UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Sorocaba

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em
Ciências Ambientais

GUSTAVO DE CASTRO CARVALHO

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE TELHADOS VERDES: ANÁLISE TÉRMICA E HÍDRICA NOS DIFERENTES SISTEMAS CULTIVADOS COM *Callisia repens*

Sorocaba
2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Sorocaba

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em
Ciências Ambientais

GUSTAVO DE CASTRO CARVALHO

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 em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Tonello
Coorientador: Prof. Dr. Jarbas Honorio de Miranda

Sorocaba
2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba

Carvalho, Gustavo de Castro.

Avaliação de sistemas de telhados verdes: análise térmica e hídrica nos diferentes sistemas cultivados com *Callisia repens* / Gustavo de Castro Carvalho, 2018.
117 f.: il.

Orientador: Paulo Sergio Tonello.
Coorientador: Jarbas Honorio de Miranda.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba), 2018.

1. Telhados. 2. Construção sustentável. 3. Conforto térmico. 4. Análise térmica. 5. Tecnologia verde. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba). II. Título.

Bibliotecário responsável: Bruna B. Guimarães – CRB 8/8855

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE TELHADOS VERDES: ANÁLISE TÉRMICA E HÍDRICA NOS DIFERENTES SISTEMAS CULTIVADOS COM Callisia repens

AUTOR: GUSTAVO DE CASTRO CARVALHO
ORIENTADOR: PAULO SERGIO TONELLO
COORIENTADOR: JARBAS HONORIO DE MIRANDA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. PAULO SERGIO TONELLO
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT - Sorocaba

Prof. Dr. ANTONIO CESAR GERMANO MARTINS
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT - Sorocaba

Profa. Dra. KÉSIA OLIVEIRA DA SILVA MIRANDA
Departamento de Engenharia de Biossistemas / ESALQ - USP

Sorocaba, 28 de junho de 2018

Dedico esse trabalho aos meus pais, em primeiro lugar, que sempre me incentivaram a nunca parar de estudar, e a minha irmã Roberta e noiva Melissa.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço meus pais Roberto e Inês, sem o apoio deles não seria possível realizar todo meu trabalho, à minha irmã Roberta, que me aguentou nos melhores e piores dias dessa jornada e à minha noiva Melissa que sempre me motivou a estudar e continuar seguindo meus planos.

Ao Prof. Dr. Paulo Sérgio Tonello por ter aceito ser meu orientador, e me recebido na UNESP de portas abertas.

Ao Prof. Dr. Jarbas, coorientador, com quem trabalho há mais de 5 anos na ESALQ, desde a graduação, por ter me ajudado muito durante o projeto de pesquisa.

À Profa. Dra. Sônia Piedade da ESALQ, responsável por me auxiliar em todas as análises estatísticas, quem me lecionou cálculo, estatística geral e experimental, e foi de extrema importância para minha formação.

À FACENS, por ter aceito a parceria para montagem do experimento em seu campus, especialmente à equipe do Smart Campus Facens, que não desistiu da ideia do projeto e lutou pela instalação.

À diretoria da FACENS, que apoiou o projeto e me recebeu na faculdade com grande receptividade, especialmente ao diretor Paulo Carvalho.

As técnicas de laboratório da UNESP, Letícia e Suzan, que foram imprescindíveis nas análises químicas realizadas.

Ao Sérgio, proprietário do Instituto Cidade Jardim, empresa especializada em sistemas de Telhados Verdes, que me cedeu o material para instalação dos diferentes sistemas, além de ajudar na instalação e contribuir com diversas informações sobre coberturas vegetais, com sua ampla experiência no cultivo desses sistemas.

Além de todas as outras pessoas não mencionadas que participaram de forma direta ou indireta do projeto de pesquisa.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.” Charles Chapin

RESUMO

A crescente urbanização, faz com que problemas ambientais tornem-se cada vez mais frequentes e, dessa forma, alternativas como o uso de coberturas vegetais mostram-se como importantes ferramentas para a melhoria ambiental nos centros urbanos. Telhados verdes são sistemas construtivos que quando utilizados, trazem inúmeros benefícios à população, dentre os quais se destacam: melhoria no conforto térmico em edificações, diminuição da poluição atmosférica, acústica e visual, além de menor escoamento superficial, reduzindo enchentes. Diante disso, a presente pesquisa buscou avaliar a temperatura em protótipos com diferentes sistemas de telhados verdes comerciais (Sistema FLAT, Sistema Modular e Sistema MacDrain) cultivados com *Callisia repens*, para quantificar a melhoria no que diz respeito ao conforto térmico que esses sistemas proporcionam, comparando-os entre si e com um sistema testemunha, totalizando 4 protótipos. A coleta dos dados ocorreu no período de 09/08/2017 à 22/11/2017 através de sensores de temperatura automatizados, em três diferentes horários: 08:00, 13:00 e às 22:00 horas. Adotou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, e foram realizadas análises estatísticas para a comparação dos resultados, através do Teste de Tukey a 5% de significância. Os resultados mostraram que em horários com valores maiores de temperatura, os sistemas conseguem atenuar a radiação solar, diminuindo a transferência de calor do meio externo para o compartimento instalado logo abaixo dos sistemas. Já em temperaturas amenas, como o período noturno, o sistema funciona de forma a manter o calor absorvido durante o dia no compartimento abaixo, isolando a perda de calor. Apesar da maior parte dos dados de temperatura interna não estarem dentro dos limites da zona de conforto térmico, a diferença mensurada entre os valores de temperatura dos sensores posicionados no protótipo testemunha e os protótipos com os sistemas instalados de telhados verdes chegou a 23 °C no dia 14/10/2017. Realizando-se as análises estatísticas, o protótipo testemunha apresentou diferença significativa, em relação aos sistemas com telhados verdes, nos três horários, mostrando o potencial do sistema com cobertura vegetal no isolamento térmico. Para os horários das 08:00 e 22:00 horas, os protótipos com diferentes sistemas instalados não apresentaram diferença significativa entre si, entretanto, às 13:00 horas, o sistema FLAT diferiu do sistema Modular. Além das análises térmicas, foram realizadas também análises físico-químicas da água utilizada no sistema de irrigação após a drenagem no Sistema FLAT, com a finalidade de verificar a possibilidade de reúso em sistemas de irrigação. Os parâmetros analisados foram: pH, carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e potássio, sólidos totais, DBO, turbidez e cor. Os resultados mostraram que a qualidade da água drenada foi pouco alterada em relação à água utilizada na irrigação. Dessa forma, a água escoada poderia ser reutilizada para irrigar o próprio sistema de telhado verde, ou ainda, jardins do entorno, contribuindo para o menor consumo de água e preservação deste bem.

Palavras-chave: Telhado verde. Reuso da água. Conforto térmico. *Callisia repens*

ABSTRACT

The crescent urbanization makes that environmental problems become more frequent and, therefore, alternatives as the use of plant cover are important for the environmental improvement. The green roofs are constructive systems that when used bring countless benefits to the population, to name but a few, thermal comfort improvement in buildings, decrease of the atmosphere pollution, acoustic and visual, besides a larger surface flow reducing floods. Therefore, the present dissertation has evaluated the temperature in different green roof systems prototypes cultivated with Callisia repens, to quantify the improvement related to the thermal comfort that these systems provide, comparing them with each other and with a control system, totaling 4 prototypes. Data were collected from 09/08/2017 to 11/22/2017 by automated alerts, at three different times: 08:00am, 01:00pm and 10:00pm. To compare statistically the results, critical analyses were carried out using the Tukey test at 5% significance level. The results have showed that with higher temperatures, the systems are able to weaken the solar radiation, reducing the heat transfer from the external environment to the compartment just below the prototypes. On the other hand, at night, normally with mild temperatures, the system works by keeping the heat absorbed during the day in the compartment below, isolating the loss of heat. Although most of the internal temperature levels are not within the limits of thermal comfort zone, the difference between the temperature measured in both the temperature values of the sensors placed on the main prototype and the ones placed on the green roof prototypes systems reached 73,4 °F on 10/14/2017. Statistically, the control prototype was different from the green roof systems in the three measured times, showing the potential of them in the thermal comfort. At 08:00am and 10:00pm, the prototypes were statistically equal, but at 01:00pm, the FLAT system differred from the Modular system. Besides the thermal analysis, water tests were carried out with the water that passed through the FLAT system during the drainage, to analyze the possibility of reusing the water for irrigation systems. The parameters considered were: pH, organic carbon, nitrogen, phosphorus and potassium, total solids, BOD, turbidity and color. The results have showed that the quality of the drained water was not changed in comparison to the water used in the irrigation. Therefore, the water could be reused to irrigate the green system itself, or even surrounding gardens, contributing to a lower water consumption and preserving it.

Keywords: Green roof. Water reuse. Thermal comfort. *Callisia repens*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapeamento das publicações referentes a telhados verdes de 20
Figura 2 - Comparação da temperatura interna utilizando cimento amianto e cobertura verde em diferentes dias da semana. 39
Figura 4- Localização do município de Sorocaba no estado de São Paulo..... 57
Figura 5 - Local de montagem do projeto: Faculdade de Engenharia de Sorocaba .. 58
Figura 6- Sistema FLAT: Placas PVC (0,50 x 0,50 x 0,10) + Manta de drenagem 60
Figura 7 - Sistema FLAT: Substrato + Vegetação sobre o sistema 60
Figura 8 - Sistema Modular: Módulos (0,50 x 0,50 x 0,075 cm) + Manta de drenagem já inseridos nos módulos + Substrato + Vegetação..... 61
Figura 9 - Sistema Modular instalado sobre uma edificação..... 62
Figura 10 - Manta Macdrain utilizada sobre lajes para sistema mais simples..... 62
Figura 11 - Esquema de montagem para uso de manta Macdrain 63
Figura 12 - Processo de corte do compensado naval pela cortadora à laser 64
Figura 13 - Peças de madeira, as quais formaram os protótipos 64
Figura 14 - Protótipo de compensado naval montado e impermeabilizado, pronto para receber o sistema de telhado verde. 65
Figura 15 - Caixa de isopor acoplado a caixa de madeira..... 66
Figura 16 - Protótipo sem sistema instalado..... 67
Figura 17 - Protótipos de telhados verdes devidamente instalados..... 67
Figura 18 - Mudas de “raiz nua” da espécie *Callisia repens* utilizada..... 69
Figura 19 - Detalhes das mudas plantadas nos sistemas 69
Figura 20 - Substrato utilizado da Carolina Soil do Brasil..... 70
Figura 21 - Sistema de irrigação por gotejamento em 2 linhas controlado por um Timer, instalado igualmente nos 3 protótipos 71
Figura 22 - Corte esquemático das posições dos sensores externo e interno..... 72
Figura 23 - Sensor de temperatura DS18B20 à prova da água..... 73
Figura 24 - Placa NodeMcu (ESP8266) utilizada para envio de dados coletados pelos sensores 73
Figura 25 - Sistema supervisório PI System com dados em tempo real dos sistemas de telhados verdes 74

Figura 26 - Gráfico de temperatura interna às 08:00 horas em relação ao limite inferior e superior de conforto térmico (L.I.C.T e L.S.C.T respectivamente) nos sistemas: Modular (SM), MacDrain (SD), FLAT (SF) e Testemunha 86
Figura 27 - Temperatura exerna do ar às 08:00 horas 87
Figura 28 - Radiação solar às 08:00 horas 87
Figura 29 - Pluviosidade às 08:00 horas 88
Figura 30 - Gráfico de temperatura interna às 13:00 horas em relação ao limite inferior e superior de conforto térmico (L.I.C.T e L.S.C.T respectivamente) nos sistemas: Modular (SM), MacDrain (SD), FLAT (SF) e Testemunha 90
Figura 31 - Temperatura externa do ar às 13:00 horas 91
Figura 32 - Radiação solar às 13:00 horas 91
Figura 33 - Pluviosidade às 13:00 horas 92
Figura 34 - Gráfico de temperatura interna às 22:00 horas em relação ao limite inferior e superior de conforto térmico (L.I.C.T e L.S.C.T respectivamente) nos sistemas: Modular (SM), MacDrain (SD), FLAT (SF) e Testemunha 94
Figura 35 - Temperatura externa do ar às 22:00 horas 95
Figura 36 - Pluviosidade às 22:00 horas 95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos sistemas de coberturas vegetais e suas respectivas características. 26
Tabela 2 - Protótipos e distribuição dos sensores 72
Tabela 3 – Resultados das análises hídricas..... 80
Tabela 4 - Parâmetros básicos para água de reúso Classe 3 84
Tabela 5 - Comparação entre sistemas independente dos horários..... 97
Tabela 6 - Comparação entre horários independente dos sistemas..... 97
Tabela 7 - Comparação entre os sistemas às 08:00 horas..... 98
Tabela 8 - Comparação entre os sistemas às 13:00 horas.....98
Tabela 9 - Comparação entre os sistemas às 22:00 99

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16

2 OBJETIVOS GERAIS 18

2.1 Objetivos específicos 18

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19

3.1 Aspectos gerais 20

3.2 Contexto histórico 22

3.3 Tipos de sistema 25

3.3.1 *Substrato* 27

3.3.2 *Vegetação* 29

3.3.3 *Camada de drenagem* 31

3.3.4 *Impermeabilização* 32

3.4 Benefícios 32

3.4.1 *Estética e lazer* 32

3.4.2 *Ecologia* 33

3.4.3 *Poluição* 35

3.5 Efeitos da temperatura e aspectos físicos 36

3.5.1 *Conforto térmico* 37

3.5.1.1 Índices de conforto térmico 40

3.5.1.1.1 Temperatura efetiva 40

3.5.1.1.2 Nova temperatura efetiva 41

3.5.1.1.3 O Índice PMV/PPD de Fanger 41

3.5.1.1.4 Modelos adaptativos de Conforto 42

3.5.2 *Bem-estar animal* 43

3.5.3 *Aspectos físicos* 45

3.5.3.1 Radiação 45

3.5.3.2 Condução 47

3.6 Água 48

3.6.1 *Características* 48

3.6.2 Escoamento superficial e armazenamento 51

3.6.3 *Qualidade da água* 53

3.7 Limitações 54

3.8 Tendências 56

4 MATERIAIS E MÉTODOS 56
4.1 Caracterização da área experimental 56
4.2 Montagem do protótipo 59
4.2.1 Sistemas utilizados 59
4.2.2 Estrutura 63
4.2.3 Espécie vegetal 68
4.2.4 *Substrato e Sistema de Irrigação* 70
4.3 Coleta de dados térmicos 71
4.3.1 Análises de conforto térmico 75
4.3.2 Delineamento experimental e análises estatísticas 75
4.4 Coleta de dados hídricos 76
4.4.1 *Análises hídricas* 77
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 80
5.1 Reúso da água 80
5.2 Conforto térmico 85
5.3 Comparação dos sistemas 97
6 CONCLUSÃO 100
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 101

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento acelerado das cidades, há o aumento de áreas construídas e consequente diminuição de áreas permeáveis, responsáveis pela drenagem de água pluvial, que deixam de exercer seu papel. Essa alteração do ambiente urbano provoca grandes problemas como o acúmulo de água pluvial, acarretando em enchentes, as quais resultam em diversos prejuízos à população, como perda de bens materiais e danos à saúde.

A temperatura também é influenciada pelas áreas construídas, pois materiais como asfalto, concreto e telhas de barro, por exemplo, possuem alta condutividade térmica, por isso permitem grande fluxo de calor através deles. Além disso, a concentração de edifícios interfere na circulação dos ventos. Como agravante, tem-se a poluição atmosférica, a qual, causada principalmente pela queima de combustíveis fósseis devido à grande quantidade de automóveis em utilização, retém o calor, resultando em maior aquecimento dos centros urbanos.

A vegetação possui diversas funções no ambiente. Entre elas está o aumento da infiltração da água no solo, aumento da umidade relativa do ar e diminuição das temperaturas atmosféricas. Por meio dela, há a retenção de partículas resultantes de poluição, podendo haver filtração desses elementos. Sabendo-se que essas são apenas algumas das funções exercidas pela vegetação, entende-se que a diminuição dessas no ambiente tem como resultado a perda da qualidade ambiental que esta proporciona.

A diminuição das temperaturas atmosféricas, resultante da presença de organismos vegetais, ocorre devido ao fato de serem responsáveis pela transformação de energia luminosa em energia química através do processo de fotossíntese. Esse processo influencia na atenuação de temperatura devido à absorção de energia solar – responsável pelo aumento da temperatura atmosférica, além da umidade liberada pela vegetação através da transpiração.

