

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARIELE KREUTZFELD

**SIMULAÇÃO DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DA ÁGUA DA
CHUVA EM TELHADOS VERDES PARA O MUNICÍPIO DE TOLEDO-
PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO-PR

2018

MARIELE KREUTZFELD

**SIMULAÇÃO DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DA ÁGUA DA
CHUVA EM TELHADOS VERDES PARA O MUNICÍPIO DE TOLEDO-
PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Wagner A. Pansera.

TOLEDO-PR

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 183

Simulação da capacidade de retenção da água da chuva em telhados verdes para o município de Toledo-PR

por

Mariele Kreutzfeld

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 14:40 h do dia **13 de Novembro de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Profª Dr. Elmagno Catarino Santos Silva
(UTFPR – TD)

Profª Msc. Patricia Cristina Steffen
(UTFPR – TD)

Profª Dr. Wagner Alessandro Pansera
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Fúlvio N. Feiber
Coordenador da COECI

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

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todo o apoio espiritual;

Aos meus pais pelo auxílio na busca pelos materiais, pela construção para realização da pesquisa, pelo apoio financeiro ao longo de toda a graduação e, pela paciência; aos meus irmãos e avó, pelo apoio moral, mas principalmente por acreditarem em mim e darem tudo pela realização desse sonho;

Ao presente professor orientador Wagner Pansera pela contribuição para a viabilidade e implantação da pesquisa, por todas as sugestões e correções e, por encarar comigo a pesquisa de algo consideravelmente comum em vários países, mas de pouca aplicação no Brasil;

Ao Rafael Swarowsky por ter sido a melhor companhia e enfrentar cada dia as mesmas batalhas durante o curso, por preocupar-se com o desenvolvimento das plantas, auxiliar na manutenção das mesmas e nas medições da pesquisa. Juntos podemos mais;

Aos laboratoristas Wilson e Marcos pela disponibilidade em fornecer instrumentos e auxiliar na confecção da estrutura;

À equipe Foxes Cheerleading por ser a extensão da UTFPR, por ter se tornado uma família longe de casa, por me fazerem esquecer todos os empecilhos da pesquisa enquanto estávamos treinando e por ficarem na torcida da previsão do tempo;

Aos colegas de classe que auxiliaram nas minhas dúvidas quanto ao desenvolvimento do estudo, por todas as contribuições, direta ou indiretamente e por me apoiarem quando cheguei a pensar que não daria certo.

*“O futuro não é um lugar onde
estamos indo, mas um lugar que
estamos criando. O caminho para
ele não é encontrado, mas
construído e o ato de fazê-lo muda
tanto o realizador quanto o
destino”.*

Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

Devido ao crescimento populacional, a ocupação de bacias hidrográficas urbanas tem aumentado a impermeabilização do solo e com isso reduzido a taxa de infiltração. Essas áreas impermeabilizadas passam a direcionar maior parcela de água pluvial que causa um aumento nos volumes, sobrecarregando o sistema de microdrenagem. Toledo é o segundo município que mais cresce no Paraná, não é uma cidade que sofre com problemas de alagamentos, mas a atuação preventiva reduz o custo da solução dos problemas futuros relacionados à água. Dessa forma, torna-se importante um estudo para verificar a aplicabilidade e os efeitos do telhado verde, uma medida compensatória. Para isso, o objetivo desse trabalho foi verificar experimentalmente a capacidade de retenção da água da chuva com uso de telhados verdes no controle do escoamento superficial. A análise foi feita no campus da UTFPR de Toledo com 3 protótipos de telhados verdes, nos quais, todas as espécies eram diferentes e; outros 2 protótipos simulando coberturas tradicionais, cobertura de telha cerâmica e cobertura de telha de fibrocimento. Os protótipos foram locados lado a lado em uma mesma estrutura para que tivessem as mesmas condições climáticas. Os telhados verdes variaram de 100% de retenção a 13% dependendo do índice pluviométrico e se houve precipitação no dia anterior. O telhado com grama teve um coeficiente médio de 0,58, as suculentas de 0,66 e dinheiro em penca de 0,52. Os resultados obtidos a partir do monitoramento mostram que, com relação aos aspectos quantitativos, o telhado verde conseguiu reduzir o escoamento pluvial quando comparado ao telhado convencional em até 57%. Em uma média dos 3 telhados verdes, 42% do volume total de chuva que incidiu no telhado verde foi retido, contra 22% do telhado convencional. Como resultado geral, pode-se destacar que o telhado com dinheiro em penca apresentou maior retenção, seguido das espécies de grama e os seduns. Conclui-se assim, que os telhados verdes têm capacidade de reter certa quantidade de água em precipitações quando comparados com os telhados convencionais e a cobertura verde que apresentou maiores vantagens foi a grama pois, difere-se inferiormente em apenas 6% do dinheiro em penca, mas o custo para sua implementação é menor e as manutenções de poda são menos frequentes, apresentando uma boa relação custo-benefício.

Palavras-chave: Telhados verdes; Drenagem; Chuva; Sustentabilidade.

ABSTRACT

According to the population growth, the occupation of urban watersheds has increased the waterproofing of the soil and with that reduced the rate of infiltration. These waterproofed areas begin to direct a larger amount of rainwater that causes an increase in volumes, overloading the microdrainage system. Toledo is the second fastest growing municipality in Paraná, not a city that suffers from flooding problems, but preventive action reduces the cost of solving future problems related to water. And, a study to verify the applicability and the effects of the green roof, a compensatory measure, becomes important. For this, the objective of this work was to verify experimentally the rainwater retention capacity with the use of green roofs in the control of the surface runoff. The analysis was done on the campus of the UTFPR of Toledo with 3 prototypes of green roofs, in which, all the species were different and; other 2 prototypes simulating traditional roofing, ceramic tile coverage and asbestos cement roofing. The prototypes were leased side by side in the same structure to have the same climatic conditions. Green roofs ranged from 100% retention to 13% depending on the rainfall index and if there was precipitation the previous day. The roof with grass had an average coefficient of 0.58, the succulents 0.66 and money in penca 0.52. The results obtained from the monitoring show that, regarding the quantitative aspects, the green roof managed to reduce the rainfall when compared to the conventional roof by up to 57%. On an average of the 3 green roofs, 42% of the total rainfall on the green roof was retained, versus 22% of the conventional roof. As a general result, it can be pointed out that the roof with money in penca presented greater retention, followed by the species of grass and seduns. It is concluded that green roofs have the capacity to retain a certain amount of water in precipitation when compared to conventional roofs and the green roof that presented the greatest advantages was grass because it differs inferiorly in only 6% of the money in pence, but the cost for its implementation is lower and pruning maintenance is less frequent, presenting a good cost-benefit ratio.

Keywords: Green roofs; Drainage; Rain; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Telhado verde plano..... | 14 |
| Figura 2 – Telhado verde inclinado. | 14 |
| Figura 3 – Coberturas verdes extensivas..... | 16 |
| Figura 4 – Coberturas verdes intensivas..... | 17 |
| Figura 5 – Camadas de um telhado verde | 18 |
| Figura 6 – Plantas do gênero <i>Sedum</i> | 19 |
| Figura 7 – Plantas Xerófitas..... | 19 |
| Figura 8 – Argila expandida..... | 20 |
| Figura 9 – Pedra-pome | 20 |
| Figura 10 – Vermiculita | 21 |
| Figura 11 – Geotêxtil | 21 |
| Figura 12 – Fluxograma de etapas realizadas. | 28 |
| Figura 13 – Planta do Experimento..... | 29 |
| Figura 14 – Detalhamento isométrico do experimento..... | 29 |
| Figura 15 – Módulo de grama..... | 31 |
| Figura 16 – Módulo de Suculentas..... | 32 |
| Figura 17 – Módulo de Dinheiro em penca..... | 32 |
| Figura 18 – Módulo de grama após o desenvolvimento..... | 33 |
| Figura 19 – Módulo de Suculentas após o desenvolvimento..... | 33 |
| Figura 20 – Módulo de Dinheiro em Penca após o desenvolvimento..... | 34 |
| Figura 21 – Boxplot dos coeficiente do telhado com dinheiro em penca..... | 39 |
| Figura 22 – Boxplot dos coeficiente do telhado com grama..... | 39 |
| Figura 23 – Boxplot dos coeficiente do telhado com suculentas..... | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Volumes escoados em litros por metro quadrado | 36 |
| Tabela 2 – Coeficiente de escoamento dos telhados | 37 |
| Tabela 3 – Estatística dos dados | 38 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA..... | 12 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 13 |
| 1.2.1 Objetivo Geral..... | 13 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos..... | 13 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 14 |
| 2.1 TIPOS DE TELHADOS VERDES..... | 15 |
| 2.1.1 Classificação quanto ao uso..... | 15 |
| A.Sistemas extensivos..... | 15 |
| B.Sistemas intensivos..... | 16 |
| 2.1.2 Classificação quanto à forma de aplicação..... | 17 |
| 2.2 ASPECTOS CONSTRUTIVOS..... | 18 |
| 2.2.1 Camada de vegetação..... | 18 |
| 2.2.2 Substrato..... | 19 |
| 2.2.3 Separação do substrato (Geotêxtil)..... | 21 |
| 2.2.4 Camada de drenagem..... | 21 |
| 2.2.5 Camada protetora (Membrana antirraiz)..... | 22 |
| 2.2.6 Impermeabilização..... | 22 |
| 2.2.7 Estrutura do telhado..... | 23 |
| 2.3 ASPECTOS HIDROLÓGICOS..... | 23 |
| 2.4 ASPECTOS LEGISLATIVOS..... | 24 |
| 2.5 ESTADO DA ARTE..... | 25 |
| 2.5.1 Savi (2015)..... | 25 |
| 2.5.2 Mendonça (2015)..... | 26 |
| 2.5.3 Moraes (2013)..... | 26 |
| 2.5.4 Farias (2012)..... | 27 |
| 2.5.5 Fechamento..... | 27 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 28 |
| 3.1 PROJETO DOS MÓDULOS..... | 28 |
| 3.2 MONTAGEM DOS TELHADOS..... | 30 |
| 3.2.1 Telhados Verdes..... | 30 |
| 3.2.2 Telhados convencionais..... | 34 |
| 3.3 MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS..... | 34 |
| 4 RESULTADOS..... | 36 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 41 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| REFERÊNCIAS..... | 42 |
| ANEXO..... | 46 |

