

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO ARAI BARBOSA DE SOUZA

**INFLUENCIA DO TELHADO VERDE NOS PARAMETROS DE
ESCOAMENTO**

CAMPO MOURÃO
2018

GUSTAVO ARAI BARBOSA DE SOUZA

INFLUENCIA DO TELHADO VERDE NOS PARAMETROS DE ESCOAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil- DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus Campo Mourão, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Paula Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO
2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

INFLUÊNCIA DO TELHADO VERDE NOS PARÂMETRO DE ESCOAMENTO

por

Gustavo Arai Barbosa de Souza

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 13:30 do dia 28 de novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Eudes Jose Arantes
(UTFPR)

Prof. Dr. Helton Rogerio Mazzer
(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza
(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza

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

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que sempre me deu forças para seguir em frente e me guiou por este caminho, mesmo que as vezes o deixei de lado.

Agradeço à minha orientadora a Professora Paula Cristina de Souza pelas dúvidas sanadas na elaboração de todas as fases do trabalho, assim como nas disciplinas lecionadas com excelente didática, humor e paciência que me fez ter interesse por essa área da profissão.

À banca examinadora formada por Eudes José Arantes e Helton Rogério Mazzer, por ceder seu tempo e conhecimento para enriquecer, através das críticas construtivas, esse trabalho, assim como a todos os professores envolvidos na minha formação acadêmica.

Aos meus pais e irmãos, que mesmo estando longe me apoiaram em todas as etapas da graduação inclusive na elaboração deste trabalho.

Ao técnico de laboratório Maiko Cristian Sedoski que me auxiliou e orientou nas fases de montagem de experimento.

A todos os meus amigos, pelos momentos de descontração, seriedade, por me auxiliarem, e pela parceria que apresentaram durante toda a graduação, os quais espero levar por toda minha vida.

Aos meus outros familiares por me acolherem apoiarem e incentivar em todas as etapas da minha vida, em especial na graduação.

RESUMO

Devido ao aumento populacional observado nas últimas décadas, a maioria das cidades sofreu um crescimento desorganizado e mal planejado. Com esse crescimento houve um aumento considerável da taxa de impermeabilização do solo. Como o modelo de drenagem das cidades em sua maioria é o higienista, o qual prevê a retirada do excesso de precipitação o mais rápido possível, há uma sobrecarga no sistema de drenagem, e posteriormente na jusante, ocasionando inundações e prejuízos para os patrimônios público e privado. Para sanar esse problema, procuram-se métodos de aumentar a permeabilidade do solo, reter ou armazenar a precipitação a fim de diminuir as vazões de pico e minimizar os estragos. Nesse sentido, esse trabalho teve o intuito de comparar o uso do sistema de telhado verde intensivo com o sistema de laje impermeável. Para isso foram construídas duas bancadas para simular os telhados e também foi construído um simulador de chuva, o qual a vazão foi definida pela limitação do equipamento. Verificou-se para cada um dos telhados as diferenças das vazões ao decorrer do tempo de duração do ensaio. Com isso foi possível observar, que o telhado verde é capaz de mitigar o problema das inundações, pois, mesmo para uma precipitação maior que a real, com um modelo pequeno de simulação para o telhado e com solo úmido, o telhado verde apresentou uma retenção do regime de escoamento de água de 1,5 a 2,5 minutos maior que o modelo de laje impermeável e o modelo adotado de telhado verde apresentou uma média de armazenamento de 15,45%.

Palavras chave: Telhado verde, drenagem urbana, água pluvial.

ABSTRACT

Due to the population increase observed in the last decades, the majority of the cities underwent a disorganized and badly planned growth. With this growth there was a considerable increase in the waterproofing rate of the soil. As the drainage model of the cities is mostly the hygienist, which provides for the removal of excess rainfall as quickly as possible, there is an overload in the drainage system, and then downstream, causing flooding and damage to the public and private. To solve this problem, methods are sought to increase soil permeability, retain or store precipitation in order to decrease peak flows and minimize havoc. In this sense, this work aimed to compare the use of the intensive green roof system with the waterproof slab system. For that, two benches were constructed to simulate the roofs and a rain simulator was also built, which flow was defined by the limitation of the equipment. The differences in flow rates were verified for each of the roofs over the duration of the test. With this, it was possible to observe that the green roof is able to mitigate the problem of flooding, because, even for a greater precipitation than the real one, with a small simulation model for the roof and with moist soil, the green roof presented a retention of the water drainage regime from 1.5 to 2.5 minutes higher than the waterproof slab model and the adopted green roof model had a mean storage of 15.45%

Keywords: Green roof, urban drainage, rainwater.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Camadas que compõem o telhado verde.....	21
Figura 2: Relação do escoamento no tempo dos telhados verdes e convencional.....	24
Figura 3: Cavalete.....	25
Figura 4: Concepção da forma.....	26
Figura 5: Teste de estanqueidade.....	26
Figura 6: Impermeabilização das formas e cavaletes.....	27
Figura 7: Modelo do telhado verde finalizado.....	28
Figura 8: Bomba e conexões.....	29
Figura 9: Simulador de chuva.....	29
Figura 10: Área de influência dos aspersores.....	29
Figura 11: Isolamento das bancadas.....	30
Figura 12: Numeração dos telhados adotada.....	31
Figura 13: Medição do volume de saída por baldes.....	31
Figura 14: Gráfico de dispersão do regime de vazão proporcional para solo seco.....	36
Figura 15: Gráfico de dispersão do regime de vazão proporcional para solo úmido.....	38
Figura 16: Gráfico do Controle Estatístico de Processos para o desvio padrão para o telhado 1.....	39
Figura 17: Gráfico do Controle Estatístico de Processos para o desvio padrão para o telhado 2.....	40
Figura 18: Gráfico do Controle Estatístico de Processos para o desvio padrão para o telhado 3.....	40
Figura 19: Gráfico do Controle Estatístico de Processos para o desvio padrão para o telhado 4.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação entre características ambientais do telhado verde e convencional baseadas na experiência de Portland-EUA.	22
Tabela 2: Balanço de entrada e saída de água do sistema no experimento ($i = 42$ mm/h) dos telhados verdes.....	24
Tabela 3: Balanço de entrada e saída de água do sistema no experimento ($i = 79$ mm/h) dos telhados verdes.....	24
Tabela 4: Volume e vazão para o solo seco.....	34
Tabela 5: Proporção de volume a cada minuto pela vazão para solo seco.....	35
Tabela 6: Média de vazão e volume para cada forma durante os ensaios.....	37
Tabela 7: Proporção de volume a cada minuto pela vazão para solo úmido.....	37
Tabela 8: Desvio padrão dos ensaios.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3 JUSTIFICATIVA	11
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
4.1 Drenagem Urbana	12
4.2 escoamento superficial	14
4.3 Impactos ambientais	16
4.4 Telhado verde	18
5 MATERIAIS E MÉTODOS	25
5.1 Sistema de bancadas	25
5.2 Sistema do telhado	27
5.3 Sistema de chuva	28
5.4 Ensaio	32
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
6.1 Solo seco	34
6.2 Solo úmido	36
7 CONCLUSÃO	42
8 REFERENCIAL TEÓRICO	43

1. INTRODUÇÃO

Assim como no mundo todo, no Brasil há a concentração de pessoas na área urbana, devido ao crescimento urbano, as edificações e obras de infraestrutura urbana (passeios públicos, telhados, ruas, estacionamentos) modificaram significativamente a cobertura do solo, impermeabilizando-o.

O sistema de drenagem atual tem como objetivo escoar a água precipitada o mais rápido possível, com isso, quando ocorre a precipitação, um grande volume de água é conduzido no sistema de drenagem, que posteriormente será descartado no corpo d'água, que pode aumentar consideravelmente de nível, causando inundações nas regiões a jusante. Nos países da América do Norte, Europa, e atualmente no Brasil, tem se utilizado técnicas ambientais compensatórias para retenção das águas pluviais, dentre os quais podemos destacar os telhados verdes, trincheira de infiltração, pavimentos permeáveis, que são igualmente classificados como medida de desenvolvimento de baixo impacto.

Em específico, os telhados verdes, proporcionam melhorias nas condições de escoamento superficial. São instrumentos relevantes na prevenção de inundações, pois apresentam uma retenção total ou parcial do escoamento pluvial.

Segundo TASSI *et al* (2014), o telhado verde é eficiente no controle quantitativo do escoamento superficial, e reforça ainda a necessidade de incentivos para a utilização do telhado verde em centros urbanos, considerando a ótica do desenvolvimento de baixo impacto. Além de contribuir para a redução do volume das águas pluviais direcionadas para as redes de drenagem, a utilização do telhado verde fornece outros benefícios como conforto térmico e acústico.

O objetivo do trabalho é verificar o retardo do escoamento pluvial, assim como também a capacidade de armazenamento do telhado verde através de um simulador artificial.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar um sistema construtivo de telhado verde no controle quantitativo da água pluvial, através de um simulador de chuva.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a capacidade do sistema construtivo na retenção de água;
- Determinar os parâmetros hidrológicos para o sistema telhado verde – capacidade de armazenamento de água;
- Calibrar os eventos monitorados a uma metodologia chuva-vazão para fins de determinação de parâmetros médios de cálculo para o sistema implantado.

3. JUSTIFICATIVA

De acordo com TUCCI (1997) o desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal ocasionando vários efeitos que alteram o ciclo hidrológico natural. Com a urbanização, ocorreu um aumento da área impermeabilizada, reduzindo os níveis dos aquíferos, interferindo no ciclo hidrológico e aumento do escoamento superficial. Além da impermeabilização há a construção de condutos pluviais para o escoamento superficial responsáveis por uma redução do tempo de deslocamento, como consequência os sistemas de drenagem existentes sofrem uma sobrecarga, sendo submetido a uma vazão máxima cada vez maior. Esse problema se deve ao fato de que os meios adotados para a drenagem pluvial visam o escoamento rápido do volume de água aumentando os riscos de enchente a jusante do corpo receptor.