Ainda como benefício que a vegetação traz para o ambiente através do processo de fotossíntese tem-se a capacidade de captação de gás carbônico, um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa no planeta, o qual é liberado em grandes quantidades por automóveis e indústrias. (RENNÓ; SOARES, 2007)

Outro aspecto relevante em relação ao crescimento urbano e populacional é a água. Essa questão vem se agravando nas últimas décadas, uma vez que há

descontrole no que diz respeito à sua utilização e poluição dos recursos hídricos, o que torna a água disponível imprópria para o consumo humano. (HELLER, 2006)

Para mitigar esse problema, tem-se como alternativa o aproveitamento da água pluvial. Esse processo pode ser feito por meio do armazenamento em cisternas, reservatórios passíveis de instalação em residências ou áreas comerciais. Assim, a água captada pode ser utilizada para fins como irrigação de jardins, descarga sanitária, limpeza de pisos, entre outros. (AMORIM; PEREIRA, 2008)

O aproveitamento dos poucos espaços disponíveis para vegetação nos grandes centros urbanos provém do paisagismo, o qual tem como finalidade a organização de espaços com diversos tipos de vegetação de acordo com as necessidades locais, alinhando estética, bem estar e benefícios para o ambiente. A arquitetura paisagística não se constitui apenas da elaboração de projetos em áreas comuns residenciais, comerciais ou parques urbanos, mas também da utilização de vegetação em coberturas de edificações e na disposição vertical, as chamadas paredes verdes ou jardins verticais. (CORMIER; PELLEGRINO, 2008)

A utilização de coberturas vegetais tem sido uma solução para o uso da vegetação nos centros urbanos, pois não há influência na expansão das cidades, de forma que são instaladas em uma área anteriormente inutilizada: as coberturas das edificações. O emprego desses sistemas já existe há diversos anos e tem sido implementado principalmente com a finalidade de melhorar o conforto térmico das construções, através da redução da temperatura. (OLIVEIRA, 2009)

O conforto térmico ocorre de forma que, com a incidência dos raios solares, a vegetação absorverá a energia luminosa e a utilizará no processo fotossintético, ou seja, da energia luminosa total incidente sobre a cobertura, apenas uma parte será transmitida para a edificação. Em comparação a um sistema de cobertura convencional, haverá a transmissão de energia em menor quantidade pelo material da construção, uma vez que parte dela terá sido absorvida pela vegetação, pelo substrato e seu suporte, portanto, pelo sistema utilizado. (FERRAZ, 2012)

O conforto térmico é influenciado segundo vários fatores, como as condições ambientais, as quais têm sido alteradas ao longo dos anos, principalmente devido à impermeabilização recorrente do solo e à falta de vegetação, uma vez que a ausência desta permite que a radiação atinja diretamente a cobertura. (PAULA, 2004)

O conforto térmico encontra-se inserido no conforto ambiental, tendo ligação com as áreas de Engenharia e Arquitetura, pois estas são responsáveis pela criação dos espaços e ambientes. (XAVIER, 1999)

A redução no consumo de energia elétrica provém da redução na utilização de aparelhos condicionadores de ar, os quais são grandes responsáveis pelo gasto de energia elétrica. No caso de países tropicais, como o Brasil, o uso expressivo desses equipamentos ocorre devido a temperatura elevada, já em países frios, aquecedores são utilizados para melhorar a temperatura nas edificações. (DE MELLO, 2011)

A cobertura vegetal pode, ainda, ser funcional, uma vez que a instalação de hortas podem ser realizadas. Assim sendo, pode haver cultivo de produtos agrícolas, beneficiando os residentes.

2 OBJETIVOS GERAIS

Para comprovar os benefícios anteriormente citados, em relação ao conforto térmico, o presente trabalho analisou três diferentes sistemas de telhados verdes com a espécie vegetal, do tipo suculenta, *Callisia repens*, comumente utilizada nessas coberturas: Sistema FLAT, Sistema Modular e Sistema MacDrain. Para se verificar o efeito em relação a temperatura, foi utilizado também um protótipo apenas impermeabilizado, representando uma laje comum, sem sistema de cobertura vegetal.

Além disso, análises físico-químicas da água de irrigacao, drenada do sistema FLAT, foram realizadas, verificando sua possível reutilização.

2.1 Objetivos específicos

- Construção de quatro protótipos, sendo três com diferentes sistemas de telhados verdes instalados e um somente impermeabilizado;
- Plantio da espécie *Callisia repens* na mesma densidade nos três protótipos;
- Instalação de sensores de temperatura com coleta e análise estatística dos dados;

- Coleta de amostras da agua drenada do sistema FLAT e análise de parâmetros físico-químicos em relação a qualidade da água drenada.

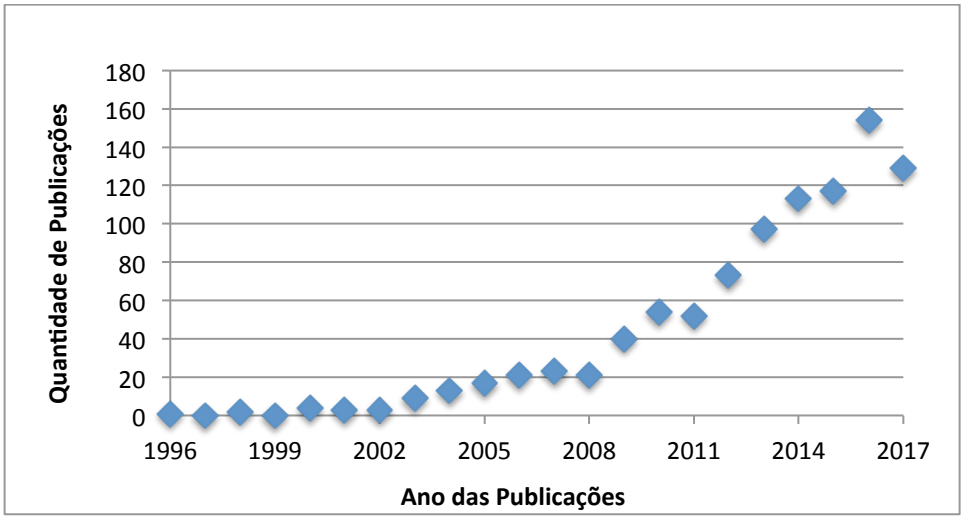
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pesquisas referentes ao estudo dos telhados verdes são ainda pouco exploradas quando comparadas a outros assuntos. Entretanto, as avaliações em diversas regiões do mundo, tanto ao que tange a análise de eficiência energética, benefícios estéticos e ecológicos, ou em relação à qualidade da água são fundamentais, uma vez que cada local possui suas particularidades quanto ao clima, umidade e ocupação do solo, fazendo com que as coberturas vegetais se comportem de formas distintas.

Em pesquisa sobre as publicações de telhados verdes, de acordo com o banco de dados da ISI Web of Science, identificou-se que a maior parte das publicações sobre o tema é proveniente de pesquisas norte americanas, as quais correspondem à 34% do total. Em seguida, tem-se, com 33% e 20%, União Européia e Ásia, respectivamente. Além disso, há indícios de que a frequência e o número de publicações aumentaram significamente a partir dos anos 2000. (BLANK et al., 2013)

Ao realizar-se a pesquisa, utilizando como assunto “green roof” (telhado verde), o banco de dados da ISI Web of Science, retornou 859 trabalhos publicados desde 1996, conforme a figura 1:

Figura 1 - Mapeamento das publicações referentes a telhados verdes de 1996 à 2017



Fonte: Web of Science.

Os trabalhos estão divididos em categorias, sendo as principais: Ciências Ambientais (229), Engenharia Ambiental (176), Engenharia Civil (157), Ecologia (146), Tecnologia de construções (142), Energia (113), Recursos de água (90), Horticultura (86), entre outros.

Dessa forma, pode-se observar que as pesquisas e publicações referentes a telhados verdes têm aumentado expressivamente, nas mais diversas áreas.

3.1 Aspectos gerais

A urbanização mundial é contínua e crescente, os investimentos são limitados e a infraestrutura obsoleta. Como consequência, tem-se a necessidade de desenvolvimento de estratégias inovadoras e abrangentes, as quais permitam administrar de forma mais eficaz as mudanças demográficas e estruturais. (LEHMANN; CROCKER, 2012)

O impacto ambiental – grande problema em todas as partes do mundo – está, geralmente, atrelado a ação antrópica sobre a natureza, de forma a haver uma pressão crescente sobre o ambiente em que se vive.

Após a crise econômica mundial de 2008, a construção civil apresentou forte crescimento, destacando-se no cenário nacional nos aspectos econômicos e sociais,

principalmente devido a alta demanda de mão-de-obra e do número exacerbado de atividades envolvidas em toda a cadeia de produção, o que fez com que houvesse um grande consumo de bens e serviços. (MELO, 2011)

Dessa forma, o desenvolvimento desenfreado da construção civil faz com que haja diminuição de espaços destinados às áreas verdes, trazendo aos centros urbanos problemas relacionados à falta de vegetação como: enchentes, ilhas de calor e poluição. Para que seja possível solucionar as adversidades provenientes do desenvolvimento e da expansão urbana, para que a convivência entre homem e meio ambiente seja harmônica, é imprescindível que haja otimização dos pequenos espaços urbanos disponíveis, que se priorize a preservação do meio e que se impeça o avanço das alterações já existentes.

Alternativas como coberturas vegetais, jardins verticais, calçadas ecológicas, jardins filtrantes e arborização urbana, além de melhorarem o aspecto visual, podem ser utilizadas para gestão ambiental, uma vez que contribuem para a melhoria da qualidade ambiental. O paisagismo, apesar de essencialmente estar relacionado à estética, pode contribuir com a elevação da umidade, diminuição da erosão e das ilhas de calor, melhoria na drenagem da água e atração da avifauna. (GENGO; HENKES, 2012)

Para Sutton (2015), uma das formas de reinserção da natureza às cidades é a utilização de telhados verdes, uma vez que as condições urbanas encontram-se limitadas devido ao crescimento populacional e elevado desenvolvimento urbano, e há somente pequenos espaços disponíveis para a vegetação.

Cobertura vegetal, jardim suspenso ou telhado verde, são denominações dadas à uma estrutura construída sobre lajes ou telhados convencionais, a qual conta com a utilização de vegetação que ocasionará benefícios térmicos, ecológicos, estéticos, acústicos, entre outros. (SILVA, 2011)

Apesar de não ser uma técnica consideravelmente nova, a utilização desse tipo de cobertura tem tido crescente destaque na atualidade, uma vez que traz benefícios ambientais, dos quais cita-se a maior drenagem da água – de forma a haver diminuição de enchentes – maior absorção de ruídos das cidades – havendo melhoria na acústica dos locais – coleta e armazenamento de água pluvial – podendo haver influência direta na economia de água – além do conforto térmico, uma vez que as variações de temperaturas de ambientes internos são amenizadas,

reduzindo, consequentemente, o gasto de energia necessária para condicionamento de ar. (SANTAMOURIS, 2014)

Em países como a Noruega, a principal contribuição dos telhados verdes é a absorção de CO_2, regulação local do clima, além do gerenciamento de águas pluviais, reduzindo o escoamento após eventos de precipitação e neve derretida. (BRASKERUD, 2014)

Na Europa, essa técnica tem sido utilizada como forma de diminuição da concentração de carbono no ar, além dos benefícios relevantes como redução da demanda de energia para climatização no verão, principalmente em regiões mais quentes. Esses fatores tem tornado a utilização mais popular, pois, além de valorizar o ambiente esteticamente, ainda auxilia em questões energéticas e ambientais. (FERRANTE et al., 2016)

A utilização de coberturas vegetais, além de beneficiar o local de instalação, favorece também locais presentes no seu entorno, uma vez que estes tendem a adquirir maior umidade com a utilização da vegetação, proporcionando, dessa forma, o aumento da área atingida pelo uso do sistema. Assim, há uma melhoria significativa para o clima e qualidade do ar no entorno. (ARAÚJO, 2007)

Os telhados verdes podem, ainda, ter sua aplicação em ambientes rurais. Um exemplo prático é a utilização em granjas, tendo como finalidade a diminuição da temperatura. Além disso, é possível utilizá-los para produção de alimentos, quando cultiva-se uma horta na cobertura. (FRANÇA, 2012)

As adições ao ambiente de instalação são inúmeras, entretanto, o aspecto estético é, ainda hoje, o mais reconhecido. Esse fato se consolida devido à falta de exploração e pesquisa dos benefícios e ganhos ambientais. Além disso, há uma introdução prematura de sistemas de telhados verdes no mercado, o que faz com que não haja grande interesse por parte da população. (VIJAYARAGHAVAN; JOSHI, 2014)

3.2 Contexto histórico

A utilização de telhados verdes é antiga. Relatos históricos mostram utilizações dessa técnica construtiva na antiga Mesopotâmia e na Babilônia, por meio de jardins suspensos. As aplicações davam-se, principalmente, devido ao

conforto térmico proveniente da instalação, uma vez que esta causava diminuição de temperatura nos ambientes. (SILVA, 2011)

Na antiguidade, a utilização deu-se para dois fins: tanto para garantia de conforto térmico em locais de altas temperaturas, como para servirem de isolante térmico em regiões muito frias como a Islândia e Escandinávia. (SAVI, 2012).

Em cidades ao redor do Mar Mediterrâneo, é habitual o uso de coberturas verdes há séculos como espaços habitados e jardins, compensado pelos espaços perdidos no chão (LEHMANN, 2014)

No período renascentista (séculos XIV à XVI), na Itália, já se utilizava comumente coberturas verdes nas habitações. Ainda, no continente Europeu, durante a Idade Média, coberturas vegetais eram muito utilizadas para a produção de alimentos e conservação da água, técnicas utilizadas atualmente nos grandes centros urbanos. (PECK, 1999)

Durante o Modernismo (século XX), o pensamento racionalista começou a se expandir, alterando os valores estéticos predispostos anteriormente. Dessa forma, as coberturas sustentáveis deixaram de ser avaliadas somente pelo fator funcional, passando a serem vistas e valorizadas também pela estética associada à sua aplicação. (COSTA, 2010)

A partir dos anos 60, na Alemanha, começou-se a estudar e aprimorar as técnicas utilizadas para a construção e instalação de telhados verdes. Foram introduzidos, na época, materiais como membranas impermeabilizantes, substratos pouco densos, materiais que possibilitavam maior drenagem, além de espécies de plantas adequadas para a finalidade. Durante a década de 80, o crescimento passou a ser de 15 a 20% ao ano, de forma a totalizar 10 milhões de metros quadrados no país em 1996. Esse crescimento deu-se devido aos estímulos dados através de leis que subsidiavam essas construções. (PECK, 1999)

Atualmente na Alemanha, são implantados anualmente 13,5 milhões de m^2 de telhados verdes. Os sistemas instalados, são modernos, projetados, desenvolvidos e comercializados por empresas do próprio país. (OBERNDORFER et al., 2007).

No século XXI, devido à globalização e à discussão assídua dos problemas ambientais, começa-se a perceber a necessidade de preservação dos recursos naturais, além da minimização de impactos já gerados. Assim, buscam-se diversas formas de conscientização da sociedade consumista acerca da problemática ambiental, além da necessidade de ressaltar a importância de soluções eficientes,

como os telhados verdes, de forma que o conhecimento sobre o assunto começou a ser disseminado. (FRANÇA, 2012)

Diversos estudos foram realizados com ênfase na biodiversidade, design, substrato e construção do telhado (BERNDTSSON, 2010). A maioria desses primeiros estudos foram escritos em alemão e infelizmente não estão mais disponíveis (ROWE, 2011). Contudo, devido a iniciativa da Alemanha, e posteriormente dos países europeus vizinhos a ela, telhados verdes tem sido instalados em todo o mundo.

Na Suíça, dos telhados instalados, em 15% deles são utilizados coberturas vegetais. Nos Estados Unidos, cidade de Portland, todos os novos edifícios devem ser construídos com um telhado verde que cubra pelo menos 70% da área total da cobertura (TOWNSHEND, 2007). Em Tóquio, no Japão, todos os edifícios privados com mais de 1.000 m^2 e públicos maiores que 250 m^2 devem possuir pelo menos 20% de suas coberuras como telhado verde ou pagar anualmente uma multa. (CHEN, 2013)

Segundo Tomaz (2005), o primeiro projeto de cobertura vegetal no Brasil foi implantado em 1936, no prédio do MEC (Ministério da Educação e Cultura), o qual teve o projeto desenvolvido pelo artista plástico e paisagista Roberto Burle Marx e, depois, em 1988, no Banco Safra (São Paulo). Já os arquitetos Rosa Grená Kliass e Jamil Kfouri projetaram os jardins do Vale do Anhangabaú, em São Paulo no ano de 1992.

