



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Tecnologia



RAFAELA GIANINI NOGUEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso

**Implementação e desempenho dos telhados verdes na retenção de águas pluviais
Estudo de caso de uma área industrial no município de Limeira - SP**

Orientador
Felippe Benavente Canteras

Coorientador
Ronaldton Evandro Machado

LIMEIRA
2019

RAFAELA GIANINI NOGUEIRA

**Implementação e desempenho dos telhados verdes na retenção de águas pluviais
Estudo de caso de uma área industrial no município de Limeira - SP**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Tecnologia
da Universidade Estadual de Campinas,
como requisito parcial para a obtenção do
título de Engenharia Ambiental.

Orientador: FELIPPE BENAVENTE CANTERAS

Coorientador: RONALTON EVANDRO MACHADO

**LIMEIRA
2019**

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais queridos Sandra e Fernando, por todas as oportunidades que me proporcionaram e todo incentivo que sempre me deram. Gratidão por todo amor incondicional.

Agradeço ao meu companheiro de vida, Pedro Henrique, por todo o amor, dedicação e apoio nesses anos, você me inspira a ser melhor todos os dias.

Agradeço aos meus amigos que estiveram presentes no decorrer da faculdade e em especial a minha amiga Priscila, que em todos os momentos esteve comigo. Sou grata por todas as palavras e risadas sinceras.

Ao meu professor orientador Felipe e coorientador Ronalton, agradeço por toda paciência, disposição e auxílio necessário durante a elaboração desse projeto.

Obrigada também ao Gustavo pela colaboração no processo de obtenção de dados.

RESUMO

O processo de urbanização faz com que áreas verdes sejam cada vez menores, agravando problemas comumente encontrados atualmente, como enchentes e inundações. Assim, é importante a busca por novas alternativas que minimizem esses impactos negativos. Uma das técnicas que podem ser utilizadas é a implantação de telhados verdes, que são a cobertura de edificações com vegetação. O objetivo desse estudo é avaliar a retenção de águas pluviais por Telhados Verdes e verificar o impacto de sua implantação na drenagem em uma área industrial no município de Limeira. Para isso, foram realizados estudos em 30 eventos chuvosos em módulos experimentais nos anos de 2018 e 2019, sendo um módulo de telhado convencional para controle, um plantado com a espécie *Hemigraphis alternata* e o outro com a espécie *Chlorophytum comosum*, todos localizados na Faculdade de Tecnologia - FT. Os resultados obtidos a partir dos módulos foram extrapolados a uma área industrial específica da cidade de Limeira localizada no bairro Jardim Nova Limeira, com o auxílio do Software ArcGis para seleção de áreas. O módulo com a planta *Chlorophytum comosum* apresentou média de retenção 58,7% %, e enquanto a *Hemigraphis alternata* reteve 59,3% do volume total escoado pelo telhado convencional. Um dos principais fatores que influenciam na capacidade de retenção é o volume das chuvas; quando o volume precipitado é baixo, o desempenho dos telhados verdes é melhor, aumentando a retenção. Observando os resultados obtidos, é possível concluir que os telhados verdes podem ser uma alternativa sustentável para implementação em áreas industriais para redução do escoamento superficial de águas pluviais e viável já que sua retenção média é de 60%, podendo reduzir de forma significativa o escoamento de águas pluviais na região industrial de Limeira.

Palavras-chave: Telhados verdes, retenção de águas pluviais, escoamento superficial.

Abstract

The process of urbanization makes green areas smaller, aggravating problems commonly encountered today, such as floods. Thus, it is important to search for new alternatives that minimize these negative impacts. One of the techniques that can be used is the implantation of green roofs, which are the cover of buildings with vegetation. The objective of this study is to evaluate the retention of rainwater by Green Roofs and to verify the impact of its implementation in the drainage of an industrial area in the city of Limeira. For this, studies were conducted on 30 rain events in experimental modules in 2018 and 2019, one conventional roof module for control, one planted with the species *Hemigraphis alternata* and the other with the species *Chlorophytum comosum*, all located at the School of Technology (FT – Unicamp). The results obtained from the modules were extrapolated to a specific industrial area of the city of Limeira located in the Jardim Nova Limeira neighborhood, with the help of ArcGis Software for area selection. The module with the *Chlorophytum comosum* plant presented retention average 58.7%, while *Hemigraphis alternata* retained 59.3% of the total volume drained by the conventional roof. One of the main factors influencing retention capacity is rainfall volume; When the precipitated volume is low, the performance of green roofs is better, increasing retention. Looking at the results obtained, it can be concluded that green roofs can be a sustainable alternative for implementation in industrial areas to reduce stormwater runoff and viable since their average retention is 60% and can significantly reduce runoff. rainwater in the industrial region of Limeira.

Keywords: Green roofs, rainwater retention, runoff.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características de cada tipo de telhado verde.....	6
Tabela 2: Tamanho da cobertura verde de Toronto.	10
Tabela 3: Dados pluviométricos mensais dos últimos 4 anos da cidade de Limeira - SP	18
Tabela 4: Especificações dos sensores ultrassônicos.....	24
Tabela 5: Amostras, alturas precipitadas nas datas e volumes escoados nos reservatórios.	26
Tabela 6: Relação entre volumes precipitados e porcentagens médias de retenção.	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de Sod house	5
Figura 2: Exemplos de cobertura intensiva (esquerda) e extensiva (direita).	6
Figura 3: Representação de um modelo de cobertura verde e sua possível composição.	7
Figura 4: Comparação do escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração em telhados.	16
Figura 5: Local escolhido para criação de cenários	19
Figura 6: Módulos construídos	20
Figura 7: Telhados verdes com <i>Chlorophytum Comosum</i> (a) e <i>Hemigraphis Alternata</i> (b).	21
Figura 8: Camada de drenagem, com argila expandida.	21
Figura 9: Reservatório de armazenagem de água.	22
Figura 10: Sensor ultrassônico.....	24
Figura 11: Sensores ultrassônicos instalados nos reservatórios.	24
Figura 12: Arduino UNO.	25
Figura 13: Diagrama da transferência dos dados dos sensores até o banco de dados.	25
Figura 14: Percentuais retidos nos telhados verdes, em relação ao telhado controle.	28
Figura 15: Distância entre o sensor e o nível de água no módulo controle.	32
Figura 16: Distância entre o sensor e o nível de água no módulo de telhados verdes.	32
Figura 17: Volumes Escoados (L) x Tempo (min).	33
Figura 18: Área total e área dos telhados	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	4
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Telhado verde	5
3.1.1. Composição.....	7
3.2. Políticas Públicas Ambientais relacionadas.....	8
3.2.1. Âmbito internacional	9
3.2.2. Âmbito Nacional	10
3.3. Desafios e Limitações	12
3.4. Benefícios	13
3.5. Drenagem urbana	15
3.6. Retenção de águas pluviais	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1. Área de estudo.....	17
4.2. Construção dos módulos.....	20
4.3. Cálculo para área dos telhados	22
4.4. Coleta de dados	23
4.4.1. Medição manual	23
4.4.2. Medição por sensores	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
5.1. Desempenho dos telhados na retenção de água pluviais.....	26
5.2. Utilização dos sensores e velocidade de escoamento.....	31
5.3. Área dos telhados	34
5.4. Aplicação dos cenários hipotéticos.....	35
6. CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

A intensificação do processo de industrialização proporcionou o acelerado desenvolvimento da urbanização, o que levou ao êxodo rural e a inevitável instalação da grande quantidade de indústrias, além de comércios, automóveis e habitantes nas cidades (CARDOSO, SANTOS e CARNIELLO, 2011). O IBGE aponta que em 2010 a taxa de urbanização no Brasil foi de 84,36%, a qual possui uma tendência de aumento, o que é preocupante diante de um cenário desordenado e pode causar uma série de problemas sociais e ambientais (IBGE, 2010), como poluição do ar, das águas e impermeabilização do solo pelo asfaltamento (SPOSITO, 2001).

A drenagem urbana, definida como o gerenciamento das águas da chuva, foi por muitos anos tratada como um assunto secundário, assim como alternativas para o controle de inundações iniciaram-se os processos de canalizações para aumentar a capacidade de vazão de córregos e a implantação de grandes sistemas de galerias para o direcionamento dos cursos d'água (CANHOLI, 2014). Com o tempo constatou-se que essas soluções eram pontuais, visto que se realiza apenas uma transferência de vazões em que a água é escoada para outras regiões e as inundações intensificam-se à jusante, ou seja, transfere o problema para outras áreas. Esses sistemas estão ainda atrelados à degradação da qualidade da água (POMPÊO, 2000).

Percebe-se então, que manter o solo drenando água se torna um desafio, que se choca com a necessidade de construção de asfaltos e calçadas. Assim, a busca por alternativas que possuam visão sustentável, associando o contínuo desenvolvimento urbano com os ciclos naturais da água, e como resultado minimizem o escoamento superficial da água e seu impacto nas grandes áreas impermeáveis, se faz necessária.

Uma das alternativas, seria o uso de telhados verdes, que consiste na inserção de vegetação sobre coberturas de áreas construídas. Para cumprir as funções construtivas e biológicas o sistema deve ser elaborado seguindo normas e possuir camadas mínimas, que são: solo, camada de filtragem, proteção contra raízes e camada impermeabilizante. Porém, existem diversas formas construtivas para telhados verdes, podendo ser mais simples ou mais complexos (MENDES, 2013).

Existem várias vantagens decorrentes da implantação dos telhados verdes, como por exemplo, a melhora da qualidade do ar, o combate ao efeito estufa

(absorção de CO₂ pela vegetação), aumento da biodiversidade local e conforto acústico e estético. Além dessas, estudos apontam que o maior benefício dos telhados verdes está ligado à sua capacidade de diminuir os efeitos de radiação proporcionando conforto térmico aos usuários das edificações além de gerar economia energética, pois como o telhado verde é um ótimo isolante térmico, diminui e até dispensa a utilização de ar condicionado em ambientes internos. Além de conforto térmico interno às edificações, os telhados verdes possuem a capacidade de diminuir os efeitos de ilhas de calor em grandes cidades (MORAES, 2013; BALDESSAR, 2012).

Uma das principais vantagens é ainda a contribuição para a retenção de águas pluviais e influência no sistema de drenagem urbana. A água retida é evaporada ou evapotranspirada causando a redução no escoamento dos telhados, diminuindo a carga d'água das canalizações urbanas e, conseqüentemente, o risco de enchentes nas cidades (MORAES, 2013).

O interesse nessa alternativa tem crescido nos países, e tem potencial de introduzir espaços verdes em áreas urbanas e centros, os quais hoje são limitados ou simplesmente não existem. O modelo desenvolvido e implementado depende das diferentes localidades e de seu propósito (BERNDTSSON, 2010).

Levando em consideração o cenário apresentado, este trabalho tem como objetivo responder à seguinte questão: Será que implantação de telhados verdes em construções industriais convencionais apresenta resultados significativos a ponto de contribuir para a drenagem urbana e prevenir enchentes e inundações?

Os telhados verdes podem ser uma boa opção para implantação em cidades bastante industrializadas como Limeira. As atividades industriais tiveram início no município a partir do início do século XIX com a produção de bens de consumo e máquinas agrícolas, mostrando a predominância da agricultura na região, principalmente do cultivo de laranja, que propiciou o surgimento de diversas fábricas que produziam suco de cítricos. Por volta de 1943, começaram a surgir indústrias de joias, que ainda hoje é uma das principais atividades da cidade (AZEVEDO, 2008).

A industrialização na maioria do Brasil contou com o investimento externo e assim se deu também a instalação de grandes indústrias estrangeiras, que foi o que aconteceu em Limeira, fortalecendo as atividades já existentes no município. A cidade é privilegiada em relação ao desenvolvimento industrial devido a sua localização perto de grandes rodovias, como a Anhanguera, Washington Luís e a Bandeirantes que

facilita a circulação de produtos. As principais atividades da cidade hoje são metalúrgica, mecânica, alimentícias, joias, papel e papelão (AZEVEDO, 2008).