Para contrapor o problema apresentado pode-se utilizar soluções inovadoras. De acordo com CANHOLI (2005) essas soluções têm por finalidade promover o retardamento do escoamento, de modo a aumentar o tempo de concentração e diminuir as vazões máximas. Além da melhoria da infiltração e redução dos volumes das enchentes por meio da retenção em reservatórios. Diminuindo desse modo as vazões de pico, e os riscos de inundações.

O método de drenagem sustentável telhado verde é eficaz para a retenção e redução do escoamento superficial. Pois, esse sistema ajuda na redução do volume de águas pluviais ejetadas no sistema de drenagem urbana, através da retenção da água precipitada no solo do telhado verde. (COSTA, 2012).

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Drenagem Urbana

A poucas décadas atrás a população mundial apresentou um rápido crescimento, esse crescimento aliado com o desejo das pessoas deixarem a zona rural em busca de melhores condições de vida, gerou um rápido crescimento das cidades, o qual na maioria das vezes não foi planejado gerando como resultado impactos ambientais e sanitários. Dentre os problemas pode-se citar o povoamento de áreas perigosas, desmatamento da vegetação, construção de sistemas viários em fundo de vales, má destinação do lixo, retificação e canalização de cursos d'água, aumento da área impermeabilizada, ausência de planos urbanísticos especializados, esses problemas têm como consequências encheres muito vista principalmente em grandes cidades (TOLEDO, 2017).

Os sistemas de drenagem urbana utilizados podem ser classificados como (KIPPER, 2015):

- Quanto ao método de escoamento:
 - O modelo higienista, que tem como objetivo o rápido escoamento do excesso de água pluvial, contribuindo assim para aumento do volume de vazões e diminuindo o tempo de escoamento.
 - Modelo compensatório: tentam compensar as consequências da urbanização, levando em consideração, além da quantidade, a qualidade e a integração do espaço, com o urbanismo, e com o menor dano ambiental.
- Quanto a quantidade de área de contribuição que o sistema ira receber.
 - Microdrenagem: é definida pelos sistemas de condutos pluviais ou canais na rede primaria urbana. É formada por sarjeta, bocas de lobo, pavimentos das vias, redes de galerias de águas pluviais e canais de pequena dimensão feitos para vazões de 2 a 10 anos de período de retorno. Pode eliminar as inconveniências ocasionadas devido as inundações, se for presente uma manutenção periódica.
 - Macrodrenagem: é formada por canais (Abertos ou fechados) de grandes dimensões. Nesse sistema as vazões são projetadas levando em consideração um período de retorno de 25 a 100 anos. Quando bem

projetado, previne danos a população e a propriedades. Envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem.

Para minimizar os problemas de inundações são adotadas medidas. Que são separadas da seguinte maneira (MACHADO, 2017):

- Medidas estruturais: consiste em soluções físicas e diretas de engenharia. Envolve obras hidráulicas de grande porte com gastos elevados de recursos, como exemplos temos obras de galerias de águas pluviais, diques, reservatórios de detenção e retenção, canais e bacias de sedimentação. Essas medidas têm como objetivo escoar com maior rapidez menores níveis as águas de escoamento superficial direto, desse modo evitando danos e interrupções nas atividades urbanas.
- Medidas não estruturais: São formadas por soluções indiretas que não afetam o regime de escoamento das águas do escoamento superficial. Envolve aspectos da cultura e participação popular, com investimento de recursos leves, é baseado principalmente na conscientização das pessoas. Dessas medidas pode-se citar as leis de uso e ocupação do solo, e diminuição da vulnerabilidade que as pessoas que vivem nas áreas de risco sofrem com as inundações.

Diferente do modelo compensatório de drenagem, as técnicas de desenvolvimento urbano de baixo impacto são preventivas, buscam uma aproximação das condições hidrológicas naturais da paisagem, preservando ao máximo os sistemas naturais. O objetivo principal é gerenciar o controle na fonte, e isso pode ser obtido com técnicas como a distribuição da ocupação em lotes menores, manutenção de uma maior área verde, retirada do meio-fio das ruas de menor tráfego, integração do asfalto a gramados, visando que toda água seja infiltrada no solo segundo KIPPER (2015).

O sistema de drenagem tem uma particularidade, o escoamento das águas sempre ocorrerá, independente de existir ou não um sistema de drenagem adequado. A qualidade desse sistema é que definirá se os benefícios ou prejuízos a essa população serão menores ou maior (PMSP, 1999). O sistema de drenagem não apresenta solicitação permanente, é solicitado durante e após a ocorrência das chuvas. Nesse aspecto ele se contrasta a outros sistemas públicos que são de uso contínuo.

Segundo Andrade *et al* (2009) é de extrema importância que tenha um bom planejamento de um sistema de drenagem pluvial desde o começo do planejamento urbano de uma região, pois, caso esse sistema seja insuficiente, o sistema a ser projetado posteriormente apresentará um alto custo de implantação, sendo que o sistema pode ser ineficiente devido as condições a serem contornadas nas suas execuções.

De acordo com SPLITZ (2010) os meios utilizados para aumentar a eficiência do sistema de drenagem tem como objetivo de promover a maior absorção de água precipitada no solo dessa maneira aumentando o tempo de concentração e diminuindo as vazões máximas, já que em algumas áreas urbanizadas o sistema de drenagem não suporta a a vazão superficial existente, cabe ao projeto de drenagem propor uma readequação, visando assim, melhorar sua eficiência.

Na atualidade ainda se fala na drenagem urbana sustentável, esse tipo de drenagem surgiu das preocupações com a destinação das águas do meio urbano. Esse tipo de drenagem visa evitar os processos erosivos do solo, atenuar, ou ainda, evitar enchentes e o processo de perda de mananciais. A drenagem sustentável baseia-se em três tipos de ações (Kobayashi *et al*, 2008):

- Evitar desmatamento, erosões e assoreamento dos rios e dos lagos;
- Planejamento urbano – a drenagem sustentável deve fazer parte do plano diretor da cidade;
- Manutenção dos recursos hídricos e qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

4.2 Escoamento superficial

De acordo com o manual de drenagem do município de TOLEDO (SCE, 2017) o escoamento de um curso d'água depende de diversos fatores que podem ser agrupados da seguinte forma:

- Controles de jusante: definem a declividade do canal de água. Os controles de jusante podem ser estrangulamentos do curso d'água devido a pontes, aterro, reservatórios, mudança de seção, oceano. Esses controles reduzem a vazão de um canal independentemente da capacidade local de escoamento.

- Controles locais: definem a capacidade de cada seção do curso d'água de transportar água. A capacidade local de escoamento depende da rugosidade das paredes do canal, da área de seção, largura e do perímetro. Quanto maior a capacidade de escoamento menor a nível de água.

Segundo CARVALHO (2013) o escoamento superficial corresponde ao segmento do ciclo hidrológico onde a água escoar sobre a superfície do solo. É fundamental para a engenharia o conhecimento da vazão máxima decorrentes do escoamento superficial para o correto dimensionamento da obra.

O regime permanente é utilizado para o dimensionamento do projeto, geralmente com vazões máximas previstas para um determinado sistema hidráulico. Já o escoamento não permanente permite analisar o regime de vazões ao longo do rio e no tempo. Normalmente uma obra hidráulica dependente da vazão máxima é projetada para o regime permanente e verificada com relação ou escoamento não permanente (SCE, 2017).

Fazendo uma análise do ciclo hidrológico, espera-se que uma parte do volume precipitado seja absorvida pela vegetação, enquanto o restante atinge o solo. O impacto das gotas tende a desestruturar as partículas do solo e também ocasionar sua compactação, resultando numa diminuição da infiltração. O empoçamento da água é observado quando o volume de precipitação é superior ao volume de água infiltrada, ou quando a capacidade de retenção de água no solo é ultrapassada. Ultrapassada a capacidade de retenção superficial do solo, a água dará início ao escoamento. Durante o escoamento há presença de partículas de solo na água, essas partículas sofrem deposição quando a velocidade de escoamento for reduzida (CARVALHO, 2013).

O desenvolvimento urbano ocasiona a impermeabilização do solo e o desmatamento da vegetação, alterando as condições naturais de infiltração, diminuindo o atrito da água com o solo, aumentando a velocidade de escoamento, podendo gerar erosão, reduz o tempo de permanência dessa água na bacia e a evapotranspiração, e acrescentando esse volume de água que seria infiltrado no escoamento superficial (KOBAYASHI *et al*, 2008)

Para iniciar um projeto de drenagem deve-se determinar a descarga de projeto, que consiste em calcular a fração precipitado que se transforma em escoamento superficial.

Fatores que interferem no escoamento superficial (CARVALHO, 2013):.

- Agroclimáticos:
 - Quantidade, intensidade e duração da precipitação;
 - Cobertura e condições de uso do solo;
 - Evapotranspiração
- Fisiógrafos:
 - Área, forma e declividade da bacia;
 - Condições de superfície;
 - Tipo de solo;
 - Topografia;
 - Rede de drenagem
 - Obras hidráulicas presentes na bacia.

4.3 Impactos ambientais

O manual de drenagem urbana do GOVERNO DO ESTADO DO PARANA (2002) afirma que:

- A urbanização das cidades brasileiras tem provocado impactos na população e no meio ambiente. Esses impactos têm diminuído a qualidade de vida da população devido ao aumento da frequência das inundações, redução da qualidade da água e aumento da quantidade de matérias sólidos no corpo receptor.
- O aumento da frequência está relacionado ao sistema de drenagem adotado. Os projetos de drenagem têm como filosofia o escoamento da água pluvial o mais rápido possível para fora da área projetada. Essa filosofia aumenta a magnitude das vazões máximas, e a frequência e o nível das inundações a jusante.