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento populacional, a ocupação de bacias hidrográficas urbanas tem aumentado a impermeabilização do solo e com isso reduzido a taxa de infiltração (ALAMY FILHO *et al.*, 2016).

Essas áreas impermeabilizadas passam a direcionar maior parcela de água pluvial que causa um aumento nos volumes escoados (CASTRO; GOLDENFUM, 2010), sobrecarregando o sistema de microdrenagem, constituído por sarjetas, bocas de lobo e galerias de água pluvial (ALAMY FILHO *et al.*, 2016), ao mesmo tempo em que ocorre a redução do tempo de concentração, provocando assim, hidrogramas de cheias cada vez mais críticos (CASTRO; GOLDENFUM, 2010).

Admitindo a necessidade de edificar, torna-se imprescindível a adaptação das edificações para essa realidade (MORAES, 2013). As construções têm sido realizadas com técnicas e referenciais de épocas em que os agravantes ecológicos não eram percebidos (FERREIRA, 2007).

As construções devem ser analisadas num contexto onde as necessidades e solicitações de convivência com o ambiente requerem novos procedimentos no uso do espaço habitado (FERREIRA, 2007).

Nesse contexto, para adequar as edificações, existem diversas alternativas, tais como os telhados verdes. Essa solução se caracteriza pela aplicação de cobertura vegetal nas edificações, substrato e uma camada de drenagem responsável pela retirada de água adicional (CASTRO; GOLDENFUM, 2010). Esse tipo de cobertura vai desde coberturas com gramas, ao desenvolvimento de árvores com instalação de lagos e *playgrounds*, um verdadeiro parque suspenso (MENDONÇA, 2015).

Os telhados verdes proporcionam várias vantagens em relação às coberturas convencionais, como diminuição da água de escoamento; melhoria nas condições de conforto ambiental (CASTRO; GOLDENFUM, 2010); melhor conforto térmico ao ambiente interno, servindo como isolante térmico devido à evapotranspiração das plantas, havendo redução na temperatura do ar; além disso, a camada de substrato funciona como isolante acústico (MORAES, 2013); agem positivamente na retenção de poeira e substâncias suspensas no ar e; na elevação da umidade relativa do ar nas proximidades do telhado, afetando diretamente na saúde da população local (SILVA; PAIVA; SANTOS, 2015).

As águas captadas e armazenadas podem ser utilizadas nas descargas de banheiro, lavagem de pisos e irrigação de jardins e, podem ainda ser utilizadas na manutenção da cobertura durante o período de estiagem (TOMAZ, 2007 *apud* FARIAS, 2012).

Sua construção requer cuidados não só com a estrutura como também com a membrana de impermeabilização, compreender o tipo de espécie vegetal e o sistema de drenagem da superfície (OHNUMA JÚNIOR; HALASZ; MEDIONDO, 2011). Além disso, uma das dificuldades de difusão das coberturas verdes no Brasil está na cultura e desconfiança de desempenho das mesmas (PEREIRA *et al.*, 2015).

Dessa forma, este trabalho aborda a análise de desempenho desses telhados, verificando se podem diminuir os picos de vazões retendo parte dos volumes precipitados.

1.1 JUSTIFICATIVA

O telhado verde vem sendo utilizado em diversos países na Europa e nos Estados Unidos e é adotado não só em residências como também em comércios e indústrias (CASTRO; GOLDENFUM, 2010). No Brasil, os estudos sobre o efeito dos telhados verdes sobre o escoamento pluvial têm tido desenvolvimento e crescimento apenas nos últimos dez anos, nos quais têm-se analisado tipos de vegetações, espessuras de substratos, possibilidade de captação, qualidade da água, custos de implantação e outros, mas nessa região de Toledo os estudos são escassos.

Segundo o IBGE (2017), Toledo é o segundo município que mais cresce no Paraná. Tinha uma população de 119.313 habitantes em 2010 e passou para 132.077 em 6 anos, a projeção é que para 2020 a população ultrapasse os 140.000 habitantes. Não é uma cidade que sofre com problemas de alagamentos, mas, a atuação preventiva reduz o custo da solução dos possíveis problemas futuros relacionados à água.

Dessa forma, torna-se importante um estudo para verificar a aplicabilidade e os efeitos dessa medida compensatória no município.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar experimentalmente a capacidade de retenção da água da chuva através do uso de telhados verdes.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Construir módulos de telhados verdes com diferentes vegetais;
- Comparar com sistemas tradicionais de cobertura, e;
- Avaliar o armazenamento em cada módulo de telhado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O telhado verde corresponde à técnica de aplicação de substrato e vegetação sobre uma camada impermeável com função de cobertura de uma determinada edificação podendo ser plano (Figura 1) ou inclinado (Figura 2) (SAVI, 2015). É conhecido também como telhado vivo, *green roof*, ecotelhado e biocoberturas (OHNUMA JÚNIOR; HALASZ; MENDIONDO, 2011).

Figura 1 - Telhado verde plano.



Fonte: Loschiavo, 2013.

Figura 2 - Telhado verde inclinado.



Fonte: Loschiavo, 2013.

2.1 TIPOS DE TELHADOS VERDES

Os telhados verdes podem ser classificados quanto ao uso e quanto à forma de aplicação.

2.1.1 Classificação quanto ao uso

Podem ser concebidos com relação ao tipo de uso previsto e de vegetação que vai comportar e, assim, costuma-se separá-los em duas categorias: os sistemas extensivos e sistemas intensivos (TASSI *et al.*, 2014).

A. Sistemas extensivos

Podem ser chamados de coberturas ecológicas, com suprimento de água e nutrientes a partir de processos naturais (FARIAS, 2012). São coberturas leves, que comportam plantas resistentes a situações climáticas severas como seca, geada e ventos fortes e, possuem estreita camada de substrato (5 a 15cm) adicionando pouco peso (Figura 3) à estrutura que o suporta (TASSI *et al.*, 2014).

Caracterizam-se por pouca ou nenhuma manutenção e uso de plantas como as suculentas, que tem folhas e talos engrossados que permitem o armazenamento de água, reduzindo a necessidade de regas (SAVI, 2015).

A água armazenada no substrato é suficiente para sustentar a necessidade hídrica das plantas, porém, um sistema de irrigação pode ser empregado para garantir a sobrevivência da vegetação. Porém, com a aplicação de vegetação adequada, os sistemas de irrigação não se fazem necessários, exceto em climas extremos (TASSI *et al.*, 2014, p.142).

O peso desse tipo de cobertura é muito menor, ficando próximo ao peso de coberturas de telha de concreto (KOHLENER *et al.*, 2002 *apud* SAVI, 2015) dispensando reforço estrutural na edificação (MENDONÇA, 2015). De acordo com Silva, Paiva e Santos (2015), nesse tipo de cobertura a percolação da água no solo pode ser desconsiderada devido à estreita camada de substrato.

Figura 3 - Coberturas verdes extensivas.



Fonte: Barbosa, 2014; Carmosa, 2009; Engenheiro na Web, 2017.

B. Sistemas intensivos

São chamados de coberturas ajardinadas, semelhantes a um jardim cultivado (FARIAS, 2012). Dependendo da concepção, podem-se destinar a fins desportivos, recreativos e de lazer (TASSI *et al.*, 2014).