Para o desenvolvimento dessa questão serão realizadas análises estatísticas dos dados coletados nos módulos dos telhados verdes construídos na Faculdade de Tecnologia da Unicamp – Limeira/SP, determinando o tempo de escoamento dos diferentes tipos de telhados, um convencional e dois com vegetações distintas, a fim de comparar seu desempenho na retenção de água. Com as análises dos dados, é possível verificar e comprovar os impactos positivos da implantação de telhados verdes em edifícios industriais na drenagem urbana do bairro industrial de Limeira.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da implantação de telhados verdes extensivos no escoamento superficial de águas pluviais em área industrial do município de Limeira - SP.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o volume escoado e retido por coberturas verdes com diferentes espécies vegetais e uma cobertura convencional, comparando quantitativamente os sistemas;
- Realizar avaliação estatística a básica dos dados pluviométricos e das vazões obtidas pelos módulos experimentais, afim de analisar o desempenho dos diferentes módulos.
- Fazer o estudo de caso de uma área industrial no município de Limeira, empregando em escala real os dados obtidos a partir das simulações realizadas nos protótipos/módulos de telhado verde.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Telhado verde

O conceito de telhado verde, também conhecido como eco telhados, telhados vivos, coberturas ecológicas, telhado sustentável entre outros nomes, se dá pela implantação de vegetação sobre coberturas de edificações. (FERREIRA, 2007).

De acordo com Rebollar (2017), desde os primórdios as coberturas verdes eram implementadas de maneiras distintas na sociedade, assim, a camada social mais baixa, utilizava coberturas verdes extensivas com intuito de melhorar o conforto térmico de suas casas, a composição verde era constituída pelas plantas das áreas arredores das cabanas, conhecidas como *Sod house* ou Casas de turfas na Europa, como mostra a Figura 1. Já a alta sociedade além de conforto térmico buscava a visão estética das coberturas verdes (mostrando o poder de sua classe) e produção de alimentos e assim chamavam de coberturas intensivas, que eram implementadas em castelos e mansões.

Figura 1: Exemplo de Sod house.



Fonte: HISOUR, 2019.

De acordo com as pesquisas de Kozmhinsky, Pinheiro e El-Deir (2016), um dos telhados verdes antigos mais famosos é o dos Jardins Suspensos da Babilônia, construídos na Mesopotâmia.

Atualmente, os telhados verdes são classificados em intensivos e extensivos (Figura 2). Os sistemas intensivos são aqueles que necessitam de maiores cuidados com irrigação e manutenção mais frequentes eles são compostos por espécies de vegetação mais densas e maiores como árvores frutíferas. Devido ao grande porte da vegetação é importante que nesse caso sejam utilizadas camadas suporte maiores, o que aumenta o custo e o porte da construção e exige uma maior manutenção. A cobertura extensiva tem como perfil o cultivo de vegetações de pequeno porte como gramíneas e ervas, assim são mais aplicadas, pois podem ser utilizadas camadas suporte menores, que deixam a construção mais barata e não exigem muita manutenção e cuidados regulares (IGRA, 2018; ARANHA, 2016).

Figura 2: Exemplos de cobertura intensiva (esquerda) e extensiva (direita).



Fonte: American Hydrotech Inc., 2018.

As características para cada um dos tipos de telhado verde estão apresentadas na Tabela 1: Características de cada tipo de telhado verde..

Tabela 1: Características de cada tipo de telhado verde.

	Telhado verde intensivo	Telhado verde extensivo
Manutenção	Alta	Baixa
Irrigação	Regularmente	Não
Tipos de plantas	Árvores, arbustos e gramado permanente	Musgo, herbáceas e gramíneas
Altura do sistema	150 - 400 mm	60 - 200 mm
Peso incluindo todas as camadas	180 - 500 kg/m ²	60 - 150 kg/m ²
Custos	Alto	Baixo
Usos	Jardim tipo parque	Proteção ecológica

Fonte: International Green Roof Association (IGRA), 2018.

3.1.1. Composição

A composição dos telhados verdes varia de acordo com a sua estrutura e necessidade, por isso para a sua aplicação é importante serem feitas análises do local em que ele será implantado e ter um planejamento com base nos resultados pretendidos para assim garantir o bom funcionamento do sistema e reduzir custos. Para cumprir as funções construtivas e biológicas o sistema deve ser elaborado seguindo normas e possuir camadas (MENDES, 2013).

Segundo Vieira, Silva Junior e Ribeiro (2015), a composição mais utilizada dispõe das seguintes camadas: suporte estrutural, impermeabilizante, protetora, drenagem, geotêxtil, substrato e por último a camada de vegetação, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Representação de um modelo de cobertura verde e sua possível composição.



Fonte: Adaptado de Vieira, Silva Junior e Ribeiro, 2015.

O tipo de suporte estrutural mais comumente encontrado são as lajes, no entanto o telhado verde é um sistema construtivo que permite composições variadas e pode ser colocado sobre diferentes estruturas e superfícies, de acordo com o Silva (2010), um outro suporte estrutural que pode ser utilizado além da laje é a madeira.

Como camada impermeabilizante, Guerra Junior (2013), mostra que podem ser utilizados materiais de diferentes naturezas, como por exemplo, a aplicação de membranas termoplásticas (PVC) e manta de PEAD como materiais adequados para

a impermeabilização nos telhados. A camada impermeabilizante é indispensável na composição do telhado verde, e tem o intuito de impedir a infiltração de água na laje evitando problemas estruturais e garantindo a durabilidade do edifício.

A camada de drenagem é fundamental para o sistema, ela é a responsável por regular o excesso de água no solo e encaminhar a água para a saída adequada, essa camada pode ser composta por britas, seixos, placas nervuradas de poliestireno expandido, manta geotêxtil, mantas de drenagem, argila expandida, materiais cerâmicos, pedra-pomes, cascalho (LIMA, 2013). Acima dessa camada pode-se colocar um geotêxtil como meio filtrante a fim de reter partículas que possam dificultar a drenagem (OLIVEIRA, 2009).

Por fim são dispostas as camadas de substrato e vegetação sobre o telhado. A camada de substrato é onde se encontram os nutrientes que dão suporte à vegetação escolhida, retendo e absorvendo água, os materiais do substrato variam de acordo com as necessidades da vegetação. Segundo He et al. (2016), esse material deve ser leve e poroso, podendo ser utilizado areia grossa, argila ou algum tipo de fertilizante.

A camada de vegetação deve ser escolhida em função da altura do solo, substrato disponível e do clima local (MARY et al., 2008). De acordo com Silva (2011), outros fatores devem ser levados em consideração para a escolha da vegetação, como a frequência de manutenção que será proporcionada ao sistema, índices pluviométricos, temperatura local, estrutura do telhado e a retenção de água desejada com a vegetação. Essa camada deve ser escolhida com cautela, levando em consideração os objetivos a serem alcançados com a implementação da laje verde.

3.2. Políticas Públicas Ambientais relacionadas

As políticas públicas ambientais são entendidas como um conjunto de ações, objetivos, e diretrizes que os governos (nacionais, estaduais ou municipais) dispõem para alcançar efeitos desejáveis em relação ao meio ambiente, visando os direitos de cidadanias assegurados na Constituição. (BARBIERI, 2004).

Levando em consideração o conceito acima, uma publicação elaborada pela City of Sydney (2014), sobre “Green Roofs and Walls Policy Implementation Plan”, afirma que, para que haja a implementação de telhados e paredes verdes nos municípios é necessário políticas públicas de incentivos financeiros diretos e indiretos,

como subsídios e redução de taxas, respectivamente; normas e regulamentações; e também incentivos intangíveis que são aqueles realizados por meio de pesquisas, educação, programas e orientações técnicas.

3.2.1. Âmbito internacional

No contexto internacional, a Alemanha desde a década de 60 possui políticas públicas ambientais de incentivos financeiros baseado em subsídios para o desenvolvimento de técnicas de construção do telhado verde o que permitiu um relevante crescimento nas taxas de implantação das coberturas. Com isso, cerca de 100 mil hectares, que equivale a mais de 15% de todo o território alemão, contam com telhados verdes (CITY OF SYDNEY, 2014).

Outros países como Suíça, Áustria, Canadá, EUA, Itália, Hungria, Reino Unido, recebem incentivos fiscais ou legais para as suas construções verdes (SANTANA, 2017).

Nos EUA, a Legislação federal conta com a Lei de Política Energética/2005 (PLANT CONNECTION, INC, 2019). Essa lei incentiva à implantação de telhados verdes a partir de créditos fiscais federais de até US\$ 1.80/m² para projetos de construção ecológica que atendem aos padrões da ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) que é uma organização que aposta nas tecnologias sustentáveis para o desenvolvimento do ambiente.

Segundo o Código Municipal de Toronto, a cidade possui a Lei de Telhados Verdes criada em 2010, que discorre sobre a necessidade da implementação de telhados verdes para todos os empreendimentos acima de 2.000 m². Toronto foi a primeira cidade da América do Norte que através da criação da Lei passou a exigir a implantação de coberturas verdes para todos os novos empreendimentos, tanto residenciais quanto industriais, construídos após 31 de janeiro de 2010. As construções dos telhados verdes devem seguir as exigências da Tabela 2 (CÓDIGO MUNICIPAL DE TORONTO, 2017).

Tabela 2: Tamanho da cobertura verde de Toronto.

Área Construída (Tamanho do edifício)	Espaço disponível para o telhado (Tamanho do telhado verde)
2.000 - 4.999 m ²	20%
5.000 - 9.999 m ²	30%
10.000 – 14.999 m ²	40%
15.000 - 19.999 m ²	50%
20.000 m ² ou mais	60%

Fonte: Código Municipal de Toronto, 2017.

3.2.2. Âmbito Nacional

No contexto nacional, podem-se constatar algumas formas de incentivos fiscais e leis que regulamentam a instalação de ecotelhados. Existem algumas legislações estaduais, como por exemplo, a Lei nº 14.243 de 11 de dezembro de 2007, do estado de Santa Catarina que foi pioneiro na criação de leis sobre a implementação de sistemas de natação, que é a colocação de vegetação sobre superfícies, através da criação de telhados verdes em espaços urbanos da cidade (SANTA CATARINA, 2007).

Existe também a lei estadual de nº 634 de novembro de 2012, do Rio de Janeiro que dispõe sobre a instalação obrigatória de telhados verdes nos locais especificados na Lei, como em prédios públicos, autarquias e fundações do Estado do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2012).

O país também conta com algumas leis municipais como a Lei nº 090/2013 de Niterói (Rio de Janeiro), que é um Projeto de Lei que especifica a implantação de telhados verdes em todos os tipos de empreendimentos que tiverem mais de três andares agrupados verticalmente (RANGEL, ARANHA e SILVA, 2015).

A cidade de São Paulo aprovou em 2015 a Lei 16.277/2015, que contava com a criação do projeto “Programa Telhado Verde”, que estabelecia a obrigatoriedade da instalação de telhado verde em locais específicos como em projetos de condomínios edificadas, residenciais ou não, com mais de três unidades agrupadas (SÃO PAULO, 2015a). No entanto no mesmo ano de 2015 o prefeito da cidade vetou a obrigatoriedade da Lei e publicou as Razões de Veto, nas quais menciona que lei acabaria atingindo também construções de baixo padrão ou de pequena área e isso

aumentaria muito o custo dessas obras, pois haveria a necessidade de se fazer sistema de impermeabilização, reforço da estrutura para suportar o peso da vegetação juntamente com o peso da água da chuva, além da manutenção e disse ainda que criaria outras regulamentações para tratar sobre o assunto (SANTANA, 2017).