Conforme a cidade vai urbanizando, nota-se os seguintes impactos na sociedade descritos abaixo (PMPA, 2005).

- Aumento das vazões máximas devido ao aumento do escoamento através dos condutos e impermeabilização das superfícies. O volume que não infiltra no solo fica na superfície e aumenta o escoamento superficial. Como os condutos pluviais foram feitos de maneira a escoarem rapidamente a água, a vazão máxima aumenta consideravelmente, podendo ocasionar inundações.

- A redução da infiltração causa ainda a diminuição do nível do lençol freático, devida a redução do escoamento subterrâneo. As redes de alimentação e esgotos possuem vazamentos que podem contribuir para a alimentação do lençol freático, porém a qualidade da água pode ser comprometida.
- Devida a retirada da vegetação para realizar as construções, ocorre a redução do efeito de evapotranspiração.
- Aumento da produção de sedimentos devido a áreas desprotegidas, e à produção de resíduos sólidos (lixos). Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, também causam poluição dos cursos d'água.

O manual de drenagem do GOVERNO DO ESTADO DO PARANA (2002) diz que há um comprometimento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas devido à “lavagem” das ruas, transporte dos resíduos sólidos e às ligações clandestinas de esgoto sanitário e pluvial. Grande parte dos municípios brasileiros adotam fossas sépticas para o tratamento do esgoto, contribuindo para a contaminação do aquífero, essa contaminação pode comprometer o abastecimento urbano quando existe comunicação entre as diversas comadas do aquífero através da percolação e de perfuração inadequada dos poços artesianos

O desenvolvimento urbano aumenta a produção de sedimentos. Vê-se muitos sedimentos principalmente em construções, limpeza de terrenos para loteamentos e rodovias. Conforme a bacia torna-se urbanizada a quantidade de sedimentos tende a reduzir, porém a produção de resíduos sólidos aumenta, e esse resíduo obstrui ainda mais a drenagem e cria problemas ambientais ainda piores (SCE, 2017).

Os sedimentos carregados pela água de escoamento sofrem deposição ao chegar na macrodrenagem, visto que devido a redução da inclinação a água em escoamento perde velocidade acarretando a deposição. De acordo com TUCCI (1998) os sedimentos depositados reduzem a capacidade de escoamento de cheias dos canais da macrodrenagem, e as inundações tornam-se mais frequentes. Normalmente se adota a dragagem para retirar o material depositado nos canais, porém esse método apresenta sérias desvantagens, das quais se destacam o alto custo de operação e a necessidade de área para depositar o material dragado.

Outra forma que a urbanização desorganizada pode gerar impactos é relacionada má implantação da infraestrutura urbana (TUCCI, 1997):

- Obstrução do escoamento devido a pontes e taludes.
- Redução da seção de escoamento por aterros.
- Obstrução de rios canais e condutos por deposição de sedimentos.
- Projetos e obras de drenagem inadequados.

4.4 Telhado verde

Devidos aos problemas advindos da urbanização, gerou-se uma busca aos sistemas de drenagem com uma visão ambientalista, buscando minimizar os impactos, buscando manter as características naturais da bacia (escoamento, vazão, permeabilidade, evapotranspiração, bloqueios naturais, entre outros) (POLETO, 2011a). Essa busca trouxe os meios de drenagem sustentável que contrariam o princípio do escoamento rápido da água, abordando também o aumento da infiltração do solo, melhoria no equilíbrio no ciclo hidrológico e o incentivo ao uso sustentável da água.

Segundo COSTA *et al* (2016) a aplicação dos meios de drenagem sustentável beneficia diretamente o usuário que implementa essas ações como também toda a população que interage ou está conectada indiretamente com a bacia. A utilização de drenagem sustentável traz benefícios: econômicos (aproveitamento do volume de chuvas e redução da temperatura local), sociais (redução de áreas alagadas) e ambientais com a redução dos processos erosivos e, conseqüentemente, dos processos de assoreamento e de degradação dos canais d'água.

Dentre os métodos de drenagem sustentável ir-se-á tratar especificamente do telhado verde. Esse sistema é composto basicamente por uma dada vegetação que cresce sobre uma camada de solo e outros elementos no topo das edificações. O telhado verde traz como principais vantagens, redução do escoamento superficial, causa um aumento da eficiência energética da edificação e atenua o efeito das ilhas de calor presente nas cidades. O telhado verde contribui ainda para o equilíbrio hídrico, melhorando a umidade do local, aumenta a durabilidade em comparação com o método tradicional, causa um conforto térmico e promove uma diminuição dos ruídos. Contudo esse método necessita de um alto investimento inicial, um aumento da estrutura da obra, mão de obra especializada, para que a obra não apresente problemas decorrentes do método.

Os telhados verdes podem ser divididos em duas categorias (IMADA,2014):

- Intensivo: possuem mais que 15 centímetros de espessura de solo para o crescimento da vegetação, podendo aportar plantas com raízes mais profundas e são projetadas para suportar o tráfego de pessoas. Para isso a edificação deve ser projetada conforme esse uso.
- Extensivo: consiste em uma camada de solo com espessura inferior a 15 centímetros adicionando pouco peso à estrutura que o suporta. Entretanto, as plantas devem ser resistentes a diferentes eventos climatológicos, como seca, geada e ventos fortes, de acordo com o clima da região na qual será implantada.

No método extensivo, geralmente, tem a sua necessidade de água suprida devido ao substrato que a armazena ou na camada de retenção, contudo, um sistema de irrigação pode ser empregado para garantir a sobrevivência da vegetação durante períodos prolongados de seca. Já o método intensivo, faz-se necessário a instalação de um sistema de irrigação.

Para o sistema extensivo com substrato de 5 cm a 15 cm de espessura, estima-se que a carga sobre o telhado possa aumentar de 70 a 170 kg/m² aproximadamente. Para o sistema intensivo, com espessura de solo acima de 15 cm, o valor de carga adicional pode variar entre 290 e 970 kg/m² (HENEINE, 2008).

A eficiência quanto ao controle quantitativo do escoamento pluvial pode ser verificada a partir do cálculo do coeficiente de escoamento, que traduz o percentual do volume de chuva que é convertido em escoamento superficial. Desse modo, baixos valores do coeficiente de escoamento indicam elevada eficiência do telhado verde na armazenagem de água da chuva, e valores mais elevados normalmente estão associados a maiores volumes de chuva (OLIVEIRA, 2009).

A interferência dos telhados verdes no escoamento superficial consiste em: diminuição da água de escoamento que seria direcionada ao sistema de drenagem. Como o telhado verde é composto por plantas que possuem a capacidade de reter água, essa retenção, gera o atraso no pico do escoamento, pois ocorre absorção da água no telhado verde. Algumas desvantagens podem surgir com a adoção de coberturas verdes, tais como: alto custo de implantação, problemas de infiltração e umidade (caso o sistema não seja aplicado de forma correta), aumento de carga na estrutura da edificação (ANDREA, 2010).

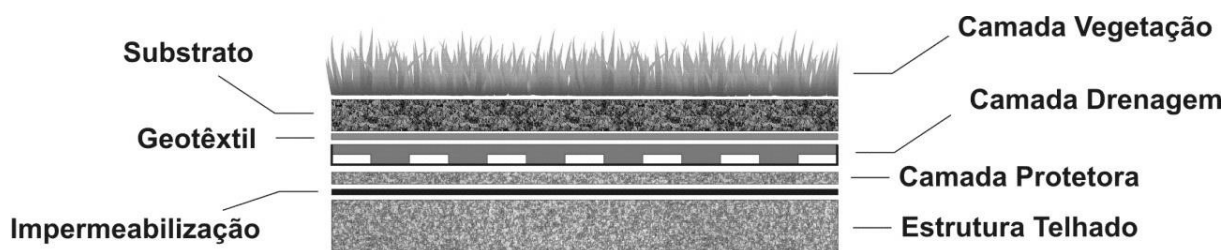
Telhados verdes podem ser implantados em diferentes tipos de telhado, sendo recomendado com declividade de até 10%, segundo (IMADA,2014), e é muito útil em áreas densamente ocupadas onde o espaço na superfície é limitado.

Para o desempenho correto do telhado verde sem prejuízo a edificação deve atentar à instalação, uso e manutenção de suas diversas camadas citadas a seguir (TASSI *et al*, 2014):

- Estrutura do telhado: deve suportar a carga da estrutura a serem instaladas, sendo necessária uma análise técnica específica;
- Membrana impermeabilizante: é a primeira camada acima do telhado. Tem a função de proteger a estrutura do telhado e a edificação;
- Camada protetora: funciona retendo a umidade e nutrientes acima da estrutura do telhado, fornecendo proteção física para a membrana de impermeabilização contra o crescimento das raízes da vegetação;
- Camada de drenagem: formada por uma camada porosa para retirar o excesso de água presente no telhado verde, e formada também por uma camada geossintética que é uma camada filtrante que separa as camadas de vegetais e substrato da camada drenante. Ela evita a migração de partículas do substrato para o interior da camada drenante, que, se não evitando, reduz a funcionalidade do telhado verde;
- Captação e escoamento: quando o meio poro estiver saturado, o excedente deve ser coletado e transportado para o sistema tradicional de drenagem, é fundamental a existência da camada de drenagem, para evitar alagamentos indesejáveis e estresse da cultura. Além disso, a camada de drenagem pode atuar retendo parte da água da chuva, necessária para a vegetação durante períodos de estiagem;
- Substrato: constituído por solo ao qual a vegetação crescerá e servirá de suporte para a fixação da mesma, esse substrato também fornece água e nutrientes necessários para a manutenção da vegetação. Essa camada é igualmente importante para o armazenamento temporário da água durante o período de ocorrência das chuvas;
- Vegetação: as plantas selecionadas para cobrirem o telhado verde devem levar em consideração as características da estrutura. Deve-se verificar a profundidade que as raízes podem alcançar. A vegetação age interceptando

uma parcela da chuva, evitando que ela atinja o solo. É por meio do processo de evapotranspiração que a água é perdida para a atmosfera e o potencial de retenção de água no substrato é aumentado. Como também, a vegetação retarda o escoamento superficial, que passa a ocorrer quando o substrato atinge a saturação.