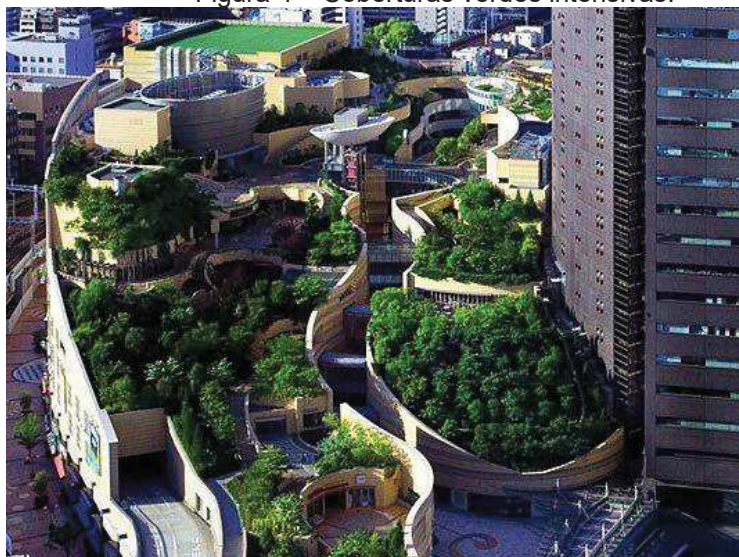
Nesse tipo de cobertura, a profundidade do solo é mais significativa (15 a 90cm) permitindo a utilização de plantas de maior porte (Figura 4) como arbustos e árvores (TASSI *et al.*, 2014) e, requerem um reforço na estrutura do telhado e da edificação, sendo capazes de suportar a carga do substrato e da vegetação, além de permitir o acesso de pessoas para manutenção (FARIAS, 2012).

Geralmente necessitam de um sistema de irrigação e a água retida na drenagem pode ser usada para irrigar as plantas cultivadas (TASSI *et al.*, 2014).

Podem apresentar uma maior redução do escoamento superficial e apresentar uma filtragem da água da chuva quando comparado ao tipo extensivo (SAADATIAN *et al.*, 2013 *apud* SAVI, 2015) e seriam indicados como melhor

alternativa para o controle quantitativo do escoamento pluvial. Todavia, na maioria dos casos não é aplicável devido à sua sobrecarga, por não serem aplicados em telhados inclinados e requererem maior manutenção (TASSI *et al.*, 2014).

Figura 4 – Coberturas verdes intensivas.



Fonte: Gonçalves, 2015.

2.1.2 Classificação quanto à forma de aplicação

As coberturas verdes também podem ser diferenciadas quanto à forma de aplicação, sendo elas de forma contínua, modular ou aérea (FERREIRA, 2007).

A cobertura contínua é a mais antiga e difundida, o substrato é aplicado diretamente sobre a base impermeabilizada (FERREIRA, 2007) e os componentes do sistema incluindo o sistema de drenagem, substrato e vegetação, estão dispostos de forma contínua (MENDONÇA, 2015).

No sistema modular, os módulos correspondem a unidades independentes que desempenham as funções de retenção do substrato e de recepção da vegetação, além da função drenante, alguns possuindo até membrana anti-raiz. Essas unidades são dispostas na cobertura a preenchendo, dando até um efeito contínuo, mas, diferente deste, consiste em um sistema prático de instalação, manutenção e versatilidade, uma vez que o jardim pode ser redesenhado facilmente mudando as posições dos módulos vegetados (MENDONÇA, 2015, p. 23).

Desenvolvido para rápida aplicação e normalmente é comercializada por empresas especializadas que fazem bandejas com fácil manuseio (FERREIRA, 2007).

As coberturas do tipo aéreas são criadas a partir de plantas trepadeiras. O substrato com o sistema radicular do vegetal fica em um ponto da edificação que permite a planta se ramificar para a cobertura. Porém, esse sistema não confere benefícios como nos sistemas modular e contínuo, como por

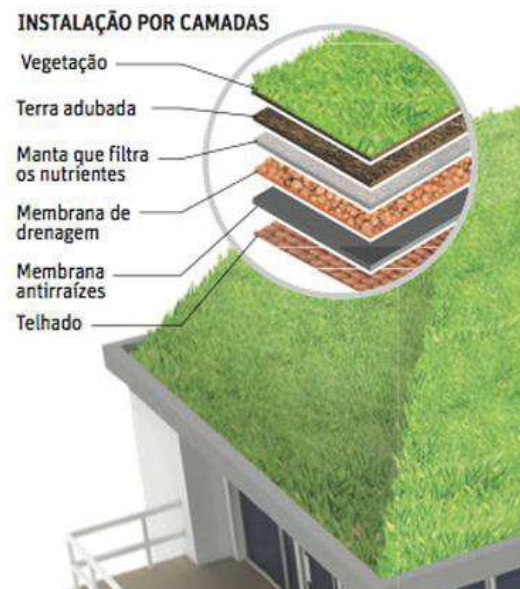
exemplo, a capacidade de retenção da água pluvial acaba sendo menor (MENDONÇA, 2015, p. 24).

2.2 ASPECTOS CONSTRUTIVOS

Para a composição do telhado verde são necessárias algumas camadas (Figura 5) que lhe garantem sustentação, impermeabilização e eficiência no seu funcionamento (SAVI, 2015).

De maneira geral, um telhado verde apresenta a seguinte estrutura:

Figura 5 - Camadas de um telhado verde



Fonte: O Azulejista, 2015.

2.2.1 Camada de vegetação

Segundo Tassi *et al.* (2014), a vegetação a ser aplicada deve ser adequada às condições climáticas do local e Moraes (2013) ainda salienta que devem ser escolhidas plantas que não são exigentes a umidade e que resistam bem ao estresse hídrico.

Espécies nativas são geralmente consideradas ideais por causa das adaptações locais ao clima (OBERNDORFER *et al.*, 2007 *apud* MENDONÇA, 2015). A empresa Ecotelhado usa Crassuláceas do gênero *Sedum* (Figura 6) por considerá-las adequadas devido ao seu lento crescimento que diminui a manutenção e são resistentes às condições adversas (FERREIRA, 2007).

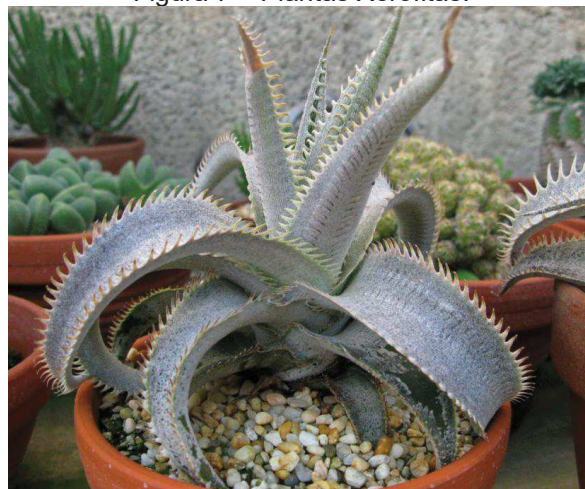
Figura 6 – Plantas do gênero *Sedum*.



Fonte: Lorenzi, 2009 (*apud* Savi, 2015).

E de acordo com Ohnuma Júnior, Halasz e Mendiondo (2011), em algumas cidades do Rio Grande do Sul, as preferidas são espécies de xerófitas (Figura 7) pois, necessitam de pouca rega e manutenção, além de facilidade de sobrevivência.

Figura 7 – Plantas Xerófitas.



Fonte: Negri, 2012. Lanasa, 2017.

2.2.2 Substrato

É constituído por uma camada de solo que serve de suporte para a fixação da vegetação, fornece água e nutrientes necessários para a manutenção e é importante para o armazenamento da água durante os eventos chuvosos (TASSI *et al.*, 2014).

Para a colocação dessa camada é importante conhecer a espécie vegetal que será aplicada, quais os nutrientes necessários e o tipo de substrato que melhor se adequa a ela. Substratos muito ricos em nutrientes podem ser negativos, principalmente para telhados verdes extensivos, pois o excesso

de nutrientes pode acarretar em um rápido crescimento da vegetação e de ervas daninhas, aumentando a manutenção do mesmo (SAVI, 2015, p. 25).

Para coberturas extensivas, devem ser utilizados substratos orgânicos, como por exemplo, cascas e resíduos de poda; ou inorgânicos e minerais, como por exemplo, argila expandida (Figura 8), pedra-pome (Figura 9) e vermiculita (Figura 10) (SAVI, 2015). Materiais minerais leves com alta capacidade de retenção de água e boa permeabilidade têm comprovado serem seguros por muitos anos. Materiais orgânicos não tratados e o topo do solo têm desvantagens em relação ao peso e drenagem (HENEINE, 2008).

Segundo Moraes (2013), o substrato não deve ser argiloso devido a sua baixa drenagem.

Figura 8 - Argila expandida



Fonte: Leroy Merlin, 2017.

Figura 9 - Pedra-pome



Fonte: Bonsai Empire, 2017.

Figura 10 - Vermiculita



Fonte: Minas Gramados, 2017.

2.2.3 Separação do substrato (Geotêxtil)

Constitui uma camada filtrante (Figura 11) que separa as camadas vegetais e substrato da camada drenante. Ela evita a migração de partículas do substrato para o interior da camada drenante, que reduziriam a funcionalidade do telhado verde (TASSI *et al.*, 2014).

Figura 11 - Geotêxtil



Fonte: Soluções Industriais, 2017.

2.2.4 Camada de drenagem

A camada de drenagem encaminha a água para o dreno, para que o solo não fique completamente saturado. Os melhores materiais a serem utilizados são os mais porosos, como por exemplo, a argila expandida (MINKE, 2005 *apud* SAVI, 2015).