Atualmente, a utilização de telhados verdes no Brasil, tem aumentado devido à crescente demanda e ao aumento do número de empresas que estão se especializando nas instalações. Entretanto, o desconhecimento sobre o asssunto pela maioria da população e o elevado custo de instalação, quando comparado ao sistema de cobertura convencional, tem limitado a adesação das pessoas por essa solução ecológica. Deve-se considerar porém a economia trazida a longo prazo devido aos benefícios provenientes desses sistemas. Para sua maior disseminação e incentivo à aplicação, projetos de leis têm sido desenvolvidos e propostos. (VIJAYARAGHAVAN, 2016)

De acordo com Beatrice (2011), legislações têm sido criadas e apresentadas para a divulgação e adoção do sistema nas grandes cidades brasileiras. O governo do Estado de Santa Catarina aprovou a Lei n° 14.243, de 11 de dezembro de 2007, a qual propõe a implantação do sistema em espaços urbanos. No Estado de São

Paulo, projetos também já foram apresentados, como o projeto de Lei n° 115/2009, o qual dispõe a respeito do uso obrigatório de coberturas vegetais para edificações acima de três pavimentos.

Ações que preservem o meio ambiente estão sendo cada vez mais valorizadas. Assim, há o desenvolvimento de formas que aliam técnicas de preservação com valorização econômica, como o crédito de carbono, certificações, etc.

As certificações ambientais, como a LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) – sistema de certificação e orientação ambiental de edificações criado pelo U.S. Green Building Council, utiliza as instalações de telhado verde como forma de pontuar o empreendimento para obtenção de certificado verde. Outro processo de certificação, o do sistema Aqua da Fundação Vanzolini, objetiva avaliar a Alta Qualidade Ambiental do Empreendimento, levando em consideração a utilização de coberturas vegetais na gestão de energia, limitando a necessidade de equipamentos para resfriamento como o ar condicionado. (SAVI, 2012)

3.3 Tipos de sistema

Segundo Rola (2008), as coberturas vegetais podem ser classificadas em sistema Completo, Modular e Manta Vegetativa Pré-cultivada.

Telhados verdes são compostos de vários componentes, incluindo vegetação, substrato, manta filtrante, camada de drenagem e impermeabilização, e o papel desempenhado por cada componente é bem definido no sistema projetado para cada local onde será instalado. (VIJAYARAGHAVAN et al., 2015)

Para a escolha do sistema adequado e implantação do projeto, a empresa de instalação deve realizar um estudo do local, analisando a estrutura da laje da construção, ou seja, a inclinação, resistência e a finalidade do sistema. A classificação dos sistemas é feita de acordo com: a carga, espessura vegetal, espessura do substrato, tipo de vegetação e manutenção e é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos sistemas de coberturas vegetais e suas respectivas características.

Tipo	Intensivo	Semi-intensivo	Extensivo
Carga superficial	De 700 a 1.200kg/m2	De 700 a 100kg/m2	Até 100kg/m2
Espessura vegetal	Superior a 250cm	De 15 a 100cm	Menor que 100cm
Espessura de substrato	Superior a 20cm	De 10 a 20cm	Menor que 10cm
Tipo de vegetação	Arbóreo	Arbustivo	Herbáceo extensivo
Manutenção	Intensa	Média	Baixa ou nenhuma

Fonte: adaptado de Rola (2008)

O sistema Completo é o mais utilizado ao redor do mundo e sua instalação se dá diretamente na estrutura que suporta o sistema. Suas camadas, iniciando pela inferior, são dispostas segundo a ordem: camada impermeabilizante, drenagem, substrato e vegetação. Para o perfeito funcionamento do sistema, é fundamental que as camadas sejam bem definidas e estabelecidas. (ROLA, 2008)

O Sistema Modular é um sistema completo, ou seja, possui todas as camadas descritas, entretanto, seu desenvolvimento ocorre em pequenos módulos com estrutura de tamanho variado e de material biodegradável. Esses módulos podem já contér o substrato e a vegetação desenvolvida e assim, após o preparo do local, impermeabilização, instalação de camada de drenagem e manta geotêxtil, tem-se a colocação dos módulos, os quais se encaixam formando a cobertura verde, ou então, podem ser montados no local, onde os módulos são instalados e o substrato e a vegetação adicionado. (ROLA, 2008)

Segundo , (2014), o sistema modular geralmente é empregado em cobertura extensiva e pode ser utilizado em superfícies planas ou inclinadas onde os módulos serão dispostos. Ainda existem alguns tipos de sistemas modulares que permitem a reserva de água através de uma membrana alveolar. Dessa forma, estes sistemas são completos, dispondo de todas as camadas, e possuem, como adicional, essa placa alveolar para retenção de água, a qual contém canais de drenagem na parte inferior.

No sistema de manta vegetativa pré-cultivada, tem-se a vegetação sendo cultivada diretamente sobre uma manta. Empresas especializadas enrolam essa

manta e a transportam até o local de instalação onde é desenrolada e o sistema é implantado. Esse sistema tem 2,5 cm de substrato e pesa entre 40 a 60kg/m^2 (GATTO, 2012).

3.3.1 *Substrato*

A utilização do substrato ideal influência diretamente no desenvolvimento das plantas e desempenho dos telhados verdes, por isso a escolha do substrato é crucial para o sucesso do sistema. Benefícios das coberturas vegetais como melhoria na qualidade da água, redução do escoamento superficial, desempenho térmico e isolamento acústico estão associados ao tipo de substrato. (VIJAYARAGHAVAN, 2016)

Comumente não se encontra um substrato com todas as características necessárias para constituir o meio de crescimento da vegetação, portanto frequentemente ocorre a mistura de vários componentes diferentes em proporções adequadas para constituir um bom material.

É aconselhavel a utilização de susbtratos que utilizem materiais locais para fazer sua composição, principalmente por conta do custo, que se torna mais acessível nesse caso. (NAGASE; DUNNETT, 2011)

A utilização de terra comum, utilizada em jardins, em telhados verdes, pode acarretar severos problemas como: baixa retenção de água e pouca aeração, peso excessivo, causando danos estruturais na edificação, grande desenvolvimento de plantas daninhas, compactação e lixiviação de nutrientes (XIAO et al., 2014)

Segundo Brigadão (1992), o substrato deve ter estabilidade biológica, boa capacidade de retenção da água, alto conteúdo de fração mineral, baixa compactação, além de isenção de plantas daninhas e patógenos.

Vijayaraghavan e Raja (2014), realizaram um estudo preparando uma mistura de substrato com diferentes formas inorgânicas e orgânicas, com a seguinte constituição: 30% perlita, 20% vermiculita, 20% tijolos triturados, 10% de areia e 20% turfa de coco. Os resultados obtidos foram benéficos no sistema, como baixa densidade aparente (431 kg/m^3), alta capacidade de retenção da água (39,4%), elevada porosidade (19,5%), condutividade hidráulica (4570 mm/h) e suporte máximo de planta (incremento de biomassa em 380%).

O principal componente do sistema de telhado verde responsável pelo peso é o substrato, dessa forma, deve-se procurar utilizar um substrato com o menor peso possível. Uma das principais estratégias para isso, é utilizar materiais reciclados inorgânicos de baixa densidade. Segundo Vijayaraghavan e Raja (2014), a perlita possui densidade 9,4 vezes menor que de um solo utilizado em jardim comum.

Com um sistema de menor peso, a camada de substrato pode ser mais espessa, além da possibilidade de maior quantidade de plantas a serem utilizadas. (XIAO et al., 2014)

Nagase e Dunnett (2011), observaram que com um maior incremento de matéria orgânica no substrato, o desenvovlimento da vegetação foi melhor, mas a presença de constituintes orgânicos influenciaram nos contaminantes da água drenada dos sistemas.

Emilsson e Rolf (2005), indicaram que de 3 a 10% de turfa utilizada na composição de um substrato, foi quase completamente decomposta em um ano. Portanto, o guia de diretrizes alemãs para coberturas vegetais, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL) recomenda o uso de apenas 4 a 8% e 6 a 12% de matéria orgânica na composição dos sistemas de telhados verdes, extensivos e intensivos, respectivamente.

Outro importante fator a se considerar na escolha do substrato, é a capacidade de sorção, influenciando diretamente no desenvolvimento das plantas e na qualidade da água escoada. Devido ao uso principal de componentes inorgânicos na composição do substrato, a capacidade de sorção é limitada. (MILLER, 2014)

A capacidade de retenção da água no substrato é crucial para o desenvolvimento das plantas em estiagens e retardar o fluxo de água pluvial. Cao et al. (2014), observaram que a utilização de biochar no substrato de telhados verdes, melhorou a capacidade de retenção da água, influenciando na sua disponibilidade para as plantas. Já Farrell et al. (2013), adicionou silicato e hidrogéis para melhorar a capacidade de retenção e disponibilidade da água, no substrato.

As plantas estabelecidas nas coberturas vegetais devem ser suportadas pelo substrato, de modo que em eventos climáticos, como tempestades, proporcione boa ancoragem à essas. Rowe et al. (2012), apontou que o substrato preparado usando ardósia, turfa e areia é capaz de suportar 25 diferetes espécies de suculentas.

3.3.2 *Vegetação*

A vegetação utilizada nos telhados verdes é escolhida de acordo com o sistema, uma vez que deve-se levar em conta a quantidade de peso suportado em cada situação. Um projeto de paisagismo pode ser realizado para a implantação nas coberturas vegetais, utilizando os princípios básicos como a volumetria, composição de cores e texturas, além da disposição das espécies vegetais.

As plantas influenciam na melhoria da qualidade do escoamento (VIJAYARAGHAVAN; JOSHI, 2014), desempenho térmico (COOK-PATTON; BAUERLE, 2012) e qualidade do ar (DVORAK; VOLDER, 2010). Entretanto, o ambiente de cobertura vegetal não é propício ao desenvolvimento de plantas (FARREL et al., 2012).

Segundo Vikayaraghavan (2016), as características favoráveis que a vegetação deve ter para o bom desenvolvimento em telhados verdes: completa cobertura do solo, capacidade de suportar condições de seca, rápida multiplicação, pouca exigência em nutrientes, raízes não agressivas, capacidade de fitorremediação e menor necessidade de manutenção.

Para a escolha da vegetação, deve haver atenção, uma vez que é imprescindível que as plantas escolhidas possam se desenvolver mesmo à aspectos limitantes, como espaço, profundidade e nutrição. Além disso, a vegetação deve ser adaptada ao clima local. Esses aspectos favorecem o desenvolvimento do telhado verde, uma vez que, com uma análise prévia, pode-se evitar ou diminuir gastos com possíveis problemas, como mal desenvolvimento, irrigação e manutenção. Dessa forma, o propósito principal da implantação dos sistemas pode ser atingido. (DURHMAN, 2007)

As plantas suculentas são adaptadas a regiões de baixo índice pluviométrico, temperaturas elevadas e clima seco. (EMILSSON, 2008) Isso ocorre devido ao desenvolvimento de estruturas de adaptação, como caules carnudos, folhas menores e rígidas, além de raízes longas e espinhos (folhas modificadas). Possuem, ainda, características desejáveis como baixo peso, rápido desenvolvimento – cobrindo o solo a curto prazo – resistência a situação extrema e enraizamento superficial. Sendo assim, são indicadas para os telhados verdes principalmente em ambientes mais quentes e secos. (ROLA, 2008)

Estudos realizados destacam o potencial de espécies de suculentas, como as do gênero Sedum que sobrevivem longos períodos de estiagem (DVORAK; VOLDER, 2010). Várias espécies desse gênero sobreviveram e mantiveram seu metabolismo fotossintético ativo, mesmo após 4 meses sem água (DURHMAN et al., 2006).

Berghage et al. (2007), identificou que as plantas suculentas transferem rapidamente a água consumida através da transpiração, podendo contribuir com até 40% da capacidade de um telhado verde em reter a água pluvial, dependendo da quantidade da chuva.

Berardi et al. (2014), indicou diversos tipos de vegetação para os telhados verdes e concluiu que a maioria dessas desempenham benefícios, mas sempre utilizando espécies adaptadas ao clima local. É desejável o uso de plantas nativas em coberturas vegetais (NEKTARIOS, 2011).

Em climas secos e com grande exposição solar ao longo do ano, Schweitzer e Errel (2014), verificaram através de pesquisas em telhados verdes extensivos com quatro espécies, que a *Aptenia cordifolia*, tem bom desenvolvimento e suporta a períodos secos.

Monterusso et al. (2005), examinou dezoito espécies nativas para potencial uso em telhados verdes extensivos em Michigan, Estados Unidos, e identificou apenas quatro espécies que sobreviveram a regiões não irrigadas.

De acordo com Cook-Patton e Bauerle (2012), ao limitar o número e variedade das espécies que possam ser utilizadas nos sistemas de telhados verdes, pode-se deixar de tratar esses sistemas como comunidades ecológicas e limitam o funcionamento a curto prazo.

A diversidade de espécies foi sempre associada a valorização estética do local (LEE et al., 2014). Além disso, a diversidade das plantas poderia evitar o desenvolvimento de plantas daninhas (LEVINE, 2000), conservar a água (MACLVOR, 2013) e melhorar o resfriamento do substrato (HEIM; LUNDHOLM, 2014).

Em relação a fitorremediação, há pouco estudo sobre a atuação da vegetação sobre esse fator. De acordo com Speak et al., (2012), algumas espécies de gramíneas, como a *Festuca rubra*, foram efetivas na remoção de PM10, partícula inalável da poluição atmosférica, quando comparadas a espécies suculentas como as do gênero Sedum.

3.3.3 *Camada de drenagem*

Para se evitar que pequenas partículas de solo e plantas penetrem na estrutura de drenagem, é utilizada uma camada de filtro, separando essa do substrado. Assim, entre o substrato e a camada de drenagem é utilizada uma manta geotêxtil, composta por fibra sintética, a qual retém pequenas partículas, evitando o entupimento da camada de drenagem. (HENEINE, 2008)

Essa manta, deve ter algumas características desejáveis, como alta resistência a tração proveniente da carga do substrato e vegetação, além de possuir poros para boa drenagem da água. A proteção também ajuda na retenção do crescimento das raízes sobre a camada drenante. (VIJAYARAGHAVAN; RAJA, 2015)

Licht and Lundholm (2006), pesquisaram diversas espécies nativas de herbáceas com base na espessura do tecido filtrante e indicaram que telhados verdes com tecidos mais espessos, retém 300% a mais a água do que telhados verdes sem tecidos.

A camada de drenagem proporciona equilíbrio entre a água e o ar em sistemas de telhado verde. Possibilita uma maior remoção do excesso de água do substrato, além de não permitir o contato direto do sistema com a laje onde está instalado, e dessa forma, melhora o desempenho térmico do sistema. (TOWNSHEND; DUGGIE, 2007)

Dois principais sistemas de camadas drenantes são utilizados em telhados verdes: estruturas modulares de drenagem, feito de plástico com alta resistência (polietileno) com compartimentos para armazenamento de água, enquanto permite a drenagem da água, e materiais granulares de drenagem, que possuem alguma capacidade de retenção da água, além de grandes espaços porosos, são exemplos: argila expandida, tijolos triturados, entre outros. (VIJAYARAGHAVAN, 2016)

Pérez et al. (2012), sugere o uso de fragmentos de borracha como alternativa para a camada de drenagem. Deve-se atentar para a inclinação do local, para o uso de materiais granulares, a inclinação não pode execer 5º.

A drenagem serve como auxílio para o escoamento da água, de forma a direcionar o excesso – o qual não foi absorvido pelas plantas ou substrato – para o sistema de águas pluviais ou, ainda, para o local de armazenamento. O material

deve ser leve e, de preferência, poroso e arredondado, para que não ocorra a perfuração da membrana impermeabilizante. A maioria das empresas existentes no mercado atualmente utilizam argila expandida como camada de drenagem. (BALDESSAR, 2012)

3.3.4 *Impermeabilização*

A camada de impermeabilização da estrutura, onde o sistema vai ser instalado, deve ser feita corretamente para que não ocorram problemas de infiltração e umidade nas áreas construídas. Podem ser utilizados diferentes tipos de materiais, como a Manta Asfáltica ou de PVC. (ARAÚJO, 2007)

Para maior segurança relacionada à não perfuração pelas raízes, é recomendado que, além da camada impermeabilizante, utilize-se uma cobertura extra sobre as membranas impermeabilizantes. Essa cobertura pode ser feita com uma folha de polietileno ou borracha de alta densidade contendo 1mm de espessura (MINKE, 2003). A camada anti-raízes pode ser utilizada no caso de sistemas que possuam plantas com raízes agressivas, profundas e de grande desenvolvimento, protegendo as construções de danos estruturais (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

3.4 Benefícios

Os benefícios da implantação de coberturas vegetais são inegáveis, visto que há ganhos em relação à saúde ambiental, além de aspectos físicos, sociais, econômicos ou estéticos. (RIBEIRO, 2010)

3.4.1 *Estética e lazer*

Givoni (1976) crê que a utilização da vegetação no projeto arquitetônico torna-o mais receptivo, tanto para o morador como para a comunidade onde está inserido, contribuindo para o conforto visual e trazendo um equilíbrio estético local, o qual é complementado pela beleza das espécies vegetais

O telhado verde traz benefícios estéticos, sociais, terapêuticos e de lazer, uma vez que suaviza a paisagem nos grandes centros urbanos devido ao aumento de áreas verdes. Além disso, traz a possibilidade da criação de jardins e espaços de contemplação e convivência antes inexistentes. (RANGEL et al., 2015)

A instalação desse tipo de cobertura ainda gera bem-estar, harmonia, uma vez que a contemplação de áreas verdes reflete em benefícios à saúde humana, de forma a haver melhoria na qualidade de vida da população e consequente diminuição em gastos relacionados à saúde pública. (WILSON, 2002)

Em conformidade com Wilson (2002), Kaplan (1995) afirma que o contato com as áreas verdes, mesmo as recriadas pelo homem, quando apresentam conservação das características do meio natural, pode gerar melhorias à saúde humana como a diminuição do estresse, auxiliando na realização das atividades laborais e bem-estar.