Figura 1: Camadas que compõem o telhado verde.



Fonte: TASSI (2014)

Durante e após fortes precipitações os materiais de planta, substrato e a camada de drenagem projetada para um telhado verde podem absorver quantidades significativas de precipitação e escoamento de águas pluviais (CANTOR, 2008). Este estudo foi realizado na cidade de Portland (EUA), onde constatou-se retenção do volume da água entre 10-35% durante a estação chuvosa e 65-100% durante a estação seca. Conforme pode se constatar na tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Comparação entre características ambientais do telhado verde e convencional baseadas na experiência de Portland-EUA.

Assunto	Telhado Verde	Telhado Convencional
Água de Chuva		
Retenção de Volume	10-35% durante a época chuvosa, 65-100% durante a época seca	Nenhuma
Mitigação da Vazão de Pico	Redução dos picos de escoamento de chuvas intensas	Nenhuma
Mitigação da Temperatura	Todas as Chuvas	Nenhuma
Melhoria da Qualidade da Água	Retém a deposição atmosférica e retarda a degradação dos materiais que compõem o telhado, menores volumes menor carreamento de poluentes	Não
Qualidade do Ar	Filtra o ar, previne o aumento da temperatura, armazena carbono	Nenhuma
Conservação de Energia	Isolamento das construções, redução dos impactos das Ilhas de Calor Urbanas	Nenhuma
Vegetação	Permite evapotranspiração sazonal, promove a fotossíntese, o oxigênio, o balanço carbono hídrico	Nenhuma
Espaço Verde	Realoca espaços verdes perdidos com as edificações, no entanto não equivalente a uma floresta	Nenhuma
Bônus no Zoneamento de Área de Piso	3 ft ² (0,3 m ²) de coeficiente de área de pavimento adicional para cada ft ² (0,09 m ²) de Telhado Ecológico quando a construção cobrir mais de 60%	Nenhuma
Redução das Taxas de Drenagem Urbanas	Pode chegar a 45%	Nenhuma
Aprovado como medida de Gestão de Água de Chuva	Para todas as necessidades atuais das cidades	Não
Habitat	Para insetos e pássaros	Nenhuma
Habitabilidade	Amortece ruídos, elimina luzes ofuscantes, alternativa estética, oferece recreação passiva	Nenhuma
Custos	Altamente variável entre 54-130 US\$/m ² para novas construções, e 75-215 US\$/m ² para reforma	Altamente variável entre 22-107 US\$/m ² para novas construções, e 43-161 US\$/m ² para reforma
Custos Compensáveis	Redução dos equipamentos de água de chuva, economia de energia, aumento do valor do aluguel e da propriedade, redução da necessidade do uso de materiais isolantes, redução do volume de esgoto, criação de indústrias e empregos	Nenhum
Durabilidade	Membrana impermeável protegida da ação da temperatura e da exposição solar dura mais de 36 anos	Pouca proteção, exposição aos elementos, dura menos de 20 anos

Fonte: Liptan e Strecker (2003).

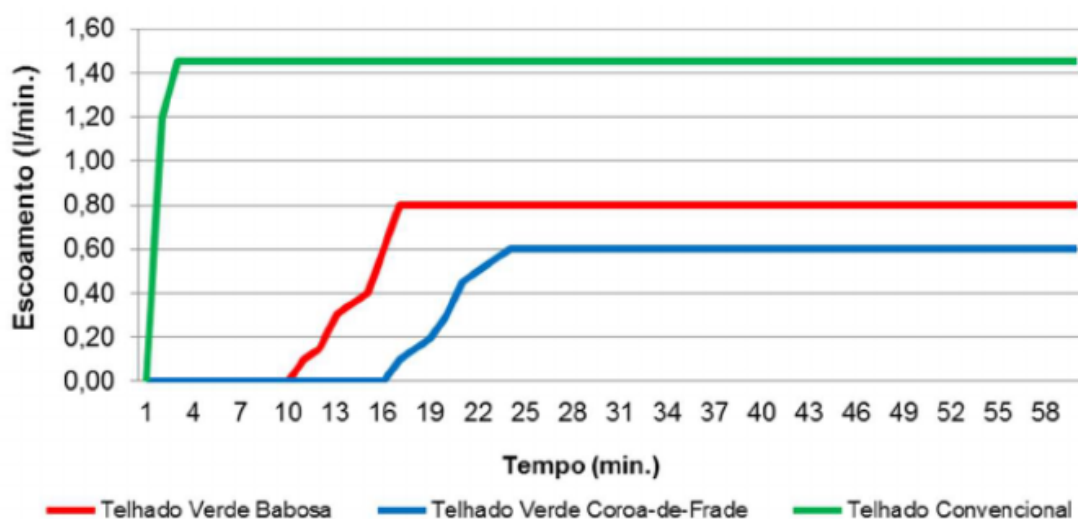
A pesquisa sobre Coberturas Verdes Leves, desenvolvida por Cunha e Mendiondo (2004) na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP), apresentou capacidade de absorção de água pluvial, partindo de um solo seco, de aproximadamente 14 mm e também demonstrou ser capaz de absorver a água pluvial no momento de maior intensidade de chuva. Os pesquisadores concluíram que este resultado comprova que a Coberturas Verdes Leves gera o retardamento no escoamento de águas pluviais equivalente a 14 mm de chuva, se comparado com uma cobertura tradicional, onde a maior parte deste montante seria destinada diretamente à rede pública de drenagem urbana, ocasionando uma sobrecarga que pode gerar inundações (BALDESSAR, 2012).

Cantor (2008) afirma que: mesmo que a quantidade de água retida por um telhado verde seja significativa, para se ter impacto na bacia de um sistema de drenagem de águas pluviais teria que combinar de uma série de telhados verdes. Este impacto cumulativo está sendo modelado em uma série de cidades, incluindo Winnipeg (Canadá), Toronto (Canadá) e Washington DC (EUA). A contribuição da vegetação, é que permite a evapotranspiração sazonal, ou seja, diferentes espécies têm seu ciclo biológico variável com a estação do ano.

Segundo Ferreira (2007), outros aspectos devem ser levados em consideração ao se implantar um telhado verde, tais como incidência solar, índices pluviométricos, temperatura do local, ventos dominantes, inclinação do telhado e a necessidade de retenção de água pela vegetação.

A retenção de água causada pela vegetação varia de acordo com cada espécie, no experimento de PAIVA et al (2017) foi utilizado como vegetação coroa de frade (*Melocactus zehntneri*) e babosa (*Aloe vera*). O experimento teve uma precipitação de 26 mm/h, e observou-se comportamento similar para os dois telhados verdes em relação ao escoamento superficial. Na Figura 1, observa-se o retardo do escoamento dos telhados verdes em comparação ao telhado convencional, que iniciou o escoamento após o primeiro minuto, tendo o pico ocorrido aos 3 minutos após o início da simulação. No telhado verde com Babosa, o escoamento iniciou aos 10 min e o pico aos 17 min após o início do experimento. Para o telhado verde com Coroa-de-Frade o escoamento iniciou aos 16 minutos e seu pico de escoamento foi aos 24 minutos. Dessa forma, nos telhados verdes Babosa e Coroa-de-Frade ocorreram retardo do pico de 14 e 21 minutos, respectivamente, quando comparados ao telhado convencional.

Figura 2: Relação do escoamento no tempo dos telhados verdes e convencional.



Fonte: PAIVA et al (2017).

Já Santos (2013) et al, realizou o experimento utilizando o cacto coroa-de-frade (*Melocactus macrodiscus*) e grama-de-burro (*Cynodium dactylum*) e utilizando uma precipitação de 42 mm e 79 mm com um tempo de incidência de precipitação de 30 minutos, obteve valores de retenção apresentados nas tabelas 2 e 3 abaixo.

Tabela 2: Balanço de entrada e saída de água do sistema no experimento ($i = 42 \text{ mm/h}$) dos telhados verdes.

Telhado	Precipitação (L)	Volume escoado (L)	Volume retido (L)	% Retido
Grama	84,00	55,793	28,207	33,6
Cacto	84,00	57,074	26,926	32,1
Controle	84,00	82,095	1,905	2,3

Fonte: Santos (2013).

Tabela 3: Balanço de entrada e saída de água do sistema no experimento ($i = 79 \text{ mm/h}$) dos telhados verdes.

Telhado	Precipitação (L)	Volume escoado (L)	Volume retido (L)	% Retido
Grama	157,2	132,879	24,321	15,5
Cacto	157,2	137,973	23,227	14,2
Controle	157,2	152,678	4,522	2,1

Fonte: Santos (2013).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram projetados e construídos sistemas de bancadas para compor o telhado verde. Foi instalado também sistemas de controle de vazão, e os dados oriundos do processamento foram processados de maneira a avaliar a atuação dos tipos diferentes de telhado sobre o escoamento pluvial.

5.1 Sistema de bancadas

Foram construídos 4 cavaletes (figura 3) para sustentar as 2 bancadas onde foram executados os telhados (figura 4). cada bancada possui dimensão de 1,2 m por 0,9 m com uma divisão no meio para ter dois módulos de telhado. Os módulos de telhado são dispostos de maneira a simular um telhado de uma única água, e é composta por ripas que formam o layout, parafusadas em uma chapa de madeira. Posteriormente as faces da forma foram revestidas com ACM (Aluminium Composite Material) fixado com cola de silicone e usando a mesma para a impermeabilização das junções. Para se verificar o sistema quanto a estanqueidade, foi feito um ensaio, onde os módulos foram deixados com água durante um período de 72 horas (figura 5), e não apresentou vazamentos. Foi adotado uma inclinação de 10% para se assemelhar ao dimensionamento da laje impermeável. Após a montagem dos modelos de telhado foi pintada as bancadas e os cavaletes com uma tinta impermeabilizante para diminuir os efeitos da umidade no madeiramento da forma (figura 6).