O município de São Paulo ainda conta com o Decreto 55.994/2015 que regulamenta o Termo de Compromisso Ambiental, nesse decreto foi inserido a possível implantação de telhados verdes e jardins verticais para atuar juntamente com a compensação ambiental em obras e serviços (SÃO PAULO, 2015b).

A cidade de Recife (PE) possui a Lei Nº 18.112/2015 que discorre sobre a obrigatoriedade da instalação de telhado verde em prédios residenciais com mais de 4 pavimentos e em edifícios não-habitacionais com mais de 400m², além disso o projeto de lei também estabelece a construção de reservatórios para captação das águas pluviais nas novas edificações. a lei possui vários parâmetros para as construções (RECIFE, 2015).

No Brasil, algumas normas atuam por meio de incentivos fiscais para expandir as tecnologias relacionadas às construções verdes, muitas dessas normas prevê descontos no valor do IPTU para imóveis que possuam e/ou instalem coberturas verdes. Um exemplo é o PL nº 7162/2010, em que o Congresso Nacional decreta um desconto de 5% no valor bruto do IPTU, para municípios com mais de 500 mil habitantes, que possuam empreendimentos (residenciais ou comerciais) e que implementem coberturas verdes em pelo menos 50% de seus telhados (PL nº 716, 2010). Outro exemplo é a Lei Complementar 235/2012 do município de Goiânia: a partir da instalação de telhado verde, em todos os telhados disponíveis no imóvel existe um desconto de 3% no IPTU (GOIÂNIA, 2012).

Levando em conta as legislações existentes (algumas descritas acima) e os incentivos relacionados a implantação de telhados verdes pode-se verificar um lento avanço do Brasil nos últimos anos, ainda há uma carência de legislações no âmbito federal. Além disso, ao observar o cenário ambiental do país surge o questionamento: Até que ponto as políticas públicas de incentivos e normas sobre a instalação de telhados realmente estão surtindo os efeitos necessários? Os aspectos legais existentes necessitam de melhor divulgação, incentivo e fiscalização nos municípios brasileiros.

3.3. Desafios e Limitações

O primeiro e grande desafio cabe a todos os países do mundo, que precisam implementar até o ano de 2030 o plano de ações definidas pela ONU (setembro de 2015) para acabar com a pobreza, reduzir as desigualdades sociais e proteger o planeta. A esse plano de ações deu - se o nome de Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável que envolve os 17 ODS. A Agenda 2030 engloba os 5Ps: Pessoas, Prosperidade, Planeta, Paz e Parcerias.

De acordo com as Nações Unidas Brasil (2019), em 2030 quase 60% da população mundial viverá em áreas urbanas. Esse crescimento acelerado e não planejado das cidades que apesar de ocuparem apenas 2% de espaço da Terra, provocam 75% da emissão de carbono e acarreta em grandes impactos negativos no meio ambiente, saúde e bem estar das pessoas, que nos obrigam a investir em inovação tecnológicas, melhoria do planejamento e gestão urbana para tornar as cidades mais sustentáveis para atingirmos a meta da Agenda de 2030.

Diante do plano lançado pelo ONU (2015), a aplicação e maior investimento em torno das coberturas verdes mostra-se ainda mais relevante no cenário atual, no entanto esse tema também possui alguns desafios.

O principal deles é a falta de apoio político quando o assunto é utilização e obrigatoriedade dos telhados verdes nas cidades, que pode ser observada na publicação do Conselho Brasileiro de Construção Civil (JOHN, 2014), desenvolvido pelo Prof. Dr. Vanderley M. John, que afirma que o melhor seria “aumentar significativamente o verde nas cidades tornando obrigatória a arborização urbana, uma solução barata, eficiente e que vem sendo abandonada”. O posicionamento de John (2014), ainda descreve alguns argumentos sobre a obrigatoriedade dos telhados verdes no Brasil serem pouco sustentáveis e apresenta algumas adversidades sobre a sua aplicação, ressaltando: quantidade limitada de empresas capacitadas para elaborar e concretizar obras de tetos verdes; existência de outras opções mais eco eficientes para melhoria de conforto térmico (como superfícies reflexivas); alto custo das obras devido a sua construção específica e manutenção; a instalação incorreta pode levar a infiltrações e causar danos à saúde (doenças cardiorrespiratórias).

Dissertando sobre alguns desafios temos que, a manutenção das coberturas verdes se faz necessária mesmo que em baixa frequência, para irrigação, poda, adubação (CARVALHO, 2018). Ainda, o custo da implantação do telhado verde é de

fato um fator limitante e varia entre R\$100,00 a 150,00/m² (BONI, 2015). O estudo de Oliveira (2009), mostrou o investimento detalhado, listando os materiais necessários, para a implantação de telhados verdes sobre coberturas de casas populares em uma comunidade na cidade de Vargem Grande/RJ, chegando ao custo final de R\$102,59/m². Oliveira (2009), ainda demonstrou que considerando um telhado verde que possibilite o cultivo de plantas ornamentais e geração de renda, apenas após 2 anos de trabalho haveria o retorno do investimento.

Limitações e desafios existem, mas é necessário considerar a economia e benefícios a longo prazo (CARVALHO, 2018). É fundamental aprimorar os estudos e pesquisas em torno dos telhados verdes de forma estratégica e inovadora, procurando combater os desafios e provando a importância da implantação de coberturas verdes em pequenos espaços urbanos ainda disponíveis (que são os telhados das construções), a fim de melhorar a qualidade ambiental, buscar maiores incentivos legais e instalações de tetos verdes mais viáveis quando se diz respeito ao seu custo e assim aumentar a aceitação pública para a aplicação dessa tecnologia, o que também acaba sendo um fator limitante (o público investidor), pois é preciso aceitação para a implantação dessa tecnologia (SAVI, 2012).

3.4. Benefícios

De acordo com Catuzzo (2013), os benefícios decorrentes da implantação dos telhados verdes possui relação direta com a melhora da qualidade do ar elevando o grau de umidade relativa do local onde é implantado, absorção de ruído devido a barreira vegetal, combate ao efeito estufa (absorção de CO₂ pela vegetação), redução dos níveis de poeira e partículas de poluentes na atmosfera, aumento da biodiversidade local além de incentivar o aumento de áreas verdes urbanas influenciando na estética, lazer e no bem estar da população local.

A maior vantagem dos telhados verdes está ligada à sua capacidade de diminuir os efeitos de radiação proporcionando um conforto térmico tanto em ambientes internos, já que tem uma grande capacidade de isolamento térmico, quanto externos, com a diminuição de ilhas de calor (MORAES, 2013). Em um estudo desenvolvido por Smith e Roebber (2011), citado por Francis e Jensen (2017), obteve-se um resfriamento de até 3º C, no entorno dos telhados, o que é um resultado

significativo e se dá principalmente por conta da evapotranspiração, que aumenta a umidade do ar.

Esse benefício pode trazer também economia nos gastos de energia para resfriar ou aquecer os ambientes. O uso de um telhado verde apropriado reduz consideravelmente o consumo de energia, pois dispensa o uso de ar condicionado ou de calefação para ambientes internos, o resultado depende da espessura das camadas e também é mais eficiente para prédios com poucos andares. Tal fato se deve ao telhado verde ser um excelente isolante térmico e assim propicia melhor amplitude térmica. Ainda assim, a vantagem econômica dos telhados verdes não deve se apoiar apenas nas reduções de gastos de energia, deve-se levar em conta todos benefícios (REFAHI e TALKHABI, 2015).

Ainda no âmbito econômico a pesquisa de Kosareo e Ries (2007), destacam a vida útil dos telhados verdes como sendo o dobro da dos telhados convencionais, devido a proteção que a estrutura verde exerce contra as ações do clima, o que não ocorre nos convencionais que em um menor tempo de vida pode apresentar fissuras e infiltrações nos edifícios. Moraes (2013), também destaca sua eficácia no retardo do escoamento superficial, o que contribui para a retenção de águas pluviais e influência no sistema de drenagem urbana. Porém em relação à manutenção, os telhados verdes exigem mais cuidados e tem maior custo em relação aos convencionais, relacionados às suas diversas camadas e também à irrigação, fertilização e poda da planta.

Berto, Stival e Rosato (2018), fizeram um estudo em um edifício industrial existente em Trieste, Itália em que concluíram que além dos benefícios já citados, existe ainda a redução de custos relacionados ao tratamento de águas pluviais como um benefício público. O estudo propõe ainda dois tipos diferentes de incentivos para a adoção efetiva dos telhados verde por indústrias: a contribuição direta para a intervenção de reforma e redução anual do imposto sobre a propriedade local e concluíram que um incentivo econômico poderia realmente facilitar a implementação industrial.

3.5. Drenagem urbana

A drenagem urbana tem duas classificações, sendo elas a microdrenagem, que é composta por desde bocas de lobo até galerias de águas pluviais e atende precipitações com risco moderado. E também a macrodrenagem, que são sistemas superiores a 4 km² e abrangem diversos sistemas de microdrenagem, sendo compostos de grandes troncos coletores. São projetados para suportar grandes precipitações que podem causar danos a humanos e materiais (MUNICÍPIO DE TOLEDO, 2017).

A dimensão dos prejuízos referentes a inundações e enchentes relaciona-se a fatores como a impermeabilização do solo, ocupações irregulares, expansão das áreas construídas, implantação de loteamentos, que influenciam consideravelmente no ciclo hidrológico, afetando a drenagem das águas pluviais, uma vez que áreas de vegetação são substituídas quase em sua totalidade por extensões impermeáveis, fazendo com que o volume de água escoado nas ruas aumente de forma significativa (COMITE PARDO, 2019).

De acordo com os dados apresentados pelo Anuário Brasileiro de Desastres Naturais (2013), a região com maior incidência de inundações (classificadas como desastres naturais) foi a Sudeste (29,76%), seguida pelas regiões Norte (27,38%) e Sul (25%). No ano de 2013, as inundações provocaram 36 óbitos, 1.461 feridos, 13.283 enfermos, 59.023 desabrigados, 208.274 desalojados e 6 desaparecidos.

Em 2013, o Plano de Saneamento da Cidade de Limeira, apontou alagamentos e inundações como sendo os principais problemas decorrentes de chuvas intensas e foi feito o mapeamento de 12 áreas de riscos localizadas em Zonas Predominantemente Residencial e também Zonas Predominantemente Industriais no município, essas áreas foram setorizadas e caracterizadas verificando a capacidade de vazão da rede de drenagem nos locais indicados. O Plano apresentou como objetivo a redução e eliminação de situações de risco socioambiental urbano associadas aos processos de enchentes e inundações.

3.6. Retenção de águas pluviais

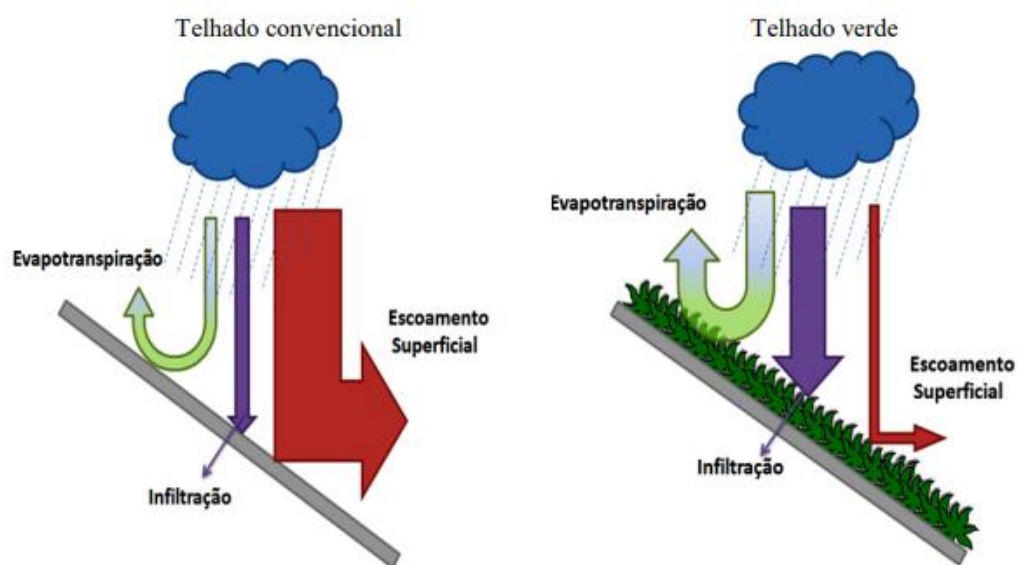
Parte das águas pluviais fica retida pelos telhados verdes, essa porção é utilizada pelo sistema como fonte de desenvolvimento para as plantas ou então

evapora. Sendo assim, é a água evaporada ou evapotranspirada que explica a redução no escoamento dos telhados, diminuindo a carga d'água das canalizações urbanas e, conseqüentemente, o risco de enchentes nas cidades (LIMA, 2013).