Para Cecchin (2010), as áreas localizadas no topo dos edifícios, antes inutilizáveis, podem ser substituídas por hortas, jardins e até parques dependendo da estrutura. Esse fato faz com que haja um aumento na visibilidade da edificação. Sendo assim, novas áreas de lazer podem ser utilizadas nas grandes cidades, onde o espaço é reduzido e supervalorizado.

Realizado um estudo com coberturas vegetais em Hong Kong, constatou-se que o principal benefício trazido com a implementação desses sistemas, é em relação ao valor estético visual das edificações, outro fatores como qualidade do ar, redução das ilhas de calor, isolamento térmico, também são considerados. Tipo de plantas e profundidade do solo são fatores que influenciam diretamente no desempenho térmico. (TAM et al., 2016)

3.4.2 *Ecologia*

Desde a antiguidade, o processo de urbanização e industrialização causa a degradação ambiental do espaço urbano. A partir do ano de 1990 o índice de urbanização ultrapassou 75% no Brasil. (BARBOSA; JÚNIOR, 2009)

Para que as relações ecológicas sejam preservadas e para que haja a perpetuação das espécies, essa urbanização deve ser controlada ou realizada de forma consciente. Tal conscientização está relacionada aos fatores ambientais como

água, flora e fauna, os quais, quando preservados, contribuem para a perpetuação, enquanto que, quando não preservados, cooperam para a extinção das espécies, causando o desequilíbrio ambiental. Esse desequilíbrio é resultado da urbanização desordenada e diminuição de áreas verdes. Entretanto, esse aspecto pode ser minimizado com a utilização de soluções ambientais como os telhados verdes, assim, as relações ecológicas passam a ser reestabelecidas devido à inserção de espécies vegetais nos centros urbanos. (SCHINDLER et al., 2016)

De acordo com Portolano (2007), os efeitos negativos sobre o ecossistema e habitat vem crescendo com a destruição da paisagem pela ação antrópica. Sendo assim, as coberturas vegetais podem servir de refugio para a flora e fauna dentro dos centros urbanos, compensando a perda de árvores nas cidades, promovendo a biodiversidade de borboletas, besouros e abelhas selvagens, que encontram no local alimento e abrigo.

Segundo Baldessar (2012), o telhado verde funciona como um “reforço do ecossistema”, mesmo que seja apenas para pássaros e a micro-fauna. Um projeto de construção deseja uma paisagem e um ecossistema que com o tempo vão se reestabelecer e aperfeiçoar, sendo assim, as coberturas vegetais podem agir de forma a melhorar esses aspectos ecológicos e minimizar os danos causados ao ambiente.

O uso de espécies frutíferas e nativas proporcionam maior diversidade da fauna nas cidades, além de servirem de porta de entrada para o recebimento de uma imensa variedade de pássaros e insetos. Tecnologias como o telhado verde são grandes oportunidades para a flora e fauna criarem novos habitats. (MINKS, 2013)

Profissionais ligados à urbanização, como arquitetos e urbanistas devem encontrar formas de preservar a biodiversidade à medida que as cidades se expandem, e fazer alterações nos habitats naturais das espécies conforme a cidade cresce a ocorre a urbanização, de modo que ocorra o mínimo de danos possíveis aos seres vivos que ali habitam. (LEHMANN, 2014)

3.4.3 *Poluição*

Como são construídos entre ambientes interiores e exteriores, os telhados verdes, reduzem a poluição sonora nos espaços urbanos decorrentes de estradas, tráfego ferroviário e aéreo. (YANG et al., 2012)

Segundo Willes (2014), os telhados verdes, além de gerarem benefícios à saúde pública, ainda agem como isolante térmico e acústico devido à todas as camadas necessárias para sua instalação. Assim, o som proveniente do exterior da edificação apresenta diminuição em sua intensidade devido à espessura de toda essa estrutura. Em relação ao isolamento acústico, um telhado verde com espessura de substrato de 12 cm pode reduzir o som em 40 decibéis, já um sistema com 20 cm de espessura pode reduzir um som entre 40 e 50 decibéis. (GREEN ROOFS FOR HEALTH CITIES, 2009)

Van Renterghem e Botteldooren (2011), indicaram que em telhados extensivos (até 20 cm), ocorreu boa eficiência na retenção da poluição sonora, já em telhados intensivos (acima de 20 cm), não ocorreram mais efeitos positivos, do que já havia sido observado nos extensivos.

Além da poluição sonora, os sistemas de cobertura verdes atenuam a concentração de carbono responsável pela poluição do ar. Ainda, aumentam a retenção de água das chuvas, auxiliando a drenagem urbana e atuando como filtro de água pluvial, a qual pode conter diversos elementos poluentes provenientes do ar. (CASTRO, 2011)

O ar atmosférico urbano possui elevados níveis de poluentes que são prejudiciais para a saúde humana e o meio ambiente. A capacidade das plantas para filtrar o ar é considerada uma boa prática ambiental, e 1 m^2 de telhado verde poderia compensar a emissão anual de partículas de um carro. (ROWE, 2011)

Johnson e Newton (1996), estimaram que 2.000 m^2 de grama em um telhado verde podem remover até 4.000 kg de partículas.

O desempenho dos telhados verdes em relação à diminuição de poluentes, está relacionado ao tipo de vegetação, posição do telhado verde e o fluxo de ar local. Em um dia ensolarado, um telhado verde pode reduzir a concentração de CO_2 nas regiões próximas ao local instalado, em até 2%. (LI et al., 2010)

Plantar árvores em áreas urbanas se mostrou benéfico para a mitigação da poluição do ar. (PANDIT; LABAND, 2010). Entretanto, considerando-se o espaço disponível limitado em áreas urbanas, torna-se difícil esta prática.

Os telhados verdes intensivos são melhores em termos de minimização da poluição do ar do que telhados extensivos, pois pode-se fazer o plantio de árvores de pequeno porte e arbustos. (XIAO et al., 2014)

3.5 Efeitos da temperatura e aspectos físicos

Para Giralt (2006), o crescimento urbano intenso tem como consequências as alterações no comportamento térmico nos espaços do ambiente urbano e, segundo Cruz (2009), a busca pelas necessidades da sociedade resulta em mudanças na paisagem, as quais acarretam em pressões sobre o clima local, o que provoca alterações no tempo atmosférico e gera variações climáticas.

Sistemas de telhados verdes possuem constituição distintas, alguns com maior quantidade de substrato que outros, além da estrutura de drenagem, que pode variar, sendo composta por apenas uma manta e argila expandida, ou por estruturas específica. Dessa forma, a quantidade de calor transmitida pelos variados modelos de sistemas de telhados verdes pode variar.

Os diferentes sistemas utilizados nas coberturas vegetais, em função de suas características estruturais podem aumentar a capacidade de isolamento térmico pelo telhado, e também a quantidade de água armazenada nessas estruturas, fator que também contribui para o isolamento térmico. (VIJAYARAGHAVAN, 2016)

Além disso, os telhados verdes são uma opção para economia de energia em construções, pois reduzem a demanda energética dos locais onde estão instalados. (HASHEMI et al., 2015)

De acordo com Ferraz (2012), a cobertura vegetal provoca menor variação de temperatura e umidade no ambiente, permitindo que as condições de conforto térmico sejam atingidas mais facilmente, além de promover economia de energia pelo menor uso de dispositivos como condicionadores de ar, e por fim, pode ainda preservar a estrutura das edificações, já que o estresse por intempéries é menor.

Segundo Spangenberg (2004), dependendo da vegetação, do tipo de telhado e da área, pode haver uma redução de carga térmica para o ar condicionado em aproximadamente 240kWh/m².

3.5.1 *Conforto térmico*

O conforto ambiental está diretamente ligado a sensação de bem estar devido à fatores ambientais, como a temperarura, nível de ruídos e a umidade relativa, além da funcionalidade dos locais. (BARTHOLOMEI, 2003)

Dumke (2007) ressalta que as condições climáticas urbanas, quando inadequadas, resultam em perda de qualidade de vida para a população. Assim, pesquisas relacionadas ao clima urbano, quando trabalhadas técnica e ambientalmente, podem melhorar o conforto ambiental, trazendo, novamente, a qualidade de vida existente anteriormente ao processo de urbanização.

Ferraz (2012), conclui em seus resultados, que mesmo em locais sem instalação de aparelhos condicionadores de ar, mas com a estrutura de telhado verde, as temperaturas atingidas estão de acordo com a norma NBR 16401/08, norma técnica que estabelece parâmetros básicos e os requisitos mínimos de projeto para sistemas de ar condicionado, ou seja, estabelece as condições ideais de conforto térmico nos ambientes. Os limites para conforto de acordo com essa norma, são temperaturas entre 22,5°C e 26°C no verão e de 21°C à 24°C no inverno. (ABNT NBR 16401:2008)

Parizotto e Lamberts (2011), analisaram uma casa experimental em Florianópolis-SC, com a instalação de telhado verde e compararam com a telha de cerâmica e telha metálica. Eles concluiram que nos períodos mais quentes, a cobertura vegetal reduziu o ganho de calor em 97% quando comparado a cobertura metálica e 92% quando comparado a cobertura cerâmica. Nos períodos frios, diminuiu a perda de calor, 44% em relação à telha de cerâmica e 52% quando comparada a telha metálica. Além disso, os autores concluíram também que diversos fatores podem influenciar nos resultados de conforto térmico, como a geometria, posicionamento e sombreamento das coberturas.

A utilização de plantas com o maior adensamento possível é desejável no estabelecimento de um telhado ecológico, pois com maior e mais densa cobertura

vegetal sobre uma superfície, o sistema tende a reter maior quantidade de energia. Wong (2003), realizou testes e concluiu que em vegetações mais esparsas, encontram-se maiores valores de temperaturas, já em vegetações mais adensadas, a temperatura é menor, sendo então, desejável o cultivo dessa forma.

Na parte interna de ambientes que utilizam sistema de coberturas vegetais, pode se reduzir a temperatura interna em até 4 ºC nos períodos mais quentes do dia, permitindo um maior conforto térmico em relação a telha de amianto, por exemplo. (OLIVEIRA, 2009)

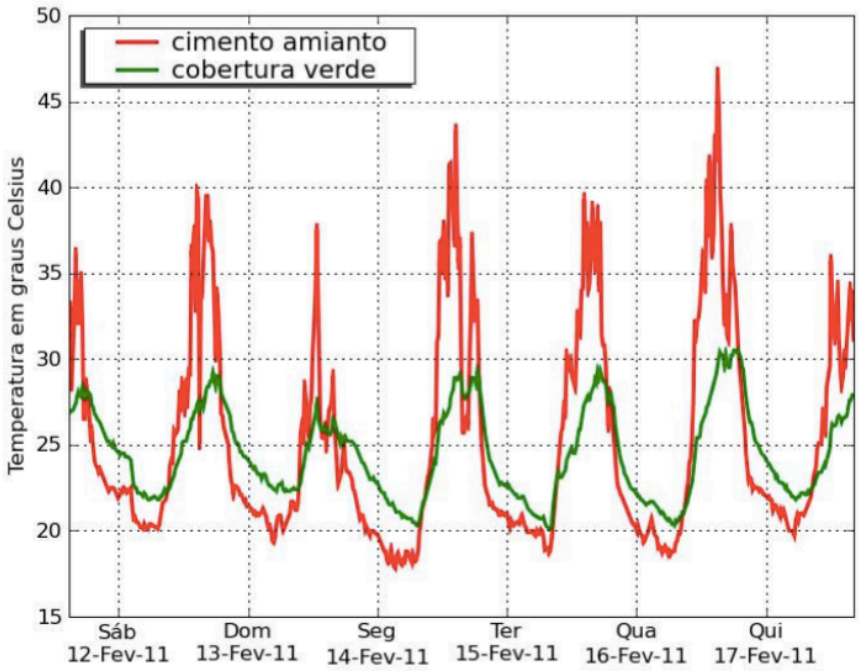
O uso do solo mais a camada vegetal, formam uma camada isolante, analisada por Onmura (2001), comprovando diferença de 30 ºC de uma laje coberta com vegetação e outra nua, expostas a uma temperatura ambiente de 38º C , no verão do Japão.

Uma cobertura extensiva em Singapura foi analisada, antes de se instalar a cobertura vegetal e depois de oito meses, com a vegetação já estabelecida. Segundo as análises realizadas por Wong et al. (2007), cerca de 60% do fluxo de calor não entrou na edificação após a instalação do telhado verde, além de índices de ofuscamento analisados em torno do local onde foi instalado o sistema, causados pela laje nua, diminuíram.

Liu et al. (2003), realizaram estudos com o objetivo de quantificar o desempenho térmico das coberturas verdes. Para isso, um telhado foi inteiramente coberto com impermeabilizante betuminoso cinza-claro, mas apenas em uma metade foi instalada cobertura verde. Em ambas as partes houve medições de temperatura superficial, refletância solar, ganho de calor, umidade do solo, microclima criado pela vegetação e escoamento da água da chuva. Os dados foram obtidos por aproximadamente dois anos e após o término do estudo, concluiu-se que a cobertura verde reduziu 95% do ganho de calor e 26% da perda, tendo amenizado as temperaturas no verão e otimizado o calor no inverno. Além disso, a amplitude térmica foi significativamente reduzida e a demanda de energia gasta com ar condicionado foi reduzida em 25%.

Vacilikio e Fleischfresser (2011) comparam cobertura de cimento amianto e cobertura verde. Os resultados obtidos mostram menor amplitude térmica quando há a utilização de telhado verde, demonstrando maior conforto térmico. Os resultados estão dispostos na Figura 2.

Figura 2 - Comparação da temperatura interna utilizando cimento amianto e cobertura verde em diferentes dias da semana.



Fonte: VACILIKIO; FLEISCHFRESSER; (2011).

Niachou (2001) ressalta que o plantio em telhados, além de contribuir para o conforto térmico, também aumenta ou restitui a área verde urbana, reduzindo os efeitos relacionados às “ilhas de calor”. De acordo com Santamouris (2014), a aplicação em larga escala de telhados verdes pode reduzir a temperatura ambiente de 0,3 a 3ºC.

Em relação à cobertura verde, para Spangenberg (2004), a utilização de telhados verdes em grande escala, poderia causar a diminuição de temperatura em 1ºC a 2ºC nas grandes cidades. Ainda ressalta que, após a instalação da cobertura, a temperatura da superfície é reduzida em cerca de 15ºC auxiliando diretamente no conforto térmico.

3.5.1.1 Índices de conforto térmico

Os índices de conforto térmico buscam primordialmente determinar condições ambientais (zonas e condições de conforto térmico) sob as quais os usuários de uma edificação estarão em estado de bem-estar. Além de estabelecer um ambiente confortável termicamente, a definição dessa condição no projeto e operação de edificações resulta também na forma que a energia será utilizada. (LIMA et al., 2005)

Ao longo do século XX foram desenvolvidos alguns índices de conforto térmico, sendo classificados em empíricos ou analíticos. (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997)

Para a elaboração desses índices, as pesquisas divergem sob duas abordagens: o modelo adaptativo e o modelo de balanço térmico. A abordagem baseada no modelo de balanço térmico do corpo humano consiste em explicar o conforto térmico das pessoas através da aplicação da física e fisiologia nas trocas de calor existente entre o corpo e o entorno. Para isso são desenvolvidos modelos térmicos que representam de forma empírica as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Pesquisas são realizadas em ambientes fechados com condições climáticas estáveis para a elaboração desses índices, que representam as respostas das pessoas em condições variáveis da vida diária. (NICOL; HUMPHREYS, 2002)

Segundo os mesmos autores, no caso do modelo adaptativo, a abordagem busca estimar as condições de conforto das pessoas através pesquisa de campo, em ambientes construídos, e sugere que as pessoas são mais tolerantes às variações de temperatura em virtude do caráter “adaptativo” que elas assumem no momento em que se adaptam as condições ambientais, ou seja, as pessoas reagem para restabelecer algum desconforto que pode ser gerado por mudanças.

Alguns principais índices de conforto térmico, são descritos a seguir.