Em telhados praticamente horizontais é fundamental a camada de drenagem, para evitar alagamentos indesejáveis. Além disso, a camada de drenagem atua retendo parte da água da chuva, necessária para a vegetação durante a estiagem (TASSI *et al.*, 2014).

Pode ser constituída de argila expandida, brita ou seixos e, a espessura da camada pode variar de 7 cm a 10 cm. Na Europa, são bastante utilizados elementos a base de poliestireno por terem características de isolantes térmicos (MORAES, 2013).

2.2.5 Camada protetora (Membrana antirraiz)

Destina-se à retenção da umidade e nutrientes acima da estrutura do telhado, fornecendo proteção física para a membrana de impermeabilização contra o crescimento das raízes da vegetação (TASSI *et al.*, 2014). De acordo com Savi (2015, p. 23 e 24),

alguns sistemas de impermeabilização já cumprem essa função, como mantas de polietileno de alta densidade (PEAD), mas quando a base da manta antirraízes é desuniforme ou rugosa, deve-se colocar abaixo dessa membrana um feltro ou uma camada de areia para uniformizar e evitar rasgos na mesma.

2.2.6 Impermeabilização

Segundo Moraes (2013), a função é proteger o elemento estrutural. A impermeabilização deve ser escolhida atentamente pela compatibilidade com a estrutura definida para o telhado, pois o uso de materiais inadequados pode resultar em patologias na edificação (SAVI, 2015).

Normalmente é realizada com o emprego de hidrorrepelentes, de maneira a evitar o contato da água com a estrutura do telhado (TASSI *et al.*, 2014) mas, a forma mais difundida de impermeabilização para lajes de concreto armado é a manta asfáltica e em chapas de madeira, utiliza-se manta de polietileno de alta densidade (PEAD) ou borracha líquida (SAVI, 2015).

2.2.7 Estrutura do telhado

Um sistema de telhado verde pode ser estruturado sobre diferentes materiais, tais como: laje de concreto, tábuas de madeira, chapas de compensado estruturado, placa cimentícia, telhas metálicas, estrutura de telhado já existente, entre outros (SAVI, 2015).

São necessários materiais que possuam resistência compatível à carga do sistema (SAVI, 2015). Para isso, devem ser consideradas as cargas permanentes e acidentais no seu dimensionamento (MORAES, 2013). Segundo Tassi *et al.* (2014), para o sistema extensivo, estima-se que a carga do telhado possa aumentar de 70 a 170kgf/m² e para o sistema intensivo, o valor da carga adicional pode variar entre 290 e 970kgf/m².

2.3 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

O ciclo hidrológico é um fenômeno de movimentação contínua da água presente nos oceanos, continentes e atmosfera. Estabelece um sistema fechado no qual a quantidade total se mantém praticamente constante (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007). Porém, quando se considera áreas menores de drenagem, o ciclo é caracterizado aberto pois, os movimentos da atmosfera e da superfície terrestre fazem com que os volumes evaporados em um local sejam precipitados em outro (SILVEIRA, 2009 *apud* FARIAS, 2012).

Assim, o aumento das áreas impermeabilizadas pode afetar o ciclo hidrológico em nível local gerando um maior volume na parcela de precipitação que escoam superficialmente e diminuindo a parcela infiltrada e percolada (FARIAS, 2012). O problema se agrava se os pontos de redes de drenagem forem subdimensionados e/ou houver mau funcionamento das galerias em função de entupimentos de motivos variados (REIS; ILHA, 2014). No Brasil, o ciclo hidrológico sofre alterações nas áreas urbanas devido principalmente ao aumento de poluição devido à contaminação do ar e do material sólido disposto pela população (MILLER, 2014).

O desequilíbrio no balanço hídrico gera alteração no hidrograma de escoamento superficial com acréscimo nos picos de vazões, aumentando o volume em um curto espaço de tempo (CARVALHO, 2008 *apud* REIS; ILHA, 2014).

Uma alternativa para a redução do pico de vazão é a retenção na fonte (SILVA; PAIVA; SANTOS, 2015) e com a implantação de coberturas verdes, o volume precipitado é direcionado às galerias de água pluvial somente após o pico de vazão de escoamento superficial (FERREIRA; MORUZZI, 2007).

2.4 ASPECTOS LEGISLATIVOS

Para reduzir o pico de vazão e gerar uma retenção na fonte, diversas cidades têm projetos de lei que exigem a detenção da água da chuva, visando a atenuação do pico de vazão (FERREIRA; MORUZZI, 2007).

Copenhague, na Dinamarca, tem um projeto para tornar a cidade, até 2025, a primeira do mundo livre da emissão de carbono e uma de suas medidas mitigadoras é o telhado verde (LLC, 2013 *apud* MENDONÇA, 2015), no qual todos os telhados com inclinação menor que 30° devem conter paisagismo desde que não haja impedimento por parte estrutural (BERARDI *et al.*, 2014 *apud* MENDONÇA, 2015).

Em Toronto, Canadá, desde 2009 rege uma norma de construção de telhados verdes em novas edificações residenciais, comerciais e institucionais acima de 200m² (TORONTO C. of. 2014 *apud* MENDONÇA, 2015). A cobertura deve variar entre 20 e 60% do espaço disponível do telhado. Em Vancouver, também no Canadá, todos os edifícios comerciais e industriais acima de 5000m² devem ter telhado verde e o construtor será isento das taxas de licença de permissão (BERARDI *et al.*, 2014 *apud* MENDONÇA, 2015).

Nos Estados Unidos, na cidade de Chicago, desde 2001 quando foi realizado uma iniciativa no telhado da prefeitura deu-se abertura para posteriores aplicações (CHICAGO C. of., 2014 *apud* MENDONÇA, 2015)

“e a prefeitura oferece até 50% do custo ou até US\$ 100 000,00 para o desenvolvimento de telhados verdes que cubram 50% ou mais do espaço na cobertura; em Minneapolis qualquer edifício que melhora a gestão de águas pluviais através de telhados verdes recebe um crédito de 50% nas taxas de águas pluviais; Nashville está promovendo a instalação de telhados verdes para fornecer uma redução de US\$10,00 nas taxas de esgoto por pé quadrado de telhado verde; New York City dá um crédito fiscal de um ano de até US\$ 100 000,00 para telhados verdes que abrangem, pelo menos, 50% do espaço disponível do telhado; Portland e Seattle oferecem um bônus de taxa de área bruta para cada metro de telhado verde” (BERARDI *et al.*, 2014 *apud*, MENDONÇA, 2015 p. 18 e 19).

No Brasil, alguns estados e cidades já dispõem sobre projetos de lei e até mesmo leis com relação aos telhados verdes, como por exemplo, as cidades de São Paulo-SP, Goiânia-GO, Rio de Janeiro-RJ, Recife-PE e Curitiba-PR, no qual obrigam

esses municípios a implantarem coberturas verdes em novas construções (MENDONÇA, 2015). Já no estado de Santa Catarina, dispõe-se de lei que define a criação do Programa Estadual de incentivo à adoção de telhados verdes (SANTA CATARINA, 2007).

Enquanto a legislação internacional promove políticas públicas de incentivo ao telhado verde, no Brasil a legislação é mais de obrigatoriedade não parecendo ser o mais adequado por não atrair a colaboração da população tornando-se uma lei morta (MENDONÇA, 2015).

2.5 ESTADO DA ARTE

Vários pesquisadores têm analisado a capacidade de retenção de água em telhados verdes entre outros benefícios aplicados, na maioria das vezes, as situações específicas de cada local e assim avaliando a eficiência dessa cobertura em diferentes aspectos como redução da poluição, redução das ilhas de calor, aumento da umidade relativa do ar nas proximidades, variação da temperatura no interior do ambiente e, captação da água da chuva.

A seguir, estão algumas pesquisas com diferentes avaliações e investigações sobre telhados verdes em diferentes pontos do país.

2.5.1 Savi (2015)

Savi (2015) avaliou a influência das espécies vegetais no desempenho dos telhados verdes em Curitiba – PR, analisando a temperatura superficial, retenção da água da chuva e a qualidade da água escoada em cinco protótipos de telhados verdes e cinco protótipos de coberturas convencionais, como objetos de comparação.

As espécies escolhidas foram *Bulbine frutescens*, *Tradescantia zebrina*, *Arachis repens* (que não resistiu ao inverno e foi substituída pela *Zoysia tenuifolia*), *Sedum mexicanum*, *Callisia repens*.

Foram realizadas coletas de dados com registros a cada 10 minutos e os resultados demonstraram que existe uma variação significativa de temperatura superficial entre as espécies analisadas, mas todas apresentaram um desempenho superior aos sistemas convencionais de cobertura.

Para a análise de retenção de água foram observados o escoamento da água dos sistemas de telhado verde e da laje impermeabilizada por 7 meses e a variação de retenção da água pelas espécies vegetais foi significativa, sendo explicada pelo fechamento que as plantas proporcionam no solo. A maior retenção observada foi a *Bulbine frutescens* seguida pela *Sedum mexicanum*, plantas que absorvem mais água e a retêm em suas folhas e raízes.