Figura 3: Cavalete.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4: Concepção da forma.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5: Teste de estanqueidade.



Fonte: Autoria própria.

Figura 6: Impermeabilização das formas e cavaletes.



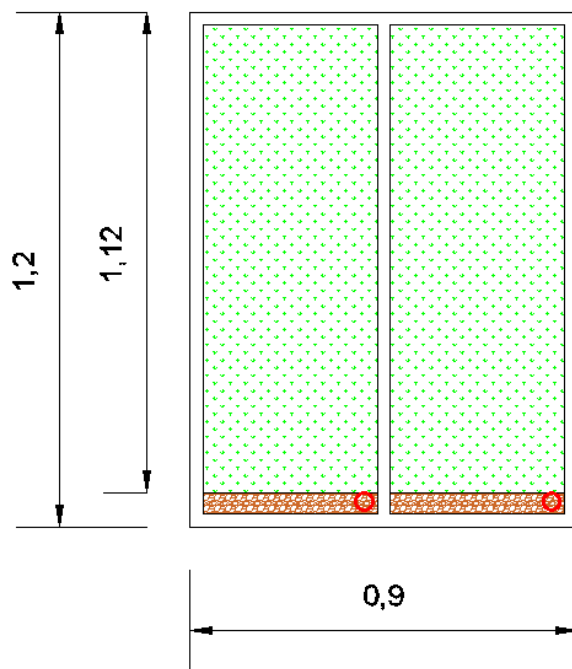
Fonte: Autoria própria.

5.2 Sistema do telhado

O experimento é constituído por 4 módulos de telhado de áreas equivalentes, onde 2 trabalham com o sistema de telhado verde, a terceira constituída de maneira semelhante ao telhado verde, mas sem cobertura vegetal e a quarta simula uma cobertura lisa impermeabilizada

O sistema do telhado verde é constituído de 5 cm de agregado graúdo, argila expandida com granulometria variando de 22 a 32 mm, 5 cm de solo, separada do agregado graúdo por uma manta geotêxtil. Acima do solo foi posta um tapete de grama (Grama esmeralda) para formar a cobertura vegetal. Nesse sistema o agregado graúdo foi disposto, em um trecho de 5 cm na parte mais baixa, ou seja, na parte mais baixa da forma possui um trecho de 5 cm de agregado graúdo para captar o escoamento superficial, simulando uma calha (figura 7). Dessa forma é recolhido o volume percolado e também o volume que escoam superficialmente. Onde todo esse volume é escoado por uma válvula de tanque de 40 mm. Os materiais que compõe o telhado foram obtidos com recursos próprios, com exceção do solo.

Figura 7: Modelo do telhado verde finalizado.



Fonte: Autoria própria.

5.3 Sistema de chuva

A precipitação foi simulada através de um sistema composto por uma caixa d'água 310 litros que fornece a água a ser bombeada com uma bomba afogada BCR-2010 de 0,5 CV com tensão de 220 volts. A bomba trabalha com altura monométrica de 8 a 24 m.c.a. (metros de coluna d'água), com uma vazão de 0,6 a 4,7 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Ao sair da bomba o sistema é dividido para atender as duas bancadas simultaneamente (figura 8). Antes de chegar à bancada a água passa por um hidrômetro e posteriormente por um registro para o controle da vazão. Na bancada foi construído um sistema de pórticos formado por ripas para sustentar a tubulação de 25 mm, onde foi anexado os microaspersores MA-50 para a simulação da chuva (figura 9), os microaspersores trabalham com a pressão entre 20 e 50 m.c.a. e necessita de uma vazão entre de 52,5 a 80 $\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$. Os microaspersores foram distribuídos de acordo com a (figura10) para a melhor distribuição da água. O registro conecta-se ao sistema de pórticos das bancadas através de uma mangueira flexível.

Figura 8: Bomba e conexões.



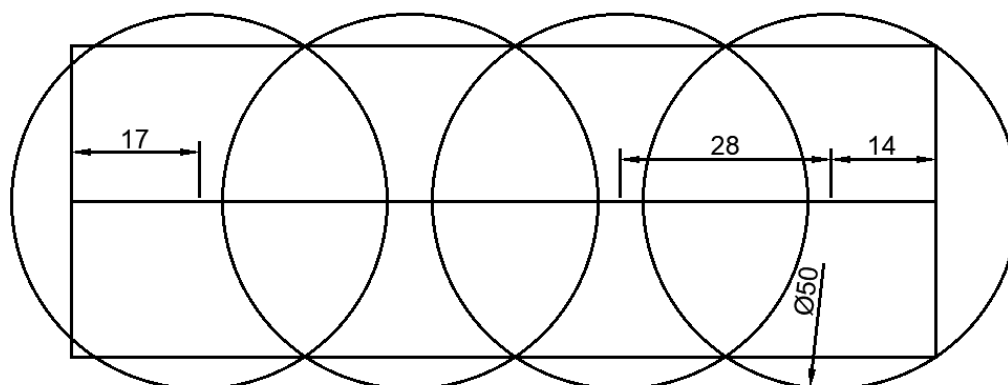
Fonte: Autoria própria.

Figura 9: Simulador de chuva.



Fonte: Autoria própria.

Figura 10: Área de influência dos aspersores.



Fonte: Autoria própria.

Foi necessário o uso de uma lona plástica ao redor da forma para reduzir a perda de água que não entraria no sistema devido ao sistema de distribuição acima, e também para reduzir consideravelmente o efeito do vento no sistema (figura 11)

Figura 11: Isolamento das bancadas.



Fonte: Autoria própria.

Como a distribuição de água é um modelo teórico, foi necessário executar o simulador de chuva para ver a vazão real que havia em cada forma. Para executar esse procedimento, ao terminar as formas e o simulador de chuva, pôs-se em funcionamento o simulador de chuva para se determinar a quantidade de água que iria para cada forma, fixando-se um volume padrão de água, que foi de 10 litros. Com isso verificou-se que a cada 10 litros de água que circulava no sistema de cada bancada o volume seguia a seguinte distribuição:

Bancada 1:

Telhado 1 = 5,28 L

Telhado 2 = 4,52 L

Perdas = 0,20 L

Bancada 2:

Telhado 3 = 4,88 L

Telhado 4 = 4,80 L

Perdas = 0,32 L

Onde a bancada 1 apresentava os telhados verdes, e a bancada 2 o solo nu e a laje sem cobertura. Os módulos foram enumerados da esquerda para a direita a partir do ponto de vista mais baixo da bancada, sendo assim a numeração dos módulos ficou conforme a figura 12.

Figura 12: Numeração dos telhados adotada



Fonte: Autoria própria.

O volume precipitado foi definido utilizando a equação da chuva de campo mourão definida por Arantes et al (2009), determinando a intensidade média máxima do evento de precipitação. A equação é dada por:

$$I = \frac{901,51 * T^{0,1803}}{(t+11)^{0,7508}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

- I = intensidade de chuva (mm/h);
- T = Tempo de retorno (anos)
- t = Tempo de aplicação (minutos)

Com a equação, adotado um período de retorno (T) de 5 anos de acordo com a NBR 10844/1989, um tempo de aplicação (t) de 15 minutos, temos que:

$$I = 104,38 \text{ mm/h}$$

A equação fornece a precipitação por metro quadrado, tendo-se e vista que a área da forma estudada apresenta uma área relativa de 0,978 m², temos:

$$I = 102,08 \text{ mm/h}$$

Realizando as devidas transformações com o intuito de descobrir um valor aproximado de vazão necessária para a bancada, encontra-se que:

$$Q = 0,028 \text{ l/s}$$

$$Q = 1,70 \text{ l/min}$$

Porém o sistema de telhado verde apresentou uma vazão superior a intensidade média máxima de chuva para o município de Campo Mourão, e quando tentou-se diminuir a vazão fechando-se o registro, a distribuição de água pelo aspersor foi prejudicada. Sendo assim, utilizou-se uma vazão superior.

5.4. Ensaio

Para melhor averiguação do desvio padrão fez-se necessário 20 ensaios com o solo úmido e 1 ensaio com solo seco. Cada ensaio teve duração de 20 minutos de medição, sendo que desses, 15 minutos com o simulador ligado e 5 minutos para recolher o volume escoado após o desligamento do simulador de chuva, após esse período a vazão foi desprezada. Com intervalo de no mínimo 1 hora entre cada ensaio. O ensaio constitui-se da medição do volume escoado de cada forma a cada um minuto, para isso fez-se o uso de baldes os quais os volumes de água contidos foram aferidos por uma balança (figura 13), essa aproximação pode ser feita devida a constatação da densidade da água ser de 1000 kg.m^{-3} (1 kg.L^{-1}). A vazão de entrada do sistema é medida pelo hidrômetro na entrada do sistema.

Figura 13: Medição do volume de saída por baldes.



Fonte: Autoria própria.

Os dados obtidos foram jogados no EXCEL e com o auxílio do software ACTION, que funciona como uma extensão do EXCEL, encontrou-se uma média e desvio padrão, por meio do CEP (Controle Estatístico de Processo), para os 20 ensaios realizados para cada bancada

Foi realizado um ensaio em cada modelo de telhado verde com o telhado “seco”, para avaliar a capacidade e retenção do solo seco quando há uma precipitação. Para se atingir esse solo “seco”, as formas ficaram sem receber precipitação em um período de 7 dias antes do ensaio.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Solo seco

A tabela 4 abaixo apresenta os dados obtidos para os quatro módulos de telhado verde ensaiados com solo seco.

Tabela 4: Volume e vazão para o solo seco.