3.5.1.1.1 Temperatura efetiva

Foi utilizado por cerca de 50 anos, desde sua criação em 1923, por Houghten e Yaglou, na cidade de Pittsburgh. É definido como a sensação equivalente à da temperatura da atmosfera saturada e parada, sem radiação térmica.

O índice foi desenvolvido a partir de pesquisas laboratoriais, é representado na carta psicrométrica através de “linhas de igual conforto” e não é mais utilizado.

3.5.1.1.2 Nova temperatura efetiva

Segundo Auliciems e Szokolay (1997), a nova temperatura efetiva foi desenvolvido por Gagge et al. (1994), utilizando o modelo térmico que considera primeiramente a transferência de calor do centro do corpo para a pele e, em seguida, da pele para o ambiente.

O índice é definido como a temperatura de bulbo seco de um recinto fechado com 50% de umidade relativa no qual se produziria a mesma troca de calor por radiação, convecção e evaporação do ambiente. As linhas da temperatura efetiva coincidem com os valores de temperatura de bulbo seco na curva de 50% de umidade relativa. (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997)

3.5.1.1.3 O Índice PMV/PPD de Fanger

Fanger apresentou em 1972, a partir de estudos realizados na Europa, uma equação que correlaciona a sensação térmica com quatro variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade) e duas variáveis pessoais (vestimento e atividade metabólica). O conforto térmico é estimado através dos parâmetros de voto médio estimado (PVM) e porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD). A vantagem desse índice é a flexibilidade e a abrangência das principais variáveis que influenciam a sensação térmica, além de apresentar bons resultados quando aplicado em edificações climatizadas tanto em clima quente como frio (FANGER; TOFTUM, 2002).

Embora esse índice seja usado há mais de trinta anos, sua aplicação em edificações naturalmente ventiladas em climas tropicais tem sido bastante questionada por limitar a temperatura de conforto em 30 ºC e a velocidade interna do ar em 1 m/s, situações comuns em paises de clima quente, além de estimar uma sensação térmica mais quente do que seus ocupantes sentem. (LIMA et al., 2005)

Atualmente, existe o consenso entre pesquisadores de que as condições de conforto térmico, estimadas por normas como a ISO 7730 e ASHRAE 55 que se baseiam no modelo de Fanger, não se aplicam adequadamente para regiões de clima tropical. Outro problema é a necessidade desse modelo, baseado em dados de pesquisas realizadas nos anos sessenta, de incorporar os vários estudos sobre o tema que vêm sendo desenvolvidos desde então (NICOL, 2002).

3.5.1.1.4 Modelos adaptativos de Conforto

Os modelos adaptativos de conforto são representados por equações lineares que descrevem a temperatura interna de projeto ou uma variação aceitável para as condições climáticas de um determinado lugar, podendo ainda considerar o sistema de condicionamento artificial da edificação (MUI; CHAN, 2003).

Várias destas equações adotam a temperatura de neutralidade, diretamente relacionada à temperatura externa média mensal, como referência para identificar os limites da faixa de conforto. Em termos conceituais, trata-se de uma temperatura onde o menor estresse térmico é relatado pelos usuários ao experimentarem diferentes temperaturas do ar, por um período de aproximadamente um mês, vestindo roupas de suas escolhas e realizando atividades sedentárias (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997). Diante da complexidade que os processos de termo-regulação envolvem, esses modelos são considerados como uma “caixa preta” onde as pessoas estariam livres para se adaptar às condições ambientais internas. Por isso, as equações são aproximações da situação real (BRAGER; DE DEAR, 1998; NICOL, 2004).

As principais críticas aos modelos adaptativos recaem principalmente sobre a qualidade dos dados coletados e a desconsideração das quatro variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante, umidade e ventos) e as duas variáveis pessoais (vestimenta e metabolismo) (FANGER; TOFTUM, 2002). Outro problema é que a maioria desses estudos não consideraram as particularidades de edificações naturalmente ventiladas em clima quente e seco onde se observa uma grande diferença entre a temperatura interna e externa em virtude da inércia térmica das construções.

3.5.2 *Bem-estar animal*

O bem-estar refere-se ao estado do indivíduo do ponto de vista de suas tentativas de adaptação ao ambiente, ou seja, o quanto tem que ser feito para o animal conseguir adaptar-se ao ambiente e ao grau de sucesso que isso ocorre. (HOTZEL; MACHADO FILHO, 2004)

Países situados nos trópicos, como é o caso do Brasil, possuem condições climáticas com médias altas de temperatura durante o ano, resultando em problemas na criação de animais em geral, como o estress térmico.

A alta produtividade não é sinônimo de bem estar, mas quando o bem-estar é pobre, pode haver quedas na produção de ovos e leite, na reprodução e crescimento, aumento da incidência de doenças e produção de carne de qualidade inferior. (DOBSON et al., 2001)

No manejo de suínos, por exemplo, dependendo da forma de condução dos animais, pode-se observar que maus tratos, esforço, excessiva utilização de choques elétricos resultam em perdas econômicas a produtores e indústrias, em função da redução da qualidade da carne. (DALLA COSTA et al., 2008)

Quando o animal produz mais calor do que pode dissipar sofre o estresse térmico, e para se ajustar, é obrigado a reduzir o consumo de alimentos e sua produção declina. Quando o gradiente de temperatura entre a superfície do animal e o ambiente é reduzido em climas quentes, o animal aumenta suas perdas de calor evaporativas para compensar a diminuição de suas perdas de calor na forma sensível (DESHAZER et al., 2009). A intensificação das perdas de calor evaporativas ocorre, principalmente, por meio do aumento da frequência respiratória, mecanismo que permite a manutenção da temperatura corporal. (HUYNH et al., 2006)

A combinação da temperatura com a umidade relativa é o principal condicionante para o conforto térmico e o funcionamento geral dos processos fisiológicos dos animais. (OLIVEIRA et al., 2006)

O abrigo animal, tem como objetivo proporcionar o conforto que precisa para poder aumentar sua produção, e é medido sob a forma de produção ou produtividade. As instalações recebem diretamente a ação do clima, como: insolação, temperatura, ventos, chuva e umidade do ar, devendo ser construídas

com a principal finalidade de diminuir essas influências que podem ser negativas aos animais. Fatores como paredes, altura do pé direito, piso e principalmente o material de cobertura, que recebe toda a radiação solar incidente, são responsáveis pelo microclima gerado no ambiente. (ABREU; ABREU, 2011)

De modo geral, a cobertura, por representar grande parte da envolvente, é o fator que tem grande influência sobre as condições do ambiente de galpões para a criação ambiental. Sua efetividade normalmente está associada ao tipo do material constituinte das telhas, caracterizado pelo isolamento, amortecimento e retardo térmico e à natureza superficial, caracterizada pela absortividade e emissividade radiante. (CARDOSO et al., 2011)

Utilizando telhado com alto valor de isolamento térmico e com alto valor de reflexão da radiação, o estresse térmico dos animais, principalmente no período do verão, pode ser reduzido consideravelmente, protegendo o animal da radiação solar direta. (SEVEGNANI et al., 1994)

Segundo Gomes et al. (2008), pode-se utilizar materiais alternativos na construção de instalações para animais, sendo uma das opções para a diminuição de custos de produção, aumento da produtividade, além de contribuir para a sustentabilidade ambiental.

Em experimento realizado em Piracicaba/SP, comparou-se diferentes materiais de cobertura para as instalações de abrigos para animais, analisando o conforto térmico nas diferentes situações. Como resultado, as telhas de barro apresentaram o maior conforto térmico, e as telhas de alumínio e térmicas apresentaram comportamento bem próximo ao primeiro material. Já os materiais de cimento amianto simples, de zindo e fibra de vidro, não são indicadas para o uso. (SEVEGNANI et al., 1994)

Pesquisas realizadas em Viçosa/MG, com diferentes coberturas nas instalações para criação de bovinos e aves, os menores valores de carga térmica nos horários mais quentes do dia estiveram associados à cobertura de barro. A capacidade das instalações em atenuar a carga térmica radiante exterior sobre os animais variou entre 37 a 40%. Em relação a efetividade térmica todas as coberturas tiveram pequenas diferenças entre elas, mas com desempenho ligeiramente inferior à cobertura de barro. Considerando os custos iniciais para os diversos telhados, em comparação com a cobertura de barro, chegou-se a 41,2% para o telhado com cobertura de material reciclado Tetra Pak. (CARDOSO et al., 2011)

Em pesquisas relacionadas a bem-estar animal, realizadas na União Européia, além de campanhas públicas e das relações entre as instituições e os cidadãos europeus, os consumidores estão preocupados com um tratamento humano e responsável dos animais. (DA SILVA; MIRANDA, 2009)

O uso de vegetação sobre os abrigos de produção animal, podem trazer os benefícios desse tipo de cobertura, reduzindo a temperatura interna, aumentando o conforto térmico e dessa forma, a produção.

3.5.3 *Aspectos físicos*

Toda a energia associada à agitação das partículas de um corpo recebe o nome de energia térmica, e o calor é definido como a energia térmica em trânsito de um corpo para o outro ou de uma parte para outra de um mesmo corpo, provocado por uma diferença de temperatura. (VILLAS BOAS et al., 2007)

O processo de propagação do calor pode ocorrer de três maneiras distintas, denominadas, radiação, convecção e condução. (CENGEL, 2012)

Em relação as coberturas vegetais, os principais processos de propagação que se aplicam, são a radiação e a condução. (KREITH et al., 2012)

3.5.3.1 Radiação

No processo de radiação, ocorre a conversão da energia interna da matéria em radiação eletromagnética e subsequente reconversão desta energia radiante em energia interna por absorção de um outro corpo. Nessa forma de transferência de calor, a propagação da energia não necessita de um meio físico e se dá através de ondas eletromagnéticas. (MORAES; FIORO; 2002)

Quanto maior a temperatura, maior a probabilidade de se encontrar átomos com alta energia e, consequentemente, maior probabilidade de emissão de fótons de alta energia/frequência. (MIRANDA et al., 2004)

O calor irradiado por determinada superfíe é dependente da temperatura absoluta do material e da temperatura da superfície. Um radiador perfeito emite energia irradiada de sua superfície a uma taxa q_r, fornecida pela equação 1 (Lei de Stefan-Boltzmann).

$$q_r = \sigma \, A_1 \, T_1^4 \quad (1)$$

Onde:

q_r = Taxa de fluxo de calor (W/m^2)

A_1 = Área (m^2)

T_1 = Temperatura (K)

σ = Constante Stefan-Boltzmann = 5,67 x 10^{-8} ($W/m^2 K^4$).

Aplicando-se o conceito de radiação às coberturas vegetais, observa-se a atenuação da temperatura no ambiente interno, visto que as camadas que compõe o telhado verde são responsáveis por absorver a radiação solar.

Em um sistema de cobertura vegetal, por conta do sombreamento, melhor isolamento contra as radiações solares provocado pelo sistema (substrato e vegetação), verifica-se a melhoria do desempenho térmico das edificações. (SAADATIAN et al., 2013)

De acordo com experimentos realizados por Eumorfopoulou e Aravantinos (1998), da radiação solar total absorvida pelos telhados vegetados, 27% dois raios solares foram refletidos, 60% foram absorvidos pelas plantas e substratos e apenas 17% foi transmitido do substrato para o ambiente interno.

Para Spangenberg (2004), os principais benefícios da presença de vegetação em climas quentes são os de reduzir a radiação solar transmitida através das coberturas e diminuir a temperatura do ar devido ao sombreamento e evapotranspiração.

De acordo com Rivero (1998), as superfícies de cobertura sofrem grandes variações térmicas durante o dia, influenciada pela radiação solar que incide sobre o local, e durante a noite, ocorre o rápido resfriamento causado por trocas de radiação de onda longa com a atmosfera.

3.5.3.2 Condução

No caso da condução, a transferência de energia se dá através da matéria, porém sem movimento da matéria em si, como no caso do aquecimento de uma barra de ferro, onde o aumento de temperatura nas moléculas provoca uma forte agitação das moléculas e através do contato entre as moléculas, esta energia, em forma de calor, é propagada. (MORAES; FIORIO; 2002)

O calor flui da região de temperatura mais alta para a de temperatura mais baixa. Sempre que existir um gradiente de temperatura em um meio sólido, a taxa na qual o calor é transferido por condução, é proporcional ao gradiente de temperatura, levando em conta a área através da qual o calor é transferido.

A taxa real do fluxo de calor depende da condutividade térmica, que é uma propriedade física do meio. Dessa forma, para a condução através de um meio homogêneo, a taxa de transferência é representada pela Lei de Fourier, expressa na equação 2.

$$q_k = -k\frac{dT}{dX} \tag{2}$$

Onde:

q_k = Taxa de transferência de calor (W/m^2)
T_x = Temperatura local (K)
X = Distância na direção do fluxo de calor (m)
k = Condutividade térmica do material (W/mK)

Os valores de condutividade térmica, são medidos experimentalmente, e estão dispostos em tabelas. Em relação aos sólidos não metálicos, o transporte de carga elétrica pelos elétrons é pouco ou nenhum, e portanto, a condutividade é determinada basicamente pela energia vibracional do arranjo reticular. (KREITH et al., 2012).

A condutividade térmica equivalente de um telhado verde construído na Espanha foi determinada por Machado et al. (2003). Formulou-se uma equação que estabeleceu a relação entre o balanço energético de um teto verde em uma

edificação e de um teto verde em um meio natural. Através do monitoramento das radiações solares absorvidas, refletidas, transmitidas, evapotranspiradas e utilizadas no processo de fotossíntese, do fluxo de calor convectivo dentro da cobertura verde e das transferências de calor por condução, os pesquisadores calcularam os valores horários da condutibilidade térmica para um período de 24 horas. Concluíram, dessa forma, que é possível calcular a condutibilidade térmica do telhado verde utilizando dados obtidos experimentalmente, e que os resultados são importantes para a realização de pesquisas mais precisas.

Niachou et al. (2001), realizaram análises em uma edificação com cobertura vegetal e em outra sem, localizadas em Atenas, Grécia. Concluiram com as análises que o telhado verde retarda o ganho de calor em períodos quentes e mantém as temperaturas internas mais amenas. Além disso, utilizando o software TRNSYS para calcular a transferência de calor para o interior das edificações, concluiram que o coeficiente de transferência de calor variou entre 0,02 e 0,06 W/m^2K para edifícios com bom isolamento térmico, sendo os coeficientes sempre mais baixos nos edifícios com telhado verde, independente do tipo de isolamento.

Aplicando a teoria da transferência de calor em telhados verdes, Mello et al. (2010), avaliou a economia de energia elétrica, através do menor uso de aparelhos condicionadores de ar. Foi realizado um modelo de transferência de calor, no qual, calculou-se o quanto de energia consumida seria reduzida através da execução de um telhado verde, comparando com a cobertura convencional, atualmente instalada. A potência total empregada pelos condicionadores de ar iria diminuir de 471.600W para 243.360W, resultando em uma economia de R$70.000,00 por ano com o uso da cobertura vegetal, cerca de 40% a menos do que é gasto atualmente.

3.6 Água

3.6.1 *Características*

Sendo um dos recursos naturais mais importantes para a humanidade, a água é essencial para a vida. Entretanto, há alguns anos, o seu uso inconsciente associado a degradação ambiental, a poluição dos aquíferos ou as mudanças

climáticas, provocada pelas atividades humanas vem trazendo preocupações com a sua escassez (REBOUÇAS, 2015).

Em torno de 97,5% de toda água na Terra é salgada, sendo apenas 2,5% doce, e dessa parcela 1,72% está congelada nos polos Sul e Norte e geleiras no alto de montanhas e 0,75% são águas subterrâneas. Menos de 0,02% apenas, de toda água do planeta, está disponível em rios, lagos e represas. (TUNDISI, 2016)

O Brasil possui 12% da reserva de água doce do mundo, porém, vem enfrentando uma crise hídrica proveniente da elevada taxa de desperdício, associada a atividades humanas que acabam contaminando os aquíferos comprometendo assim a qualidade das águas e comprometendo seu uso. (DO CARMO et al., 2014)

A água da chuva não é considerada potável (por poder conter desde partículas de poeira e fuligem, até nitrato, sulfato e amônio), por isso, não é adequada para consumo humano. Ainda assim, ela pode ser utilizada nas tarefas domésticas que mais a consomem, como para lavar carro, calçada, roupas e até mesmo em vasos sanitário. (FIRMINO, 2015)

Segundo Ferreira et al. (2016), em um sistema predial, em torno de 40% do total da água consumida é destinado para atividades que não necessitam de água potável. O consumo de água em edificações depende de vários fatores, tais como: renda familiar, clima da região, desperdício, preço da tarifa de água, forma de gerenciar o sistema de abastecimento, entre outros. Com isso, para diminuir o consumo de água em uma edificação é preciso um estudo completo sobre a oferta e a demanda de água na edificação.