Ainda de acordo com Costa, Costa e Poletto (2012), com o uso de telhados verdes a liberação de águas pluviais para o sistema de drenagem acontece de forma mais lenta do que em telhados convencionais, que tem o escoamento direto, o que ajuda a não sobrecarregar o sistema de drenagem urbana quando ocorre alta pluviosidade, apresentando grande vantagem de uso em áreas urbanas que sofrem com inundações, como é o caso da cidade de São Paulo.

É possível observar como a capacidade de infiltração do telhado verde influencia diretamente na taxa de escoamento superficial, devido à presença de vegetação e do substrato, quando comparado ao telhado convencional (Figura 4).

Figura 4: Comparação do escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração em telhados.



Fonte: Adaptado de Lima, 2013.

O volume de água retido pelo telhado verde durante uma precipitação está relacionado com o tipo de vegetação, tipo de telhado verde (intensivo ou extensivo), sua geometria, permeabilidade, altura das camadas e idade do sistema. Além disso, condições climáticas como umidade, intensidade e duração da chuva, e períodos de seca, também influenciam diretamente na capacidade de retenção (LIMA, 2013). Isso quer dizer que, para um solo exposto a precipitações recentes (solo já úmido) a sua

capacidade de retenção diminui, devido ao ponto próximo da sua saturação, enquanto solos secos (que não recebe precipitações há um tempo) requerem um maior volume de água para alcançar o seu ponto de saturação (BERNDTSSON, 2010).

Tassi (2014) verificou que o telhado verde além de retardar a iniciação do escoamento superficial, retém em média 62% do volume de chuva escoado. Pode ser observado também que a eficiência do sistema foi menor na estação do inverno e em condições em que o substrato tinha elevada presença de água.

Em trabalho desenvolvido em Chongqing, China, analisou-se a capacidade de retenção de um sistema de telhado verde em 19 eventos de chuva e encontrou-se uma média de 77,2%. A retenção variou com a intensidade da chuva, sendo de aproximadamente 94% para chuvas pequenas (<10mm), 72% para chuvas médias (25-49.9mm) e 39% para tempestades (>50mm) (ZHANG et. al., 2015).

Villarreal e Bengtsson (2005) comprovaram através de um telhado verde de *Sedum album* analisado por meio de programação linear, que a retenção da água depende em grande parte da intensidade das chuvas e da inclinação do telhado verde: quanto menor a intensidade e a inclinação, maior a retenção. Moruzzi, Moura e Barbassa (2014), também chegaram a essa mesma conclusão utilizando sistemas extensivos com inclinação variando entre 10 e 30%. O estudo concluiu que tanto a inclinação quanto a umidade antecedente têm grande influência na redução do escoamento e no deslocamento de materiais do telhado até a drenagem.

Baldessar (2012) também comprovou o esperado através de análises em protótipo de telhado verde construído em Curitiba, que realmente contribuiu através dos mecanismos de evapotranspiração e armazenamento, reduzindo para apenas 30,7% o volume de água precipitado direcionado à galeria de águas pluviais.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida em três módulos construídos no ano de 2018 na Faculdade de Tecnologia (FT), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), localizada em Limeira – SP.

A cidade fica localizada a 22°33'53" de latitude sul e 47°24'06" de longitude oeste, com uma área de 580,711km² e população estimada de 306.114 habitantes

para o ano de 2019 (IBGE, 2019). O clima é caracterizado como quente e temperado, com pluviosidade média anual de 1284 mm, em que a média do julho, que é o mês mais seco é de 22 mm de precipitação, enquanto o mês mais chuvoso que é janeiro tem a precipitação média de 240 mm (CLIMATE-DATA, 2019).

Os dados pluviométricos levantados pelo Centro Integrado Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) para Limeira nos últimos 4 anos, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Dados pluviométricos mensais dos últimos 4 anos da cidade de Limeira - SP.

Mês	Dias	Dias de chuva	Chuva total	Média chuva mensal (mm)	Chuva máxima
Janeiro	124	81	834,4	208,6	80,3
Fevereiro	113	60	470,9	117,7	52,6
Março	124	59	616,6	154,1	51,6
Abril	120	26	332,7	83,2	49,5
Mai	124	35	314,0	78,5	53,6
Junho	120	24	193,3	48,3	42,2
Julho	124	8	29,8	7,4	21,1
Agosto	124	30	184,9	46,2	48,3
Setembro	98	22	156,6	47,9	38,4
Outubro	124	54	639,9	160,0	66,3
Novembro	120	57	783,2	195,8	79,0
Dezembro	124	62	604,2	151,1	68,1

Fonte: Adaptado de CIIAGRO, 2019

Nota-se que no período considerado, os dados são condizentes aos apresentados pelo Climate-data (2019), onde o mês com a menor média de volume precipitado foi julho, e o maior, janeiro, com 208,6mm.

Para aplicação de cenários em escala real com o objetivo de dimensionar o impacto da instalação de telhados verdes em Limeira, escolheu-se uma área industrial localizada no Jardim Nova Limeira, em que ficam situadas alguns empreendimentos como Citroën Le Mans, Andrade Distribuidora de Peças para Trucks e Carretas, Concessionária Ford Báltico Automóveis, Coperfil, Maxion, Relipel Filmes Flexíveis, Jetma Fundição Não Ferrosos, ZF do Brasil Ltda, dentre outros, conforme mostra

Figura 5.

Figura 5: Local escolhido para criação de cenários.



Fonte: Imagens Maxar Technologies, CNES/Airbus, 2019.

Observa-se que a área em destaque é composta por empresas de pequeno e médio porte localizadas às margens da Rodovia Anhangüera, devido à facilidade de comunicação com outras regiões. A área industrial se desenvolveu na sub-bacia Ribeirão dos Pires, que é o principal afluente do Ribeirão do Pinhal, manancial alternativo para o abastecimento público do município. Tendo em vista a sua importância, em 1999, a Lei Municipal n.º 212 criou a Área de Proteção de Manancial (APM) instituindo a ZPM - Zona de Proteção de Manancial do Pinhal, que regulamenta o uso e ocupação do solo e da água, visando proteger e manter a sua qualidade hídrica (PLANO MUNICIPAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2016-2020).

De acordo com Azevedo (2008), a área total da sub-bacia Ribeirão dos Pires é de aproximadamente 48,5 km² e possui uma precipitação anual média de 1197,3 mm (PLANO MUNICIPAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2016-2020).

Em estudo realizado pelo Plano Municipal de Saneamento de Limeira (2013), verificou-se que a rede de galerias de águas pluviais dessa zona industrial, que recebe o fluxo de precipitação e atravessa a Rodovia Anhangüera, para desaguar no Ribeirão dos Pires, não possuía inclinação e declividade suficiente para dar vazão à água que se concentrava na área, com isso, durante períodos de chuvas intensas, marcas d'água de até 0,5 m nos muros de indústrias confirmaram a inundação no local. O

Plano ainda relatou que no ano de 2003, o nível d'água ultrapassou a marca de 1,0 m e cobriu a Rodovia Anhanguera, resultando no bloqueio das vias e complicações no tráfego de veículos.

Assim, esta área pode ser vista como um potencial local para implantação dos telhados verdes e avaliação da sua contribuição na retenção de águas da chuva que se acumulam causando problemas no município.

4.2. Construção dos módulos

Os três módulos foram construídos cada um com 3 m de altura e 1,74 m cada lado (Figura 6), sendo que um possui cobertura convencional (apenas laje impermeabilizada), servindo como o módulo controle dos experimentos, outro possui em sua cobertura a espécie vegetal *Chlorophytum comosum* também conhecida como Clorofito de Sol e o outro a espécie *Hemigraphis alternata*. Tais espécies foram selecionadas devido à sua baixa necessidade de manutenção e por sua resistência à altas temperaturas e incidência solar.

Figura 6: Módulos construídos.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 7: Telhados verdes com *Chlorophytum Comosum* (a) e *Hemigraphis Alternata* (b).



Fonte: Autor, 2019.

A construção dos módulos deu-se a partir das seguintes camadas:

- Camada de impermeabilizante: a fim de impedir a infiltração de água, aplicou-se uma manta líquida sobre a laje, e acima dela utilizou-se uma manta anti-raiz, para evitar possíveis problemas estruturais.
- Camada de drenagem: representada na Figura 8, é composta por 10 cm de argila expandida colocada entre dois estratos de manta geotêxtil Geoflex 500g.m⁻², utilizada como base para o substrato.
- Substrato: Colocou-se 10 cm de substrato de solo condicionado composto por casca de Pinus decomposta naturalmente e cinzas, onde foram plantadas as espécies vegetais conforme descrito acima.

Figura 8: Camada de drenagem, com argila expandida.



Fonte: FRIZON, 2018.

Cada um dos módulos possui também um sistema de captação de água pluvial mostrado na Figura 9, composto de tubos de PVC com diâmetro de 100 mm, para que seja possível drenar e armazenar água e reservatórios de 200 L.

Figura 9: Reservatório de armazenagem de água.



Fonte: Autora, 2019.

4.3. Cálculo para área dos telhados

Com a análise dos dados obtidos a partir dos módulos, é possível fazer uma simulação para a área industrial real escolhida para dimensionar o impacto da instalação de telhados verdes. Os cálculos da área do telhado do local foram realizados utilizando Ortofotos com resolução espacial de 1 m fornecidas pela EMPLASA (Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano) à um projeto desenvolvido pela Faculdade de Tecnologia em 2011.

Foi utilizada a plataforma ArcGis versão 10.4 para identificar os diferentes alvos na área em estudo, utilizando um processo que é conhecido como “Classificação automática supervisionada”. Este processo é baseado na obtenção de informações das imagens para reconhecer os objetos de interesse, que neste caso são os telhados do distrito industrial. Na classificação de uma imagem, é feita uma associação de cada pixel com um “rótulo” que corresponde à um objeto real, então o sistema define as áreas que possuem semelhanças nas características espectrais (FREITAS e PANCHER, 2011).

Realizada esta classificação, foi indicado ao sistema que essa relação de pixels/espectros é correspondente a telhados de diferentes materiais (telhas cerâmicas, amianto, cimento) e assim obtida a área dos telhados do distrito industrial escolhido.

Para definir com maior precisão, as áreas dos telhados, foi feita uma classificação visual, ou seja, os polígonos das áreas de telhados foram digitalizados

na tela do computador e posteriormente foram calculadas as áreas de cada polígono chegando ao layout final.

4.4. Coleta de dados

4.4.1. Medição manual

Toda a água precipitada na área dos telhados foi armazenada nos reservatórios vinculados aos mesmos e assim através do seu esvaziamento utilizando béqueres foi possível medir manualmente o volume de água pluvial retido nos tambores.