Bancada	Vt (L)	Telhado	Ve (L)	Qe (L/min)	Vs (L)	Vr (L)
1	109,6	1	57,87	3,86	53,82	4,05
		2	49,54	3,30	45,72	3,82
2	77,5	3	37,82	2,52	34,24	3,58
		4	37,20	2,48	36,95	0,25

Fonte: Autoria própria.

Onde:

Vt = volume total de entrada por bancada indicado no hidrômetro;

Ve = volume total de entrada para cada módulo de telhado verde, calculado levando-se em conta o percentual de contribuição da vazão total para cada forma, esse percentual foi definido durante o ensaio para encontrar as perdas.

Qe = vazão de entrada para cada módulo de telhado verde, calculada dividindo-se o Vp pelo tempo de incidência, 15 minutos.

Vs = média do volume total de saída de cada módulo de telhado verde, encontrado pela pesagem dos baldes. Com o volume adicional do escoamento durante 5 minutos após o simulador de chuva ser desligado.

Vr = volume retido nos módulos de telhado verde, é definido pela diferença entre a vazão prevista e a de saída ($Vr = Ve - Vs$).

Vsi = volume de saída a cada “i” minuto.

A numeração adotada para cada telhado está detalhada conforme na figura 11, onde os telhados 1 e 2 receberam o telhado verde com grama esmeralda, o telhado 3 apresenta o solo sem cobertura e o telhado 4 não possui nenhuma cobertura, pois simula uma superfície impermeável.

O somatório dos volumes de água quantificados nas saídas dos módulos de telhado verde indica o volume escoado superficialmente junto com o volume percolado. Tendo como base o volume de perdas obtido com o ensaio feito sem o

posicionamento do solo e vegetação e o volume que entra em cada forma pode-se determinar a quantidade de água retida nas formas.

Devida as vazões diferentes de cada bancada fez-se necessário o cálculo de uma proporção para comparar os gráficos, sendo assim, dividindo-se a vazão encontrada por minuto, pela vazão fornecida, para cada forma por minuto tem-se como resultado a tabela 5, que gera o gráfico mostrado na figura 14:

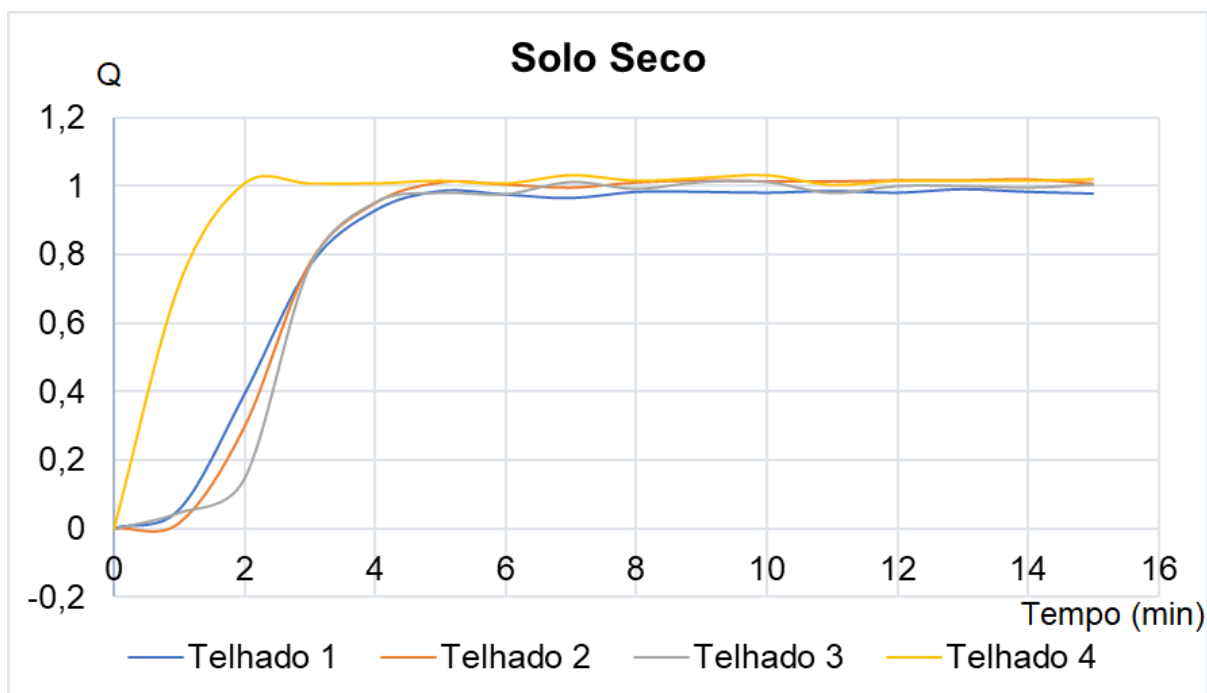
$$\frac{(V_{si})/min}{Q_e} \quad \text{Equação (2)}$$

Tabela 5: Proporção de volume a cada minuto pela vazão para solo seco.

Tempo (min)	Telhado 1	Telhado 2	Telhado 3	Telhado 4
0	0	0	0	0
1	0,05	0,02	0,05	0,71
2	0,39	0,30	0,15	1,01
3	0,77	0,78	0,77	1,01
4	0,93	0,95	0,95	1,01
5	0,98	1,01	0,98	1,02
6	0,97	1,01	0,98	1,01
7	0,96	1,00	1,01	1,01
8	0,98	1,01	0,99	1,02
9	0,98	1,02	1,01	1,02
10	0,98	1,01	1,01	1,01
11	0,98	1,01	0,98	1,00
12	0,98	1,02	1,00	1,02
13	0,99	1,02	1,00	1,02
14	0,98	1,02	1,00	1,02
15	0,98	1,01	1,00	1,02

Fonte: Autoria própria.

Figura 14: Gráfico de dispersão do regime de vazão proporcional para solo seco.



Fonte: Autoria própria.

O eixo vertical apresenta a proporção entre a vazão de saída de cada modelo de telhado pela vazão de entrada, sendo assim o resultado obtido é adimensional.

Com o gráfico referente ao solo seco pode-se notar que o tempo necessário para o telhado verde alcançar seu escoamento máximo é ainda maior, próximo de 4,5 minutos, aproximadamente 2,5 minutos a mais que a forma que simula uma laje impermeável.

6.2 Solo úmido

Os ensaios que resultaram nos valores de volume e vazão são apresentados na tabela 6 abaixo. Esses valores são uma média dos 20 ensaios realizados para o solo úmido, realizados com um intervalo de aproximadamente 1 hora, sendo assim o solo encontrava-se com considerável saturação.

Tabela 6: Média de vazão e volume para cada forma durante os ensaios.

Bancada	Vt (L)	Telhado	Ve (L)	Qe (L/min)	Vs (L)	Vr (L)
1	108,85	1	57,47	3,83	57,34	0,13
		2	49,20	3,28	49,17	0,04
2	79,7	3	38,89	2,59	38,77	0,12
		4	38,26	2,55	38,23	0,03

Fonte: Autoria própria.

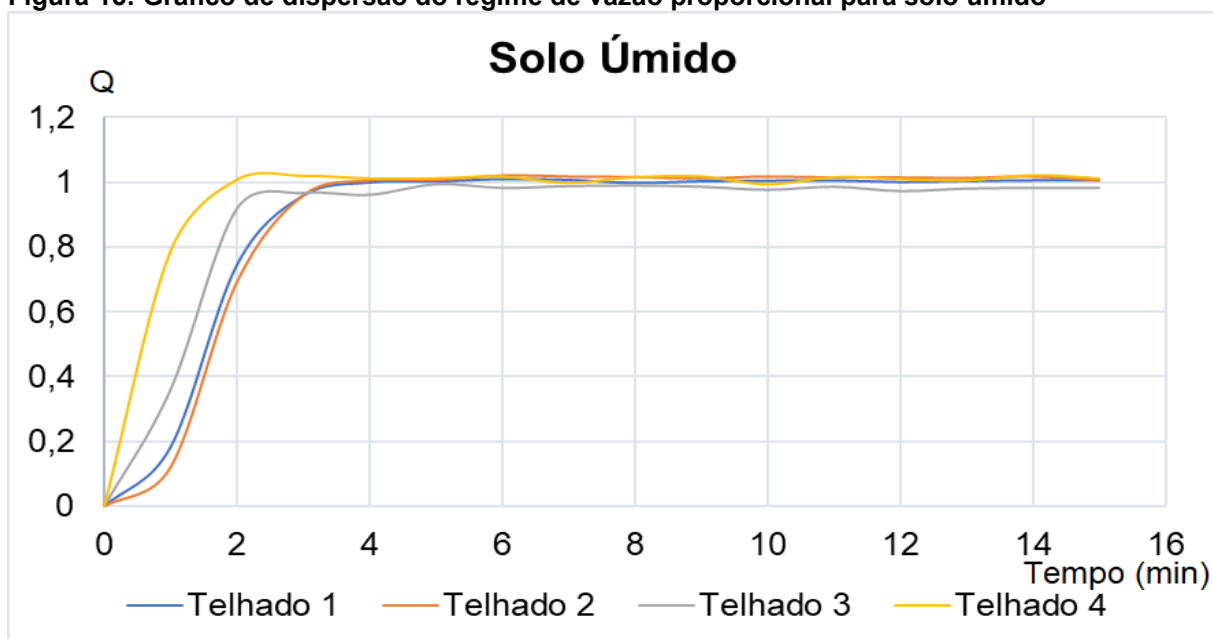
Realizando a mesma relação da equação (2), entre volume verificado por minuto e o distribuído para cada forma por minuto, obtém-se como resultado a tabela 7 abaixo, que gera o gráfico da figura 15:

Tabela 7: Proporção de volume a cada minuto pela vazão para solo úmido

Tempo (min)	Telhado 1	Telhado 2	Telhado 3	Telhado 4
0	0	0	0	0
1	0,18	0,12	0,36	0,79
2	0,74	0,69	0,92	1,01
3	0,96	0,96	0,97	1,02
4	1,00	1,01	0,96	1,01
5	1,00	1,01	1,00	1,01
6	1,01	1,02	0,98	1,02
7	1,01	1,02	0,99	1,00
8	1,00	1,02	0,99	1,02
9	1,00	1,01	0,99	1,02
10	1,00	1,02	0,98	1,00
11	1,00	1,02	0,99	1,02
12	1,00	1,02	0,97	1,01
13	1,00	1,01	0,98	1,01
14	1,00	1,02	0,98	1,02
15	1,00	1,01	0,98	1,01

Fonte: Autoria própria.

