis) dias do mês de novembro do ano de 2019, às 16 horas e 30 minutos, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Civil, linha de pesquisa em Recursos hídricos, do Curso Superior em Engenharia Civil da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

Andrea Sartori Jabur - ORIENTADORA

Ana Claudia Ueda- EXAMINADORA

Mariana Alher Fernandes- EXAMINADORA

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

Dedico este trabalho aos meus pais, Iracema e Antonio, pelo incentivo e por acreditarem em mim, e fazerem de tudo para que eu pudesse atingir meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Iracema Aparecida Maias Rios Medeiros e Antonio Braz Medeiros, pela paciência, confiança, incentivo, compreensão e pelo carinho, depositados em mim durante este trabalho e principalmente durante toda a minha vida.

Ao meu irmão Enzo Rios Medeiros que vem sendo um dos meus principais amigos ao longo da vida.

Aos meus colegas de classe que me auxiliaram em diversas situações adversas que passamos ao longo da graduação.

A professora Andrea Sartori Jabur por toda a atenção, orientação e ajuda na realização deste estudo, bem como durante grande parte da graduação.

Aos meus amigos de ensino médio que mesmo de longe sempre demonstraram um enorme carinho e preocupação comigo.

Aos meus amigos das Comissões Organizadoras do Jogos Interatléticas de Londrina (JIA) dos anos de 2018 e 2019, que acabaram se tornando uma família ao longo do tempo em que trabalhamos juntos.

A Associação Atlética Acadêmica XII de Março e aos seus ex-membros e membros, que de alguma forma, contribuíram para a minha formação pessoal.

Aos professores da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, por cada aprendizado ao longo de cada semestre da graduação.

A todos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

“A vida é uma peça de teatro que não permite ensaios. Por isso, cante, chore, dance, ria e viva intensamente, antes que a cortina se feche e a peça termine sem aplausos.”
(Charlie Chaplin)

RESUMO

MEDEIROS, I. R. **Análise comparativa de sistemas de drenagem compensatórias: vala de infiltração e jardim de chuva.** 2019. 61. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2019.

A expansão urbana culminou no aumento de regiões impermeáveis, influenciando diretamente na sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana pluvial, devido ao aumento do escoamento superficial e a redução da infiltração combinada com a má manutenção dos sistemas de drenagem, que acarreta o aumento dos pontos de enchentes. Observando as problemáticas fez-se necessário o desenvolvimento de novos sistemas, sendo os sistemas compensatórios soluções sustentáveis para tal questão. A vala de infiltração e o jardim de chuva são técnicas compensatórias, tendo estas a finalidade de aumentar a taxa de infiltração de água pluvial e reduzir o escoamento superficial, podendo estas soluções serem inseridas em lotes urbanos ou vias públicas e ainda serem adotadas em planos diretores municipais. A pesquisa escolheu a cidade de Apucarana como área de estudo para o dimensionamento dos protótipos a partir do levantamento de dados climáticos e dos solos do município. Durante a pesquisa foi observado melhor rendimento quanto à infiltração de água na vala de infiltração, apresentando infiltrações médias acumuladas para os estados: seco e úmido como sendo maiores que o dobro do jardim de chuva. Podendo ser citado a infiltração média geral da vala de infiltração que obteve valor de 93,73ml/min, enquanto o jardim de chuva apresentou 33,13ml/min.

Palavras-chave: Sistema de drenagem pluvial urbano. Técnicas Compensatórias. Vala de Infiltração. Jardim de Chuva.

ABSTRACT

MEDEIROS, I. R. **Comparative analysis of compensatory drainage systems: infiltration ditch and rain garden.** 2019. 61. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Engenharia Civil) - Federal Technology University - Parana. Apucarana,2019.

Urban sprawl culminated in the increase of impermeable regions, directly influencing the overload of urban rainwater drainage systems due to increased runoff and reduced infiltration combined with poor maintenance of drainage systems leading to increased flood points. Looking at the problems, it was necessary to develop new systems, with compensatory systems being sustainable solutions to this issue. The infiltration ditch and the rain garden are compensatory techniques, the purpose of which is to increase the infiltration rate of rainwater and reduce runoff. These solutions can be inserted into urban lots or public roads and can be adopted in master plans municipal. The research chose the city of Apucarana as a study area for the prototype sizing from the climate and soil data survey of the municipality. During the research it was observed better yield regarding the infiltration of water in the infiltration trench, presenting accumulated average infiltrations for the states: dry and wet to be larger than twice the rain garden. It can be mentioned the general average infiltration of the infiltration ditch that obtained value of 93.73ml / min, while the rain garden presented 33.13ml / min.

Keywords: Drainage system. Compensatory Technology. Infiltration Trench. Rain Garden.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Ciclo hidrológico natural.....	5
Figura 2.2 - Alteração do ciclo hidrológico causado pela urbanização.....	6
Figura 2.3 - Variação do nível d'água.....	7
Figura 2.4 - Comparação entre conservação entre bocas de lobo: (A) Bocas de lobo em bom estado de conservação; (B) Bocas de lobo em más condições de conservação.....	8
Figura 2.5- Sistema de drenagem pluvial urbana clássica.....	9
Figura 2.6 - Planejamento de sistemas de drenagem pluvial urbana.....	11
Figura 3.1- Apucarana.....	15
Figura 3.2 - Infiltrômetro de duplo anel.....	17
Figura 3.3 - Vala de infiltração.....	18
Figura 3.4 - Jardim de chuva.....	18
Figura 3.5 - Protótipo do simulador de chuva.....	21
Figura 3.6 – Simulador de chuva: (A) Peças utilizadas; (B) Aspersor; (C) Montagem do simulador.....	21
Figura 4.1 - Marcação dos pontos 1 e 2 no Câmpus da UTFPR-Apucarana.....	22
Figura 4.2 - Execução dos protótipos: (A) Acomodação da camada de solo; (B) Disposição da manta geotêxtil; (C) Acomodação da camada de areia.....	25
Figura 4.3– Execução dos protótipos: (A) Acomodação da camada de brita 1; (B) Disposição da manta geotêxtil; (C) Disposição da gramínea.....	26
Figura 4.4 - Disposição simulador de chuva e vala de infiltração.....	27
Figura 4.5 – Coleta de dados: (A) Coleta da água infiltrada; (B) Passagem do volume infiltrado para proveta.....	28
Figura 4.6 - Ensaios Jardim de chuva.....	29
Figura 4.7 - Ensaios Vala de infiltração.....	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Diferentes tipos de técnicas compensatórias.....	12
Quadro 2.2 - Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas.....	13
Quadro 3.1 - Metodologia.....	14
Quadro 3.2 – Valores das características do solo.....	16
Quadro 3.3 - Valores de C, conforme as características de urbanização da bacia.....	19
Quadro 3.4 - Porosidade efetiva de materiais de enchimento.....	20
Quadro 3.5 – Quadro resumo das variáveis adotadas.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Ensaio de infiltração no primeiro ponto.....	23
Tabela 4.2 – Ensaio de infiltração no segundo ponto	24
Tabela 4.3 – Ensaio 1 Jardim de chuva.....	28
Tabela 4.4 – Resultados Jardim de chuva.....	29
Tabela 4.5 – Ensaio 1 Vala de infiltração.....	30
Tabela 4.6 – Resultados Vala de infiltração.....	31
Tabela 4.7 – Resultados - Vala de infiltração.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA	2
1.2	OBJETIVOS	3
1.2.1	Objetivo Geral	3
1.2.2	Objetivos Específicos	3
2	REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1	CICLO HIDROLÓGICO - NATURAL E O MODIFICADO DEVIDO A URBANIZAÇÃO	4
2.2	ENCHENTES URBANAS- CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS	7
2.3	DRENAGEM PLUVIAL URBANA - MODELO TRADICIONAL E PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA	9
2.4	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM PLUVIAL URBANA	11
3	METODOLOGIA.....	14
3.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	14
3.2	TESTE DE INFILTRAÇÃO	17
3.3	MONTAGEM DOS PROTÓTIPOS.....	18
3.4	SIMULADOR DE CHUVA	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5	CONCLUSÃO.....	33
	REFERÊNCIAS	35
	ANEXO 1 – RESULTADOS JARDIM DE CHUVA	39
	ANEXO 2 – RESULTADOS VALA DE INFILTRAÇÃO	44

1 INTRODUÇÃO

O aumento das regiões urbanizadas está interligado com a alteração da permeabilidade superficial. O surgimento de áreas impermeáveis tem efeito direto na infiltração de águas precipitadas, afetando o ciclo hidrológico e o escoamento superficial natural (CARVALHO, 2008).

O crescimento populacional tem grande impacto na demanda por água, por esse motivo existe uma previsão de aumento dentre 20 a 30% do consumo de água atual até o ano de 2050 (BUREK *et al.*, 2016).

A alteração da qualidade e da quantidade da água são propiciados pela expansão dos processos demográficos, como é o caso da urbanização, que é responsável pelo aumento da demanda e do consumo.

A impermeabilização do solo é um efeito do processo de urbanização acarretando a redução da recarga hídrica dos reservatórios subterrâneos, a alteração na qualidade devido às partículas de poluição carregadas pelo escoamento, a erosão do solo e as enchentes devido à sobrecarga nos sistemas de drenagem.

O crescimento de áreas urbanas teve início próximo aos cursos d'água devido às necessidades básicas como consumo e dessedentação de animais, além das rotas comerciais e do papel militar. Entretanto, devido a essa proximidade, traziam consigo possíveis inundações que associadas ao descarte indevido de rejeitos, ocasionava a contaminação da água e transmissão de doenças à população. Com o surgimento de políticas de saneamento básico viu-se a necessidade de sistemas para esgotamento de águas urbanas pluviais (BAPTISTA, NASCIMENTO E BARRAUD, 2011).

A modificação do balanço hidrológico em áreas urbanas acarreta o aumento do escoamento superficial (velocidade e volume). O dimensionamento teórico dos sistemas de drenagem de água pluvial não prevê a alteração no regime do escoamento e acumulado com as obstruções causadas pelo descarte indevido de resíduos, ocasionando possíveis focos de enchentes urbanas (CARVALHO, 2008).

As alterações provocam sobrecargas no sistema de drenagem, sendo necessário utilização de técnicas para aprimorar o manejo das águas pluviais (DE MELO *et al.*, 2013). A utilização de jardins de chuva e de valas de infiltração podem ser aplicados para o alívio da

sobrecarga dos sistemas de drenagem. Além disso, outros exemplos de redução do escoamento superficial seriam a formação de telhados verdes e os pavimentos permeáveis.

A infiltração é o processo pelo qual a água percola no solo. O condicionamento da capacidade da infiltração de água é dado pelas características hidráulicas, pela textura e estrutura do solo e suas condições iniciais (solo saturado ou não saturado), pela declividade do terreno e precipitação inicial (BAPTISTA; NASCIMENTO E BARRAUD, 2011).

No caso dos jardins de chuva, também conhecidos como sistema de biorretenção, equivalem a estruturas que utilizam as atividades biológicas e a estrutura do solo para remover poluentes da água precipitada, além de atuarem na infiltração da água da chuva. A água percolada pelo sistema pode aumentar o volume de recarga dos aquíferos ou ainda ser coletada para futura utilização. Atingido a capacidade de infiltração do jardim, as águas excedentes são encaminhadas para o sistema de drenagem (SOLUÇÕES PARA CIDADES, 2013).

As valas de infiltração são estruturas lineares que tem por objetivo aumentar a infiltração de água no solo, para isso tem sua estrutura formada por material granular e tem seu revestimento feito com manta geotêxtil. Em adaptações das valas é possível aplicar garrafas PET, tendo como proposta de minimizar o impacto ambiental causado pelo resíduo e aumentar o volume de acumulação da vala (DE CARVALHO; LELIS, 2010).

1.1 JUSTIFICATIVA

Analisada a expansão urbana é possível perceber a geração de problemas ligados à infraestrutura das cidades, dentre eles destacando-se aqueles relacionados com drenagem urbana. O aumento da impermeabilização decorrente da urbanização faz com que parcela da água que antes infiltrava no solo passa a compor o escoamento superficial (DE SOUZA, 2002).

As alterações nos regimes de infiltração e escoamento ajudam a compor o aumento das vazões de pico. O aumento proporciona o crescimento de inundações e alteração na qualidade da água devido a quantidade de materiais poluentes encontrados nas cidades (TUCCI; COLLISCHONN, 2019).

Para a remoção das águas pluviais dos centros urbanos as políticas de saneamento adotam o sistema de drenagem, mas o mesmo muitas vezes se torna limitado pela complexidade de instalação ou pela necessidade de ampliação, além de apresentar problemas quanto a sustentabilidade, pela alteração ambiental e qualidade da água. Para solucionar os problemas surgem propostas para complementar o sistema convencional de drenagem de modo a torná-lo

mais eficiente, sustentável e mais próximos aos processos hidrológicos naturais (DE SOUZA, 2002).

Visando aplicar sistemas construtivos alternativos, como forma de combater o aumento do escoamento urbano, optou-se pelas valas de infiltração e jardins de chuva, devido a:

- Necessidade de maior implementação de sistemas alternativos aos de drenagem convencional;
- Medidas simples e de baixo custo para a redução do escoamento superficial;
- Contribuição científica para o conhecimento dos sistemas, tanto quantitativo e qualitativos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa é realizar análise comparativa entre dois sistemas de técnicas compensatórias: vala de infiltração e de jardim de chuva; considerando o clima e o solo da Cidade de Apucarana.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para que seja possível atingir o objetivo geral, tem como objetivo específico:

- Analisar de infiltração na UTFPR - Câmpus Apucarana;
- Confeccionar de vala de infiltração e jardim de chuva;
- Desenvolvimento de um simulador de chuva;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CICLO HIDROLÓGICO - NATURAL E O MODIFICADO DEVIDO A URBANIZAÇÃO

O ciclo hidrológico pode ser descrito brevemente como o processo pelo qual a água retorna a seu ponto de origem de maneira cíclica. O fenômeno ocorre pela associação das radiações solares, da gravidade e da rotação da Terra (TUCCI, 1993; GRIBBIN, 2009).