Para estabelecer um equilíbrio entre a demanda e a oferta de água e assegurar a sustentabilidade do desenvolvimento econômico e social, é preciso que sistemas alternativos sejam satisfatoriamente desenvolvidos e aplicados com as características de sistemas e centros de produção próprios. Assim, reciclagem, reuso, gestão da demanda, redução de perdas e diminuição da geração de efluentes estão associados às praticas conservacionistas nos alicerces mais importantes em assuntos de gestão de recursos hídricos e diminuição da poluição. (HESPANHOL, 2002)

Uma das alternativas que vem sido feita para enfrentar esse problema de crise hídrica é o reuso da água, um importante recurso de água de gestão ambiental e detentor de tecnologias já utilizadas para o seu uso adequado. (MANCUSO, 2003)

O uso consciente da água em edificações pode ser feito através do reuso de água cinza (águas provenientes de chuveiros, banheiras, lavatórios, pias de cozinha, máquina de lavar, etc.). (RIBEIRO et al., 2015)

De acordo com Santos (2003), reuso da água é a utilização de águas e efluentes que não precisam de Protótipo, porem, que se adequam qualitativamente para o que se destina.

Para ser reutilizada, a água precisa ter sua qualidade determinada por parâmetros biológicos, físicos e químicos. Dentre os parâmetros, as principais análises são: (MANCUSO, 2003)

- **Biológicos:** coliformes fecais, estreptococos fecais, coliformes totais, bactérias e algas.
- **Físicos:** temperatura, cor, turbidez, odor e sabor.
- **Químicos:** acidez, pH, alcalinidade, dureza, ferro e manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo, matéria orgânica, oxigênio dissolvido, micropoluentes inorgânicos e micropoluentes orgânicos

Os parâmetros de qualidade recomendados variam de acordo com o uso e a destinação das águas, que podem ser classificadas segundo padrões de qualidade e usos principais. Um exemplo de classificação é a recomendação regulamentada da ANA (Agência Nacional de Águas) a qual separa as águas de reuso em 4 classes relacionadas ao uso previsto, nível de contato com o usuário e, por conseguinte, qualidade requerida. Cada classe a dispõem de uma lista de parâmetros a serem verificados para assegurar a qualidade e a segurança na utilização de reuso da água. (HAFNER, 2007)

As classes para reuso da água são ordenadas e descritas como:

- **Água de Reuso Classe 1:** descarga de bacias sanitárias; fontes ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.); lavagem de pisos, roupas e veículos.

- **Água de Reuso Classe 2:**usos na construção de edificações: lavagem de agregado; preparação de concreto; compactação de solo e controle de poeira.
- **Água de Reuso Classe 3:** irrigação de áreas verdes e rega de jardins.
- **Água de Reuso Classe 4:** resfriamento de equipamentos de ar condicionado (torres de resfriamento).

3.6.2 *Escoamento superficial e armazenamento*

O telhado verde, além de causar a diminuição do escoamento superficial em relação ao telhado convencional, reduzindo assim os riscos de inundações, pode armazenar a água da chuva para outros fins nas edificações, como irrigação de jardins, limpeza, descarga, entre outros. (CHEN et al., 2015)

Ao entrar no sistema de telhado verde, a água pluvial, será absorvida pelo substrato, e ficará retida em seus poros, além de ficar retida nos compartimentos (no caso de sistemas com módulos de drenagem). A vegetação irá utilizar a água, ao absorver através das raízes, e liberar no processo de transpiração. Também, irá ocorrer a evaporação da água presente no solo. A soma dos processos de evaporação da água presente no solo e de transpiração das plantas é chamado evapotranspiração. (NEGASE; DUNNETT, 2012)

Variáveis como profundidade do solo, índice pluviométrico, inclinação, sistema e tipo de vegetação influenciam no escoamento em coberturas. Nagase e Dunnett (2012) selecionaram diversos tipos de plantas utilizadas em telhados verdes e identificaram uma diferença significativa em quantidade de água escoada, sendo as gramíneas as mais eficazes para reduzir o escoamento.

Segundo Baldessar (2012), a capacidade de armazenamento da água no telhado verde, é cerca de 12,1 mm/m^2, podendo variar de acordo com as condições climáticas e de umidade do solo. No inverno e na presença de elevada umidade do substrato, a eficiência no armazenamento é menor, entretanto, considerando apenas 8 cm de substrato, a capacidade de armazenamento é significativa.

De acordo com Teemusk e Mander (2007), os valores de retenção da água pluvial no verão, podem variar de 70 a 90%, já no inverno, entre 25 e 40%. Essas variações estão diretamente relacionadas à taxa de evapotranspiração. Em trabalhos realizados pelos autores, há a demonstração de que a duração da chuva e a umidade do substrato, anteriormente ao início da infiltração da água, influenciam na quantidade drenada. Um exemplo do fato é: parte da água da chuva começou a ser drenado do sistema após uma hora do evento chuvoso iniciar e durou 9 horas, mas, em contrapartida, uma sequência de eventos chuvosos durante 6 dias apresenta início de escoamento após cerca de 20 minutos, devido à saturação do solo, de forma a não precisar do tempo de saturação do sistema para drenagem posterior. O volume drenado foi de 12,1 mm dos 18,2 mm provenientes da chuva, representando um aproveitamento de 66,5%.

Como fator determinante em relação à capacidade de retenção de água pluvial por telhados verdes, tem-se a profundidade do substrato. Mentes et al. (2006) afirma que, em épocas quentes, 1 cm de substrato confere 2,5 mm a menos de escoamento. Ainda relata que o escoamento pode ser considerado uma medida inversamente proporcional à espessura do substrato, tendo que espessuras inferiores a 50 mm apresentam escoamento superficial de 38%, já entre 50 e 150 mm, 30%, enquanto superiores a 150 mm apresentam escoamento superficial de apenas 20%.

Ressaltando o problema relacionado ao escoamento, Gartland (2010) aponta que em áreas não urbanizadas, 30% da água da chuva infiltra-se em aquíferos profundos, 30% em aquíferos superficiais, de forma a estarem disponíveis para a utilização das plantas e 40% é devolvido à atmosfera devido à evapotranspiração do solo e das plantas. Entretanto, em áreas urbanas, esse cenário é bastante distinto e preocupante, tendo que 10% direciona-se aos aquíferos profundos, 15% é utilizada pela vegetação e 75% torna-se escoamento superficial, o qual é direcionado aos esgotos e drenagem pluvial, chegando aos rios, lagos e córregos, de forma a carregar partículas de óleo, lixo e diversos poluentes.

Speak et al. (2012), demonstrou que a média da retenção do escoamento superficial no telhado verde do campus da Universidade de Manchester, foi de 65,7%, já em um telhado pavimentado adjacente a média foi de 33,66%, ou seja, metade do valor em relação a uma cobertura vegetal.

Em uma pesquisa realizada por Villarreal e Bengtsson (2005), a intensidade da chuva e a inclinação da cobertura são os principais fatores que influenciam na capacidade de retenção das águas pluviais. Para uma chuva de intensidade 0,4 mm/min, 62%, 43% e 39% do total da precipitação foi mantida no telhado verde com declives de 2º, 8º e 14º respectivamente. Para uma chuva de intensidade 0,8 mm/min, a retenção da água foi de 54%, 30% e 21% nos mesmos declives.

Assim, soluções ambientais como os telhados verdes, os quais apresentam grande redução de escoamento superficial, são interessantes, uma vez que são capazes de armazenar grande volume de precipitação e manter a água em seu ciclo por meio de posterior evapotranspiração das plantas. (BENGTSSON et al., 2005)

Apesar da capacidade do telhado verde em acumular e armazenar a água da chuva para outros fins nas edificações, como a utilização em descargas, irrigação de jardins, entre outros, é necessária atenção em relação à qualidade dessa água.

3.6.3 *Qualidade da água*

A qualidade da água é outro importante aspecto relacionado com os telhados verdes. A água drenada pelo sistema pode ser armazenada e utilizada para alguns fins em residências ou edifícios comerciais.

Recomenda-se que a água pluvial coletada seja utilizada para atividades fora da construção, como irrigação das plantas em um jardim, ou então desenvolve-se um sistema de filtro para se obter uma qualidade melhor da água e utilizar para outros fins. (VIJAYARAGHAVAN, 2016)

Segundo Temmusk e Mander (2007), os poluentes carreados pela água da chuva são acumulados na camada de substrato e com a ocorrência de fortes chuvas, são liberados.

Os telhados verdes podem tamponar a chuva ácida (VIJAYARAGHAVAN et al., 2012), e também podem reter poluentes, obtendo assim um escoamento de água pluvial de boa qualidade.

Através do substrato e da vegetação, a água pode ser limpa ou contaminada. Ambos podem atuar retendo partículas de poeira, removendo-as da água da chuva. O substrato funciona também como um filtro de troca de íons. Se a concentração de

íons na água for alta, o sistema diminuirá a concentração desses na água escoada. (VIJAYARAGHAVAN, 2016)

Em Toronto, Van Seters et al. (2009), analisou amostras da água escoada de um telhado extensivo, para pH, sólidos suspensos totais, metais, bactérias e nutrientes. O resultado obtido foi de menor concentração da maioria dos poluentes em relação à água escoada de um telhado convencional.

Foi realizado um estudo analisando a água drenada de telhados verdes sob chuva e observou-se no escoamento quantidades significativas de Na, K, Ca, Mg, NO_3, PO_4 e vestígios de Fe, Cu e Al. (VIJAYARAGHAVAN et al., 2012)

Essas diferenças em relação a qualidade da água escoada dos sistemas de telhados verdes, é influênciada por: composição do substrato, tipo da vegetação, quantidade de chuva, fontes locais de poluição, tipos de sistemas de telhados verdes, adubações, tempo de instalação e tipos de drenagem. (VIJAYARAGHAVAN, 2016)

A irrigação em telhados verdes pode ser realizada com água cinzenta (VAN MECHELEN et al., 2015). A água cinzenta representa 65 a 90% da água residual doméstica, originada de atividades da cozinha, banheiro e lavanderia. (KATUKIZA et al., 2014). Autores ainda não sabem a real consequencia do uso da água cinzenta nas plantas, poucos estudos foram realizados.

Em estudo realizado por Cameron e Berghage, (2009), os níveis de DBO na água cinzenta melhorou significativamente, após passar pelo sistema de telhado verde, sendo assim, o cobertura vegetal pode funcionar como um filtro.

3.7 Limitações

Mesmo com as pesquisas demonstrando os aspectos positivos do uso de sistemas de telhados verdes, existem algumas restrições. Os líderes políticos ainda não conseguem compreender os aspectos positivos e recomendações da cobertura vegetal, e sem apoio governamental, é difícil a justificativa do uso para o público. (VIJAYARAGHAVAN, 2016)

O custo do telhado verde é um dos principais fatores limitantes, sendo que, a instalação do sistema requer investimentos significativos e o valor varia de acordo

com o tipo de telhado verde, local e mão de obra. O ganho ambiental, e mesmo econômico é a longo prazo, sendo difícil a compreensão desse fator.

Clark et al. (2006), demonstrou que após 11 anos de um telhado verde de baixo custo de instalação e altos benefícios ecológicos instalado em Michigan, houve o retorno do investimento.

Em Washington, nos Estados Unidos, Niu et al. (2010), determinou que o custo de instalação de uma cobertura vegetal de 1795m^2 é 27% maior do que um telhado convencional. Entretando, considerando os benefícios em 40 anos, o custo do sistema é 25% menor do que o telhado convencional.

Kosareo e Ries (2007), destacam que o uso de telhados verdes extensivo podem melhorar a vida útil de uma cobertura em 25 anos, ou seja, o dobro que um telhado convencional.

A manutenção em telhados verdes também é um fator que deve ser levado em conta e a pesquisa é pouco realizada nessa área de estudo (NAGASE; DUNNETT, 2013). Os sistemas implantados necessitam de um sistema de irrigação, adubação (mesmo que seja pouco frequente), retirada de plantas daninhas e poda da vegetação, necessitando dessa forma de manutenção.

Fertilizantes em excesso podem promover uma alta proliferação de plantas daninhas, ao mesmo tempo, em baixa concentração limita o desenvolvimento de determinadas espécies plantadas, dessa forma, há necessidade de equilíbrio entre a adubação. (EMILSSON et al., 2007).

Em relação as plantas daninhas, Nagase e Dunnett (2013), sugere alguns métodos para se evitar essas pragas como evitar a incidência de luz direta sobre o substrato utilizando plantas altas, que causem o sombreamento, ou espécies que tenham rápido desenvolvimento e boa cobertura do solo, além de utilizar diversas espécies em conjunto.

A energia gasta, além da poluição causada na fabricação dos componentes como os módulos que são de materiais poliméricos, levanta uma importante discussão sobre a utilização dos sistemas de telhados verdes. A recomendação é utilizar materiais que possam substituir o uso de polímeros para melhorar a sustentabilidade do processo. (VIJAYARAGHAVAN, 2016)

Peri et al. (2012), através de pesquisas com o custo de eliminação dos diversos componentes de um telhado verde na Itália, concluiu que o custo de

disposição do sistema, seria apenas 4,6% dos custos totais (implantação e manutenção).

Benefícios como a redução do escoamento, desempenho térmico e qualidade da água são mais fáceis de serem medidos, já a diminuição de ruídos, mitigação das ilhas de calor, melhoria na qualidade do ar e aumento do bem estar psicológico da população por conta dos espaços verdes, são aspectos difíceis de avaliar, e são grandes consequências positivas dos sistemas de telhados verdes que são pouco ou não considerados em pesquisas.

3.8 Tendências

A utilização de telhados verdes em coberturas, pode ser aliada a módulos fotovoltaicos, melhorando ainda o rendimento elétrico. (LAMNATOU; CHEMISANA, 2015) Os painéis fotovoltaicos dependem da temperatura do ar do entorno e da temperatura dos módulos, dessa forma, os telhados verdem, ajudariam a resfriar a temperatura e melhorar a performace dos telhados fotovoltaicos. (KAISER et al., 2014)

Na Espanha, Chemisana e Lamnatou (2014), através de experimentos, observaram que utilizando o sistema Placa fotovoltaica + Telhado verde (com suculentas) houve uma melhoria de 3,33% na eficiência em relação a geração de eletrecidade, quando comparado com o sistema de Placa fotovoltaica + Cascalho.

Já em Hong Kong, o aumento na geração de eletricidade foi de 8,3% utilizando um sistema de Placa fotovoltaica+Telhado verde do que apenas um sistema de Placa fotovoltaica. (HUI; CHAN, 2011)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O projeto foi desenvolvido na cidade de Sorocaba – São Paulo, situada nas seguintes coordenadas geográficas: -23.5062 (latitude); -47.4559 (longitude); 23º 30’ 22’’ Sul e 47º 27’ 21’’, com altitude de 580m, temperatura média anual de 19,4 ºC,

umidade relativa anual de 73,4% e índice pluviométrico de 1.224 mm, resultando na classificação climática de Koeppen em Cwa, com clima tropical de altitude, caracterizada por chuvas no verão e inverno seco. (CEPAGRI, 2018) A localização está ilustrada na Figura 4.

Figura 3- Localização do município de Sorocaba no estado de São Paulo



Fonte: Wikimedia Commons

Instalou-se os sistemas de telhados verdes na Faculdade de Engenharia de Sorocaba (FACENS), localizada na Rodovia Senador José Ermírio de Moraes, 1425 – Jardim Constantino Matucci, cidade de Sorocaba, Estado de São Paulo, conforme figura 5.

A escolha do local se deu devido ao fato de o campus da FACENS ser utilizado como sede para desenvolvimento de soluções em cidades inteligentes, no qual diversos projetos são desenvolvidos, instalados em escala piloto, para posterior execução em escala real. Smart Campus Facens é o nome dado ao núcleo de projetos, onde alunos e funcionários, entre eles, professores, coordenadores, e

alunos, interagem para o desenvolvimento de ideias, visando novas tecnologias e soluções para cidades inteligentes.

Escolheu-se o local – dentro do campus – de acordo com a disponibilidade de espaço e dos recursos disponíveis, tais como acesso à água para o funcionamento do sistema de irrigação e energia para os sensores de captação de dados térmicos. Fatores como sombreamento e inclinação também foram observados e analisados no momento da escolha do local. No entorno do sistema instalado não há incidência de sombra nos protótipos, possibilitando a mesma situação para todos os sensores.

Além desses fatores, os motivos que contribuíram para a escolha da FACENS para o estabelecimento do experimento foram:

- Local de circulação diária de mais de 4 mil alunos de diversas áreas (Engenharias Elétrica, Produção, Mecatrônica, Computação, Química, Civil, Mecânica, Alimentos e Agronômica, além de Arquitetura), possibilitando a expansão do conhecimento sobre os telhados verdes;
- Possibilidade de interação dos alunos e funcionários com o desenvolvimento do projeto;
- Uso de tecnologias que permitiram integrar o projeto a diversas áreas do conhecimento;

Figura 4 - Local de montagem do projeto: Faculdade de Engenharia de Sorocaba



Fonte: Jornal Cruzeiro do Sul.