A coleta de dados teve início em setembro de 2018 e foi realizada após o término de cada precipitação, sempre aguardando o tempo de drenagem dos módulos, que é de aproximadamente 5 horas. Quando as chuvas ocorreram durante o período noturno, as medições foram feitas na manhã seguinte. E quando as chuvas ocorreram durante os finais de semana, as medições foram realizadas na manhã da segunda-feira e assim o volume foi acumulado. Ressalta-se que em nenhum dos tipos de coleta acima foi medido o teor de umidade do substrato.

O site da Faculdade de Tecnologia fornece os dados meteorológicos atualizados a cada 10 minutos pela estação meteorológica, a partir desses dados foi possível obter o volume precipitado das chuvas.

4.4.2. Medição por sensores

Com o intuito de verificar e comparar a velocidade de escoamento dos telhados verdes em relação ao telhado convencional durante as precipitações, foram instalados sensores ultrassônicos HC-SR04 (Figura 10) nas tampas dos reservatórios do TC e do TV1 composto pela espécie *Chlorophytum Comosum*, conforme Figura 11. Esses sensores possibilitam o monitoramento do volume de água reservado através da emissão de um pulso ultrassônico sequencial e recebimento da reflexão do pulso. A distância que o sensor se encontra da superfície da água é calculado com base no tempo de ida e volta dos pulsos. Com esse dado é possível calcular o volume de líquido, já que as medidas da altura e do raio do reservatório são conhecidas, através da relação: $\text{volume} = \text{área da base} \times \text{altura}$, onde $\text{altura} = \text{altura do cilindro} - \text{valor lido pelo sensor}$.

Figura 10: Sensor ultrassônico.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 11: Sensores ultrassônicos instalados nos reservatórios.



Fonte: Autor, 2019.

As especificações do sensor estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Especificações dos sensores ultrassônicos.

Parâmetro	Valor
Alimentação	5V DC
Corrente de Operação	2mA
Ângulo de efeito	15°
Alcance	2cm ~ 4m
Precisão	3

Fonte: Autor, 2019.

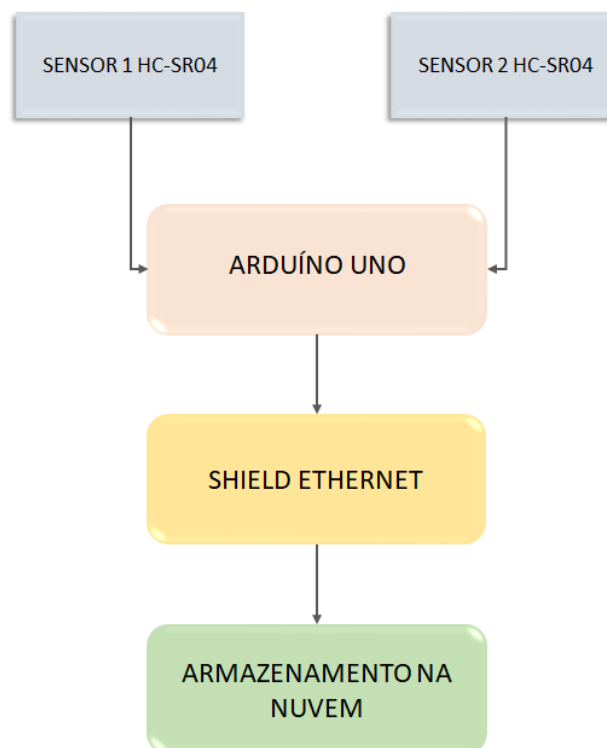
As informações coletadas pelos sensores são transferidas a cada 15 segundos para uma base de dados disponível na nuvem. Para que isso ocorra foi acoplado aos sensores um Arduino UNO (Figura 12) uma placa baseada em um microcontrolador que faz leitura de sinais de sensores analógicos e digitais e possibilita que o código usado na programação seja enviado ao Shield Ethernet. Esse dispositivo conecta o sistema à rede de internet e faz a transferência para a base de dados. Tal processo está ilustrado no diagrama mostrado na Figura 13.

Figura 12: Arduino UNO.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 13: Diagrama da transferência dos dados dos sensores até o banco de dados.



Fonte: Autor, 2019.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Desempenho dos telhados na retenção de água pluviais

No período de setembro de 2018 a outubro de 2019, foram coletadas manualmente 30 amostras, para a comparação da quantidade de água retida e verificação do desempenho do telhado convencional (TC), telhado verde com a espécie *Chlorophytum comosum* (TV1) e telhado verde com a espécie *Hemigraphis Alternata* (TV2), conforme apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Amostras, alturas precipitadas nas datas e volumes escoados nos reservatórios.

Amostras	Data das Coletas	Altura Precipitada (mm)	Volume Escoado (L)		
			TC	TV1	TV2
A1	14/09/2018	9,4	21,0	2,5	12,0
A2	17/09/2018	8,6	22,0	8,6	8,4
A3	20/09/2018	13,4	17,0	9,5	6,9
A4	04/10/2018	15,2	15,0	3,5	2,1
A5	*09/10/2018	37,0	88,3	75,0	73,6
A6	*11/10/2018	35,5	90,8	81,0	80,8
A7	18/10/2018	15,5	37,3	21,4	15,7
A8	*26/10/2018	23,1	75,6	52,0	50,5
A9	*09/11/2018	20,5	56,7	34,9	28,65
A10	*21/11/2018	27,9	64,5	28,4	19,9
A11	*26/11/2018	57,1	142,3	130,8	127,5
A12	03/12/2018	36,1	138,7	119,4	102,5
A13	14/02/2019	20,8	52,9	14,4	18,9
A14	17/02/2019	16,5	36,2	1,6	6,9
A15	*25/02/2019	34,5	46,3	22,5	0**
A16	27/02/2019	55,1	200,0	165,5	0**
A17	*01/03/2019	69,3	200,0	157,5	0**
A18	*07/03/2019	103,9	200,0	143,7	152,2
A19	*14/03/2019	18,3	32,5	10,4	18,5
A20	15/03/2019	9,9	17,5	8,25	6,75
A21	08/04/2019	63,7	170,0	60,0	55,0
A22	15/04/2019	28,9	82,5	27,5	25,0
A23	20/05/2019	16,0	45,3	2,5	3,0
A24	07/07/2019	31,1	97,5	28,7	32,5
A25	02/09/2019	23,1	60,3	6,0	13,0
A26	21/09/2019	4,6	18,0	0,0	1,5
A27	25/09/2019	11,2	29,5	0,5	1,5
A28	27/09/2019	4,3	6,5	1,0	1,0
A29	07/10/2019	1,3	4,0	0,0	1,3

A30	09/10/2019	10,6	20,0	0,5	3,0
------------	------------	------	------	-----	-----

Fonte: Autor, 2019.

*Precipitação com mais de 24 horas – Volume escoado acumulado.

**Volumes desconsiderados – Vazamento no reservatório.

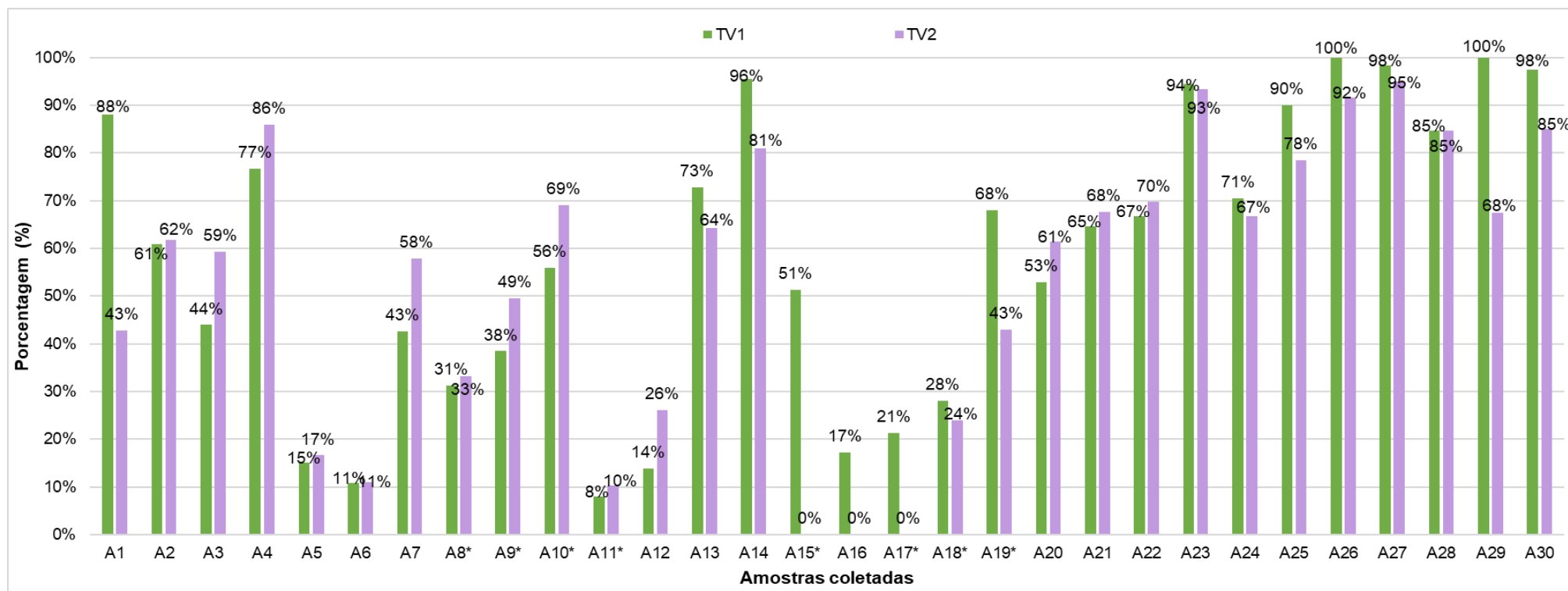
Durante o período de coletas, houve vazamento da água precipitada nos reservatórios implantados no TV2, e por isso os dados referentes com ** não foram considerados para as análises e cálculo da média da capacidade de retenção dos telhados. Vale ressaltar, que os volumes escoados são os volumes armazenados nos reservatórios e que foram medidos manualmente.

O telhado convencional (TC) foi utilizado como telhado controle para análise e comparação dos dados, desse modo considerou-se que todo volume precipitado no TC foi escoado, assim a percentual de retenção dos módulos verdes foi calculado a partir da relação entre os volumes escoados no TC e os volumes escoados nos TVs, conforme a seguinte equação:

$$\textit{Percentual retido} = \frac{(\textit{Vol. escoado TC} - \textit{Vol. escoado TV}_n) \times 100\%}{\textit{Vol. escoado TC}}$$

Aplicando a equação para todas as amostras foi possível desenvolver Figura 14, que apresenta os resultados dos percentuais retidos nos módulos de telhados verdes em comparação com o telhado convencional.

Figura 14: Percentuais retidos nos telhados verdes, em relação ao telhado controle.



Fonte: Autor, 2019

A partir da Figura 14, é possível verificar que o TV1 apresentou o maior percentual de retenção de águas pluviais, atingindo 100% nas coletas dos dias 21/09/2019 e 07/10/2019, o que pode ser justificado pelo baixo volume precipitado de 4,57 mm e 1,27 mm, respectivamente. Porém, o TV1 foi também o que apresentou o menor percentual de retenção com 8% em 26/11/2018, que pode estar relacionado à precipitação superior a 24 horas (*) e o alto volume precipitado de 57,13 mm que causaram a rápida saturação do solo. Vale observar, que para o TV2 o valor de retenção também foi o mais baixo nessa data (10%), também devido à tais fatores.

Com os valores apresentados na Figura 14, foi possível calcular a média de retenção para TV1, que teve o valor de 58,7% e para TV2, com o valor de 59,3%. Observa-se que a espécie *Hemigraphis Alternata* apresenta uma pequena diferença quando comparada à *Chlorophytum comosum*, em termos de capacidade de retenção hídrica.