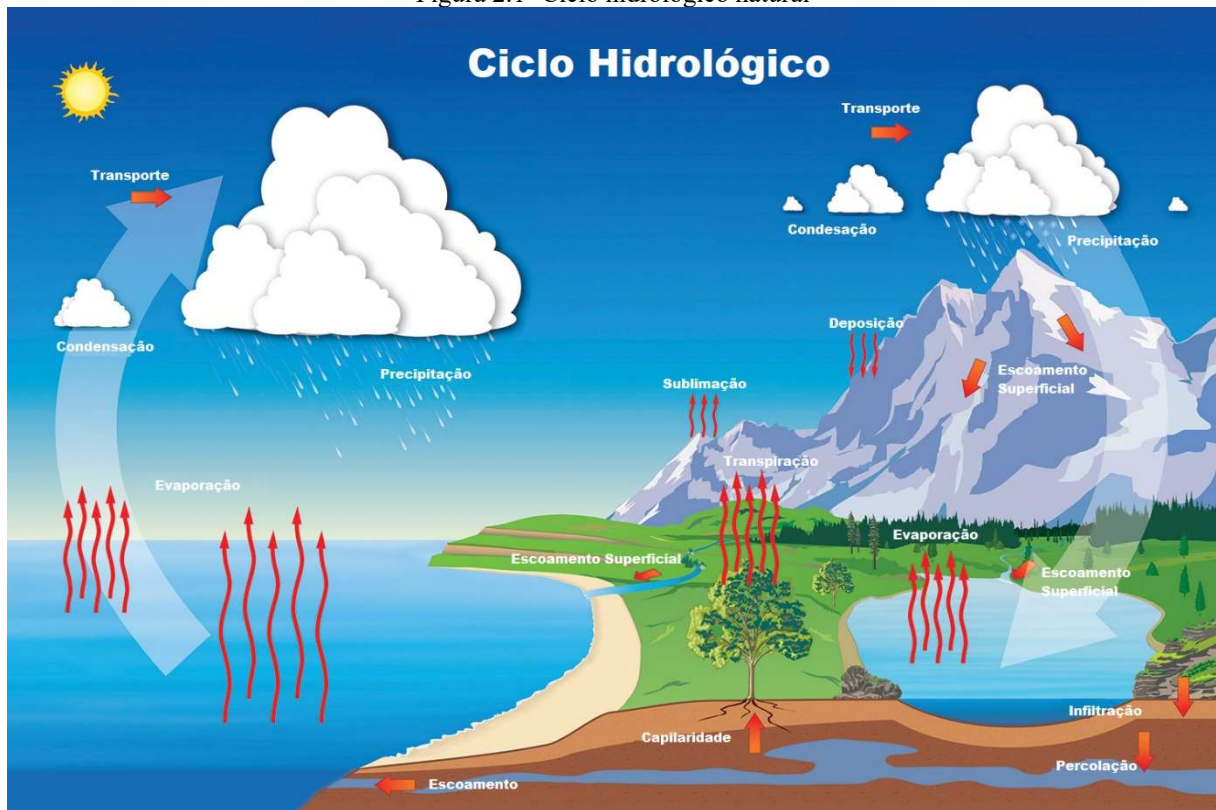
A incidência solar proporciona a evaporação de grande quantidade de água presente nos oceanos, lagos, rios, dentre outros corpos d'água. Sendo este fator o responsável por grande parte da massa de água que atinge a atmosfera, os processos de sublimação e transpiração, também compõem parte da massa (VILLIERS, 2002).

O vapor ao atingir elevada altitude se condensa devida a baixa temperatura e ocorre a precipitação. A água precipitada escoar pela superfície e/ou infiltrar no solo podendo recarregar os lençóis freáticos e os aquíferos (BRASIL, 2019).

O ciclo hidrológico só consegue ser completo a nível global devido ao fato do volume de água evaporado não ser necessariamente o mesmo que será precipitado no local, isso se deve pela não uniformidade do planeta, devido aos comportamentos térmicos e a rotação do eixo terrestre. Desse modo, ocorrendo a captação de água em uma bacia hidrográfica e lançamento deste volume em outra bacia, ou seja, em escalas reduzidas iria provocar variações positivas e negativas no volume de água (SILVEIRA, 2000).

O processo do ciclo hidrológico natural da água é ilustrado pela Figura 2.1.

Figura 2.1- Ciclo hidrológico natural



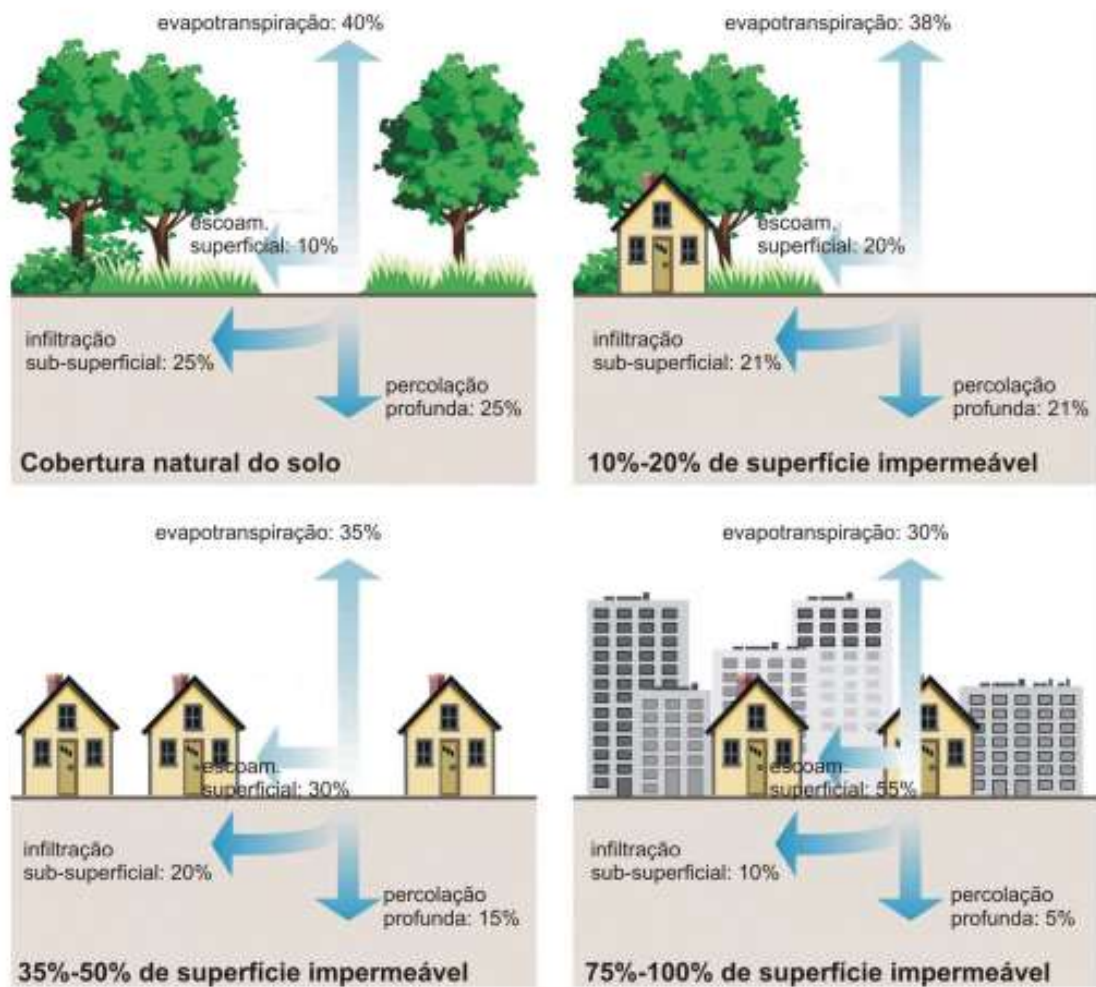
Fonte: Adaptado de Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA, 2019)

O aumento na quantidade de poluentes presentes no meio urbano se dá pela urbanização, assim como pelos processos de industrialização. A precipitação e o escoamento superficial acarretam a poluição de corpos d'água pelo transporte de poluentes, podendo ocorrer de forma direta ou pelos sistemas de drenagem (TUCCI, 2005). O tratamento de água no Brasil não é eficaz em todo o país: cerca de 7% da água distribuída não é tratada, acarretando o provável consumo de águas poluídas (IBGE, 2010).

A introdução de matéria ou energia é responsável por poluir os corpos hídricos. A poluição pode ser dividida entre pontual e difusa, se diferenciando quanto à forma de poluição, sendo ocasionada por um único meio ou pelo ambiente como um todo (atmosfera e superfície terrestre) (VON SPERLING, 2005).

A Figura 2.2 apresenta a alteração no ciclo hidrológico da água causado pela urbanização, comparando a porcentagem de evapotranspiração, escoamento superficial, infiltração subsuperficial e percolação profunda.

Figura 2.2- Alteração do ciclo hidrológico causado pela urbanização



Fonte: Paz (2004)

Conforme ilustrado na Figura 2.2, não ocorre apenas a redução da infiltração no processo de impermeabilização das áreas urbanas, mas também a redução do processo de evapotranspiração devido a retirada da vegetação urbana e o aumento da velocidade de escoamento superficial.

O aumento do escoamento superficial sobrecarrega o sistema de drenagem pluvial urbano, uma vez que esse, foi dimensionado pelos projetistas considerando uma área de infiltração superior ao que acontece atualmente nas cidades brasileiras. Deste modo, o sistema de drenagem pluvial urbana fica obstruído pelos resíduos sólidos e com capacidade de captação inferior ao que foi projetada.

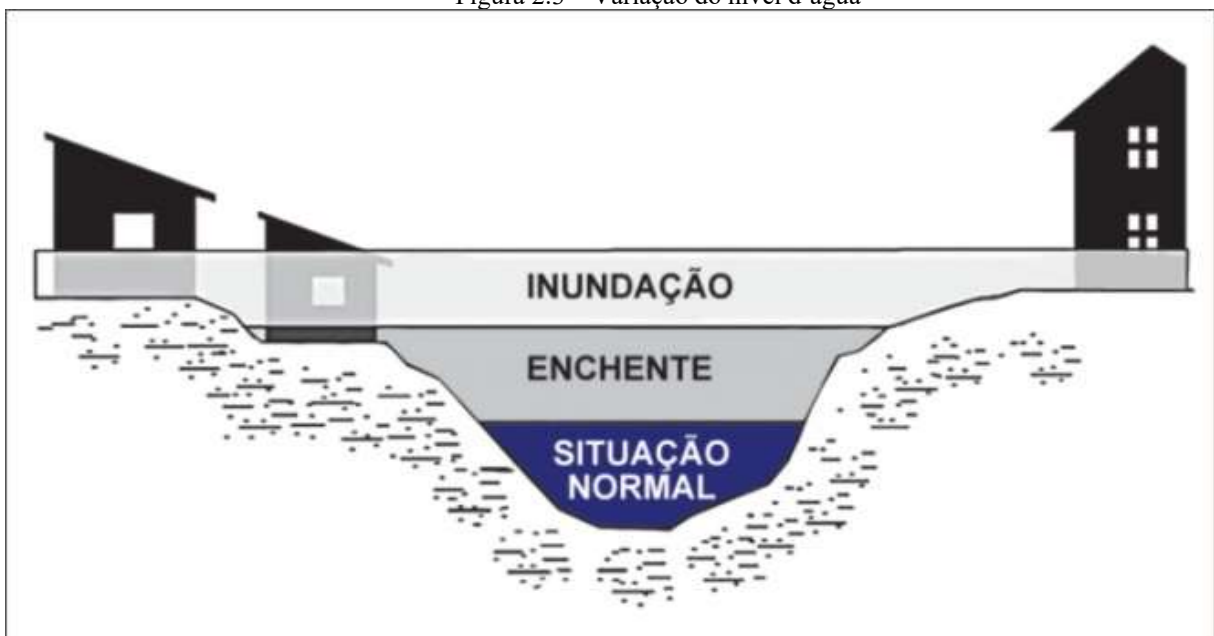
2.2 ENCHENTES URBANAS- CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS

O aumento de áreas impermeabilizadas se deu em conjunto com o aumento da urbanização, sendo o assentamento inicial humano em regiões mais baixas próximas às margens de corpos hídricos. Dessa maneira, ocorrendo assim as primeiras alterações nos leitos dos corpos hídricos para que esses se adequassem às necessidades da sociedade (CANHOLI, 2005).

Os processos de retificação, canalização em galerias ou a céu aberto estão entre as alterações que os corpos hídricos sofreram. As modificações causadas pela urbanização e o período de cheia natural dos rios ocasionam as enchentes (CANHOLI, 2005).

A cheia natural dos rios condiz com o período de intensificação de chuvas onde ocorre o aumento do nível d'água do leito do rio e a inundação de regiões próximas às margens. Além das cheias, os rios também passam por período de estiagem, ocasionando o processo inverso às cheias. A Figura 2.3 apresenta esquematicamente o leito de um mesmo rio em uma área urbanizada. Nota-se que a falta das áreas de preservação permanente (APP), localizadas no leito vazante do rio, deveriam manter-se protegido, de modo que não ocorressem a urbanização local, mesmo em situações onde o corpo d'água é canalizado.

Figura 2.3 – Variação do nível d'água



Fonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável- Minas Gerais (SEMAD) (2019)

As enchentes são originadas de causas naturais, porém com a ação antrópica, este processo tornou-se cada vez mais frequentes nas cidades. Entre as causas naturais é possível considerar o período de cheia dos rios, durante o qual ocorre a elevação do nível de água do rio.