2.5.2 Mendonça (2015)

Mendonça (2015) afim de aumentar o verde das cidades e aproveitar seus benefícios, avaliou em João Pessoa – PB, uma tecnologia modular de telhado verde extensivo desenvolvida à base de um pré-moldado cimentício, que utiliza resíduo da indústria de calçados (EVA) e, comparou com uma laje exposta, telhado cerâmico, telhado de fibrocimento e telhado verde com blocos de concreto, analisando o comportamento térmico e a quantidade de água pluvial drenada pelas coberturas.

Conforme os resultados, concluiu que o módulo idealizado para ora ser vegetado, ora ser utilizado como piso, tem resistência mecânica, leveza e permeabilidade à água, satisfatórios para o tipo de telhado verde proposto. Além disso, reduziu a temperatura do ar interno, quando comparado aos outros tipos de cobertura.

2.5.3 Moraes (2013)

Moraes (2013) fez uma comparação quanto aos aspectos de custos de construção em Porto Alegre - RS, entre coberturas que utilizam vegetação e coberturas convencionais que utilizam telhas de fibrocimento e cerâmicas do tipo francesa. Primeiramente, foi realizado um projeto padrão de edificação que atendia às exigências de execução dos três tipos de coberturas para evitar problemas de comparação entre os custos de execução. Em seguida, caracterizou os três tipos de telhados com seus respectivos métodos construtivos e, então, estabeleceu seus custos.

Disso, verificou que o maior custo era do telhado verde, cerca de 81,06% e de 24,74% a mais em comparação com as coberturas de telhas de fibrocimento e cerâmicas do tipo francesa, respectivamente.

2.5.4 Farias (2012)

Farias (2012) investigou o potencial de captação da água da chuva em telhados verdes em Caruaru – PE comparando em aspectos qualitativos e quantitativos um telhado convencional com telhas cerâmicas e dois telhados verdes, sendo um com vegetação grama-de-burro e outro com vegetação nativa, o cacto coroa-de-frade.

Para os aspectos qualitativos foram realizadas coletas quinzenais de amostras de água e análise dos parâmetros: cor, turbidez, temperatura, pH, alcalinidade, dureza, cloretos, ferro, nitrogênio, fósforo e oxigênio dissolvido. E com relação aos aspectos quantitativos, comparou-se os volumes precipitados e escoados por cada uma das estruturas visando identificar o potencial de redução do volume de água que seria destinado ao sistema de drenagem urbana.

Observou que apesar das alterações na qualidade da água na passagem pelo substrato, a água escoada dos telhados verdes pode ser utilizada em usos menos nobres, como lavagem de pisos e irrigação de jardins. Da comparação dos volumes escoados, verificou-se que os telhados verdes podem contribuir para a redução do escoamento superficial da água de chuva, sendo que os melhores resultados foram obtidos com o emprego da vegetação coroa-de-frade.

2.5.5 Fechamento

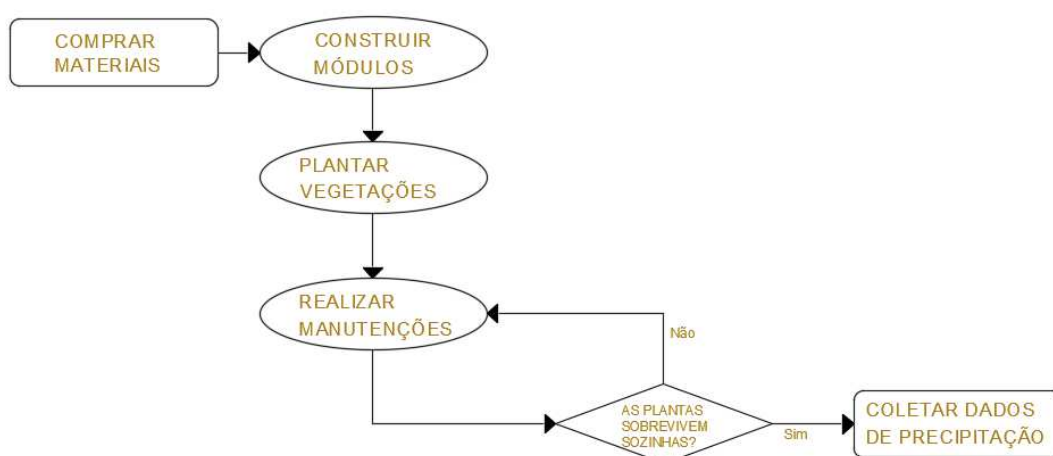
Os estudos analisam diferentes pontos com relação ao telhado verde que são perguntas a serem sanadas para a implantação da cobertura como, custo, vegetação a empregar, espessura e composição do solo, inclinação do telhado, possibilidade de captação para uso, trocar as espécies vegetais sem muito trabalho através de módulos, entre outros. Não só esses estudos como todos os outros que serviram como referência para esse trabalho datam dos últimos 10 anos, no qual, cada vez mais a preocupação com a sustentabilidade e com os problemas urbanos só cresce.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa teve caráter experimental e buscou avaliar, de forma comparativa, o desempenho de telhados verdes com relação a capacidade de retenção da água da chuva variando-se o tipo de espécie vegetal.

A Figura 12 apresenta um fluxograma das etapas realizadas para obtenção do resultado.

Figura 12 – Fluxograma de etapas realizadas.



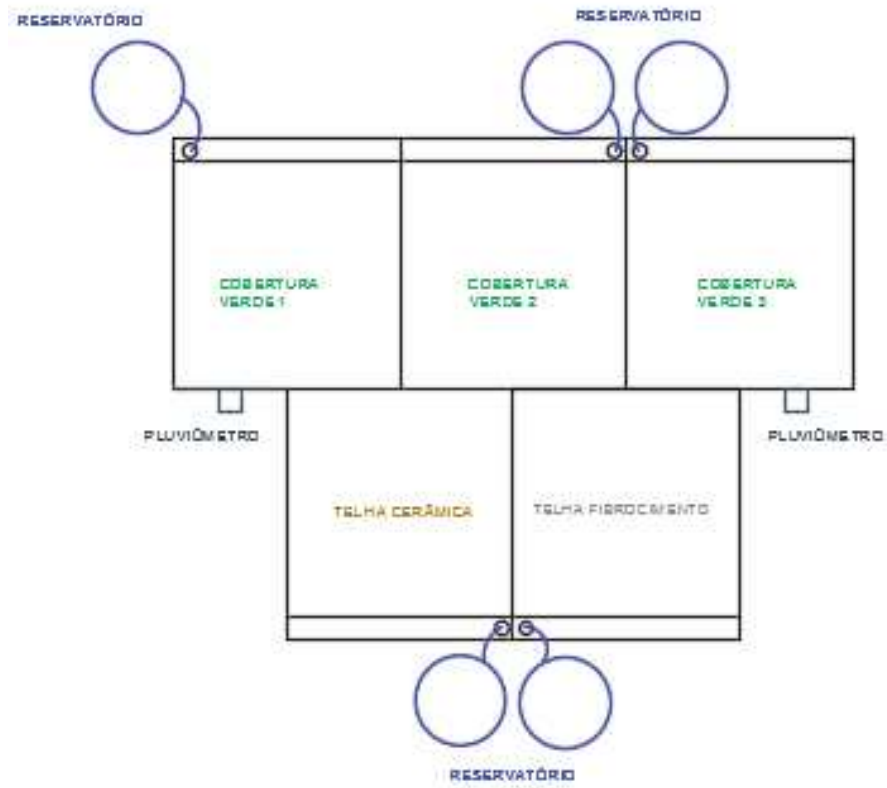
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

3.1 PROJETO DOS MÓDULOS

A análise foi feita no *campus* da UTFPR de Toledo com 3 protótipos de telhados verdes, nos quais, todas as espécies eram diferentes e; outros 2 protótipos simulando coberturas tradicionais, cobertura de telha cerâmica e cobertura de telha de fibrocimento.