Levando em consideração as análises acima, verifica-se que o desempenho dos telhados verdes na retenção de águas pluviais está diretamente relacionado com o volume precipitado no período, ou seja, o tipo de chuva. O Laboratório de Meteorologia da UENF (2012), classifica o tipo de chuva de acordo com o volume precipitado (mm), em que a chuva fraca é aquela entre 1,1 mm e 5,0 mm, a moderada varia entre 5,1 mm à 25,0 mm, a forte varia entre 25,1 mm e 50,0 mm e a muito forte são as acima de 50,0 mm.

Tendo como parâmetro a classificação do tipo de chuva, a Tabela 6 foi desenvolvida para avaliação dos resultados agrupados por faixa de volume precipitado, considerando a porcentagem média de retenção para cada tipo de vegetação.

Tabela 6: Relação entre volumes precipitados e porcentagens médias de retenção.

Faixa de volume precipitado	Quantidade de amostras	Porcentagem média TV1	Porcentagem média TV2
1,1 a 5,0 mm	3	95%	81%
5,1 a 25,0 mm	15	70%	65%
25,1 a 50,0 mm	7	37%	43%
> 50,0 mm	5	28%	34%

Fonte: Autor, 2019.

Para chuvas consideradas fracas e moderadas os dois módulos verdes apresentam o maior percentual médio de retenção, ressaltando que foram obtidas apenas 3 amostras na faixa de precipitação fraca e 15 amostras na faixa de

precipitação moderada. Para ambas as faixas de variação (1,1 mm a 25,0 mm) e observando o gráfico da Figura 14, considerando os dois módulos verdes verifica-se que a porcentagem mínima de retenção foi de 81% e a máxima de 100%.

Observando a tabela acima é possível verificar que em chuvas consideradas fracas e moderadas o TV1 apresenta melhores capacidades de retenção de águas pluviais, quando comparada com o TV2. Já, para chuvas consideradas fortes e muito fortes, o cenário se inverte, e o TV2 exibe uma melhor performance de retenção em relação ao TV1.

Apesar da proximidade dos valores encontrados é possível afirmar que a espécie *Chlorophytum comosum* (TV1) manifesta um maior desempenho em precipitações de até 25 mm, chegando a atingir 95% de retenção média na faixa de variação de 1,1 mm a 5 mm, enquanto a *Hemigraphis Alternata* (TV2) possui um maior desempenho nas faixas de variações superiores que 25 mm, alcançando 43 % de retenção média entre as precipitações de 25,1 a 50 mm.

Analisando a tabela 5, fica evidente que a capacidade de reter águas pluviais dos telhados verdes diminui consideravelmente para chuvas fortes e muito fortes, o que vai de encontro com os estudos de Wang, Tian e Zhao (2017), que aponta o aumento da precipitação (mm) como fator para a diminuição da retenção de chuva pelas instalações verdes. Considerando a faixa de variação de chuvas maiores que 50 mm, foi possível observar que as amostras A11 e A18 apresentaram um percentual de retenção baixo nos dois módulos (8% e 10 % para A11, 28% e 24 % para A18), que corresponde aos altos volumes precipitados podendo haver relação com as chuvas que antecederam essas coletas e que pode ter ocasionado a saturação do substrato em menor tempo, conforme mencionado anteriormente. No entanto, para a amostra A21 do dia 08 de abril de 2019, que possui uma precipitação volumosa de 63,65 mm, a capacidade de retenção dos TVs foi alta, e o TV2 conseguiu reter 68% das águas pluviais, diferente do esperado, o fato pode ser explicado pelo longo período sem chuvas anterior à precipitação (24 dias), assim, o substrato estava seco e foi necessário um maior volume de água pluvial para alcançar a saturação e começar a escoar.

5.2. Utilização dos sensores e velocidade de escoamento

A utilização dos sensores ultrassônicos era prevista para todas as amostragens durante a realização do trabalho, porém, devido a diversos contratempos e dificuldades técnicas, a instalação e o bom funcionamento dos sensores foram possíveis apenas no final do mês de outubro. Dessa forma, o sensor foi utilizado na chuva ocorrida do dia 05/11/2019.

Como já dito anteriormente, o sensor registra a diferença de cota entre a tampa dos reservatórios, que é onde está fixado, e o nível de água armazenado. Dessa forma, a mudança nessa distância provocada pelo aumento do nível de água nos coletores permite o cálculo do volume de água reservado, considerando a área da base do reservatório como uma circunferência. O volume é obtido através da seguinte equação:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

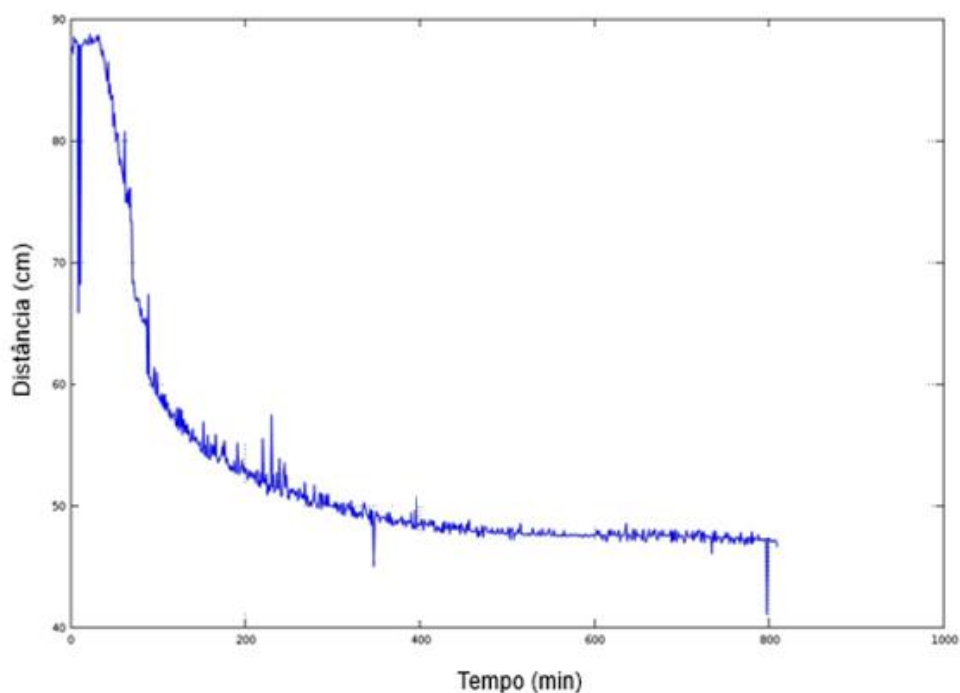
Onde:

r : é o raio do reservatório, que equivale a 27,5 cm;

h : é a altura de água acumulada.

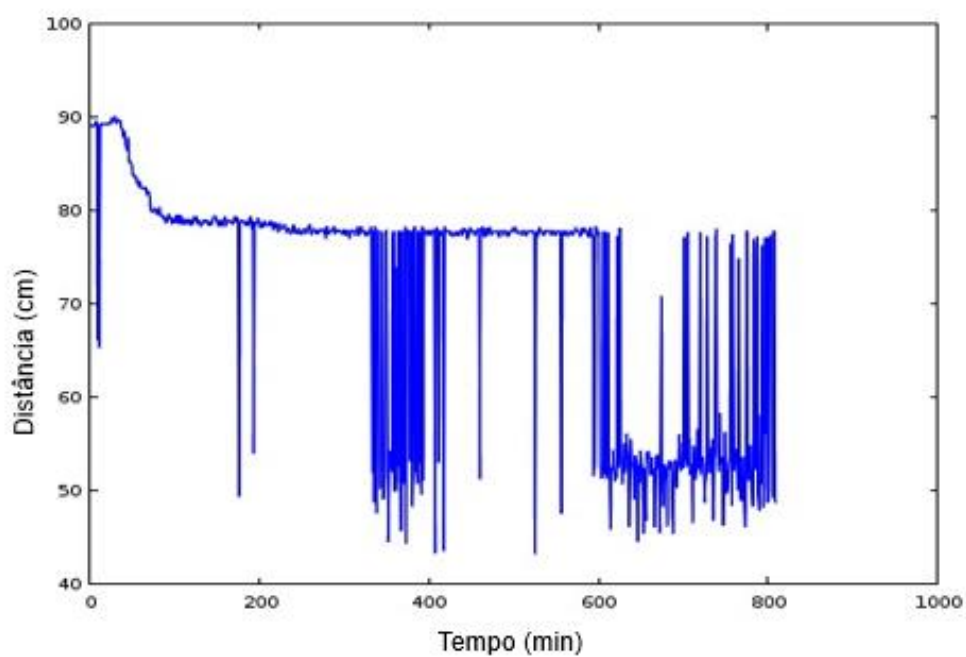
Os valores registrados da distância da superfície da água até os sensores são apresentados na Figura 15 e na Figura 16, em que o eixo x é o tempo em minutos e o eixo y é a distância entre o sensor e o nível de água em cm.

Figura 15: Distância entre o sensor e o nível de água no módulo controle.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 16: Distância entre o sensor e o nível de água no módulo de telhados verdes.



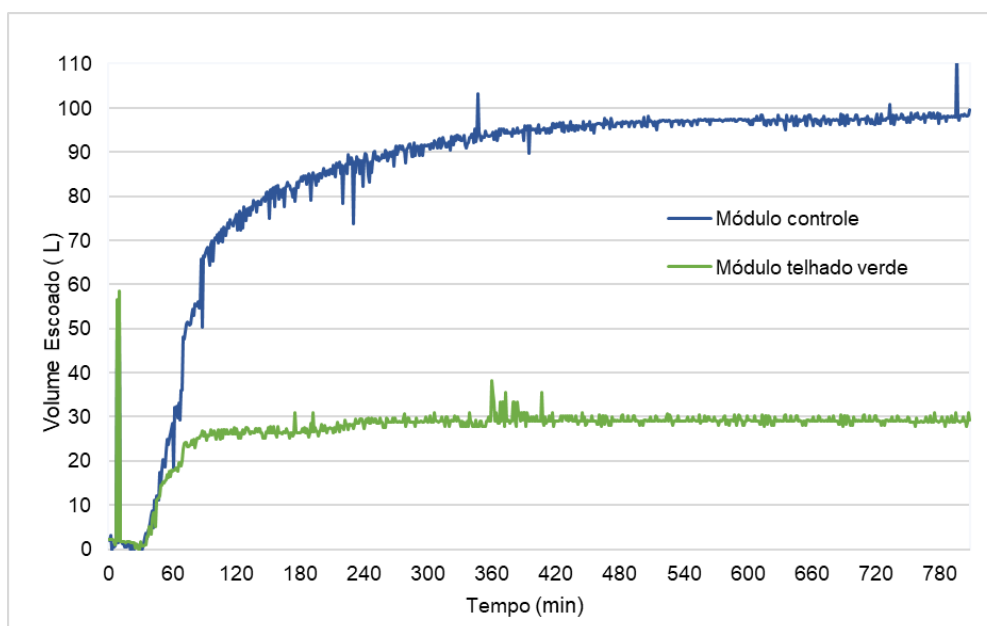
Fonte: Autor, 2019.

É possível verificar uma grande variação dos dados registrados pelos sensores na Figura 16. Essa variação pode ter origem em diversos fatores, como interferência

destrutiva, ruído aleatório, mal contato e também devido alguns agentes externos como o vento e oscilações do nível de água.

Foram excluídos os valores considerados outliers e, a partir dos dados considerados reais, foi possível realizar o cálculo de volume armazenado nos tambores x tempo, que é apresentado na Figura 17, tanto para o módulo de controle quanto para o módulo com telhado verde.

Figura 17: Volumes Escoados (L) x Tempo (min).



Fonte: Autor, 2019.