As causas antrópicas (ocasionadas pela alteração humana no meio ambiente) estão diretamente ligadas com os processos de urbanização e a impermeabilização dos solos.

Com os efeitos da urbanização ocorre o aumento do volume de água que escoar na superfície, influenciando assim na quantidade de água que fica retida dentro das zonas urbanas. Para ocorrer a remoção da água retida nas cidades, se fez necessário o desenvolvimento de sistemas de drenagem pluvial urbana. As galerias pluviais são usualmente os sistemas mais utilizados para o manejo das águas pluviais.

A chuva ao tocar no solo urbano é direcionada a sarjeta, sendo esse o primeiro componente do sistema de micro drenagem. As sarjetas conduzem a chuva diretamente para as bocas de lobo, onde o restante da infraestrutura é construído no subsolo. Por fim, a água escoada chega no fundo de vale, onde ocorre o processo de macrodrenagem, pelas galerias pluviais. Entretanto, a má conservação das bocas de lobo impede a passagem da água permitindo assim que advenha o acúmulo de água e criando um possível foco de enchente. A Figura 2.4 apresenta a comparação entre os bueiros: (2.4.a) Bocas de lobo em bom estado de conservação; (2.4.b) Bocas de lobo em más condições de conservação e más condições de conservação.

Figura 2.4 - Comparação entre conservação entre bocas de lobo: (a) Bocas de lobo em bom estado de conservação; (b) Bocas de lobo em más condições de conservação



Fonte: Autor (2019)

As enchentes apresentam como grande problema o contato entre águas pluviais e fluviais com resíduos e dejetos humanos e animais, logo ocasionando a poluição dessa água (SECRETÁRIA DE ESTADO DA SAÚDE DE SÃO PAULO, 2011).

O contato do homem com a água poluída pode causar o adoecimento da pessoa, dentre as doenças é possível destacar a leptospirose, hepatite A e febre tifoide. Com relação a contaminação de alimentos e medicamentos faz-se necessário o descarte destes e ainda com relação a mobília é necessário a desinfecção dos mesmos (SECRETARIA DO ESTADO DA SAÚDE, 2011).

2.3 DRENAGEM PLUVIAL URBANA - MODELO TRADICIONAL E PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA

A tentativa de solucionar a perda das características naturais do meio fez com que se fosse necessária a criação de sistemas de drenagem para captação ou transporte de águas pluviais. Entretanto, a dificuldade da instalação e da execução devido aos processos de urbanização desenfreados acabavam por aumentar a velocidade de escoamento e por reduzir os períodos de concentração (CANHOLI, 2005).

O modelo tradicional de drenagem pluvial urbana, apresentado pela Figura 2.5, consiste em um sistema de dispositivos de micro drenagem, com a via pública e sarjeta, responsáveis por direcionarem a água para as bocas de lobo. Estas por sua vez coletam o volume de água e direcionam aos condutores para efetuar o transporte de água por gravidade (devido à diferença de altura entre montante e jusante). O desague desse sistema é em um sistema de macrodrenagem (canais abertos ou galerias enterradas) ou em rios e córregos (BATISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Figura 2.5- Sistema de drenagem pluvial urbana clássica



Fonte: Adaptado Ideal Consultoria (2019)

No Brasil foi adotado o sistema separador absoluto que representa tubulações individuais, e compreende uma única tubulação para as águas pluviais e uma única tubulação

para a rede de esgoto. Este sistema diferencia do sistema na Europa, onde ocorre o sistema unificado, a qual o sistema de drenagem urbana pluvial é dimensionado considerando o volume de esgoto doméstico em uma única tubulação para ambos os sistemas (CANHOLI, 2005).

Os rios e córregos que recebem o desague do sistema de galerias pluviais acabam sendo sobrecarregados, pois estes não estão preparados para receber a demanda proveniente do sistema de drenagem pluvial urbana, causando inundações em locais que anteriormente não sofriam com essa adversidade (SHEAFFER; WRIGHT, 1982).

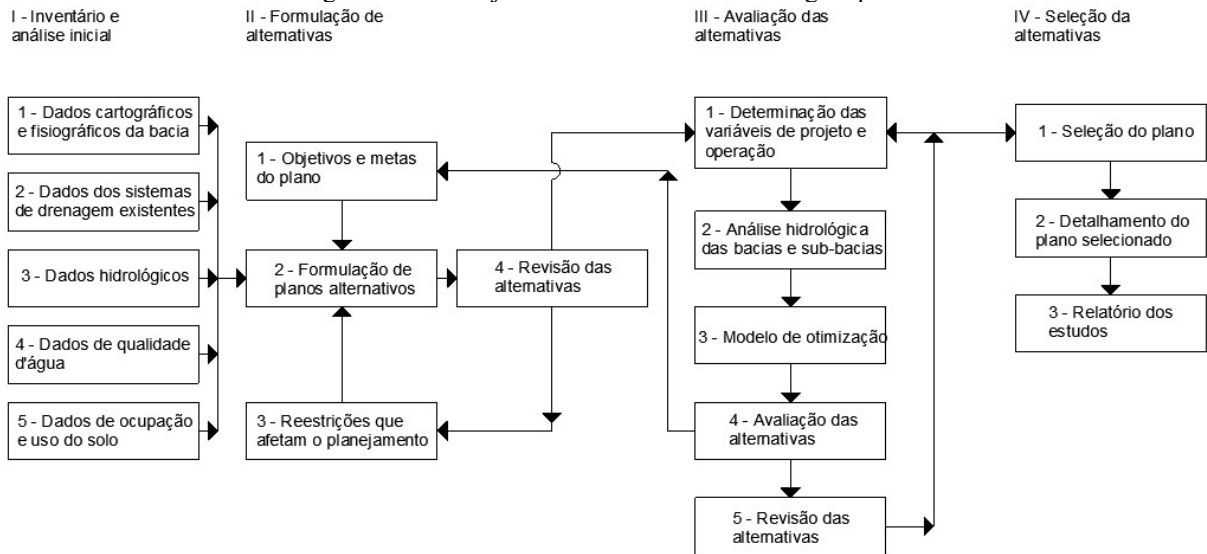
A urbanização contínua evidenciou a limitação dos sistemas clássicos de drenagem pluvial urbana, como por exemplo, a criação de novos pontos de inundação supracitados. Assim, é necessária a criação de novos modelos de drenagem pluvial urbana com uma nova abordagem, como os sistemas com técnicas compensatórias, que buscam compensar os problemas hidrológicos causados pela urbanização de maneira global (BAPTISTA; NASCIMENTO, 1996).

O crescente interesse em tecnologias sustentáveis e conscientização ambiental ligadas com problemas de saúde pública e saneamento proporcionaram a criação de políticas para determinação de critérios para desenvolvimento de projetos, operação e manutenção dos sistemas de drenagem pluvial urbana (BRAGA, 1994).

Os Planos Diretores de drenagem urbana entram como uma política para o regimento dos sistemas de drenagem pluvial urbano. Para que tenha funcionalidade efetiva o Plano Diretor deve compreender que a drenagem é de regimento regional tendo seu gerenciamento feito pelas bacias hidrográficas, apresentando um sistema de macrodrenagem, sendo assim possível que seu alcance ultrapasse os limites de administrativos dos municípios (WANIELISTA; YOUSEF, 1993).

A Figura 2.6, apresenta um fluxograma das principais atividades para o planejamento de um plano diretor segundo Wanilista e Yousef (1993). É possível perceber que para o desenvolvimento de um projeto de um sistema de drenagem pluvial urbana o conhecimento das estruturas já existentes assim como as que podem ser formadas, permitem a realização de um projeto que apresente as melhores soluções dos aspectos ambientais, técnicos e econômicos.

Figura 2.6 - Planejamento de sistemas de drenagem pluvial urbana



Fonte: Wanilista; Yousef (1993)

2.4 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM PLUVIAL URBANA

As técnicas compensatórias foram desenvolvidas para auxiliar os impactos antrópicos das enchentes urbanas, buscando controlar o excedente de água que fica retido na superfície devido à impermeabilização, evitando sobrecargas no sistema (BAPTISTA; NASCIMENTO, 1996).

As modificações e alterações necessárias para implementação dos sistemas de drenagem pluvial urbana apresentam uma série de adversidades, dentre elas, é possível destacar: o custo oneroso, a desapropriação de terra, interesses políticos e a limitação para a execução de algum sistema (BAPTISTA; NASCIMENTO, 1996; CANHOLI, 2005).

O emprego de sistemas compensatórios pode ser feito de maneiras distintas, podendo elas serem para armazenamento temporário, canalizações de cursos d'água afim de reduzir a velocidade de escoamento e aumentar a infiltração e a percolação das águas pluviais, entre outras formas (BATISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

A aplicação de tais técnicas permite um melhor aproveitamento do espaço urbano, pois estes podem ser executados em diferentes escalas a fim de integrá-los as cidades, por exemplo, em parques, estacionamentos e locais de prática esportiva.

A distinção das técnicas compensatórias se dá pela sua concepção, sendo elas de maneira estrutural ou não-estrutural. O Quadro 2.1, apresenta de maneira esquemática os diferentes tipos de técnicas compensatórias.

Quadro 2.1- Diferentes tipos de 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: Batista; Nascimento; Barraud (2011)

A aplicação de cada tipo de técnica é feita de acordo com restrições de implantação e de operação. O Quadro 2.2, apresenta uma adaptação a tabela de Azzout *et al.* (1994) quanto as restrições para o desenvolvimento de alguma técnica compensatória. Os valores apresentados dentro do Quadro 2.2 tem maior importância quanto mais elevado é esse valor, sendo 3 de grande importância e 1 de pequena importância ou nula.

Quadro 2.2- Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas

Técnica	Restrições à implantação e operação das técnicas					
	Permeabilidade do solo	Declividade	Proximidade do lençol	Proximidade de leito rochoso	Restrição ao uso do solo	Aporte de sólidos
Bacia de detenção	1	1	1	2	3	2
Bacia de retenção	3	1	3	3	3	3
Valas de infiltração	1	2	1	2	2	2
Valas de retenção	3	3	3	3	2	3
Telhados armazenadores	1	1	1	1	1	1
Reservatórios individuais	1	1	2	2	1	1
Pavimentos porosos	2	3	2	1	1	3

Fonte: Adaptado Azzout *et al.* (1994)

De Souza (2002) fez a aplicação de técnicas compensatórias a fim de verificar a eficiência dos sistemas quanto a capacidade de controlar o escoamento superficial. Em seu estudo foram confeccionadas duas trincheiras de infiltração, sendo uma de brita e a outra com seixos rolado, dando ao sistema porosidade de 47% e 33%, respectivamente. Ambos as trincheiras tiveram desempenhos relativamente aceitáveis, pois foi considerado que o tempo para o esvaziamento das estruturas foi baixo, o que garantiria a capacidade dos sistemas compensatórios em controlar eventos sucessivos de precipitação.

A técnica compensatória utilizada por De Melo *et al.* (2013), foi a do jardim de chuva. Em seu estudo foi analisada a viabilidade para a instalação desse modelo compensatório para a cidade de Recife em Pernambuco. Na pesquisa, De Melo *et al.* (2013) encontrou uma taxa de infiltração média de 332mm/h. Com relação a retenção temporária, o jardim de chuva apresentou desempenho satisfatório devido a camada de brita interna do seu sistema.

3 METODOLOGIA

A pesquisa a ser realizada no presente Trabalho de Conclusão apresenta a característica de pesquisa quantitativa, sendo essa de forma estatística, com os resultados expostos através de gráficos e tabelas. O trabalho busca realizar a comparação da taxa de infiltração dos sistemas compensatórios: jardim de chuva e vala de infiltração.

O Quadro 3.1, apresenta o procedimento que foram realizados no trabalho assim como a metodologia aplicada ao mesmo.