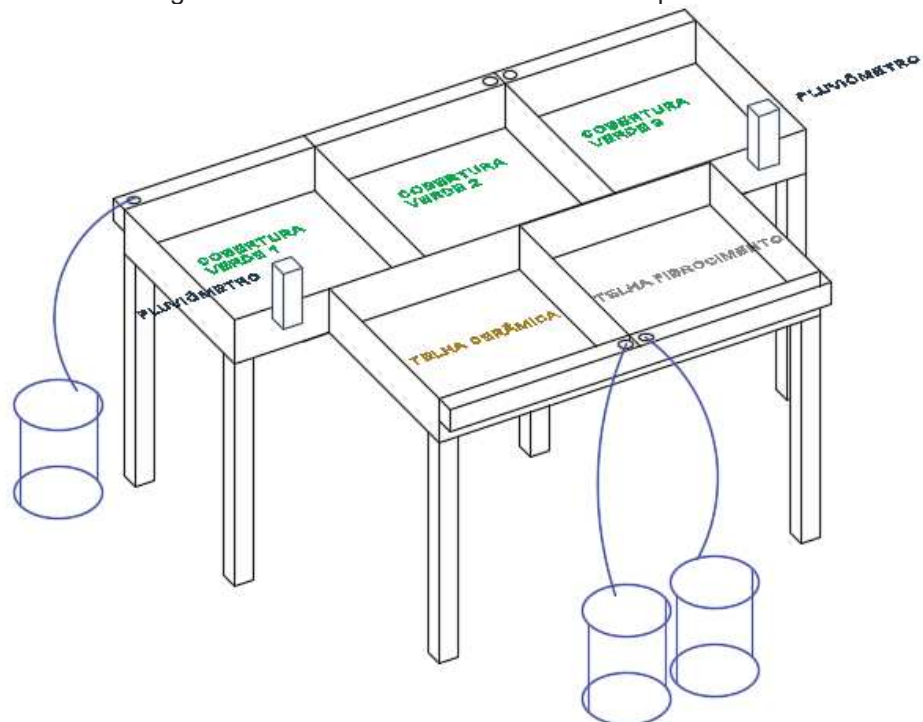
Os protótipos foram locados, lado a lado, em uma mesma estrutura para que tivessem as mesmas condições climáticas conforme exposto nas Figuras 13, 14 e no Anexo.

Figura 13 – Planta do Experimento.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 14 – Detalhamento isométrico do experimento.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

3.2 MONTAGEM DOS TELHADOS

3.2.1 Telhados Verdes

Para a montagem da estrutura optou-se por caibros de madeira de eucalipto tratado com 10cm de diâmetro para a função de pilares e fundação. Foram escavados 8 pontos à trado, com aproximadamente 80 cm de profundidade. Os caibros foram posicionados à prumo e, então, preenchida a fundação pouco a pouco com o solo escavado, fazendo a compactação de cada camada até o topo.

A base do sistema, vigamento e laterais da caixa que funciona como telhado foi feita em tábuas de madeira de pinus com 1 polegada de espessura (2,54cm).

Tanto o eucalipto como o pinus, são madeiras de reflorestamento, adequando ao sistema uma característica de estrutura também sustentável.

O sistema foi executado com uma inclinação de 2% no sentido transversal do mesmo. As peças foram cortadas e pregadas no local.

A drenagem de cada módulo foi realizada de forma independente, no qual na parte mais baixa do telhado, possuía uma abertura de 2 cm, isolada com tela de metálica para que a argila expandida não saísse do sistema. Anexada à abertura, colocou-se uma calha, feita exatamente para o tamanho do módulo, com uma saída na parte inferior de uma das extremidades. Nesta, foi acoplado um tubo de PVC de 40 mm que conduziria o volume excedente da precipitação para o reservatório de 50 litros.

Posteriormente, colocou-se a manta de polietileno de alta densidade grampeando-a na parte externa e inferior da estrutura para não possibilitar vazamentos pelos grampos. A manta cumpre a função de conter as raízes das plantas e ainda isola o sistema estrutural quanto ao escoamento da água.

Após a montagem da estrutura, para verificar a instalação da drenagem, despejou-se um certo volume de água, observando-se a direção de escoamento no módulo, na calha e no tubo e, foi verificado também se havia vazamentos.

Sobre a manta de polietileno, colocou-se uma camada de argila expandida com espessura de 3 cm. Optou-se pela argila expandida devido ao seu peso específico ser inferior aos sugeridos por autores, por sua atenuada absorção de água que auxilia a vegetação num período de estiagem e pelo formato arredondado que diminui as chances de ruptura da manta de polietileno.

Acima da camada de drenagem, colocou-se uma manta geotêxtil *Bidim*, comumente utilizada nos serviços de jardinagem para conter o substrato, mas possibilitar a passagem de água para a camada drenante.

A camada de substrato foi realizada com um composto de turfa (20%), vermiculita (5%), casca de arroz (40%) e terra enriquecida com húmus (35%) nos três módulos. Essa composição foi sugerida por Muller (2014), por ser a composição que apresenta maior retenção de água da chuva. O composto foi colocado nos módulos com 10cm para caracterizar um telhado verde tipo extensivo.

Por último, realizou-se o plantio das espécies vegetais escolhidas para o experimento. Todas as plantas escolhidas são do tipo perene, tendo um ciclo de vida longo e não perdendo suas folhas durante certa época do ano, característica fundamental para reduzir manutenções.

No primeiro módulo (Figura 15) colocou-se grama esmeralda, muito aplicada nos jardins da região, resistente a intempéries, de crescimento mais lento que outras espécies de grama e por possuir uma grameira no município com fácil disponibilidade.

Figura 15 – Módulo de grama.



Fonte: A autora (2018).

O segundo módulo (Figura 16) foi preenchido com algumas espécies de *Sedum*, na maioria do *Sedum morganianum* popularmente conhecido como rabo-de-burro ou dedinho-de-moça, mas também completados com *Sedum adolphii* e *Sedum pacghyplyllum*. As plantas suculentas têm como principal característica a alta resistência ao estresse hídrico, importante para reduzir a manutenção dos telhados, conseguem absorver grandes quantidades de água em suas folhas e caules. Além

disso, de forma lenta, realizam o fechamento do solo pois, espalham novas mudas através de uma folha ou pedaço de caule.

Figura 16 – Módulo de Suculentas.



Fonte: A autora (2018).

No terceiro módulo, foi escolhido a *Callisia repens* (Figura 17) conhecida popularmente por dinheiro em penca. É uma planta rasteira, herbácea e de pequeno porte. Apresenta folhagem densa e caule ramificado, filamentososo e comprido que proporciona o rápido espalhamento. De acordo com Savi (2015), é frequentemente cultivada como forração e, quando cultivada em meia sombra, suas folhas apresentam coloração esverdeada, quando cultivadas ao sol apresentam folhas menores, adensadas e com coloração arroxeada.

Figura 17 – Módulo de Dinheiro em penca.



Fonte: A autora (2018).

Dessa forma, com essas vegetações, tem-se espécies com características adequadas para o plantio em telhados verdes do tipo extensivo, mas distintas quanto ao porte, fechamento do solo e estrutura.

O plantio foi realizado no dia 2 de abril de 2018, porém devido ao baixo fechamento do solo das suculentas e do dinheiro em penca, foram adicionadas mais plantas nos módulos no dia 16 de abril de 2018.

Nas Figuras 18, 19 e 20 estão apresentados os módulos após o desenvolvimento das plantas:

Figura 18 – Módulo de grama após o desenvolvimento.



Fonte: A autora (2018).

Figura 19 – Módulo de Suculentas após o desenvolvimento.



Fonte: A autora (2018).

Figura 20 – Módulo de Dinheiro em Penca após o desenvolvimento.



Fonte: A autora (2018).

As manutenções nos módulos foram realizadas somente no primeiro mês após o plantio.

3.2.2 Telhados convencionais

Nos módulos de coberturas tradicionais não foram feitas a estrutura da mesma forma que nos telhados verdes. Neste, colocou-se apenas ripas que fizeram o apoio das telhas e as mesmas conduziam a água diretamente para uma calha instalada da mesma forma que nos telhados verdes e direcionando para um reservatório também de 50 litros.

Um dos módulos simulou uma cobertura com telha cerâmica do tipo romana com inclinação de 30%.

No outro módulo, instalou-se a cobertura de fibrocimento de 4mm de espessura e inclinação de 15%.

3.3 MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS

Para o monitoramento da precipitação, instalou-se 2 pluviômetros, um em cada lateral do sistema, permitindo determinar o volume total de chuva incidente em cada evento.

As análises foram realizadas nos meses de abril a outubro de 2018 obtendo as medições logo após o término das precipitações.

Para a quantificação do volume captado, utilizou-se uma proveta com medições de até 1 litro para se ter valores precisos da quantidade de água escoada.

Após cada evento chuvoso, os reservatórios eram esvaziados e posicionados novamente, preparando-se para o próximo evento.

Caso ocorresse uma precipitação maior que a capacidade de volume de armazenamento, o evento seria descartado.

Com os dados de precipitação e volume armazenado, calculou-se o coeficiente de escoamento de cada um dos telhados verificando assim, a eficiência no controle quantitativo do escoamento pluvial.

O coeficiente de escoamento superficial reflete a capacidade do telhado verde em reter o escoamento. Baixos valores indicam que uma parcela de chuva fica retida no telhado (alta eficiência), enquanto valores elevados demonstram que praticamente toda a precipitação é escoada (baixa eficiência) (TASSI *et al.*, 2013). Pode ser definido conforme a equação 1:

$$C = \frac{V_{esc}}{V_p} \quad (1)$$

Onde:

C é o coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

V_{esc} é o volume escoado superficialmente e armazenado nos reservatórios, em litros;

V_p é o volume precipitado em litros, definido pelos pluviômetros para cada metro quadrado.