De acordo com a Figura 17, é possível notar que apesar da velocidade de escoamento inicial ser a mesma nos dois módulos em um determinado ponto o módulo verde estabiliza-se, enquanto o controle (telhado convencional) continua escoando. Ou seja, o volume escoado no módulo controle atingiu a sua estabilização depois de aproximadamente 260 minutos, acumulando mais de 95 L de água no reservatório. Já o módulo verde alcançou estabilização em aproximadamente 120 minutos, um tempo bem menor quando comparado ao controle, permitindo um escoamento de apenas 30 L para o reservatório, o que indica que a maior quantidade de água ficou retida no substrato do telhado.

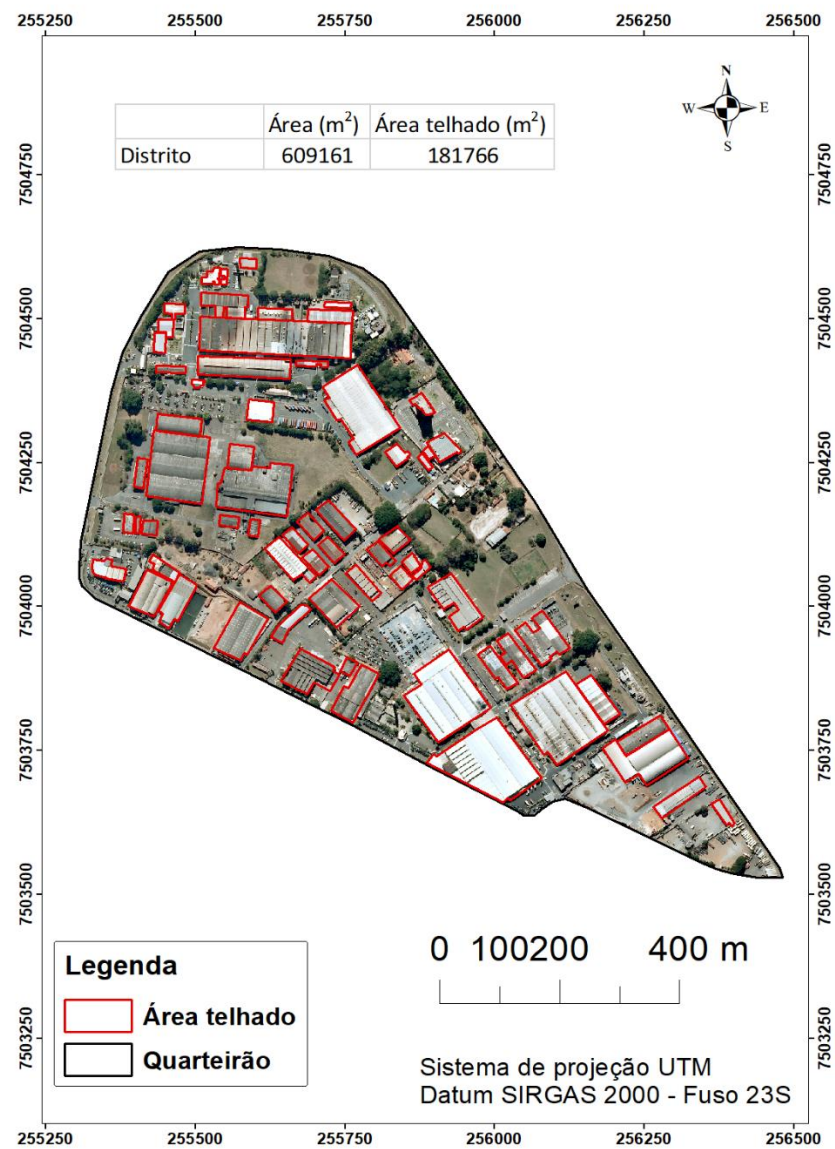
Após o evento chuvoso, foi medido manualmente um volume armazenado de 100 L no módulo controle e 28 L no módulo com a espécie *Chlorophytum Comosum*. Dessa forma, foi possível validar os resultados medidos automaticamente pelos

sensores, que apresentaram estabilização próximo aos 100 L para o módulo controle e próximos a 30L no módulo com telhado verde.

5.3. Área dos telhados

Após o tratamento das imagens a partir do método de classificação, descrito na metodologia, a área dos telhados foi demarcada conforme Figura 18 e então a área total e a área dos telhados foram calculados e estão apresentadas dentro do *layout* abaixo.

Figura 18: Área total e área dos telhados.



Fonte: Autor, 2019.

Verifica-se que a área de telhados encontrada é de 181.766 m², assim, pôde-se calcular que a porcentagem de telhados em relação à área total equivale a 29,84%, o que é uma porcentagem relevante, uma vez que se trata de uma parcela do distrito industrial do município de Limeira.

5.4. Aplicação dos cenários hipotéticos

A coleta e a análise das informações, permite a aplicação dos resultados obtidos em escala real, com o objetivo de dimensionar o impacto e benefícios da implementação de telhados verdes na área industrial de Limeira em questão. Considerando o cálculo da área dos telhados do item 5.3, serão abordados três cenários hipotéticos, tendo como base volumes baixo, médio e alto de precipitações.

Cenário 1

Para a construção do cenário, supõe-se que a área industrial estudada tenha implementado o uso de telhados verdes a 50% de sua área construída, que corresponde a 90.883 m². Caso ocorra uma chuva de pequeno volume, como na amostra A29 de 1,27 mm, em que o telhado controle de 3 m² direcionou 4,0 L de água para o reservatório, é possível calcular uma descarga pluvial de 242,35 m³ na área total dos telhados do distrito, em que 121,18 m³ desse volume seria sobre as estruturas verdes implantadas. Considerando a capacidade de retenção média do TV de 88% (porcentagem média a partir das precipitações dentro da faixa de 1,1 e 5,0 mm), o volume escoado total se reduziria a 135,71 m³, isto é, haveria uma redução de 44% de águas pluviais direcionadas para o sistema de drenagem pública, o que ajudaria no combate a enchentes e inundações. Nesse cenário, 14,54 m³ das águas pluviais escoaria dos telhados verdes e poderiam ser captadas e utilizadas dentro das indústrias para fins não potáveis.

Cenário 2

Considera-se a mesma condição de uma implantação de 50% de telhados verdes na área industrial, porém agora com uma chuva de volume médio, como a A13 com precipitação de 20,8 mm, sendo que o TC de 3 m² acumulou 52,9 L. Para esta

suposição, é possível calcular que a precipitação em toda a área de telhados foi de 3.205,14 m³, em que 1.602,57 m³ são sobre telhado verde. Sendo a capacidade média de retenção do TV de 67,5% (obtida na faixa de variação de 5,1 e 25,0 mm), o volume que pode ser escoado para a galeria de águas pluviais seria de 2.123,41 m³, ou seja, 1.081,734 m³ ficariam retidos no substrato alcançando uma redução de 33,75% de águas pluviais direcionadas as galerias.

Cenário 3

No último cenário, considerando uma precipitação alta, como em A12 com precipitação de 36,1 mm, foram armazenados 138,7 L de água da chuva provenientes dos 3 m² da área do TC. Considerando a área total de telhados 181766 m² e seguindo a mesma condição dos cenários 1 e 2, considera-se que 50% da área de interesse seja coberta com telhados verdes tornando-se permeável. Assim, o volume total precipitado em toda a área de telhado é de 8.403,65 m³, em que 4.201,8 m³ são em área coberta com telhado verde, do total, o volume escoado se reduziria para 6.722,92 m³ que seriam drenados para a galeria de águas pluviais, já que a média de retenção dos TV é de 40% (obtida na faixa de variação de 25,1 mm e 50,0 mm). Nesse caso, haveria uma redução de 20% de águas pluviais direcionadas para o sistema de drenagem pública.

6. CONCLUSÃO

Observando-se o desempenho das duas plantas utilizadas, é possível concluir que a *Hemigraphis Alternata* possui uma média de retenção levemente maior do que a *Chlorophytum comosum*, com 59,3% e 58,7% respectivamente. Tal resultado mostra que as duas desempenharam bem seu papel e não mostraram grande diferença em sua eficiência. Outro parâmetro que influencia na capacidade de retenção dos telhados verdes é o volume precipitado, que quanto menor, maior a capacidade de retenção.

Assim, o estudo realizado em escala piloto nos módulos de telhado verde, obteve um resultado de retenção média de 59% de águas pluviais, o que mostra que grande parte fica retida no substrato, diminuindo significativamente a quantidade de água que esco diretamente para o sistema de drenagem urbana, contribuindo para

que não ocorram inundações. A fração de água que fica armazenada nos reservatórios pode ser utilizada para fins não potáveis, como por exemplo, limpeza da área, o que mostra que o sistema como um todo é uma boa alternativa sustentável.

Por fim, através dos cenários construídos a partir da extrapolação dos resultados dos módulos, notou-se que a aplicação de telhados verdes na área industrial estudada diminui consideravelmente o escoamento para redes de drenagem urbana colaborando para a não formação de enchentes. Tendo em vista todos os resultados e os acontecimentos citados na metodologia, a área escolhida para a aplicação dos cenários se torna um potencial local em que a implantação dos telhados verdes contribuiria na retenção da quantidade de águas pluviais que se acumulam na rodovia e arredores, prevenindo enchentes e inundações e tornando o atendimento a Lei Municipal n.º 212/1999 mais eficiente.

Como recomendação para pesquisas futuras, sugere-se realizar análises de umidade do substrato, pois não foram realizadas neste trabalho e pode ser um fator de influência na eficiência do funcionamento dos telhados verdes e ainda é preciso desenvolver e estudar melhores maneiras para minimizar os fatores que provocam variações nas medições dos sensores, para que eles apresentem leituras mais precisas entregando maior confiabilidade nos resultados e análises em torno do desempenho dos telhados verdes e sua implementação em áreas industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anuário brasileiro de desastres naturais, 2013. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Brasília: CENAD, 2014. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/defesacivil/publicacoes>>. Acesso em: 29 de Out. 2019.

AMERICAN HYDROTECH INC., Roofing: Garden Roof Assembly. 2018. Disponível em: <https://www.hydrotechusa.com/>. Acesso em 19 de Jun. 2018.

ARANHA, K.;C.; Tecnologias Sustentáveis: A importância dos telhados verdes na amenização microclimática. 2016. Prodeima, Universidade Federal da Paraíba.

AZEVEDO, R. J.G. Geoprocessamento na análise da ocupação e uso da terra em áreas de expansão urbana, 2008. Estudo de caso da sub-bacia do Ribeirão dos Pires, município de Limeira (SP).

BALDESSAR, S. M. N. Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada. Dissertação (Mestrado) na Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012. 125 f.

BARBIERI, J. C.; Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. São Paulo: Editora Saraiva, 2004. 328 p. ISBN: 8502046616.

BERNDTSSON, J. C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. Ecological Engineering. [S.l.], v. 3. 2010. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>.

BERTO, R.; STIVAL, C. A.; ROSATO, P. Enhancing the environmental performance of industrial settlements: An economic evaluation of extensive green roof competitiveness. Building and Environment, p. 58-68, 2018.

BONI, F.; TELHADO VERDE: UMA OPÇÃO SUSTENTÁVEL? 19 de Maio de 2015. Disponível em: <<http://2030studio.com/telhado-verde-uma-opcao-sustentavel/>> Acesso em: 16 de Abr. 2019.

CANHOLI, A. P.; Drenagem urbana e controle de enchentes / Aluísio Pardo Canholi - 2. ed.. -- São Paulo: Oficina de Textos, 2014. Bibliografia ISBN 978-85-7975-160-8 e ISBN 978-85-7975-181-3. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=BPAAtCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP25&dq=urbaniza%C3%A7%C3%A3o+e+enchentes&ots=9WpmKiP77 &sig=sVSN08Rilrvby6Krril2QGZEsk#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 04 Jul. 2019.

Câmara dos deputados. PL 7162/2010. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=474004> Acesso em 19 de Mai. 2018.