Quadro 3.1- Metodologia

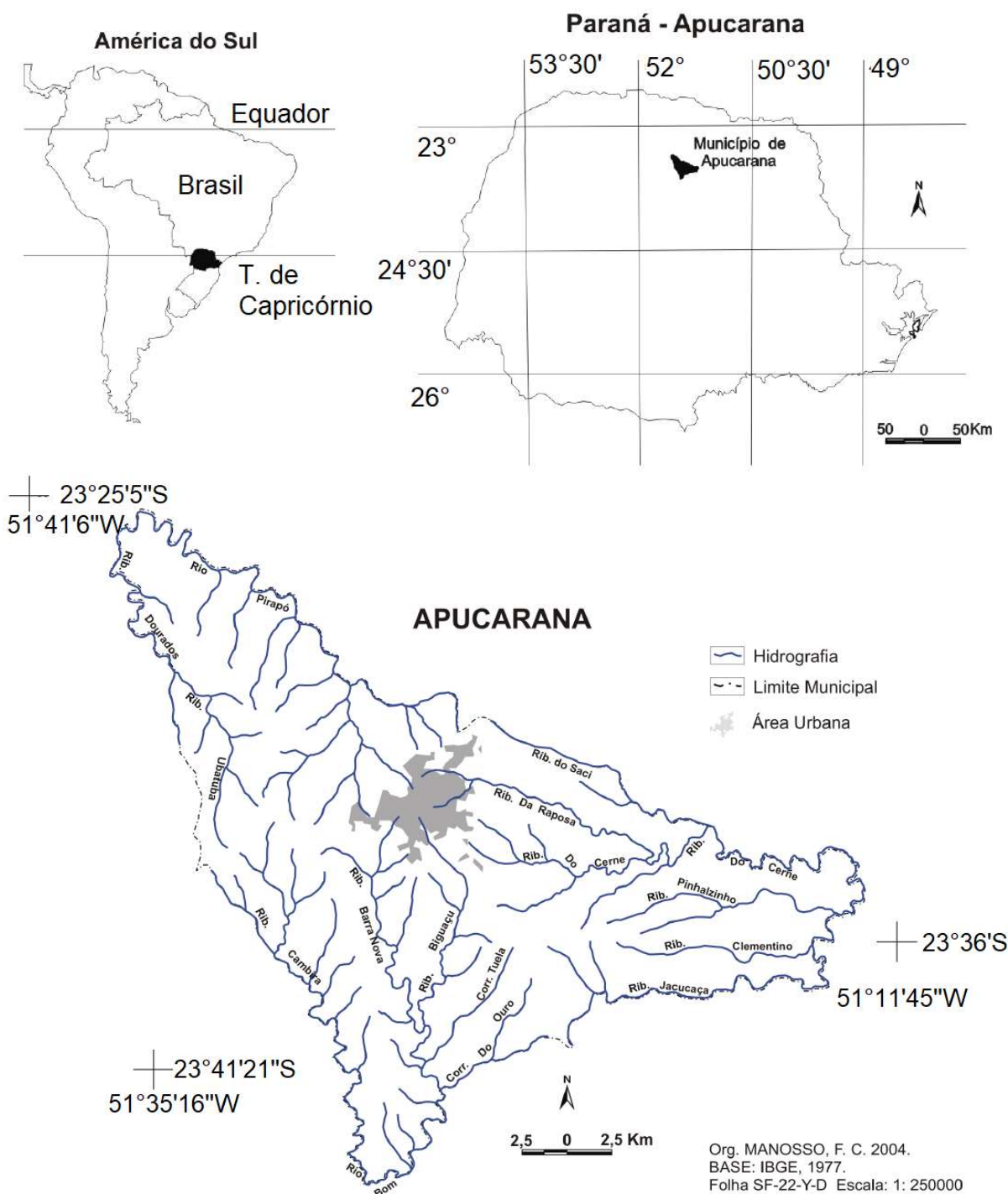
Procedimento	Metodologia aplicada
Teste de infiltração	ASTM 3385. Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. West Conshohocken: Astm International, 2003.
Simulador de chuva	ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 2, p.337-344, maio 2002.
Vala de Infiltração	DE SOUZA, V. C. B. Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial. Porto Alegre, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.
Jardim de Chuva	DE MELO, T. A. T <i>et al.</i> Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165, out./dez. 2014.

Fonte: Autor (2019)

3.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Para a realização do presente trabalho optou-se pelo estudo da cidade de Apucarana, Estado do Paraná, Brasil (Figura 3.1), com área de 563 km² e sede com altitude de 988 metros (PREFEITURA DA CIDADE DE APUCARANA, 2019). O censo demográfico de 2010, o município apresentou população de 120.919 habitantes com densidade demográfica de 216,55 habitantes/km². A cidade de Apucarana apresentou taxa de crescimento geométrico populacional urbano de 1,3% entre os censos demográficos de 2000 e 2010 (IBGE, 2010).

Figura 3.1- Apucarana



Fonte: MANOSSO, 2004

O município se encontra no Planalto do Rio Paraná, com vegetação predominante de Floresta Estacional Semidecidual. O solo da região é caracterizado como Nitossolo Vermelho e Latossolo Vermelho, enquanto o seu clima é Mesotérmico Brando, com médias de temperatura entre 10 a 15°C (IBGE, 2019). A precipitação média anual da cidade é de 1507mm,

entretanto apresenta diferença de 133mm entre o mês mais chuvoso (janeiro) para o seco (agosto), o verão é marcado pelo alto índice pluviométrico (CLIMATE, 2019).

A equação da intensidade pluviométrica da cidade é descrita em (3.1) (FENDRICH, 2003).

$$i = \frac{1301,07 * T_r^{0,177}}{(t + 15)^{0,836}} \quad (3.1)$$

Onde o valor de T_r e t correspondem respectivamente ao tempo de retorno e a duração da chuva, e i a intensidade pluviométrica máxima.

Para o conhecimento do solo do local, adotou-se os valores obtidos por Garcia e Luiz (2019), pois no trabalho desses autores a amostra de solo utilizada para caracterização foi retirada próxima aos locais onde foram realizados os ensaios de infiltração. Os valores encontrados estão apresentados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Índices físicos do solo

Índices Físicos
Teor de umidade (w) = 35,3%
massa específica dos sólidos (ρ_s) = 2,923g/cm ³
massa específica natural (ρ_{nat}) = 1,766 g/cm ³
massa específica seca (ρ_d) = 1,308g/cm ³
porosidade (η) = 55%
Saturação do solo (S_r) = 83%

Fonte: Garcia e Luiz (2019)

Para a determinação dos índices físicos descritos pelo Quadro 3.2 Garcia e Luiz (2019), adotaram procedimentos descritos pelas normas ABNT NBR 9813: Solo — Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação (2016) e os descritos pelas normas ABNT NBR 6457: Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização (2016).

3.2 TESTE DE INFILTRAÇÃO

A determinação da capacidade de infiltração de água no solo será feita utilizando infiltrômetro de duplo anel. A realização do ensaio tem seu início com cravação vertical dos anéis em posições concêntricas, a fim de evitar taxas de infiltrações não condizentes com a realidade. A reposição de água em ambos os anéis será feita de maneira manual, sendo o marco inicial determinado com o nivelamento das alturas das colunas d'água. O ensaio será realizado até o momento em que a taxa de infiltração se torne constante em intervalos de tempos iguais (ASTM 3385, 2003). Optou-se pela utilização da norma ASTM 3385 (2003), pela falta de norma brasileira (ABNT), para tal ensaio. A Figura 3.2 apresenta o conjunto de anéis cravados no solo.

Figura 3.2- Infiltrômetro de duplo anel



Fonte: Autor (2019)

A determinação da taxa de infiltração é dada em mm.h^{-1} , é calculada pela variação da altura da coluna d'água em função do tempo que demorou para ocorrer esta variação. Para verificar a diferença de altura utiliza-se a régua localizada no anel interno do infiltrômetro. A equação utilizada para a determinação da taxa de infiltração é apresentada em (3.2).

$$t.i. = \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (3.2)$$

Onde $t.i.$ é a taxa de infiltração, Δm é a variação da altura da coluna de água em mm e Δt é a variação de tempo em hora.

Os ensaios de infiltração serão realizados em pontos distintos no Câmpus da UTFPR em Apucarana, sendo estes escolhidos pelo uso e ocupação do solo. Os pontos escolhidos para o

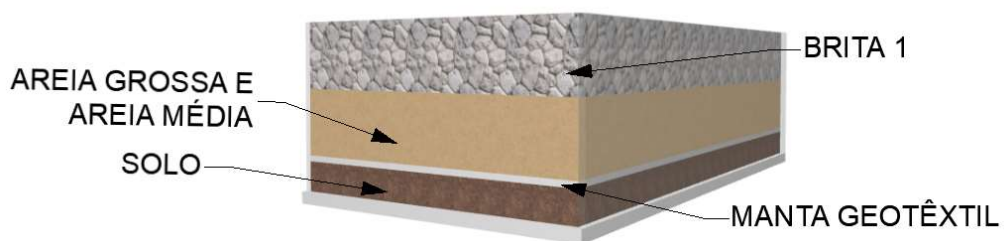
estudo são caracterizados como solo natural, solo modificado corte/aterro ou solo compactado por tráfego humano.

Para aumentar a quantidade de água que infiltra ao solo e reduzir o escoamento superficial optou-se por dois sistemas construtivos a vala de infiltração e o jardim de chuva. A fim de verificar a eficácia dos modelos serão confeccionados protótipos de cada um deles.

3.3 MONTAGEM DOS PROTÓTIPOS

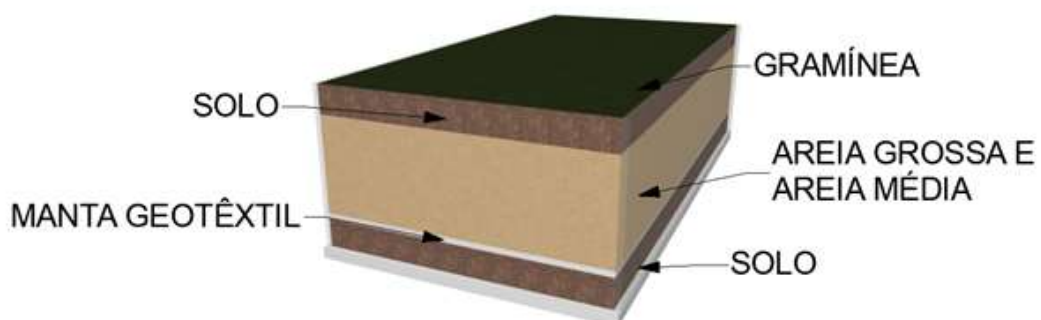
A execução dos protótipos será realizada em caixa de polietileno (de dimensões 40cm x 25cm x 40cm) e com seus materiais constituintes distribuídos em camadas. A confecção das valas de infiltração terá como principais constituintes: material granular de origem mineral (brita 1, areia grossa e areia média), manta geotêxtil e solo (DE SOUZA, 2002). Enquanto o jardim de chuva será executado com: cobertura vegetal e seu solo, areia grossa e areia média, manta geotêxtil e solo (DE MELO *et al*, 2013). Os dois modelos serão confeccionados de maneira a permitir a coleta da água infiltrada. As Figuras 3.3 e 3.4 apresentam os protótipos a serem desenvolvidos de vala de infiltração e jardim de chuva, respectivamente.

Figura 3.3- Vala de infiltração



Fonte: Autor (2019)

Figura 3.4- Jardim de chuva



Fonte: Autor (2019)

Para a determinação das alturas das camadas de brita é necessário determinar a intensidade pluviométrica, assim como o volume de entrada e de saída do sistema compensatório (DE SOUZA, 2002; DE MELO *et al*, 2013).

Utilizando a Equação 3.1, é possível determinar a intensidade da chuva. Para os dois modelos foi adotado o tempo de retorno de 5 anos e duração de chuva do projeto como sendo de 20 minutos.

A adoção de 5 anos como sendo o tempo de retorno se deu por este valor ser utilizado para projetos de microdrenagem na cidade de Apucarana, para áreas residenciais e comerciais da zona urbana (APUCARANA, 2017). A adoção para o tempo de chuva se deu pela recomendação de Tucci (1993), para projetos de drenagem com valores entre 10 e 40 minutos.

A determinação do volume de entrada (V_{en}) é dada pelo produto entre a vazão e o tempo de percolação (t_p) (3.3). A vazão de entrada (Q_{en}) é calculada pelo Método Racional (3.4).

$$V_{en} = Q_{en} * t_p \quad (3.3)$$

$$Q_{en} = c * i * A_{in} \quad (3.4)$$

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

O valor do coeficiente de escoamento superficial será adotado seguindo o Quadro 3.3 adaptada da tabela de WILKEN (1978).

Quadro 3.3 - Valores de C, conforme as características de urbanização da bacia

ZONAS	VALORES DE 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
De edificação com muitas superfícies livres (áreas residenciais 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

Fonte: Adaptada Wilken (1993)

Para o cálculo da área de infiltração (3.5) será considerado apenas a área da base, pois as paredes laterais das caixas de polietileno serão consideradas como sendo impermeáveis. Tal consideração é feita pois adotou-se para o projeto apenas a base de solo como área de percolação e infiltração (GAUTIER, 1998).

$$A_{in} = b * l \quad (3.5)$$

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

O dimensionamento da altura da camada de brita (H_b) é apresentado pela equação (3.6).

$$H_b = \frac{V_{en} - I_{ac} * b * l - h_a * (I_{ac} * l + I_{ac} * b + b * l * \eta a)}{b * l * \eta b + I_{ac} * (l + b)} \quad (3.6)$$

Onde a altura da camada de areia (h_a) será adotada para fins de cálculo. As porosidades de areia (ηa) e brita (ηb), serão adotadas seguindo a tabela de Urbonas e Stahre (1993), apresentada pelo Quadro 3.4.

Quadro 3.4 - Porosidade efetiva de materiais de enchimento

Material	Porosidade efetiva (%)
Brita grossa	30
Cascalho de granulometria uniforme	40
Brita graduada (menores que 1/4")	30
Areia	25
Seixo rolado	15-25

Fonte: Urbonas e Stahre (1993)

O Quadro 3.5, apresenta os valores adotados para o dimensionamento dos sistemas compensatórios.

Quadro 3.5 – Quadro resumo das variáveis adotadas

Variáveis	Valor
T_r	5 anos
t	20 min
c	0,05
ηa	25%
ηb	30%

Fonte: Urbonas e Stahre (1993)

Em ambos os protótipos foi realizada a captação da água infiltrada em um recipiente de polietileno e os resultados dos volumes infiltrados realizada com o auxílio de proveta graduada.

Para a verificação da funcionalidade dos sistemas é necessário a ocorrência de chuvas. Devido ao período de estiagem ocorrida durante a realização do trabalho optou-se por desenvolver um simulador de chuvas, a fim de permitir a realização dos ensaios dos protótipos dos sistemas compensatórios.