4 RESULTADOS

Dos dados de precipitação obtidos nos dois pluviômetros foi utilizado o valor médio entre eles e os dados de armazenamento do volume escoado em cada protótipo de telhado estão apresentados na tabela 1:

Tabela 1 – Volumes escoados em litros por metro quadrado

| DATA | PRECIPITAÇÃO (mm) | VOLUMES ESCOADOS (L/m ²) | | | | |
|--------|----------------------|--------------------------------------|------------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| | | GRAMA | SUCULENTAS | DINHEIRO EM PENCA | TELHA CERÂMICA | TELHA FIBROCIMENTO |
| 13/abr | 13 | 7 | | | 11,46 | 12,42 |
| 15/mai | 34 | 21,15 | 20 | 16,9 | 16,31 | 23,47 |
| 18/mai | 42 | 33,4 | 36,6 | 27,8 | 32,04 | 34,00 |
| 12/jun | 30 | 19,6 | 18 | 13,2 | 20,39 | 22,00 |
| 29/jun | 27 | 18,24 | 18,4 | 14,9 | 20,44 | 23,16 |
| 03/ago | 55 | 25,5 | 36,5 | 27,4 | | |
| 08/ago | 42 | 26,5 | 31,5 | 23,1 | 31,75 | 39,37 |
| 01/set | 88 | 45,9 | | 45,2 | | |
| 15/set | 33 | 12,2 | 16,7 | 15,4 | 25,44 | 31,05 |

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

No primeiro evento, dos telhados verdes só foi analisada a grama pois, ainda foram adicionadas mais mudas de suculentas e dinheiro em penca.

Nos dias 3 de agosto e 1 de setembro houve transbordo de alguns reservatórios e por isso, não puderam ser quantificados.

Com os dados de precipitação e volume, calculou-se o coeficiente de escoamento em cada um dos telhados, apresentados na tabela 2:

Tabela 2 – Coeficiente de escoamento dos telhados

| COEFICIENTE DE ESCOAMENTO (c) | | | | | |
|--------------------------------------|-------|------------|-------------------|----------------|--------------------|
| DATA | GRAMA | SUCULENTAS | DINHEIRO EM PENCA | TELHA CERAMICA | TELHA FIBROCIMENTO |
| 13/abr | 0,54 | | | 0,88 | 0,96 |
| 15/mai | 0,62 | 0,59 | 0,50 | 0,48 | 0,69 |
| 18/mai | 0,80 | 0,87 | 0,66 | 0,76 | 0,81 |
| 12/jun | 0,65 | 0,60 | 0,44 | 0,68 | 0,73 |
| 29/jun | 0,61 | 0,61 | 0,50 | 0,68 | 0,77 |
| 03/ago | 0,46 | 0,66 | 0,50 | | |
| 08/ago | 0,63 | 0,75 | 0,55 | 0,76 | 0,94 |
| 01/set | 0,52 | | 0,51 | | |
| 15/set | 0,37 | 0,51 | 0,47 | 0,77 | 0,94 |

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Precipitações de menor volume apresentaram, conforme a tabela 2, maior capacidade de retenção da água da chuva. Alguns valores fora deste padrão podem ser explicados pela intensidade da precipitação.

Como por exemplo, em ambos os telhados convencionais, no dia 15 de maio observou-se baixos coeficientes (0,48 para telha cerâmica e 0,69 para telha de fibrocimento) quando comparados com os outros eventos, nesse dia, a precipitação pode ter sido de alta intensidade e feito com que o volume escoado na calha transbordasse e não fosse direcionado para o reservatório.

Houve precipitações de 10 e 17mm nas quais os reservatórios dos telhados verdes ficaram vazios havendo retenção de 100% do volume precipitado. Tais eventos foram descartados do cálculo do coeficiente de escoamento por apresentarem característica de apenas irrigação do solo, não havendo escoamento superficial.

Desta forma, os telhados verdes variaram de 100 a 13% de retenção do volume, dependendo do índice pluviométrico, intensidade da chuva e, se houve precipitação próxima anteriormente.

Os resultados obtidos a partir do monitoramento mostram que, com relação aos aspectos quantitativos, o telhado verde conseguiu reduzir o escoamento pluvial

quando comparado ao telhado convencional em até 57% quando no dia 15 de setembro o telhado de fibrocimento apresentou um coeficiente de 0,94 e o telhado com grama de 0,37.

A tabela 3 apresenta a estatística dos dados coletados onde o telhado com grama teve um coeficiente médio de 0,58, as suculentas de 0,66 e dinheiro em penca de 0,52. De acordo com Savi (2015), as plantas apresentam uma retenção próxima a 50%.

Possivelmente as suculentas apresentaram menor retenção devido à não totalidade de fechamento do solo e por não terem sofrido estresse hídrico, tendo suas folhas cheias de água e, assim, absorvendo menor quantidade.

Tabela 3 – Estatística dos dados

| | GRAMA | SUCULENTAS | DINHEIRO EM PENCA | TELHA CERAMICA | TELHA FIBROCIMENTO |
|-------------------|-------|------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|
| MÉDIA DOS COEF. | 0,58 | 0,66 | 0,52 | 0,72 | 0,83 |
| DESVIO PADRÃO | 0,122 | 0,121 | 0,067 | 0,124 | 0,110 |
| COEF. DE VARIAÇÃO | 0,212 | 0,184 | 0,131 | 0,173 | 0,131 |

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

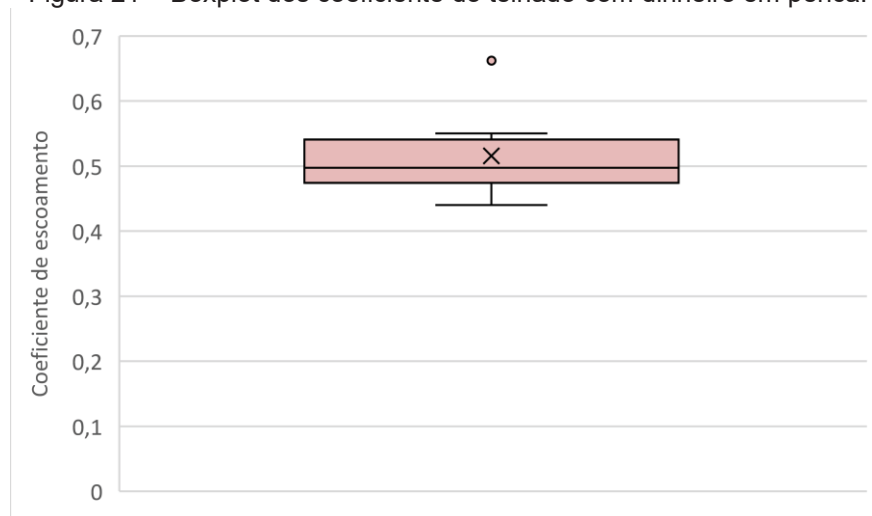
Baldessar (2012) verificou em seu estudo que a telha cerâmica reteve 22,7%, portanto, seu coeficiente de escoamento seria 0,773. A telha cerâmica no atual estudo apresentou um coeficiente médio de 0,72. Por ser telha nova e ter seus poros abertos, a telha cerâmica segundo Savi (2015), tem-se uma certa absorção, o qual, a longo prazo elevaria o escoamento e aumentaria o coeficiente.

Já a telha de fibrocimento apresentou um valor médio de 0,83, com baixa absorção e retenção da água precipitada. No estudo de Castro e Galvão (2015) o coeficiente de escoamento encontrado para uma inclinação da telha em 17% foi de 0,87 equiparando-se ao valor encontrado pois, quanto maior a inclinação, maior o coeficiente de escoamento.

Em uma média dos 3 telhados verdes, 42% do volume total de chuva que incidiu no telhado verde foi retido, contra 22% do telhado convencional.

O desvio padrão de quase todos os telhados ficou em torno dos 12%, exceto no telhado com dinheiro em penca, o qual apresentou alta precisão dos dados com um desvio de apenas 6% podendo ser observado com mais clareza no boxplot apresentado na Figura 21 onde este é achatado:

Figura 21 – Boxplot dos coeficiente do telhado com dinheiro em penca.

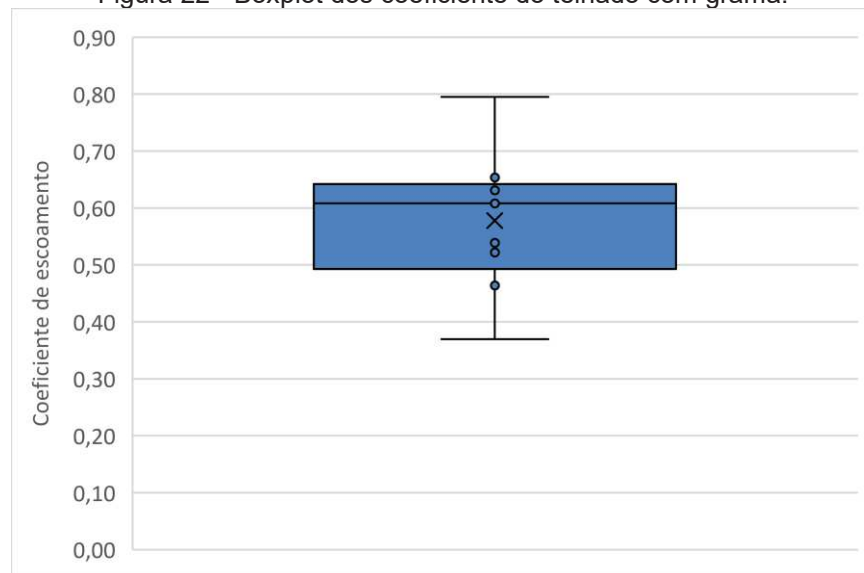


Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Esse boxplot apresentou apenas um valor discrepante e valores levemente assimétricos positivamente.