CARDOSO, E. J., SANTOS, M. J., CARNIELLO, M. F.; O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO BRASILEIRO. XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação - Universidade do Vale do Paraíba, 2011.

CARVALHO, G.,C.; Avaliação de sistemas de telhados verdes: análise térmica e hídrica nos diferentes sistemas cultivados com *Callisia repens*. Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre-Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/154781>. Acesso em 28 de Mar. 2019.

CATUZZO, H.; Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo. 2013. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. doi:10.11606/T.8.2013.tde-18122013-123812. Acesso em 18 de mai. 2018.

CIIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Resenha Agrometeorológica – quadro chuva mensal por período. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp>>. Acesso em: 28 de out. 2018.

CITY OF SIDNEY. Green Roofs and Walls Policy Implementation Plan. City of Sydney 2014 / 126384. Disponível em: https://greenroofsaustralasia.com.au/sites/default/files/sponsors/files/CoS_Green-Roofs-and-Walls-Policy-Implementation-Plan-Adopted_0.pdf. Acesso em 19 de Mai. 2019.

CLIMATE-DATA. Dados climáticos de Limeira. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/>>. Acesso em: 10 de nov. 2019.

CÓDIGO MUNICIPAL DE TORONTO, Telhados verdes, Novembro de 2017, Capítulo 492. Disponível em: https://www.toronto.ca/legdocs/municode/1184_492.pdf. Acesso em 19 de Mai. 2019.

COMITE PARDO, Núcleo de Pesquisa e Extensão em Gerenciamento de Recursos Hídricos Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo - Comitê Pardo Boletim Informativo N.º 05/ Ano VI - Maio/2004 Disponível e <http://www.comitepardo.com.br/boletins/2004/boletim05-04.html>. Acesso em: 29 de Out. 2019.

COSTA, J.; COSTA, A.; POLETO, C. Telhado verde: redução e retardo do escoamento superficial. REA – Revista de estudos ambientais, v. 14, n. 2, p. 50-56, 2012.

FERREIRA, M. F. Teto Verde: O uso de coberturas vegetais em edificações. Departamento de Artes & Design (PUC), 2007.

FRANCIS, L. F. M., JESEN, M. B. Benefits of green roofs: A systematic review of the evidence for three ecosystem service. *Urban Forestry & Urban Greening*. Volume 28, December 2017, Pages 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.015>.

FRIZON, J. A. Telhados Verdes: Análise de custo de implantação e desempenho térmico no verão. Limeira/SP, 2018.

GUERRA JUNIOR, J. C.; Coberturas Vivas, Algumas Observações Técnicas Para A Sua Implantação. São Paulo, 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2013.

GOOGLE EARTH PRO, 2019. Data das imagens: 12/05/2019. Disponível em: <http://www.google.com/earth/index.html>. Acesso em: 25/09/2019.

GOIÂNIA. Lei complementar nº 235, de 28 de dezembro de 2012, Institui o Programa IPTU Verde no município de Goiânia. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/go/g/goiania/lei-complementar/2012/23/235/lei-complementar-n-235-2012-institui-o-programa-iptu-verde-no-municipio-de-goiania>. Acesso em 21 Mar. 2019.

HISOUR. Sod House. Disponível em: <https://www.hisour.com/pt/sod-house-29722/>. Acesso em 13 de Ago. 2019.

HE, Y.; YU, H.; DONG, N.; YE, H. Thermal And Energy Performance Assessment Of Extensive Green Roof In Summer: A Case Study Of A Lightweight Building In Shanghai. Energy And Buildings. V. 127, p. 762-773, 2016.

IBGE, Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: Estatísticas do século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol. 42, 1979.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Canal Cidades: Cidade de Limeira/SP. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/limeira/panorama>. Acesso em: 24 de fev. 2019.

IGRA, International Green Roof Association. Tipos de coberturas verdes. Disponível em: http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php. Acesso em 16 de Mai. 2018.

JOHN, V. M. Posicionamento Telhados Verdes no Brasil. 2014. Conselho Brasileiro de Construção Civil. Disponível em: http://www.cbcs.org.br/5dotSystem/userFiles/posicionamentos/CBCS_Posicionamento_Telhados-Verdes.pdf. Acesso em 22 de Mar. 2019.

KOSAREO, L.; RIES, R. Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. Building and environment, v. 42, n. 7, p. 2606-2613, 2007.

KOZMHINSKY, M. ; PINHEIRO, S. M. G. ; EL-DEIR, S. G. . Telhados Verdes:uma iniciativa sustentável. 1. ed. Recife: EDUFRPE, 2016. v. 500. 70p .

LIMA, G. C. O. Avaliação do desempenho de telhados verdes: capacidade de retenção hídrica e qualidade da água escoada. Caruaru, 2013. 128 f. Dissertação (mestrado) - UFPE, Centro Acadêmico do Agreste, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2013.

MARY, W.; SILVA, L. P.; MORAES, M. F.; ARRUDA, S.; WATSON, E.; FERRARI, A. C.; ROSSAFA, B.; PINTO, G. B. Telhados verdes: Ferramenta potencial para geração de renda em áreas de fragilidade social. 9º Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura e Urbanismo no Brasil – ENEPEA, Curitiba, Paraná, 2008.

MENDES, B. H. E. Tetos verdes e políticas públicas: uma abordagem multifacetada. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2013.

MORAES, M. F. Telhados verdes: Uma análise comparativa de custos e vantagens em relação aos telhados convencionais. Trabalho de Diplomação. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

MORUZZI, R. B.; MOURA, C. C.; BARBASSA, A. P. Avaliação do efeito da inclinação e umidade antecedente na qualidade e quantidade das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde extensivo. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 59-73, 2014.

Município de Toledo (PR). Manual de drenagem urbana. Toledo, 2017. Disponível em: https://www.toledo.pr.gov.br/sites/default/files/manual_de_drenagem_urbana_volume_i.pdf. Acesso em 9 de Dez. 2019.

Nações Unidas Brasil. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em 21 de Mar. 2019.

OLIVEIRA, E. W. N.; Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico. 2009, 87 pags. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Centro de Tecnologia e Ciências, Faculdade de Engenharia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

PL nº 716, 2010. Dispõe sobre o desconto no pagamento anual de IPTU na adoção de telhados verdes em imóveis em cidades com população. Do sr. Jorge Tadeu Mudalen. Disponível em: <https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2015/03/Projeto-de-lei-4887-2009-Jorge-Tadeu.pdf>. Acesso em 21 de Mar. 2019.

PLANO MUNICIPAL DE RECURSOS HÍDRICOS LIMEIRA/SP, 2016-2020. Disponível em: <https://www.limeira.sp.gov.br/sitenovo/downloads/c1a482201c199a0a0809b67dd0ad1dac.pdf>. Acesso em: 29 de Out. 2019.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO LIMEIRA/SP, Drenagem urbana e manejo de águas pluviais relatório 4, 2013. Disponível em: <https://www.limeira.sp.gov.br/sitenovo/downloads/0547d01f5994e8dee09122ef39b1510e.pdf>. Acesso em: 29 de Out. 2019.

PLANT CONNECTION, INC. Disponível em: <http://myplantconnection.com/green-roofs-legislation.php>. Acesso em: 18 de Mai. 2019.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. Artigo publicado na Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 5, n 1, jan/mar 2000, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, pp. 15-24.

RANGEL, A. C. L.; ARANHA, K. C.; SILVA, M. C. B. C. Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade. Vol. 35, dezembro 2015, DOI: 10.5380/dma.v35i0.39177. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB.

REBOLLAR P. B. M.; Telhados verdes - Uma abordagem multidisciplinar. 1ª edição, Livraria Editora Xavier. Florianópolis, Santa Catarina, 2017. P. 24 a 27. Disponível em: https://issuu.com/fatenp/docs/telhados_verdes_e-book. Acesso em 10 Ago. 2019.

RECIFE. Lei Municipal nº 18.112, de 12 de janeiro de 2015. Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações. Recife, 2015. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/pe/r/recife/lei-ordinaria/2015/1812/18112/lei-ordinaria-n-18112-2015-dispoe%20%20sobre-a-melhoria-da-qualidade-ambiental-das-edificacoes-por-meio-da-obrigatoriedade-de-instalacao-do-telhado-verde-e-construcao-de-reservatorios-de-acumulo-ou-de-retardo-doescoamento-das-aguas-pluviais-para-a-rede-de-drenagem-e-da-outras-providencias>. Acesso em 21 de Mar. 2019.

REFAHI, A. H.; TALKHABI, H. Investigating the effective factors on the reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs. *Renewable Energy*. Volume 80, August 2015, Pages 595-603. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.02.030>.

RIO DE JANEIRO. Lei estadual nº 6.349, de 30 de novembro de 2012. Dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação do “telhado verde”, 2012. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.leisestaduais.com.br/rj/leiordinaria-n-6349-2012-rio-de-janeiro-dispoe-sobre-a-obrigatoriedade-da-instalacao-dotelhado-verde-nos-locais-que-especifica-e-da-outras-providencias?q=6349>. Acesso em 19 de Mai. 2019.

SANTA CATARINA. Lei estadual nº 14.243, de 11 de dezembro de 2007. Dispõe sobre a implementação de sistemas de natureza através da criação de telhados verdes em espaços urbanos de Santa Catarina. Santa Catarina, 2007. Disponível em: http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2007/14243_2007_Lei.html. Acesso em 10 de Mai. 2019.

SANTANA, A. C. F.; Os desafios projetuais e construtivos dos telhados verdes. Recife. 105 p. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Artes e Comunicação. 2017.

SÃO PAULO. Decreto 55.994/2015 Introdúz alterações no artigo 4º do Decreto nº 53.889, de 8 de maio de 2013, que regulamenta o Termo de Compromisso Ambiental – TCA, 2015a. São Paulo. Disponível em: <http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/decreto-55994-de-10-de-marco-de-2015>. Acesso em: 21, Mar. 2019.

SÃO PAULO. Lei Municipal nº 16.277, de 05 de outubro de 2015. Dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação do “telhado verde”. São Paulo, 2015b. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/lei-16277-2015-sao-paulo_304234.html. Acesso em Mar. 2019.

SAVI, A. C.; Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura. 2012. 125f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SILVA, D. T.; Instalação e avaliação de um telhado verde em relação à utilização das espécies *Gazania rigens* e *Kalanchoe blossfeldiana*. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal), Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2010.

SILVA, N.C. Telhado verde: Sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil, Belo Horizonte, Escola de Engenharia UFMG, 2011.

SMITH, K.R., ROEBBER, P.J., 2011. Green roof mitigation potential for a proxy future climate scenario in Chicago, Illinois. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 50, 507–522. <http://dx.doi.org/10.1175/2010JAMC2337.1>.

SPOSITO, M. E. B.; Capitalismo e Urbanização. Núcleos urbanos na história, revolução industrial e urbanização. A cidade moderna: Para onde? Coleção Repensando a Geografia. Editora Contexto, 2001. 13 edição.

TASSI, R. et. al. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. *Ambient. constr.* vol.14 no.1 Porto Alegre Jan./Mar. 2014.

VIEIRA, Z. C; SILVA JUNIOR, C. G.; RIBEIRO, S. N.; Uso de telhados verdes em edificações de Aracajú para redução do escoamento superficial. Congresso Internacional Gestshafião da Água e Monitoramento Ambiental., 2015.

VILLARREAL, E. L.; BENGTSSON, L. Response of a Sedum green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering*, p. 1-7, 2005.

WANG X., TIAN Y., ZHAO, X. The influence of dual-substrate-layer extensive green roofs on rainwater runoff quantity and quality. *Science of The Total Environment*. Volume 592, 15 August 2017, Pages 465-476.

ZHANG, Q. et. al. The capacity of greening roof to reduce stormwater runoff and pollution. *Landscape and Urban Planning* 144. 2015. 142-150.