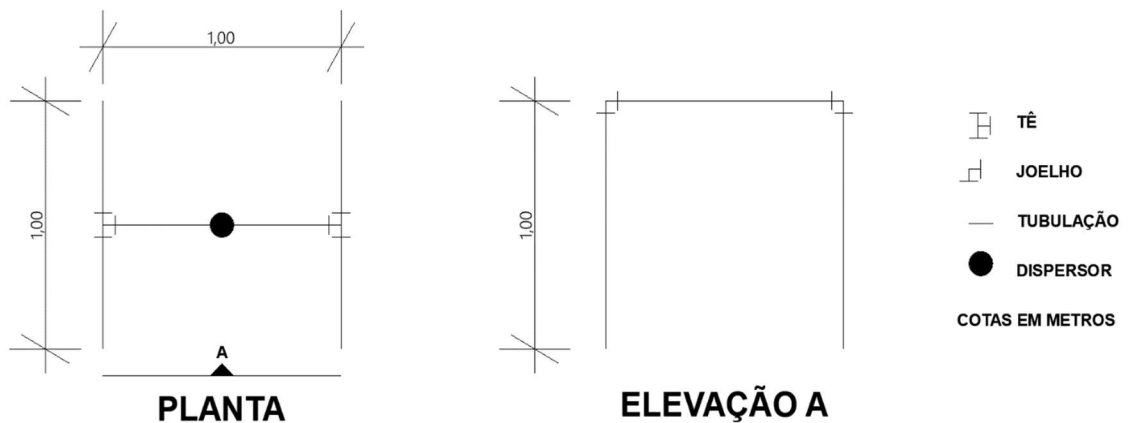
3.4 SIMULADOR DE CHUVA

O simulador de chuva foi confeccionado com tubulação e conexões em policloreto de vinilla (PVC), dispersor de água, hidrômetro e mangueira. Esse simulador é uma adaptação do simulador de Alves Sobrinho; Ferreira e Pruski (2001), a modificação se dá pelo material

utilizado, fazendo a substituição dos perfis metálicos pela tubulação em PVC, e pelo sistema a ser construído não possuir estrutura rotativa impossibilitando a movimentação do dispersor.

O modelo executado é apresentado pela Figura 3.5, juntamente com o material e conexões utilizadas. A estrutura do simulador é em formato de pórtico espacial. Para a confecção do simulador, utilizou-se o diâmetro de 25 mm, com 2 Tês, 2 Joelhos de 90° e 5 metros de tubulação soldável.

Figura 3.5- Protótipo do simulador de chuva

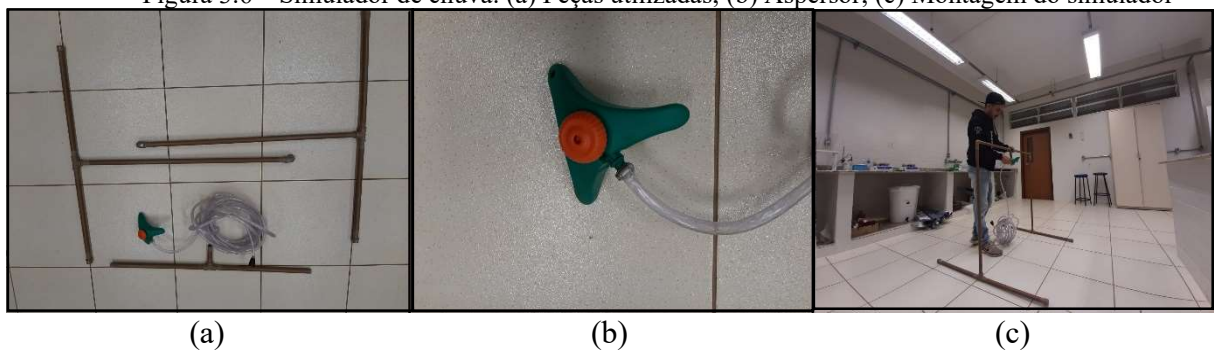


Fonte: Autor (2019)

Para a estimativa da intensidade pluviométrica foi instalado na parte inferior do simulador de chuva um pluviômetro analógico, modelo cunha, de modo a obter a precipitação em milímetros. Com um cronômetro, foi estipulado um tempo de 5 minutos de precipitação, assim determinando a intensidade pluviométrica local.

As peças executadas para montagem do simulador estão apresentadas pela Figura 3.6.a, o detalhe do aspersor é apresentado pela Figura 3.6.b e a Figura 3.6.c ilustra como era feita a montagem do simulador de chuva.

Figura 3.6 – Simulador de chuva: (a) Peças utilizadas; (b) Aspersor; (c) Montagem do simulador



(a)

(b)

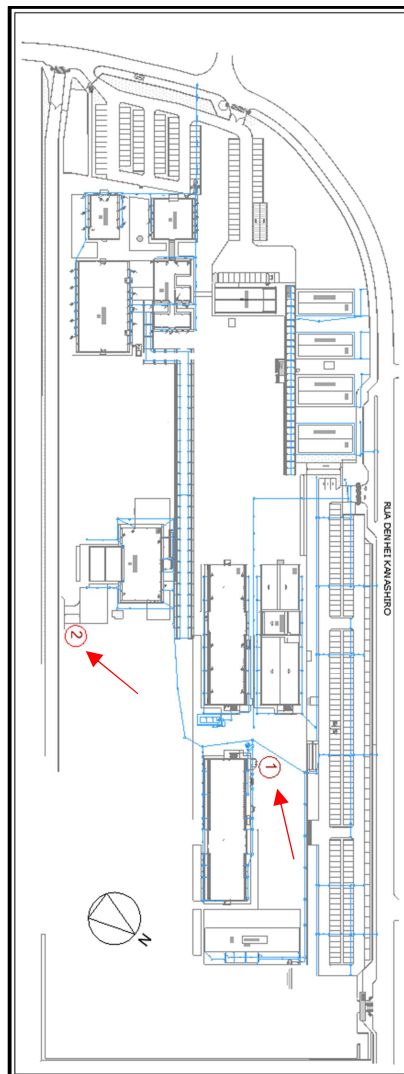
(c)

Fonte: Autor (2019)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os locais onde foram realizados os ensaios de infiltração são apresentados pela Figura 4.1. O primeiro ponto (1), foi escolhido por ser um local onde o solo não passou por modificações e transformações causadas por ações antrópicas. O segundo ponto (2) foi escolhido por ser um local onde o solo passou por compactação causada pelo tráfego humano e de veículos.

Figura 4.1 – Locais onde foram realizados os ensaios de infiltração: pontos 1 e 2 no Câmpus da UTFPR-
Apucarana



Fonte: Modificado Departamento de Obras da UTFPR Câmpus Apucarana (DEPRO)¹ (2019)

As tabelas 4.1 e 4.2 apresentam os resultados obtidos a partir do ensaio de infiltração com duplo anel no ponto 1.

¹ Arquivo fornecido via e-mail pelo DEPRO

Tabela 4.1 – Ensaio de infiltração no primeiro ponto

Tempo (min)	Régua (cm)		Diferença (cm)	Infiltração	
	Leitura	Abastecimento		I (mm)	VI (mm/h)
0	20,5		0,0	0	0
1	21,0		0,5	5	300
2	21,1		0,1	6	60
3	21,4	12,5	0,3	9	180
4	12,6		0,1	10	60
5	12,9		0,3	13	180
6	13,2		0,3	16	180
7	13,2		0,0	16	0
8	13,5		0,3	19	180
9	13,7		0,2	21	120
10	13,9		0,2	23	120
11	14,0		0,1	24	60
16	14,8		0,8	32	96
21	16,0		1,2	44	144
26	16,5		0,5	49	60
31	16,9		0,4	53	48
36	17,4		0,5	58	60
41	18,3		0,9	67	108
46	18,5		0,2	69	24
51	19,0		0,5	74	60
Somatório da diferença			7,4	-	-

Fonte: Autor (2019)

Tabela 4.2 – Ensaio de infiltração no segundo ponto

Tempo (min)	Régua (cm)		Diferença (cm)	Infiltração	
	Leitura	Abastecimento		I (mm)	VI (mm/h)
0,0	11,5		0,0	0	0
0,5	11,7		0,2	2	240
1,0	11,8		0,1	3	120
1,5	11,8		0,0	3	0
2,0	11,9		0,1	4	120
2,5	11,9		0,0	4	0
3,0	11,9		0,0	4	0
3,5	11,9		0,0	4	0
4,0	12,0		0,1	5	120
4,5	12,0		0,0	5	0
5,0	12,0		0,0	5	0
5,5	12,1		0,1	6	120
6,5	12,1		0,0	6	0
7,5	12,1		0,0	6	0
8,5	12,2		0,1	7	60
9,5	12,2		0,0	7	0
10,5	12,2		0,0	7	0
15,5	12,5		0,3	10	36
20,5	12,7		0,2	12	24
25,5	12,8		0,1	13	12
30,5	13,0		0,2	15	24
35,5	13,2		0,2	17	24
40,5	13,5		0,3	20	36
45,5	13,5		0,0	20	0
50,5	13,7		0,2	22	24
Somatório da diferença			2,2	-	-

Fonte: Autor (2019)

Como é possível observar na Tabela 4.1 e 4.2, existe uma diferença na taxa de infiltração, devido a compactação sofrida pelo solo. Enquanto o primeiro ponto apresentou somatório da taxa de infiltração igual a 7,4 cm o segundo ponto apresentou de 2,2 cm, ou seja, o solo em condições naturais apresentou taxa de infiltração superior a três vezes a taxa do solo compactado. Esses locais, devido a baixa capacidade de infiltração, ocasionam “empoçamentos” e aumento do escoamento superficial. A estimativa da infiltração no solo é condicionante para avaliar o Balanço Hídrico, separando a precipitação em infiltração e escoamento superficial.

Deste modo, os solos argilosos possuem menor capacidade de infiltração e geram naturalmente um volume maior de escoamento superficial. Com a modificação do solo local - compactação e impermeabilização - acontece o incremento do escoamento superficial, podendo gerar problemas de inundações e enchentes urbanas.

Para o dimensionamento das camadas de brita e de areia dos sistemas compensatórios fez-se necessário calcular a intensidade da chuva para o estudo, por meio da equação (3.1).

$$i = \frac{1301,07 * T_r^{0,177}}{(t + 15)^{0,836}} = \frac{1301,07 * 5^{0,177}}{(20 + 15)^{0,836}} = 88,55 \text{ mm/h}$$

A aplicação da intensidade pluviométrica se dá na equação 3.4 e utilizando o valor adotado de 0,05 para o coeficiente de escoamento superficial, sendo este equivalente a locais sem pavimentação descritas pelo Quadro 3.3 adotou-se também o valor do tempo de percolação como sendo igual a 5 minutos. Como descrito na seção 3.3, a caixa onde será montada os protótipos tem dimensionamento de 25 cm de largura e 40 cm de comprimento.

$$Q_{en} = c * i * A_{in} = 0,05 * 88,55 * (0,25 * 0,4) = 0,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{en} = Q_{en} * t_p$$

$$V_{en} = 0,44 * \left(\frac{5}{60}\right) = 0,04 \text{ m}^3$$

Para ambos sistemas compensatórios adotou-se a altura da camada de areia igual a 5cm e a infiltração acumulada como sendo igual a encontrada no primeiro ponto. Aplicando os valores encontrados na equação 3.6, têm-se:

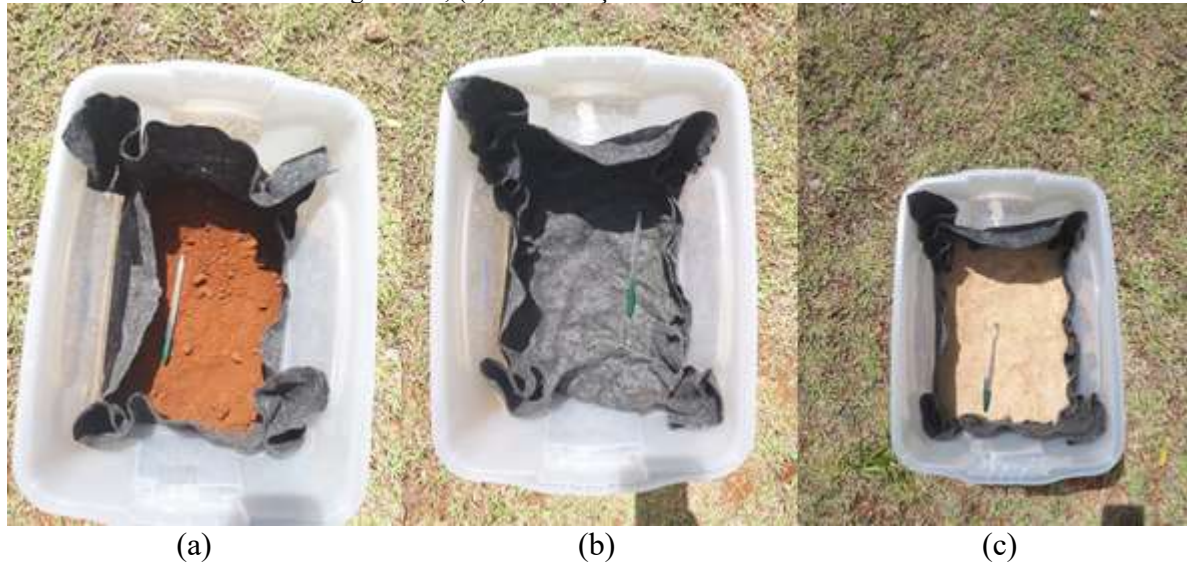
$$H_b = \frac{V_{en} - I_{ac} * b * l - h_a * (I_{ac} * l + I_{ac} * b + b * l * \eta a)}{b * l * \eta b + I_{ac} * (l + b)}$$

$$H_b = \frac{0,04 - 0,074 * 0,25 * 0,4 - 0,05 * (0,074 * 0,4 + 0,074 * 0,25 + 0,25 * 0,4 * 0,25)}{0,25 * 0,4 * 0,3 + 0,074 * (0,4 + 0,25)}$$

$$H_b = 34 \text{ cm}$$

A montagem de ambos os protótipos se deu de maneira semelhante, os primeiros procedimentos de montagem, estão ilustrados seguindo a Figura 4.2. Para que não ocorresse a obstrução do orifício de saída, dos protótipos, optou-se a pela instalação de uma camada de manta geotêxtil antes da acomodação do solo.