Figura 15: Gráfico de dispersão do regime de vazão proporcional para solo úmido



Fonte: Autoria própria.

O eixo vertical apresenta a proporção entre a vazão de saída de cada modelo de telhado pela vazão de entrada, sendo assim o resultado obtido é adimensional.

Analisando o gráfico que mostra o escoamento com solo úmido observa-se que o telhado verde causa uma grande retenção no escoamento superficial, pois para chegar a vazão máxima que é quando a vazão de entrada se iguala a de saída, o sistema de telhado verde demora cerca de 3,5 minutos, enquanto na laje impermeabilizada já chega em seu máximo escoamento em pouco menos de 2 minutos.

Ao comparar-se o gráfico da figura 14 e o gráfico da figura 15, percebe-se uma diferença considerável na retenção do escoamento, isso se deve ao fato que na figura 14 o solo apresenta-se seco, ou seja, houve um tempo para o sistema perdesse água para o ambiente, diminuindo a umidade do solo, já nos ensaios que geraram o gráfico da figura 15 não foi deixado tempo hábil para que essa perda ocorresse, sendo assim o solo estava praticamente saturado.

A figura 15 é formada pela média dos ensaios, sendo que esses possuem um desvio padrão obtido com o auxílio do software ACTION para fazer o CEP (Controle Estatístico de Processos) de acordo com a tabela 8:

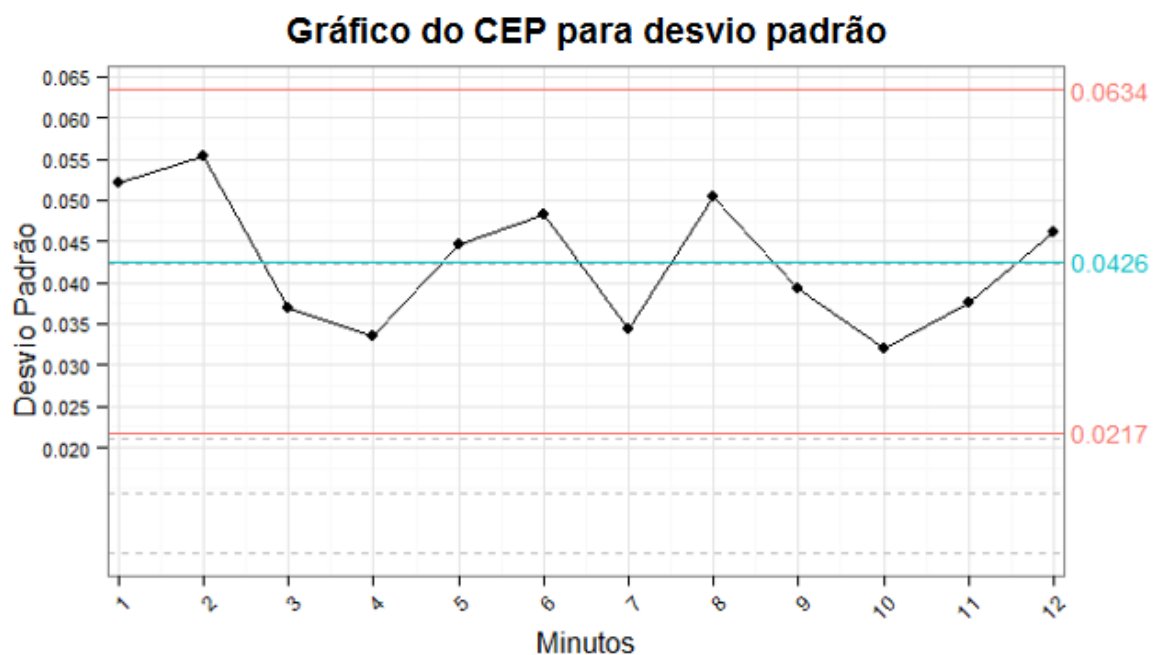
Tabela 8: Desvio padrão dos ensaios

Telhado	Desvio Padrão
1	0,0426
2	0,0413
3	0,2879
4	0,2217

Fonte: Autoria própria.

Os gráficos de desvio padrão a seguir (figura 16, 17, 18 e 19) apresentam o desvio padrão para os minutos a partir do 4º até 15º. Como os primeiros minutos o experimento não tinha estabilizado, a variação foi maior, logo para melhor aferir o desvio padrão foram desconsiderados os 3 minutos iniciais, porém o gráfico apresenta como sendo do 1º ao 12º.

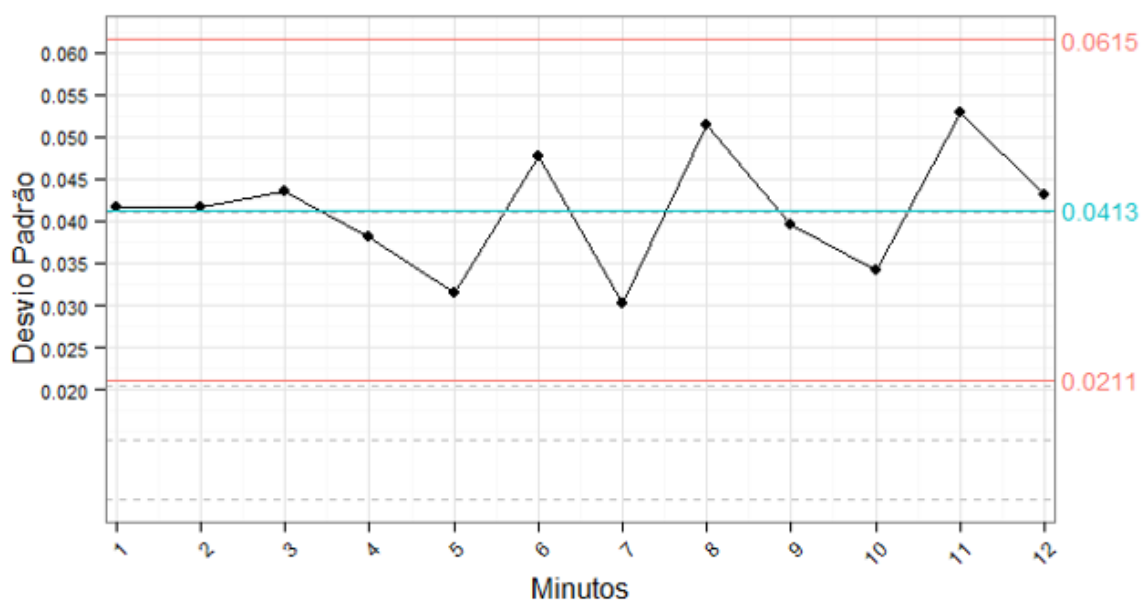
Figura 16: Gráfico do Controle Estatístico de Processos para o desvio padrão para o telhado 1



Fonte: Autoria própria.

Figura 17: Gráfico do Controle Estatístico de Processos para o desvio padrão para o telhado 2

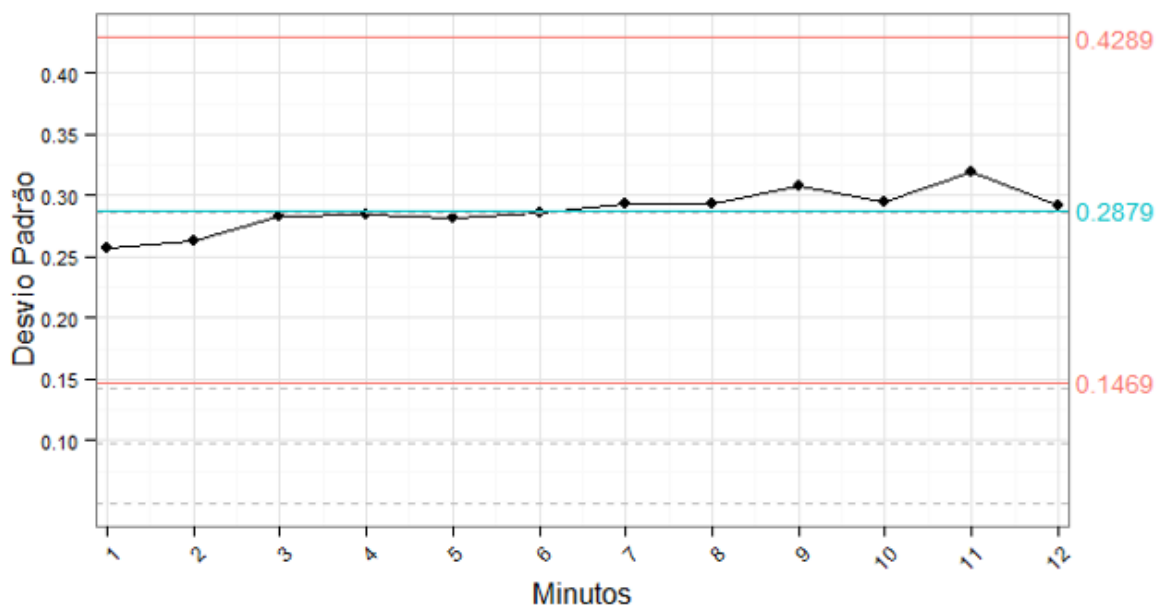
Gráfico do CEP para desvio padrão



Fonte: Autoria própria.