4.2 Montagem do protótipo

Para a instalação dos sistemas estudou-se os materiais mais utilizados atualmente quando fala-se a respeito de coberturas vegetais.

Os sistemas de coberturas vegetais escolhidos para as avaliações foram: FLAT, Modular e Macdrain, além da testemunha, que é apenas um protótipo impermeabilizado, sem o telhado verde, totalizando dessa forma, 4 protótipos.

4.2.1 Sistemas utilizados

A empresa Instituto Cidade Jardim forneceu todos os materiais utilizados para a montagem dos protótipos, como as diferentes estruturas utilizadas nos sistemas, o substrato, o sistema de irrigação, além de toda a vegetação necessária.

Com base nas informações da empresa, todos os sistemas utilizados estão descritos a seguir.

Para o Sistema FLAT, o local de instalação não deve possuir inclinação superior a 5%, sendo a instalação mais adequada para lajes e coberturas planas, as quais possuem entre 2% e 5% de inclinação. Superfícies que apresentam inclinação inferior a 2% devem utilizar sistemas especiais para evitar o acúmulo de água, garantindo assim uma boa drenagem sob o jardim. O Sistema FLAT está ilustrado nas Figuras 6 e 7.

Sobre o protótipo, foram instaladas placas de PVC (0,50 x 0,50 x 0,10m), as quais são utilizadas para suportar o sistema e armazenar a água, diminuindo a necessidade de sistema de irrigação no jardim. O filtro de drenagem foi inserido sobre o sistema FLAT, de forma a permitir e fazer com que a drenagem ocorra de forma correta, sem que haja o acúmulo de água em alguns pontos do sistema, além de reduzir o carreamento de partículas sólidas do sistema e manter a circulação de ar necessária para o bom desenvolvimento radicular. O substrato foi inserido sobre a manta de drenagem. Somente após a instalação dessas camadas, fez-se o plantio da vegetação.

Nesse sistema, é possível a elaboração de um projeto de paisagismo mais completo, com diferentes alturas e volumes de substrato. A camada de substrato, que pode variar em altura, possibilita o desenvolvimento de vegetação de grande

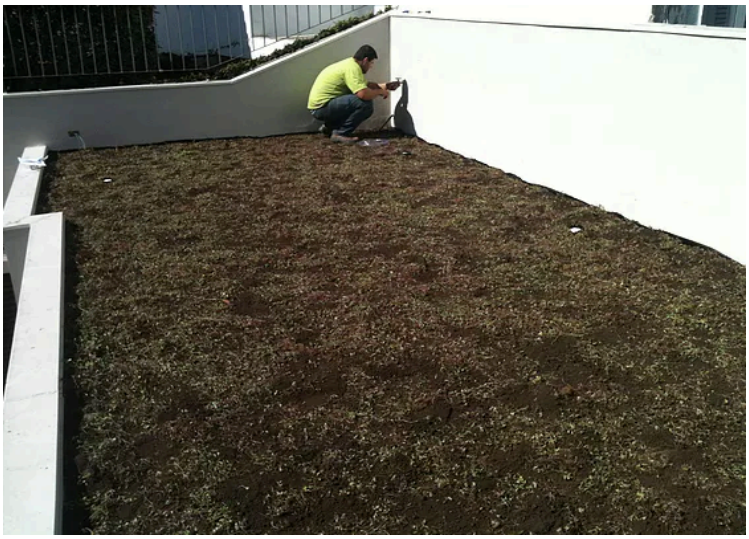
porte. Dessa forma, arbustos e árvores podem se estabelecer nessas coberturas vegetais. O cálculo estrutural deve ser, imprescindivelmente, realizado, para que seja analisado o peso que poderá ser suportado pelo sistema.

Figura 5- Sistema FLAT: Placas PVC (0,50 x 0,50 x 0,10) + Manta de drenagem



Fonte: Instituto Cidade Jardim

Figura 6 - Sistema FLAT: Substrato + Vegetação sobre o sistema



Fonte: Instituto cidade jardim

O Sistema Modular pode ser utilizado em locais com inclinações superiores em comparação às possíveis para o Sistema FLAT, sendo ideal para inclinações entre 5% e 35%, uma vez que utiliza-se uma camada de apenas 5 cm de substrato. Inclinações superiores a 30% devem conter sistemas de travamento especialmente desenhados para evitar o deslizamento do sistema de cultivo.

Esse sistema é composto por módulos (0,50 x 0,50 x 0,075 cm) que se encaixam e formam a cobertura vegetal. Cada módulo possui o filtro de drenagem instalado e pronto para receber o substrato e a vegetação. O Sistema Modular está ilustrado na Figura 8 e 9.

Por apresentar limite máximo de 5 cm de profundidade para o substrato, nesse sistema a vegetação utilizada deve ser escolhida de acordo com o desenvolvimento das raízes, uma vez que espécies que necessitam de grandes profundidades terão seu desenvolvimento e sustentação prejudicados. A utilização de plantas herbáceas é comumente vista nesse tipo de cobertura, já que possuem raízes pouco profundas.

Figura 7 - Sistema Modular: Módulos (0,50 x 0,50 x 0,075 cm) + Manta de drenagem já inseridos nos módulos + Substrato + Vegetação



Fonte: Instituto Cidade Jardim

Figura 8 - Sistema Modular instalado sobre uma edificação



Fonte: Instituto Cidade Jardim

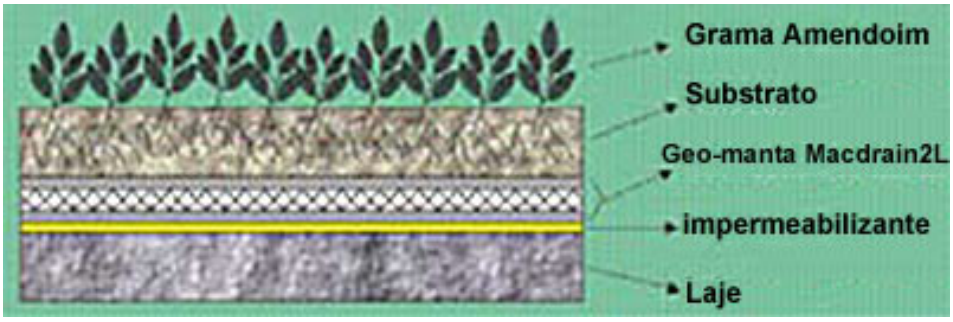
No Sistema Macdrain utiliza-se apenas a manta Macdrain – uma camada drenante – com o substrato e vegetação sobre o sistema. O Sistema Macdrain e como é realizada sua montagem estão ilustrados nas Figuras 10 e 11, respectivamente.

Figura 9 - Manta Macdrain utilizada sobre lajes para sistema mais simples



Fonte: Luchetti.

Figura 10 - Esquema de montagem para uso de manta Macdrain



Fonte: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura (IBDA)

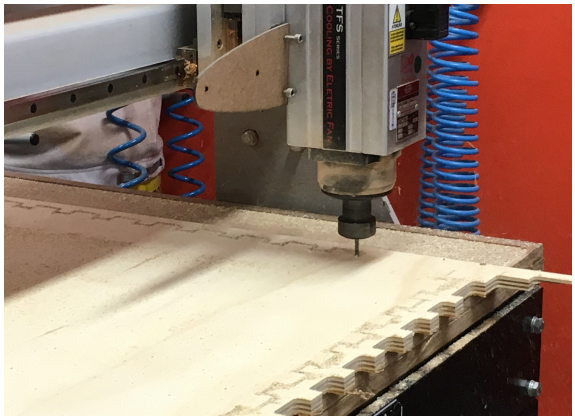
4.2.2 Estrutura

Os protótipos instalados foram elaborados seguindo as recomendações utilizadas por empresas especializadas em instalação de telhados verdes.

Para a montagem das caixas que receberam os sistemas utilizou-se o compensado naval: material composto por três lâminas de madeira e resina fenol-formaldeído, prensadas. A vantagem de sua utilização é o fato de ser a prova d'água, o que permite a exposição ao tempo, aliando versatilidade e grande resistência.

O compensado naval foi adquirido na forma de peças inteiriças, as quais foram cortadas no laboratório FabLab da FACENS. Utilizou-se a cortadora à laser, o que permitiu a realização de cortes com encaixes exatos, ilustrados nas Figuras 12 e 13. Com a junção dos encaixes, e ainda a utilização de parafusos para a melhor fixação, formou-se a caixa que, posteriormente, foi tratada com o sistema de impermeabilização e recebeu os sistemas de telhados verdes.

Figura 11 - Processo de corte do compensado naval pela cortadora à laser



Fonte: Acervo pessoal

Figura 12 - Peças de madeira, as quais formaram os protótipos



Fonte: Acervo pessoal.

A impermeabilização foi realizada pela Omnitrade, a qual utilizou uma manta de PVC, que possui durabilidade em torno de 10 a 15 anos, leveza e estanqueidade quando comparada à utilização de outros materiais, como a manta asfáltica.

A durabilidade se deve as características fisico-químicas e mecânicas do material. Utilizada na Europa há mais de 30 anos com grande êxito, esse material não é utilizado somente para impermeabilização de lajes, mas também em tanques de armazenamento de água, canais de irrigação, entre outros. (OMNITRADE, 2017). A caixa já impermeabilizada encontra-se exposta na Figura 14.

Figura 13 - Protótipo de compensado naval montado e impermeabilizado, pronto para receber o sistema de telhado verde.



Fonte: Acervo pessoal

As caixas de madeira com os sistemas instalados foram dipostas sobre bancadas de alumínio inclinadas (3°), com sensores de temperatura alocados acima e abaixo do sistema.

Para que não houvesse influência de ventos e outras variações climatológicas, foram instaladas caixas espessas de isopor tipo P3 conforme Figura 15. Placas espessas (10cm) de isopor foram utilizadas para montagem das caixas, para isolar eficientemente o sistema. Entre a caixa de isopor e a caixa de madeira, aplicou-se silicone, com a finalidade de diminuir ainda mais as influências externas que o sistema poderia sofrer.

Com base na Lei de Fourier, equação 1, que estabelece o fluxo de calor entre 2 pontos (RODRIGUES et al., 2009), foi calculado o valor da condução de calor para o isopor e tijolo de alvenaria, que possuem condutividade térmica de 0,035 e 0,658 (KREITH et al., 2012), indicando a eficiência na redução da condução do calor do

isopor utilizado para isolar o sensor abaixo das variações climatológicas, quando comparado à uma construção que utiliza tijolo.

$$q_k = -kA\frac{dT}{dX} \quad (1)$$

Como evidenciado na revisão bibliográfica, segundo Ferraz (2012), os limites para conforto de acordo com a NBR 16401/08, são temperaturas entre 22,5°C e 26°C no verão, sendo assim foi utilizado como base para calculo o valor de 24,25°C.

De acordo com a estação climatológica instalada na FACENS, o valor máximo de temperatura registrado em 2017 foi de 41,2°C, em 26/01/2017.

Sendo assim, foi utilizado o valor de temperatura máxima registrada para Sorocaba no verão e o valor médio para o conforto térmico segundo a NBR 16401/08, para calculo da condução do calor.

Em relação ao tijolo de alvenaria, o isopor reduziu cerca de 95% a condução do calor, evidenciando a eficiência no isolamento dos sensores abaixo dos protótipos instalados.

Figura 14 - Caixa de isopor acoplado a caixa de madeira.



Fonte: Acervo pessoal

Na figura 16, o Protótipo testemunha está apresentado. Já na figura 17, estão todos os protótipos devidamente instalados.

Figura 15 - Protótipo sem sistema instalado



Fonte: Acervo pessoal

Figura 16 - Protótipos de telhados verdes devidamente instalados.



Fonte: Acervo pessoal

4.2.3 Espécie vegetal

A escolha da vegetação a ser utilizada em coberturas vegetais varia de acordo com o clima local, incidência da radiação solar, disponibilidade de água e sistema de telhado verde instalado, podendo haver alteração da profundidade de substrato disponível para desenvolvimento das plantas.

As plantas suculentas possuem tecidos localizados no interior de folhas e caules, os quais armazenam suas reservas. Dessa forma, essas espécies vegetais necessitam de menor quantidade de água, e conseguem sobreviver a longos períodos de estiagem. Além disso, conseguem desenvolver-se em substratos pouco profundos, adaptando-se ao sistema modular, por exemplo.

A espécie utilizada no projeto, *Callisia repens* (Jacq.) *L.* pertence a família botânica Commelinaceae, que possui uma ampla distribuição em países tropicais, com 60 espécies descritas no Brasil (SOUZA; LORENZI, 2005).

A *Callisia repens*, é considerada uma planta suculenta. Conhecida popularmente como dinheiro-em-penca, apresenta porte de 10 a 15 cm quando está em pleno desenvolvimento, sendo considerada uma espécie herbácea, muito ramificada e perene. As folhas possuem aspecto brilhante, encerado, sendo ovais acuminadas e verde-claro. As flores são brancas e pequenas, sem caráter ornamental. São plantas que não resistem a pisoteio e são consideradas excelente espécie para cobertura vegetal. (BAROSKY, 2011)

Em razão do porte rasteiro, bom desenvolvimento e ramificação, além do baixo consumo hídrico, essa espécie vegetal foi cultivada nos três sistemas instalados, com as mesmas características de espaçamento, fornecimento de água pelo sistema de irrigação, e data de realização do plantio.

As plantas cultivadas foram colhidas em ramos que possuíam raízes já desenvolvidas, conforme figura 18 e 19, e foram inseridas no substrato do telhado verde em pequenas covas.

Figura 17 - Mudas de “raiz nua” da espécie *Callisia repens* utilizada



Fonte: acervo pessoal

Figura 18 - Detalhes das mudas plantadas nos sistemas



Fonte: acervo pessoal

4.2.4 *Substrato e Sistema de Irrigação*

O substrato utilizado foi proveniente da empresa Carolina Soil. Todos os sistemas de telhados verdes instalados pelo Instituto Cidade Jardim, utilizam esse mesmo substrato, ilustrado na figura 20.

É composto por turfa de sphagno, vermiculita expandida e calcário dolomítico, proporcionando maior aeração, aumentando assim o sistema radicular das plantas cultivadas, além de gesso agrícola e fertilizante NPK, fornecendo os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, sem necessidade inicial de adubação. O pH do material é por volta de 5,5 e a densidade 145 kg/m^3, além de 55% de capacidade de retenção de água.

Figura 19 - Substrato utilizado da Carolina Soil do Brasil



Fonte: Acervo pessoal

O sistema de irrigação utilizado é do tipo gotejamento, formado por duas linhas de irrigação com 1 metro de extensão cada, dispostas igualmente nos três protótipo, conforme figura 21. Ao longo da tubulação, foram feitas pequenas perfurações e instalados os gotejadores, os quais possuem a função de liberar a água ao substrato, de acordo com a necessidade hídrica.

O controle do sistema de irrigação foi realizado por um *timer*, ajustando-se o tempo em que o sistema deve funcionar e a frequência. Três *timers* foram instalados, um para cada protótipo. Para o desenvolvimento inicial da espécie, o ajuste foi realizado para que o funcionamento ocorresse a cada 6 horas, por 5 minutos em cada turno de rega. A vazão do sistema variou entre 2 e 3 L h^{-1}. Depois do primeiro mês, com a vegetação já estabelecida, foi realizado o ajuste de funcionamento para 5 minutos a cada 12 horas.

Figura 20 - Sistema de irrigação por gotejamento em 2 linhas controlado por um Timer, instalado igualmente nos 3 protótipos



Fonte: Acervo pessoal

4.3 Coleta de dados térmicos

Após a finalização das montagens dos protótipos e instalação, durante o período de agosto à novembro de 2017, foi realizada a coleta dos dados de temperaturas, as quais foram analisadas para cada um dos diferentes sistemas.

Foram instalados 8 sensores, sendo 2 em cada protótipo. Os sensores dispostos sobre as caixas de madeira foram utilizados para a coleta de dados de temperatura externa. Abaixo das caixas, isoladas pelo compartimento de isopor,

instalou-se sensores que permitiram a coleta dos dados de temperatura após a incidência dos raios solares no sistema. Dessa forma, pôde-se avaliar a variação de temperatura em graus Celsius, entre a parte externa (incidência solar) e interna. A localização dos sensores posicionados, está indicada na figura 22.