Figura 4.2 – Execução dos protótipos: (a) Acomodação da camada de solo; (b) Disposição da manta geotêxtil; (c) Acomodação da camada de areia

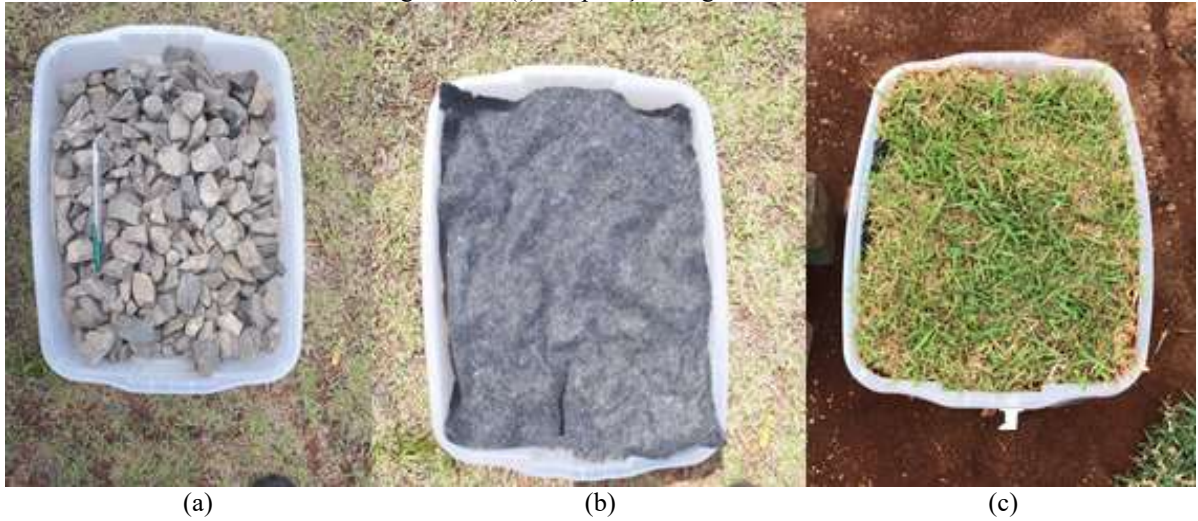


Fonte: Autor (2019)

Esta manta geotêxtil também auxilia para que não ocorra a perda de material filtrante, como o solo ou a areia, na instalação dos equipamentos. Após a acomodação da camada de solo (Figura 4.2.a) foi disposto mais uma camada da manta geotêxtil (Figura 4.2.b), para que essa não permitisse o contato direto com a areia e a perda do material (Figura 4.2.c).

Entre a camada de areia e de brita não foi aplicada a manta geotêxtil (Figura 4.3.a). Para o protótipo do jardim de chuva utilizou-se mais uma camada da manta geotêxtil (Figura 4.3.b) para evitar a perda do solo que se encontrava ligado às gramíneas. A gramínea utilizada na montagem do sistema foi a do tipo esmeralda (Figura 4.3.c). A figura 4.3 apresenta os processos de montagem supracitados.

Figura 4.3 – Execução dos protótipos: (a) Acomodação da camada de brita 1; (b) Disposição da manta geotêxtil; (c) Disposição da gramínea



Fonte: Autor (2019)

Deste modo, com o simulador de chuva, pode-se obter um melhor resultado da capacidade de retenção da água pluvial no sistema. Com o auxílio do simulador de chuva foram realizados os ensaios para verificar a eficácia dos sistema compensatórios. A Figura 4.4 apresenta como era disposto o simulador em relação aos protótipos.

Figura 4.4 – Disposição simulador de chuva e vala de infiltração



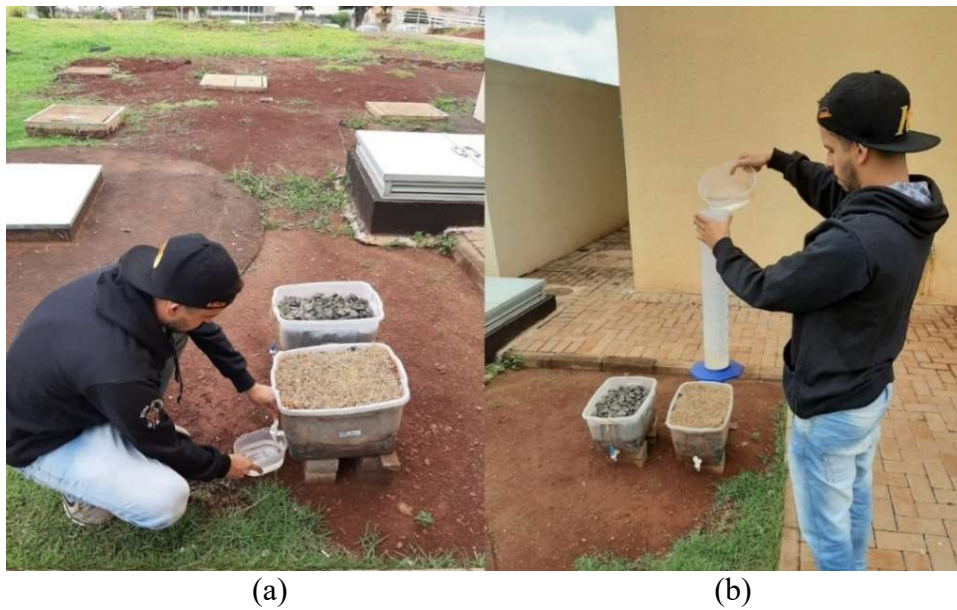
Fonte: Autor (2019)

Para a avaliação, considerou-se duas condições, a primeira, com o solo seco, condições normais e a outra com o solo submerso/ úmido, de modo a visualizar a capacidade de armazenamento dos protótipos em estudo. Os ensaios serão apresentados em e tabelas, e conforme Anexo 1 e 2, deste trabalho.

A coletas da água infiltrada é realizada conforme imagem da Figura 4.5.a, sendo esta captação feita em recipiente de polietileno. A Figura 4.5.b representa por sua vez a passagem da água captada em um dos protótipos para uma proveta graduada.

Com o volume medido na proveta graduada, pode-se determinar a quantidade do volume de água acumulada em ambos os protótipos. Foi também observado o tempo de esvaziamento, uma vez que o sistema de saída foi posicionado na parte inferior dos protótipos, com o diâmetro interno de saída de 10 mm. O sistema de saída funciona como orifício, com altura de lâmina d'água variante.

Figura 4.5 – Coleta de dados: (a) Coleta da água infiltrada; (b) Medição do volume infiltrado



Fonte: Autor (2019)

O primeiro ensaio apresentado pelo jardim de chuva está ilustrado na Tabela 4.3, enquanto os restantes dos dados estão no Anexo 1 - Resultados jardim de chuva. Para melhor visualização dos resultados obtidos, optou-se pelo gráfico e pela tabela com os dados finais da infiltração e velocidade de infiltração.

Tabela 4.3 – Ensaio 1 Jardim de chuva

ENSAIO 1				
t= 5min		Precipitação 17mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	190,00	190,00	38,00
6	0,02	50,00	240,00	50,00
7	0,02	60,00	300,00	60,00
8	0,02	55,00	355,00	55,00
9	0,02	50,00	405,00	50,00
10	0,02	60,00	465,00	60,00
15	0,08	230,00	695,00	46,00
20	0,08	210,00	905,00	42,00
25	0,08	195,00	1100,00	39,00
30	0,08	210,00	1310,00	42,00
35	0,08	215,00	1525,00	43,00
45	0,17	360,00	1885,00	36,00
55	0,17	360,00	2245,00	36,00
65	0,17	330,00	2575,00	33,00
75	0,17	295,00	2870,00	29,50
85	0,17	280,00	3150,00	28,00
95	0,17	260,00	3410,00	26,00
MÉDIA				42,97

Fonte: Autor (2019)

A Tabela 4.4 descreve os resultados obtidos de maneira comparativa, bem como os ensaios que foram realizados com o solo seco.

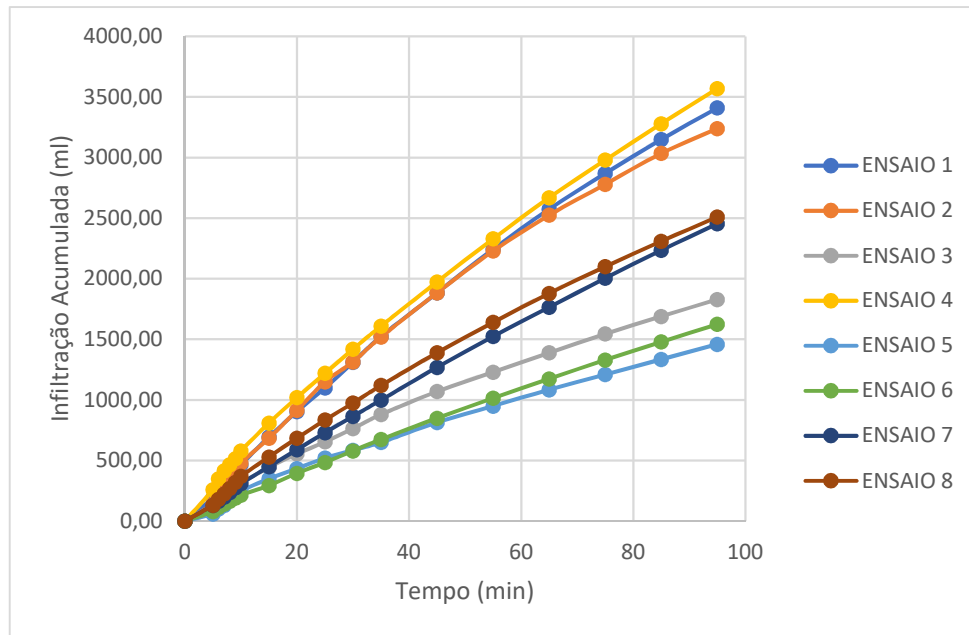
Tabela 4.4 – Resultados - Jardim de chuva

JARDIM DE CHUVA	SOLO SECO	SOMATÓRIO INFILTRAÇÃO (ml)	MÉDIA VOLUME INFILTRADO (ml/min)
ENSAIO 1	SIM	3410,00	42,97
ENSAIO 2	NÃO	3240,00	45,00
ENSAIO 3	SIM	1830,00	28,06
ENSAIO 4	NÃO	3570,00	45,13
ENSAIO 5	SIM	1460,00	21,94
ENSAIO 6	NÃO	1625,00	20,13
ENSAIO 7	SIM	2455,00	28,97
ENSAIO 8	NÃO	2510,00	33,06
MÉDIA SECA	SIM	2288,75	30,48
MÉDIA ÚMIDA	NÃO	2736,25	35,83
MÉDIA GERAL	-	2512,50	33,16

Fonte: Autor (2019)

A Figura 4.6 representa de maneira gráfica os resultados obtidos nos ensaios.

Figura 4.6 – Ensaio - Jardim de chuva



Fonte: Autor (2019)

Observando os resultados é possível perceber que não existe uma distinção entre os valores encontrados para o solo natural e para o solo úmido. Entretanto é possível destacar que os ensaios 4 e 2 (solo úmido) apresentaram dois dos três melhores valores de infiltração acumulada, e por outro lado é possível destacar que os piores valores de infiltração acumulada são de ensaios realizados com o solo natural (Ensaio 3 e 5), em ambos os ensaios é possível destacar a alta intensidade pluviométrica, sendo estas de 60mm e 32mm.

Assim como os resultados apresentados para o jardim de chuva, os resultados para a vala de infiltração serão apresentados da mesma maneira. Os resultados obtidos para o Ensaio 1, da Vala de infiltração estão descritos pela Tabela 4.5, enquanto os demais resultados nos outros ensaios estão apresentados no Anexo 2 – Resultados vala de infiltração.

Tabela 4.5 – Ensaio 1 Vala de infiltração

ENSAIO 1				
t= 5min		Precipitação 40mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	140,00	140,00	28,00
6	0,02	130,00	270,00	130,00
7	0,02	110,00	380,00	110,00
8	0,02	120,00	500,00	120,00
9	0,02	150,00	650,00	150,00
10	0,02	600,00	1250,00	600,00
15	0,08	580,00	1830,00	116,00
20	0,08	600,00	2430,00	120,00
25	0,08	450,00	2880,00	90,00
30	0,08	470,00	3350,00	94,00
35	0,08	800,00	4150,00	160,00
45	0,17	810,00	4960,00	81,00
55	0,17	700,00	5660,00	70,00
65	0,17	600,00	6260,00	60,00
75	0,17	450,00	6710,00	45,00
85	0,17	480,00	7190,00	48,00
95	0,17	450,00	7640,00	45,00
MÉDIA				126,38

Fonte: Autor (2019)

A Tabela 4.6 apresenta de maneira comparativa os resultados obtidos para a vala de infiltração.