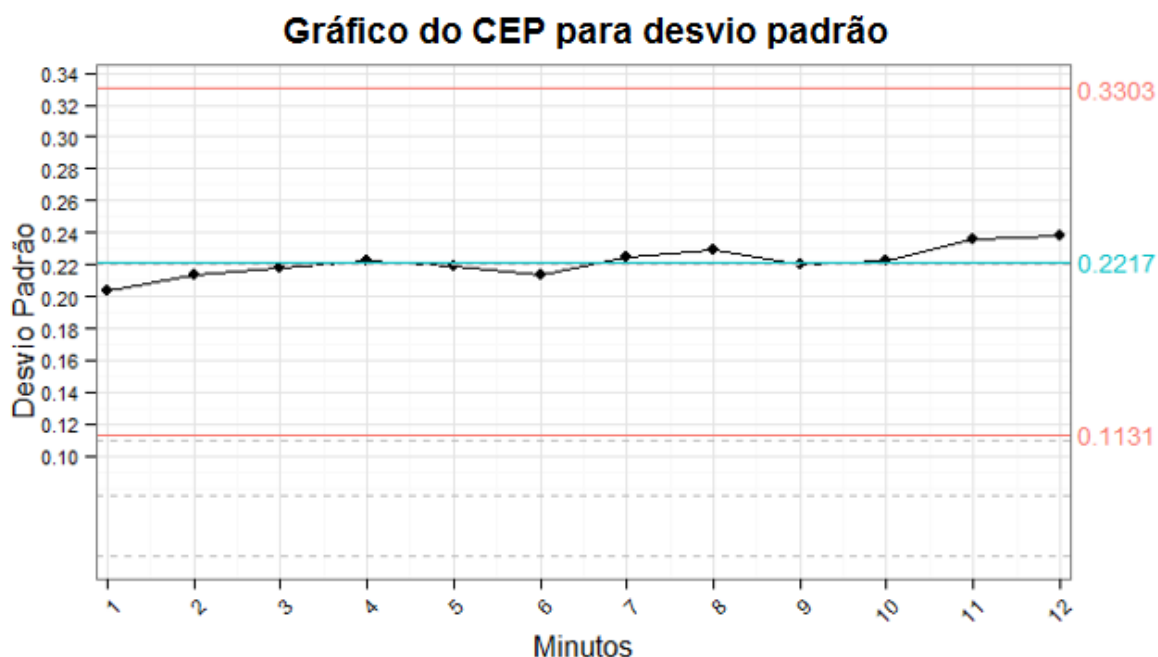
Figura 18: Gráfico do Controle Estatístico de Processos para o desvio padrão para o telhado 3

Gráfico do CEP para desvio padrão



Fonte: Autoria própria.

Figura 19: Gráfico do Controle Estatístico de Processos para o desvio padrão para o telhado 4



Fonte: Autoria própria.

Analisando os gráficos do CEP da figura 16,17,18 e 19 pode-se notar que os dados estão entre os limites superior e inferior, com isso o processo apresenta um bom controle, ou seja, uma padronização do processo. Para todos os telhados o experimento apresenta um CEP (Controle Estatístico de Processo) visto que os limites superior e inferior estabelecidos foram respeitados.

7. CONCLUSÃO

A precipitação media máxima, encontrada utilizando a equação da chuva para Campo Mourão de Arantes et al (2009), gera no experimento uma vazão de 1,70 L.min⁻¹. Contudo não foi possível atender essa vazão, pois quando se aproximou desse valor os microaspersores do simulador de chuva não funcionaram adequadamente, pois a vazão que se pretendia alcançar era inferior a faixa de trabalho do microaspersor. Sendo utilizado uma vazão experimental em que funcionaram corretamente que foi de 2,48 até 3,86 L.min⁻¹. Mesmo assim, com valores superiores a vazão de precipitação da região, o experimento alcançou uma retenção de 3,5 minutos para o solo úmido e 4,5 para o solo seco. Com isso pode-se dizer que o telhado verde contribui para um alívio no sistema de drenagem urbana.

O experimento apresentou um armazenamento de aproximadamente 3,94 litros para o telhado verde seco, fazendo uma proporção com a precipitação esperada no modulo (usando a equação da chuva) tem-se que o telhado verde ensaiado possui uma capacidade de armazenamento média de 15,45 % do volume total precipitado.

Levando-se em consideração que o telhado verde utilizado foi o extensivo de 5 cm de camada, pode-se esperar que a capacidade de armazenamento da água precipitada seja ainda maior para modelos mais espessos.

Para ter uma ideia melhor da eficiência do telhado verde, indico que realizem os ensaios variando a inclinação, a espessura do substrato, utilizar outros tipos de vegetações, e ainda adequar o simulador de chuva para a precipitação ser compatível com a incidência local.

8. REFERENCIAL TEÓRICO

ALESSI, Fernando; KOKOT, Pedro Junior; GOMES, Júlio. **Comparação do escoamento superficial gerado pelos pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso**. Da Vinci, Curitiba, v.3, n.1, p139-156, 2006.

ANDRADE, R; SANTOS, M. **Análise dos problemas de drenagem urbana nos bairros Vila Operária e Aeroporto**, Teresina/2009. in: Congresso do Instituto Federal de Alagoas. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI, Teresina Piauí.

ARANTES, Eudes José et al. **Análise das Chuvas Intensas da Região Noroeste do Paraná**. OLAM -Ciência & Tecnologia, Rio Claro –SP, n. 2, p. 31-47, Set. 2009.

BALDESSAR, Sílvia M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná Curitiba, 2012.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2005. 302p

CANTOR, Steven L. **Green Roofs in Sustainable Landscape Design**. W.W. Norton & Company, New York – London, 2008.

CARVALHO, Daniel Fonseca de. **Manejo e conservação da água e do solo**. UFRRJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Material didático, Pós-graduação (2013).

CASTRO, Andréa Souza; AVRUCH, Joel Goldenfum. **Uso de telhados verdes no controle quantitativo do escoamento superficial urbano**. Revista Atitude. Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre. Número 7. janeiro - junho de 2010

DA COSTA, J.; COSTA, A.; POLETO, C. **Telhado Verde: Redução e Retardo do Escoamento Superficial**. Revista de Estudos Ambientais, v. 14, n. 2esp, p. 50-56, 2012.

DA COSTA, J.; POLETO, C.; RAMME, Silvana da Silva. **Redução e retardo do escoamento superficial das águas pluviais em telhado verde**. 2016. 13f. Encontro de Iniciação Científica – UTFPR, Toledo, 2016.

FERREIRA, Manoela de Freitas. **Teto verde: o uso de coberturas vegetais em edificações**. Rio de Janeiro. 2007. Disponível em: http://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2007/resumos/ART/manoela_de_freitas_ferreira.pdf Acesso em: 10 nov. 2018.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANA. **Manual de drenagem urbana**. Região metropolitana de Curitiba, 2002.

HENEINE, M. C. A. S. **Cobertura Verde**. 2008. 49 f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

IMADA, Rafael Guerreiro. **Práticas de microdrenagem sustentáveis para a redução do escoamento superficial urbano**. 2014. 122f. Monografia – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014.

KIPPER, Alex. **Drenagem urbana: comparativo de custos no dimensionamento utilizando sistemas de drenagem tradicional (higienista), e compensatória com microrreservatórios**. 2015. Trabalho de conclusão de curso. Universidade de Santa Maria, Brasil, 2015.

Kobayashi, Fabiana Y; Faggion, Flávio H. M.; Del Bosco, Lara M.; Chirinéa, Maria Letícia B. **Drenagem Urbana Sustentável**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

LIPTAN, T.; STRECKER E. **Ecoroofs (Greenroofs) – A More Sustainable Infrastructure**. In: NATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM WATER: ENHANCING PROGRAMS AT THE LOCAL LEVEL, 2003, Chicago. Proceedings... Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency., [2003]. p. 198-214.

MACHADO, Orli José; POLEZA, Maristela Macedo; **Medidas estruturais e não estruturais implementadas para minimizar impactos com as inundações no município de taió**. UNIDAVI, 2017.

MEDIONDO, E. M.; CUNHA, A. R. **Experimento Hidrológico Para Aproveitamento de Águas de Chuva Usando Coberturas Verdes Leves**. São Carlos, 2004.

OLIVEIRA, E. W. N. **Telhados Verdes Para Habitações de Interesse Social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. Rio de Janeiro, 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

PAIVA, Anderson Luiz R. de; SANTOS, Sylvana M. dos; SILVA, Thomas F. da; SANTOS, Gilles C. dos. **Capacidade de retenção de água em um telhado verde: estudo de caso em caruaru**. XIII Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319649950_Capacidade_de_retencao_de_agua_em_um_telhado_verde_Estudo_de_caso_em_Caruaru Acessado em 10 nov. 2018.

POLETO, C. **SUDS (SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS): uma contextualização histórica**. Revista Thema, v. 8, p. 1-12, 2011^a.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (PMSP). **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. São Paulo: Edição eletrônica, 1999.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE (PMPA). **Plano diretor de drenagem urbana: Manual de drenagem urbana**. Volume VI. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

SANTOS, Pedro Tyaquiça da Silva et al. **Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial**. Ambiente Construído. 2013, o, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-174, jan./mar.

SECRETARIA DE CONTROLE ESTRATEGICO (SCE), Município de TOLEDO. **Manual de drenagem urbana**. Toledo, 2017.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APGII**. Nova Odessa, Instituto Plantarum. 2005.

SPLITZ, Fernanda D.; ANTUNES, Patrícia: **Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle do escoamento superficial e, ambiente urbanos**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. **Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais**. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

TUCCI, C.; COLLISCHONN, W. 1998. **Drenagem urbana e Controle de Erosão**. VI Simpósio nacional de controle da erosão.1998, Presidente Prudente, São Paulo

TUCCI, Carlos E.M. **Água no Meio Urbano**. Capítulo 14 do Livro Água Doce. IPH/UFRGS. 40p, 1997