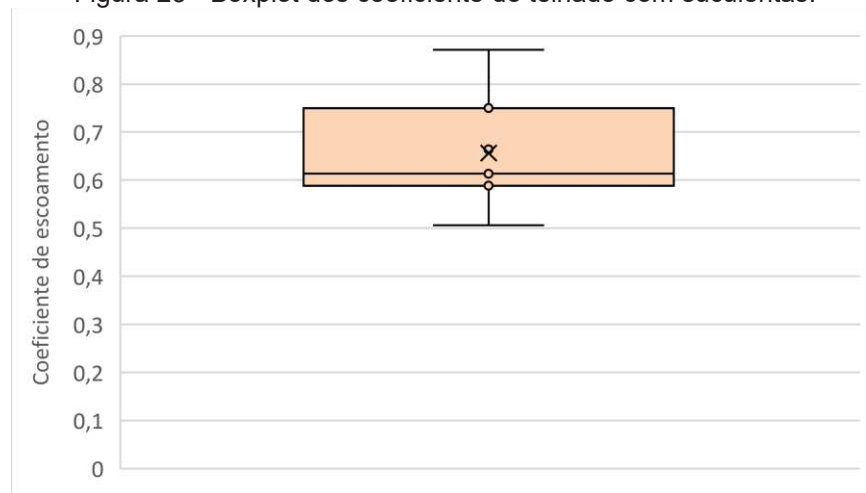
Já as Figuras 22 e 23, os boxplots não apresentaram valores discrepantes além dos limites, superior e inferior.

Figura 22 - Boxplot dos coeficiente do telhado com grama.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 23 - Boxplot dos coeficiente do telhado com suculentas.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Entretanto, os dados são mais espaçados e apresentam uma assimetria bem próxima de zero.

5 CONCLUSÃO

A análise da capacidade de retenção da água da chuva por telhados verdes demonstrou que não há grande variação do coeficiente de escoamento entre as espécies de plantas, apenas quando comparadas com os telhados convencionais, entretanto, o módulo com a espécie de dinheiro em penca apresentou menor coeficiente de escoamento, representando uma maior retenção da água da chuva em 48%. Essa maior retenção no módulo da variedade dinheiro em penca pode estar associada ao maior fechamento do solo com folhas e raízes.

Quando comparado com os telhados de cerâmica e fibrocimento, em uma média dos 3 telhados verdes, 42% do volume total de chuva que incidiu no telhado verde foi retido, contra 22% do telhado convencional.

Conclui-se assim, que os telhados verdes têm capacidade de reter certa quantidade de água em precipitações quando comparados com os telhados convencionais e a cobertura verde que apresentou maiores vantagens foi a grama pois, difere-se inferiormente em apenas 6% do dinheiro em penca, mas o custo para sua implementação é menor e as manutenções de poda são menos frequentes, apresentando uma boa relação custo-benefício.

REFERÊNCIAS

ALAMY FILHO, J. E.; MANNA, I. B. C. B.; MELO, N. A.; CAIXETA, A. C. M. **Eficiência hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos residenciais**. Soc. & Nat, p. 257-272. Uberlândia. 2016.

BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Monografia (Especialização em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BARBOSA, V. **McDonald's em Singapura ganha telhado verde**. São Paulo. 2014. Disponível em: < <https://exame.abril.com.br/negocios/mcdonald-s-em-singapura-ganha-telhado-verde/#>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

BONSAI EMPIRE. **Solo de Bonsai: Misturas recomendadas**. [S.I.]. 2017. Disponível em: <<https://www.bonsaiempire.com.br/basico/cuidados/avancadas/solo-bonsai>>. Acesso em 15 set. 2017.

CARMOSA. **Telhados verdes**. [S.I.]. 2009. Disponível em: < http://obviousmag.org/archives/2009/06/telhados_verdes.html>. Acesso em: 23 ago. 2017.

CARVALHO, D.; MELLO, J.; SILVA, L. **Hidrologia**. Irrigação e Drenagem. [S.I.]. 2007.

CASTRO, A. S., GOLDENFUM, J. A. **Uso de telhados verdes no controle qualitativo do escoamento superficial urbano**. Atitude, Construindo Oportunidades: revista de divulgação científica da Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre. Porto Alegre, v. 4, n. 7, p. 75-81, 2010.

CASTRO, C. F.; GALVÃO, C. O. **Escoamento da água da chuva em telha de fibrocimento sob diferentes inclinações**. In: XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. Campina Grande. 2015.

ENGENHEIRO NA WEB. **Como montar um telhado verde?**. São Paulo. 2017. Disponível em: <<https://engenheironaweb.com/2017/07/29/como-montar-um-telhado-verde/>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

FARIAS, M. M. **Aproveitamento de águas de chuva por telhados:** Aspectos quantitativos e qualitativos. Monografia (Especialização em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.

FERREIRA, M. F. **Teto verde:** O uso de coberturas vegetais em edificações. Departamento de Artes & Design. Rio de Janeiro. 2007.

FERREIRA, C. A.; MORUZZI, R. B. **Considerações sobre a aplicação do telhado verde para a captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não-potáveis.** In: IV ENCONTRO NACIONAL; II ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS. p. 1027-1036. São Paulo. 2007.

GONÇALVES, A. **Telhado Verde: Um diferencial que vale a pena.** [S.I.]. 2015. Disponível em: <<http://www.homedecore.com.br/telhado-verde-um-diferencial-que-vale-a-pena/>>. Acesso em 17 de out. 2017.

HENEINE, M. C.; **Coberturas Verdes.** Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

IBGE, **Cidades:** Toledo. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=412770&search=parana|toledo|infograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em 17 out. 2017.

LANASA, K. **Tipos de plantas xerófitas.** [S.I.]. 2017. Disponível em: <<http://datoonz.com/2017/04/23/tipos-de-plantas-xerofitas/>>. Acesso em 15 set. 2017.

LEROY MERLIM, **Argila Expandida.** [S.I.]. 2017. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/argila-expandida-20kg_87328570>. Acesso em: 15 set. 2017.

LOSCHIAVO, R. **O que é e como fazer um telhado verde.** [S.I.]. 2013. Disponível em: <<https://rafaelloschiavo.com/2013/10/03/como-fazer-e-o-que-e-um-telhado-verde/>>. Acesso em: 18 set. 2017.

MENDONÇA, T. N. **Telhado verde extensivo em pré-moldado de concreto EVA (Acetato Etil Vinila)**. Monografia (Especialização em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

MILLER, A. P. **Análise do comportamento de substrato para retenção de água pluvial para coberturas verdes em Curitiba – PR**. Monografia (Especialização em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MINAS GRAMADOS. **Vermiculita**. [S.l.]. 2017. Disponível em: < <http://gramados.net/Loja/produto/vermiculita-12-kg/>>. Acesso em 15 set. 2017.

MORAES, M. F. **Telhados Verdes: Uma análise Comparativa de Custos e vantagens em relação aos telhados convencionais**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

O AZULEJISTA. **Telhado verde ou ecológico! Saiba o que é!**. [S. l.]. 2015. Disponível em: < <https://oazulejista.blogspot.com.br/2015/06/telhado-verde-ou-ecologicos saiba-o-que-e.html#ixzz3e6vv3ySu&i> >. Acesso em: 15 set. 2017.

OHNUMA JÚNIOR, A. A.; HALASZ, M. R. T.; MENDIONDO, E. M. **Monitoramento das águas subsuperficiais em telhados verdes como medida sustentável de combate à poluição hídrica**. In: VI ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS. Vitória. 2011.

PEREIRA, P. G. G.; VIAIS NETO, D. S.; CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A. **Análise financeira e ambiental para a instalação de telhado verde no ambiente construído a partir do projeto casa PET**. Periódico Técnico e Científico, Cidades Verdes, v.03, n.04, p. 70-84, 2015.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. O. **Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva**. Ambiente construído, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 79-90, abr./jun. 2014.

SANTA CATARINA (Estado), **Lei Ordinária nº 14243**. Florianópolis. 2007.

SAVI, A. S. **Telhados verdes:** Uma análise da influência das espécies vegetais no seu desempenho na cidade de Curitiba. Monografia (Especialização em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SILVA, T. F.; PAIVA, A. L. R.; SANTOS, S. M. **Capacidade de retenção de água em um telhado verde:** Estudo de caso em Caruaru. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Brasília. 2015.

SOLUÇÕES INDÚSTRIAS. **Qual é a função do geotêxtil?**. [S.l.]. 2017. Disponível em: <

http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/instalacoes_e_equipamento_industrial/tecnoplas/produtos/instalacoes-e-equipamentos-industriais/geotextil-drenante>.

Acesso em: 15 set. 2017.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. 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.

ANEXO