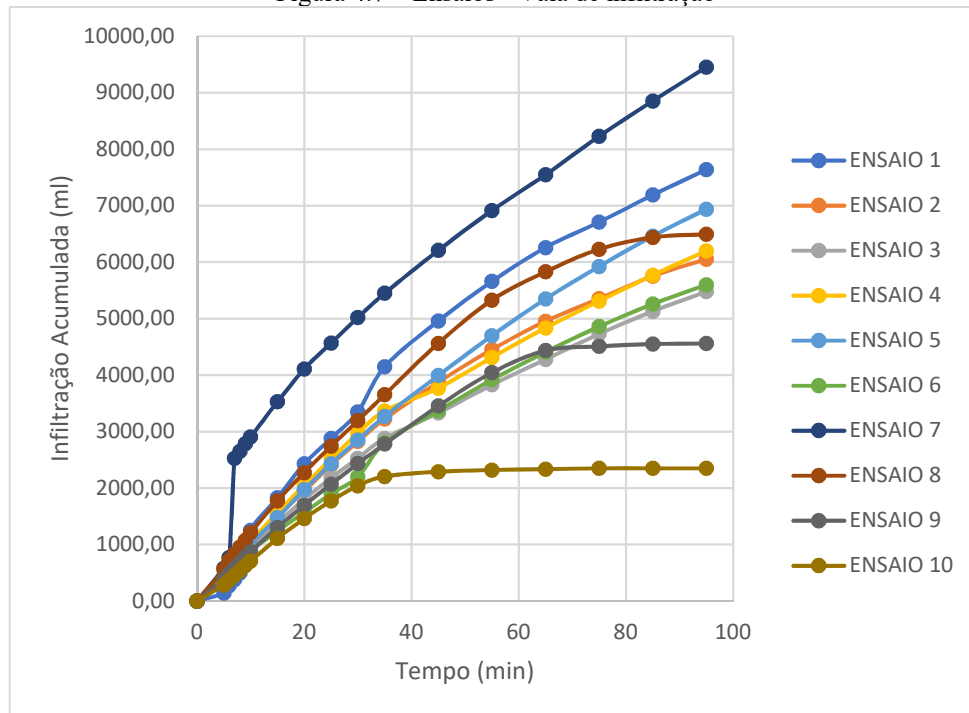
Tabela 4.6 – Resultados - Vala de infiltração

VALA DE INFILTRAÇÃO	SOLO SECO	SOMATÓRIO INFILTRAÇÃO (ml)	MÉDIA VOLUME INFILTRADO (ml/min)
ENSAIO 1	SIM	7640,00	126,38
ENSAIO 2	NÃO	6055,00	81,50
ENSAIO 3	SIM	5480,00	74,25
ENSAIO 4	NÃO	6201,00	90,66
ENSAIO 5	SIM	6940,00	89,11
ENSAIO 6	NÃO	5600,00	73,25
ENSAIO 7	SIM	9455,00	201,84
ENSAIO 8	NÃO	6495,00	88,94
ENSAIO 9	SIM	4560,00	65,25
ENSAIO 10	NÃO	2350,00	46,16
MÉDIA SECA	SIM	6815,00	111,37
MÉDIA ÚMIDA	NÃO	5340,20	76,10
MÉDIA GERAL	-	6077,60	93,73

Fonte: Autor (2019)

A Figura 4.7 representa de maneira gráfica os resultados obtidos nos ensaios.

Figura 4.7 – Ensaios - Vala de infiltração



Fonte: Autor (2019)

Analisando os resultados obtidos na vala de infiltração observa-se que dois ensaios acabaram se distanciando dos demais, sendo estes os ensaios 7 e 10, em ambos os ensaios vale destacar suas respectivas precipitações sendo de 32mm e 60mm. Enquanto o décimo ensaio apresentou uma infiltração constante a partir de 55 minutos, ou seja, a partir desse momento o protótipo apresentou taxa de infiltração igual a zero. O sétimo ensaio (Ensaio 7) ganha destaque por ter uma capacidade inicial de infiltração elevada, enquanto os demais protótipos apresentavam taxa de infiltração acumulada de aproximadamente 2000ml aos 20 primeiros minutos, esse por sua vez apresentou valores próximos a 4000ml.

É interessante destacar que os valores obtidos na vala de infiltração ficaram em intervalos próximos, sendo estes resultados parecidos até os primeiros trinta minutos.

Ao observar os resultados é possível perceber que a vala de infiltração apresentou resultados mais eficientes para a quantidade de água infiltrada (ml), tendo como maior eficiência a infiltração de 9455,00ml no sétimo ensaio, enquanto que o jardim de chuva em seu melhor desempenho obteve 3550,00ml de infiltração, sendo este valor inferior a todos os apresentados na vala de infiltração.

Com relação aos volumes médios infiltrados por período de tempo, os valores da vala de infiltração foram maiores, contudo, os ensaios 2 e 4 do jardim de chuva chegaram a valores próximos aos encontrados no Ensaio 10 da vala de infiltração. A vala de infiltração apresentou

valores maiores nos parâmetros avaliados na infiltração acumulada (ml) e nos volumes médios infiltrados (ml/min), acredita-se que a vala obteve resultados mais efetivos devido ao caminho pelo qual a água percola, pois a presença das gramíneas no jardim de chuva dificultava a infiltração da água.

Para comparações racionais dos valores médios encontrados para ambos os sistemas compensatórios, foi desenvolvida a Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Resultados - Vala de infiltração

SISTEMA COMPENSATÓRIO	TIPO DA MÉDIA	SOMATÓRIO INFILTRAÇÃO (ml)	MÉDIA VOLUME INFILTRADO (ml/min)	RELAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS DOS VOLUMES INFILTRADAS (%)
JARDIM DE CHUVA	MÉDIA SECA	2288,75	30,48	-
	MÉDIA ÚMIDA	2736,25	35,83	-
	MÉDIA GERAL	2512,50	33,16	-
VALA DE INFILTRAÇÃO	MÉDIA SECA	6815,00	111,37	365,4%
	MÉDIA ÚMIDA	5340,20	76,10	212,4%
	MÉDIA GERAL	6077,60	93,73	282,7%

Fonte: Autor (2019)

Comparando os resultados médios é possível observar que a vala de infiltração apresentou seus valores médios de volume infiltrado sempre sendo mais que o dobro dos valores apresentados pelo jardim de chuva. Logo, pode-se destacar que a vala de infiltração obteve resultados mais satisfatórios.

Considerando a capacidade de infiltração do solo do Câmpus Apucarana pode-se determinar que os protótipos tiveram uma melhor capacidade de armazenamento da água pluvial em comparação com o solo em estudo.

5 CONCLUSÃO

O problema ocasionado pelo aumento de zonas impermeáveis é agravado pelo aumento das áreas urbanizadas. O aumento destas zonas impossibilita as recargas no aquíferos e aumenta o escoamento superficial.

O escoamento superficial é drenado pelos sistemas de drenagem urbana, entretanto estes não conseguem mais suportar o volume de água, seja por problemas de dimensionamento ou de má conservação, ocasionando assim aumento de pontos de enchente e alagamento.

Para suprir a demanda ocasionada pela urbanização são propostos sistemas compensatórios. A vala de infiltração e o jardim de chuva são dois sistemas utilizados para aumentar a taxa de infiltração de água no solo e deste modo, reduzir o escoamento superficial e reduzir a vazão de pico nos hidrogramas urbanos.

A partir de análises do solo e de infiltração no Câmpus da UTFPR foram desenvolvidos os protótipos para verificar a eficiência destes quanto à infiltração de água. O solo apesar de ser classificado como sendo argiloso, apresentando uma porosidade de 55%, como advém em solos argilosos, que apresentam alta porosidade em relação a solos arenosos. Porém, a quantidade de porosidade não representa a capacidade de infiltração, ao contrário, solos argilosos possuem menor capacidade de infiltração em comparação aos solos arenosos.

Ambos os protótipos apresentaram uma taxa de infiltração satisfatória, entretanto a vala de infiltração apresentou-se mais eficiente, obtendo uma infiltração média de 6077,60ml enquanto o jardim de chuva foi de 2512,50ml. Outro fator importante a ser considerado, é que ambos os sistemas estudados apresentaram valores de infiltração superiores em comparação ao solo natural no local de estudo.

Assim sendo, os sistemas de técnicas compensatórias podem ser utilizadas como sistema de drenagem no Câmpus, em conjunto com o sistema de drenagem pluvial urbano tradicional, auxiliando o processo de infiltração e reduzindo o escoamento superficial. Essas técnicas também auxiliariam o controle de escoamento superficial em lotes urbanos, podendo serem inseridas como parte do plano diretor da Cidade, como acontece nas atuais calçadas ecológicas.

A vala de infiltração ainda obteve valores de infiltração média acumulada, para as condições de solo seco, solo úmido e para a média geral, como sendo maiores que o dobro dos resultados obtidos pelo jardim de chuva. Logo, é possível destacar a melhor eficiência do sistema de vala de infiltração.

Para pesquisas futuras na área seria indicado a realização de maiores quantidades de ensaios para os protótipos. Ainda é possível desenvolver dos modelos compensatórios no solo

afim de verificar o aumento da taxa de infiltração de água em comparação a que existia anteriormente.

REFERÊNCIAS

ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DA AERONÁUTICA E ESPAÇO. **Hydrologic Cycle**. Disponível em: <https://pmm.nasa.gov/education/water-cycle/hydrologic-cycle>. Acesso em: 20 de outubro de 2019.

ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p.337-344, maio 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM 3385**: Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. West Conshohocken: Astm International, 2003.

APUCARANA. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Prognóstico. 2017.

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

_____. **ABNT NBR 9813**. Solo — Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação. Rio de Janeiro. 2016.

AZZOUT, Y. *et al.* **Techniques alternative em assainissement pluvial**. Paris: Ed. Tec e Doc – Lavousier, 372p. 1994.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO. **Sustainable development and urban stormwater management in the context of tropical developing countries**. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México: AIDS, pp. 523-529, 1996.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N.O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2011.

BRAGA, B. D. F. **Gerenciamento urbano integrado em ambiente tropical**. Seminário de hidráulica computacional aplicada a problemas de drenagem urbana. São Paulo: ABRH. 1994.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Ciclo hidrológico**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico.html>. Acesso em: 19 de maio de 2019.

BUREK, P *et al.* **Water Futures and Solution - Fast Track Initiative**. Lauxenburg. International Institute for Applied Systems Analysis, 2016.

CARVALHO, E. T. L. **Avaliação de Elementos de Infiltração de Águas Pluviais na Zona Norte da Cidade de Goiânia**. 2008. 233 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 1. edição. Oficina dos textos. São Paulo/SP, 2005.

CLIMATE. **Clima Apucarana**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/apucarana-4481>. Acesso em: 19 de maio de 2019.

DE CARVALHO, J. C.; LELIS, A. C. **Cartilha de Infiltração**. Geotecnia UNB, Brasília. 2010.

DE MELO, T. A. T *et al.* Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente construído**, Porto Alegre. 2013.

DE SOUZA, V. C. B. **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.

FENDRICH, R. **Chuvas Intensas para Obras de Drenagem no Estado do Paraná**. 2ª. Edição. Gráfica Vicentina Editora Ltda. Curitiba/PR, 2003, 101 p.

GARCIA, J.H.N. LUIZ, A.M.F. **Avaliação do potencial de colapsibilidade de solos argilosos do município de Apucarana – PR**. in XI Encontro Internacional de Produção Científica. UniCesumar. Maringá, 2019.

GAUTIER, A. 1998. **Contribution à la connaissance du fonctionnement d'ouvrages d'infiltration d'eau de ruissellement pluvial urbain**. 251p. Tese (Doutorado) – Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

GRIBBIN, J. E. **Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 494 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Apucarana**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/apucarana/panorama>. Acesso: 19 de maio de 2019.

IBGE: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=41&dados=21>. Acesso em: 28 de abril de 2019.

IDEAL CONSULTORIA. **Drenagem Urbana**. Disponível em: <https://www.idealjr.com/drenagem-urbana>. Acesso: 19 de setembro de 2019.

MANOSSO, F. C. **Geoturismo: uma proposta teórico-metodológica a partir de um estudo de caso no município de Apucarana-PR**. Caderno Virtual de Turismo. 2007.

MARCONI, P; FERREIRA, T. S. **Proposta de um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva no centro de juventude “Elaine Viviani”, São Carlos - SP**. 2009. 77 f. Dissertação (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PAZ, A. R. **Hidrologia Aplicada**. 2004. Disponível em: http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERGS.pdf. Acesso: 17 de maio de 2019.

PREFEITURA DA CIDADE DE APUCARANA. **Dados e índices**. Disponível em: <http://www.apucarana.pr.gov.br/site/dados-e-indices/> Acesso: 19 de maio de 2019.

SILVEIRA, A. L. L. **Hidrologia Urbana no Brasil**, in: BRAGA, B.; TUCCI, C. E. M., MARQUE, D. da M. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade– UFRGS, 2000.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL- MINAS GERAIS. Comunicado de Inundação. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/noticias/1/2253-comunicado-de-inundacao>. Acesso: 20 de outubro de 2019.

SECRETARIA DO ESTADO DA SAÚDE DE SÃO PAULO. **Enchentes aumentam risco de doenças infecto-contagiosas**. 2011. Disponível em: <http://www.saude.sp.gov.br/ses/noticias/2011/janeiro/enchentes-aumentam-risco-de-doencas-infecto-contagiosas>. Acesso: 18 de setembro de 2019.

SHEAFFER, J. R.; WRIGHT, K. R. **Urban storm drainage management**. New York: Marcel Dekker, Inc, 1982.

SOLUÇÕES PARA CIDADES. **Projeto técnico: jardins de chuva**. 2013. Disponível em: <http://solucoeparacidades.com.br/saneamento/4-projetos-saneamento/jardins-de-chuva>. Acesso em: 04 de maio de 2019.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Editora da Universidade: ABRH: EDUSP. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4. Porto Alegre, 1. Edição, 1993.

TUCCI, C. E. M. **Curso de Gestão das inundações urbanas**. Porto Alegre: UNESCO – Global Water Partnership South America - Asociación mundial del agua, 2005.

TUCCI, C.E.M.; COLLISCHONN, W. **Drenagem urbana e controle de erosão**. Disponível em: http://www.ufrgs.br/arroiodiluvio/conteudo-antigo/copy_of_sobre-o-arroio-diluvio/DRENAGEM%20URBANA-CONTROLE%20DA%20EROSaO_TUCCI_COLLISCHONN.PDF Acesso em: 03 de junho de 2019.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management**. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 447p. 1993.

VILLIERS, M. **Água: Como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI**. Rio de Janeiro: Edouro, 2002

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WANIELISTA, M. O.; YOUYSEF, Y. A. **Stormwater managent**. Nova York: John Wiley e Sons. 1993.

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

ANEXO 1 – RESULTADOS JARDIM DE CHUVA

ENSAIO 2				
t= 5min		Precipitação 15mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,0	0,00	0,0
5	0,10	140,0	140,00	28,0
6	0,02	60,0	200,00	60,0
7	0,02	65,0	265,00	65,0
8	0,02	70,0	335,00	70,0
9	0,02	75,0	410,00	75,0
10	0,02	70,0	480,00	70,0
15	0,08	205,0	685,00	41,0
20	0,08	230,0	915,00	46,0
25	0,08	235,0	1150,00	47,0
30	0,08	165,0	1315,00	33,0
35	0,08	205,0	1520,00	41,0
45	0,17	365,0	1885,00	36,5
55	0,17	345,0	2230,00	34,5
65	0,17	295,0	2525,00	29,5
75	0,17	255,0	2780,00	25,5
85	0,17	255,0	3035,00	25,5
95	0,17	205,0	3240,00	20,5
MÉDIA				45,0

ENSAIO 3				
t= 5min		Precipitação 60mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	70,00	70,00	14,00
6	0,02	50,00	120,00	50,00
7	0,02	45,00	165,00	45,00
8	0,02	50,00	215,00	50,00
9	0,02	50,00	265,00	50,00
10	0,02	45,00	310,00	45,00
15	0,08	135,00	445,00	27,00
20	0,08	110,00	555,00	22,00
25	0,08	100,00	655,00	20,00
30	0,08	110,00	765,00	22,00
35	0,08	115,00	880,00	23,00
45	0,17	190,00	1070,00	19,00
55	0,17	160,00	1230,00	16,00
65	0,17	160,00	1390,00	16,00
75	0,17	155,00	1545,00	15,50
85	0,17	145,00	1690,00	14,50
95	0,17	140,00	1830,00	14,00
MÉDIA				28,06

ENSAIO 4				
t= 5min		Precipitação 32mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	260,00	260,00	52,00
6	0,02	90,00	350,00	90,00
7	0,02	65,00	415,00	65,00
8	0,02	50,00	465,00	50,00
9	0,02	50,00	515,00	50,00
10	0,02	65,00	580,00	65,00
15	0,08	230,00	810,00	46,00
20	0,08	210,00	1020,00	42,00
25	0,08	200,00	1220,00	40,00
30	0,08	200,00	1420,00	40,00
35	0,08	190,00	1610,00	38,00
45	0,17	365,00	1975,00	36,50
55	0,17	355,00	2330,00	35,50
65	0,17	340,00	2670,00	34,00
75	0,17	310,00	2980,00	31,00
85	0,17	300,00	3280,00	30,00
95	0,17	290,00	3570,00	29,00
MÉDIA				45,13

ENSAIO 5				
t= 5min		Precipitação 32mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	60,00	60,00	12,00
6	0,02	40,00	100,00	40,00
7	0,02	30,00	130,00	30,00
8	0,02	40,00	170,00	40,00
9	0,02	40,00	210,00	40,00
10	0,02	40,00	250,00	40,00
15	0,08	100,00	350,00	20,00
20	0,08	85,00	435,00	17,00
25	0,08	85,00	520,00	17,00
30	0,08	65,00	585,00	13,00
35	0,08	65,00	650,00	13,00
45	0,17	165,00	815,00	16,50
55	0,17	135,00	950,00	13,50
65	0,17	135,00	1085,00	13,50
75	0,17	125,00	1210,00	12,50
85	0,17	125,00	1335,00	12,50
95	0,17	125,00	1460,00	12,50
MÉDIA				21,94

ENSAIO 6				
t= 5min		Precipitação 15mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	80,00	80,00	16,00
6	0,02	35,00	115,00	35,00
7	0,02	25,00	140,00	25,00
8	0,02	25,00	165,00	25,00
9	0,02	25,00	190,00	25,00
10	0,02	25,00	215,00	25,00
15	0,08	80,00	295,00	16,00
20	0,08	100,00	395,00	20,00
25	0,08	90,00	485,00	18,00
30	0,08	95,00	580,00	19,00
35	0,08	95,00	675,00	19,00
45	0,17	175,00	850,00	17,50
55	0,17	165,00	1015,00	16,50
65	0,17	160,00	1175,00	16,00
75	0,17	155,00	1330,00	15,50
85	0,17	150,00	1480,00	15,00
95	0,17	145,00	1625,00	14,50
MÉDIA				20,13

ENSAIO 7				
t= 5min		Precipitação 42mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	130,00	130,00	26,00
6	0,02	35,00	165,00	35,00
7	0,02	35,00	200,00	35,00
8	0,02	35,00	235,00	35,00
9	0,02	40,00	275,00	40,00
10	0,02	35,00	310,00	35,00
15	0,08	140,00	450,00	28,00
20	0,08	140,00	590,00	28,00
25	0,08	140,00	730,00	28,00
30	0,08	135,00	865,00	27,00
35	0,08	135,00	1000,00	27,00
45	0,17	270,00	1270,00	27,00
55	0,17	255,00	1525,00	25,50
65	0,17	240,00	1765,00	24,00
75	0,17	240,00	2005,00	24,00
85	0,17	230,00	2235,00	23,00
95	0,17	220,00	2455,00	22,00
MÉDIA				28,97

ENSAIO 8				
t= 5min		Precipitação 32mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	130,00	130,00	26,00
6	0,02	50,00	180,00	50,00
7	0,02	45,00	225,00	45,00
8	0,02	45,00	270,00	45,00
9	0,02	50,00	320,00	50,00
10	0,02	50,00	370,00	50,00
15	0,08	160,00	530,00	32,00
20	0,08	155,00	685,00	31,00
25	0,08	150,00	835,00	30,00
30	0,08	140,00	975,00	28,00
35	0,08	145,00	1120,00	29,00
45	0,17	270,00	1390,00	27,00
55	0,17	250,00	1640,00	25,00
65	0,17	240,00	1880,00	24,00
75	0,17	220,00	2100,00	22,00
85	0,17	210,00	2310,00	21,00
95	0,17	200,00	2510,00	20,00
MÉDIA				33,06

ANEXO 2 – RESULTADOS VALA DE INFILTRAÇÃO

ENSAIO 2				
t= 5min		Precipitação 40mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	440,0	440,00	88,0
6	0,02	120,0	560,00	120,0
7	0,02	120,0	680,00	120,0
8	0,02	100,0	780,00	100,0
9	0,02	120,0	900,00	120,0
10	0,02	120,0	1020,00	120,0
15	0,08	480,0	1500,00	96,0
20	0,08	450,0	1950,00	90,0
25	0,08	460,0	2410,00	92,0
30	0,08	415,0	2825,00	83,0
35	0,08	400,0	3225,00	80,0
45	0,17	650,0	3875,00	65,0
55	0,17	580,0	4455,00	58,0
65	0,17	500,0	4955,00	50,0
75	0,17	400,0	5355,00	40,0
85	0,17	400,0	5755,00	40,0
95	0,17	300,0	6055,00	30,0
MÉDIA				81,5

ENSAIO 3				
t= 5min		Precipitação 60mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	400,00	400,00	80,00
6	0,02	80,00	480,00	80,00
7	0,02	90,00	570,00	90,00
8	0,02	120,00	690,00	120,00
9	0,02	130,00	820,00	130,00
10	0,02	120,00	940,00	120,00
15	0,08	450,00	1390,00	90,00
20	0,08	410,00	1800,00	82,00
25	0,08	380,00	2180,00	76,00
30	0,08	350,00	2530,00	70,00
35	0,08	350,00	2880,00	70,00
45	0,17	450,00	3330,00	45,00
55	0,17	500,00	3830,00	50,00
65	0,17	450,00	4280,00	45,00
75	0,17	450,00	4730,00	45,00
85	0,17	400,00	5130,00	40,00
95	0,17	350,00	5480,00	35,00
MÉDIA				74,25

ENSAIO 4				
t= 5min		Precipitação 50mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	350,00	350,00	70,00
6	0,02	165,00	515,00	165,00
7	0,02	125,00	640,00	125,00
8	0,02	150,00	790,00	150,00
9	0,02	145,00	935,00	145,00
10	0,02	120,00	1055,00	120,00
15	0,08	515,00	1570,00	103,00
20	0,08	475,00	2045,00	95,00
25	0,08	475,00	2520,00	95,00
30	0,08	450,00	2970,00	90,00
35	0,08	395,00	3365,00	79,00
45	0,17	405,00	3770,00	40,50
55	0,17	545,00	4315,00	54,50
65	0,17	520,00	4835,00	52,00
75	0,17	475,00	5310,00	47,50
85	0,17	460,00	5770,00	46,00
95	0,17	431,00	6201,00	43,10
MÉDIA				90,66

ENSAIO 5				
t= 5min		Precipitação 30mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	405,00	405,00	81,00
6	0,02	135,00	540,00	135,00
7	0,02	125,00	665,00	125,00
8	0,02	125,00	790,00	125,00
9	0,02	97,00	887,00	97,00
10	0,02	125,00	1012,00	125,00
15	0,08	465,00	1477,00	93,00
20	0,08	495,00	1972,00	99,00
25	0,08	460,00	2432,00	92,00
30	0,08	420,00	2852,00	84,00
35	0,08	420,00	3272,00	84,00
45	0,17	723,00	3995,00	72,30
55	0,17	705,00	4700,00	70,50
65	0,17	650,00	5350,00	65,00
75	0,17	575,00	5925,00	57,50
85	0,17	535,00	6460,00	53,50
95	0,17	480,00	6940,00	48,00
MÉDIA				89,11

ENSAIO 6				
t= 5min		Precipitação 15mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	380,00	380,00	76,00
6	0,02	120,00	500,00	120,00
7	0,02	100,00	600,00	100,00
8	0,02	100,00	700,00	100,00
9	0,02	100,00	800,00	100,00
10	0,02	90,00	890,00	90,00
15	0,08	350,00	1240,00	70,00
20	0,08	330,00	1570,00	66,00
25	0,08	330,00	1900,00	66,00
30	0,08	300,00	2200,00	60,00
35	0,08	600,00	2800,00	120,00
45	0,17	570,00	3370,00	57,00
55	0,17	550,00	3920,00	55,00
65	0,17	490,00	4410,00	49,00
75	0,17	450,00	4860,00	45,00
85	0,17	400,00	5260,00	40,00
95	0,17	340,00	5600,00	34,00
MÉDIA				73,25

ENSAIO 7				
t= 5min		Precipitação 32mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	585,00	585,00	117,00
6	0,02	185,00	770,00	185,00
7	0,02	1755,00	2525,00	1755,00
8	0,02	125,00	2650,00	125,00
9	0,02	140,00	2790,00	140,00
10	0,02	115,00	2905,00	115,00
15	0,08	625,00	3530,00	125,00
20	0,08	580,00	4110,00	116,00
25	0,08	460,00	4570,00	92,00
30	0,08	450,00	5020,00	90,00
35	0,08	430,00	5450,00	86,00
45	0,17	760,00	6210,00	76,00
55	0,17	705,00	6915,00	70,50
65	0,17	635,00	7550,00	63,50
75	0,17	680,00	8230,00	68,00
85	0,17	625,00	8855,00	62,50
95	0,17	600,00	9455,00	60,00
MÉDIA				201,84

ENSAIO 8				
t= 5min		Precipitação 32mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	560,00	560,00	112,00
6	0,02	160,00	720,00	160,00
7	0,02	120,00	840,00	120,00
8	0,02	120,00	960,00	120,00
9	0,02	115,00	1075,00	115,00
10	0,02	135,00	1210,00	135,00
15	0,08	565,00	1775,00	113,00
20	0,08	500,00	2275,00	100,00
25	0,08	470,00	2745,00	94,00
30	0,08	450,00	3195,00	90,00
35	0,08	460,00	3655,00	92,00
45	0,17	910,00	4565,00	91,00
55	0,17	765,00	5330,00	76,50
65	0,17	500,00	5830,00	50,00
75	0,17	400,00	6230,00	40,00
85	0,17	210,00	6440,00	21,00
95	0,17	55,00	6495,00	5,50
MÉDIA				88,94

ENSAIO 9				
t= 5min		Precipitação 60mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,10	390,00	390,00	78,00
6	0,02	90,00	480,00	90,00
7	0,02	100,00	580,00	100,00
8	0,02	100,00	680,00	100,00
9	0,02	95,00	775,00	95,00
10	0,02	100,00	875,00	100,00
15	0,08	430,00	1305,00	86,00
20	0,08	390,00	1695,00	78,00
25	0,08	375,00	2070,00	75,00
30	0,08	365,00	2435,00	73,00
35	0,08	345,00	2780,00	69,00
45	0,17	675,00	3455,00	67,50
55	0,17	590,00	4045,00	59,00
65	0,17	390,00	4435,00	39,00
75	0,17	75,00	4510,00	7,50
85	0,17	40,00	4550,00	4,00
95	0,17	10,00	4560,00	1,00
MÉDIA				65,25

ENSAIO 10				
t= 5min		Precipitação 60mm		
Tempo (min)	Tempo (h)	Leitura (ml)	Infiltração Acumulada (ml)	VI (ml/min)
0	0	0	0,00	0,00
5	0,10	285,00	285,00	57,00
6	0,02	85,00	370,00	85,00
7	0,02	80,00	450,00	80,00
8	0,02	90,00	540,00	90,00
9	0,02	90,00	630,00	90,00
10	0,02	80,00	710,00	80,00
15	0,08	400,00	1110,00	80,00
20	0,08	350,00	1460,00	70,00
25	0,08	315,00	1775,00	63,00
30	0,08	265,00	2040,00	53,00
35	0,08	165,00	2205,00	33,00
45	0,17	85,00	2290,00	8,50
55	0,17	30,00	2320,00	3,00
65	0,17	15,00	2335,00	1,50
75	0,17	15,00	2350,00	1,50
85	0,17	0,00	2350,00	0,00
95	0,17	0,00	2350,00	0,00
MÉDIA				46,16