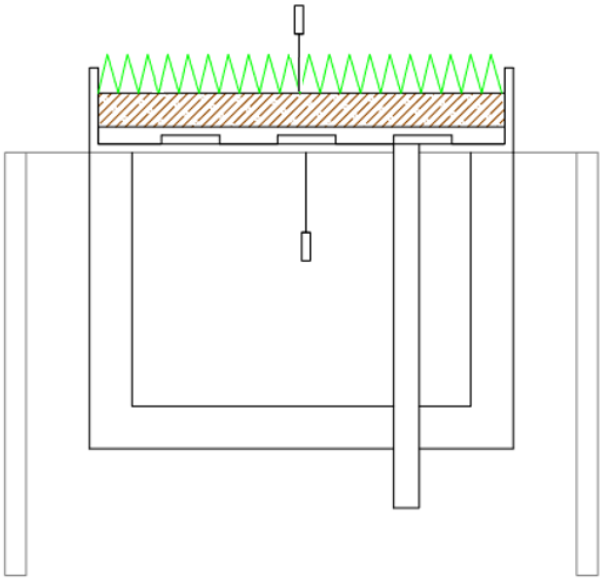
Na tabela 2, a seguir, estão dispostos os protótipos com os respectivos sensores.

Tabela 2 - Protótipos e distribuição dos sensores

PROTÓTIPO	SISTEMA	SENSOR ACIMA	SENSOR ABAIXO
1	FLAT	1	2
2	Modular	3	4
3	MacDrain	5	6
4	Testemunha	7	8

Fonte: Acervo pessoal

Figura 21 - Corte esquemático das posições dos sensores externo e interno



Fonte: Autoria própria

O sistema de coleta e trasmissão de dados foi realizado pelo núcleo de robótica inteligente da FACENS, o que possibilitou que as diversas coletas realizadas fossem enviadas diretamente para o servidor local, via Wi-Fi. Dessa forma, basta conectar-se à rede da faculdade e digitar o IP do servidor para ter acesso aos dados.

O sensor de temperatura utilizado para as coletas iniciais foi o DS18B20, ilustrado na figura 23, dispositivo capaz de medir a temperatura do local onde está disposto, fornencendo valores para cada temperatura medida. Tem como característica a praticidade, por ser à prova d'água e suportar as diversas condições climatológicas. A variação da faixa de medição desse sensor é de -55ºC a +125ºC e a precisão varia em ± 0,5°C. (TORRES et al., 2015)

Figura 22 - Sensor de temperatura DS18B20 à prova da água



Fonte: BLOG FILIPEFLOP

Os sensores foram conectados à uma placa NodeMcu, modelo ESP8266. Com a conexão via Wi-Fi e vários pinos de entrada, esse microcontrolador de 32 bits, quando ligado à uma fonte de energia, consegue enviar os dados coletados pelos oito sensores. É possível visualizá-lo na Figura 24.

Figura 23 - Placa NodeMcu (ESP8266) utilizada para envio de dados coletados pelos sensores



Fonte: BLOG FILIPEFLOP

Para o funcionamento do sistema, é necessário alimentação dentro da faixa de 3,5 a 5,5V. Dessa forma, utilizou-se uma fonte de energia ligada à tomada presente no local da instalação dos sistemas.

No Smart Campus Facens, é utilizado o sistema supervisório PI System da Osisoft com o objetivo de monitorar as instalações físicas e equipamentos pertencentes aos diversos projetos concluídos e em andamento. Os projetos integrados ao sistema supervisório são: Sistema Solar Fotovoltaico; Estação meteorológica; Smart Water; Smart Waste, Jardim Vertical e Telhado Verde.

Os sistemas supervisórios permitem o monitoramento e rastreabilidade das informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipulados, analisados, armazenados e, posteriormente, apresentados ao usuário.

O PI System é composto pelo PI Server, servidor que armazena os dados e o Coresight, painel que exibe os dados.

Com a utilização desse sistema, é possível mostrar em tempo real os dados coletados dos projetos, como no caso do sistema de telhado verde, indicando os dados de temperatura acima e abaixo de cada sistema no momento exato da coleta, como é ilustrado na Figura 25.

Figura 24 - Sistema supervisório PI System com dados em tempo real dos sistemas de telhados verdes



Fonte: Acervo pessoal

4.3.1 Análises de conforto térmico

Os dados da temperatura interna, coletados pelos sensores em três diferentes horários, às 08:00, 13:00 e 22:00 horas, durante o período de 09/08/2017 à 22/11/2017, foram utilizados para analisar a atenuação da temperatura, pelos diferentes sistemas de telhados verdes, comparando os resultados entre os diferentes sistemas com a testemunha.

Considerou-se, para análise dos dados, o limite superior de conforto térmico (L.S.C.T) segundo a norma NBR 16401/08, para o verão, 26°C. Em relação ao limite inferior de conforto térmico (L.I.C.T), utilizou-se a menor temperatura da norma de referência, observada no inverno, 21°C.

Além disso, dados obtidos da estação meteorológica instalada na FACENS, como radiação solar e pluviosidade, foram utilizados para fundamentar os resultados de conforto térmico.

4.3.2 Delineamento experimental e análises estatísticas

As diferenças entre a temperatura externa e interna foi utilizada para averiguar a atenuação da radiação solar, evidenciando o potencial de isolamento térmico dos telhados verdes. Para esses resultados, foi submetido teste estatístico, comparando as médias das diferenças de temperatura dos 85 dias coletados. Aplicou-se uma constante no valor de 100 as diferenças de temperatura, para ser possíveis as análises estatísticas.

No experimento foi adotado o delineamento experimental de blocos ao acaso, no esquema fatorial 4x3, no qual são 4 sistemas de telhado verde (SF, SM, SD, SF) em três horários analisados. O delineamento em blocos é utilizado para experimentos em ambientes heterogêneos, o mais empregado na pesquisa agrícola, pois fatores como o clima, dificilmente é ajustado de forma totalmente homogênea. (DUARTE, 1996)

As análises estatísticas foram realizadas no programa SAS “Statistical Analysis System”, através do teste F da análise de variância, para verificar a hipótese de que as médias são estatisticamente iguais ou diferem entre si. O teste

de Tukey à 5% de significância, foi aplicado para comparação das médias dos tratamentos.

4.4 Coleta de dados hídricos

Para a realização das análises, foram coletadas amostras da água utilizada na irrigação e após a drenagem pelo sistema FLAT, dessa forma, foi possível comparar os parâmetros analisados.

Esse sistema foi escolhido, pois possui a mesma reserva de água que o sistema Modular (pequenos reservatórios), e em relação ao MacDrain, que não possui nenhum sistema de reserva da água, a qualidade seria inferior, visto que a água não fica armazenada e ocorre drenagem direta,. Dessa forma, as análises com o sistema FLAT representam o cenário de menor qualidade da água drenada.

A água utilizada no sistema de irrigação é a mesma empregada em toda a faculdade, que provém de um poço com um sistema de tratamento realizado no próprio campus.

O protótipo dispõe de um tubo de PVC, responsável pela drenagem da água do sistema, que devido a sua inclinação, permite que o escoamento ocorra por gravidade.

Para a coleta da água drenada do telhado verde, o sistema de irrigação foi acionado manualmente, e a água drenada do protótipo com sistema FLAT (composto por vegetação, substrato e estrutura de PVC) foi coletada em 4 frascos, totalizando 1,5 Litros de água.

Dessa mesma forma, para a água utilizada no sistema de irrigação, foram coletados 4 frascos, com o total de 1,5 Litros.

Devido a vantagem de possuir a capacidade de armezenar a água na estrutura de PVC, diminuindo o uso excessivo de água na irrigação, o sistema FLAT foi o escolhido para as análises. Apesar do sistema Modular também possuir a capacidade de armazenamento da água, por conta de sua limitação em relação a espessura do substrato, e portanto, escolha da vegetação, não foi o sistema escolhido para as análises.

Após a coleta, as amostras foram transportadas imediatamente para o laboratório de Química do Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP Sorocaba, no

qual foram realizadas as seguintes análises: pH, turbidez, cor, nitrogênio, fósforo, potássio, sólidos totais, carbono orgânico total e DBO.

De acordo com as metodologias propostas em *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (EUGENE et al., 2012), as amostras foram coletadas e preservadas, conforme descrito a seguir.

Todos os frascos utilizados foram de plástico, sendo que um deles foi previamente lavado com ácido nítrico 10%, para análise de fósforo. Para as análises de carbono orgânico total, nitrogênio e fósforo, adicionou-se ácido sulfúrico para manter o pH da amostra abaixo de 2.

As análises de pH, turbidez e cor foram realizas instantaneamente ao chegar no laboratório, através de equipamentos que possibilitam a leitura direta.

O restante das amostras foram armazenadas a temperatura abaixo de 6 ºC para as outras análises. No mesmo dia as análises de nitrogênio e potássio foram efeituadas, além de iniciar os processos para as análises de DBO, fósforo e sólidos totais.

As análises hídricas foram escolhidas de acordo com o Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações (2005), no qual a água é classificada em diferentes classes de reúso, de acordo com sua finalidade. Com o objetivo de economia no uso da água, utilizou-se os parâmetros da água de reúso classe 3, que considera o uso em irrigação de áreas verdes e rega de jardins.

Dessa forma, a água drenada do telhado verde, poderá ser reutilizada para irrigar o próprio sistema ou as áreas ajardinadas no seu entorno.

Os parâmetros de nitrogênio, fósforo e potássio, também foram realizados, para verificar a concentração presente na água drenada, e assim, reutilizar a água como forma de adubo também.

4.4.1 *Análises hídricas*

Todos os reagentes utilizados nos experimentos foram de grau analítico e a água utilizada na preparação das soluções foi purificada em sistema de purificação de água marca GEHAKA (Resistividade 18 MΩ.cm).

A leitura de pH foi realizada de maneira direta em um pHmetro de bancada PH-1900, da marca INSTRUTHERM.

A turbidez indica o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a amostra, devido a presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas e de detritos orgânicos (CETESB, 2013). O turbidímetro portátil utilizado foi o Q279P, da marca Quimis, que utiliza o método Nefelométrico, no qual a fonte de luz infra-vermelha permite a medição das amostras, em um intervalo de 0,01 a 1100 NTU (unidade nefelométrica de turbidez).

Em relação ao parâmetro de cor, foi realizada a determinação através da comparação com padrões de platina-cobalto. Nessa metodologia, ocorre a comparação da amostra com uma solução padrão, formada pela mistura aquosa de cloroplatinato de potássio, cloreto de cobalto (II) hexahidratado e ácido clorídrico. (CAHINO et al., 2014) Utilizou-se para leitura um fotômetro medidor de cor Q406COR da marca Quimis, com uma faixa leitura de 0 a 500 uC (unidade de cor).

O nitrogênio foi determinado através do espectrofotômetro de luz visível utiliando o Kit Hach. As amostras foram digeridas em um reator Dry Block CienlaB CE-350/25, com persulfato alcalino, convertendo todas as formas de nitrogênio em nitrato. O metabissulfito de sódio foi adicionado após a digestão para eliminar interferências por óxido de halogênio. O nitrato reage com o ácido cromotrópico adicionado sob fortes condições acídicas para formar um complexo amarelo, e dessa forma o nitrogênio total foi lido no espectrofotômetro HACH – DR-3900, no comprimento de onda de 410 nm. Os valores encontrados através dessa metodologia podem variar entre 0,5 e 0,25 mg/L. (CASCAIS, 2008)

Para determinação do fósforo, foi utilizado a determinação colorimétrica pelo método do molibdanovanadato. (BOSCO et al., 2009) Inicialmente foi realizada a digestão da amostra, com a adição de persulfato de potássio, em uma chapa aquecedora CIENLAB CI-15401P. Posteriormente foram preparadas duas soluções, uma com a adição de molibdato de amônio em água destilada e outra com metavanadato de amônio em água destilada, aquecendo a mistura até diluir todo o sal e então é adicionado o ácido clorídrico concentrado. Dessa forma, quando as duas soluções esfriaram, foram misturadas. Para determinação do fósforo, essa amostra é utilizada na leitura da absorbância no comprimento de onda de 410 nm, utilizando-se o equipamento HACH – DR-3900.

Um fotômetro de chama ANALYSER 910 MS foi utilizado para se determinar a concentração de potássio na amostra. A amostra contendo cátions metálicos é inserida em uma chama e analisada pela quantidade de radiação emitida pelos

elementos químicos excitados, sendo assim, a intensidade de radiação emitida é proporcional à concentração de potássio na amostra. Os fótons de radiação emitidos têm comprimento de onda específico para cada elemento, no caso do potássio, 766,5 nm. (OLIVEIRA et al., 2013)

Para quantificar os sólidos totais, o béquer foi previamente tarado e pesado, e 100 mL da amostra foi adicionada. A amostra foi levada a estufa para total evaporação da água (100ºC) e deixada em dessecador para esfriar. Posteriormente, com o béquer já frio, 36 horas depois, foi pesado novamente. A diferença entre o peso final e inicial corresponde ao valor do resíduo total. (JORDÃO; PESSOA, 1995)

No caso do carbono orgânico total, foi utilizado o equipamento, Analytik Jena Multi N/C 3100 que realiza a digestão da amostra e faz a leitura do carbono total e do inorgânico, dessa forma, o carbono orgânico é encontrado pela diferença entre esses. (SCHMITZ, 2017)

Para analisar a DBO, foi realizada a leitura da amostra com um oxímetro, responsável por quantificar o oxigênio dissolvido inicialmente, e após 5 dias incubada à 20º C, foram realizadas novamente as leituras. Dessa forma, sabe-se a quantidade de oxigênio consumido pela degradação da matéria orgânica. Devido ao fato da amostra possuir matéria orgânica, não foi necessário adicionar nenhum reagente. (MACEDO, 2001)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Reúso da água

Os parâmetros analisados da água drenada do sistema FLAT estão dispostos na tabela 3.

Tabela 3 – Resultados das análises hídricas

Análise	Água de irrigação	Água drenada
pH	7,40	7,12
Cor (µC)	0	241,6
Turbidez (NTU)	0,04	4,06
Sólidos totais (g/L)	0,015	0,020
DBO (mg/L)	0,56	3,65
Carbono orgânico (mg/L)	0	15,22
Nitrogênio (mg/L)	0,50	1,30
Fósforo (mg/L)	0,10	1,34
Potássio (mg/L)	0,60	1,80

Fonte: Autoria própria

A utilização de sistemas de coberturas vegetais, necessita de algum método de irrigação para o seu bom desenvolvimento, principalmente em países tropicais, com longo período de estiagem após o verão. Dessa forma, a reutilização da água drenada em telhados verdes, pode influenciar de forma positiva no desenvolvimento da vegetação. (CORMIER; PELLEGRINO, 2008)

Segundo Carlon (2005), o reaproveitamento da água em áreas urbanas diminui a exploração intensiva dos recursos hídricos em fontes convencionais (represas, lagos e rios) passíveis de escassez.

Sendo assim, é de extrema importância a análise da água drenada dos sistemas para saber sua qualidade e então poder reutilizá-la na própria irrigação do sistema, principalmente em períodos de estiagem.

Em relação ao pH, importânte parâmetro para desenvolvimento da vegetação, através da influência na maior ou menor absorção dos nutrientes minerais, os valores medidos apontam para uma pequena redução no valor, uma queda menor

do que 5% quando comparado ao valor da água aplicada. A presença de matéria orgânica no solo, faz com que ocorra a atividade microbiana, resultando em subprodutos ácidos, que podem diminuir o pH do solo. (REIS; RODELLA, 2002) Dessa forma, a diminuição do pH da água, pode ser devido ao fato da presença de matéria orgânica no substrato.

De acordo com Parron et al. (2011) em relação à qualidade da água para irrigação é de pH entre 6 a 8,5, dessa forma, a água drenada está com pH adequado.

Apesar de possuir uma tela filtro no sistema, os parâmetros físicos de cor e turbidez, tiveram aumentos de 0 para 241,6 uC na cor e 0,04 para 4,06 na turbidez. Isso deve-se principalmente pelo fato do substrato usado (descrito nos materiais e métodos), possuir grande quantidade de matéria orgânica, que influência nesses parâmetros. De acordo com Braga et al (2002), a presença da cor aparente na água, mesmo tendo embutido no seu valor uma parcela da turbidez, está associada a presença de matéria orgânica e também tem estreita relação coma concentração de sólidos dissolvidos. Segundo Patemiane e Pinto (2001), a cor marrom das águas que drenam material humificado, mostra uma correlação positiva entre a coloração e a quantidade de carbono orgânico dissolvido.

A turbidez, pode mostrar a influencia negativa da água no sistema de irrigação por gotejo, pois indica a concentração de partículas sólidas em suspensão que pode obstruir os gotejadores. (FRAVET, 2006) Dessa forma, devido ao fato da predominância do uso de irrigação por gotejo em telhados verdes, como na presente pesquisa, a turbidez pode influenciar negativamente.

De acordo com Morquecho et al. (2005), os níveis de turbidez na coleta da água da chuva incidente sobre um telhado convencional ficam entre 2 e 22 NTU, indicando que o valor encontrado na análise da água drenada está próximo ao limite inferior encontrado em um telhado convencional.

A amostra apresentou baixo teor de sólidos totais dissolvidos, mesmo com um aumento de 33,5% comparado ao valor inicial. A presença de elementos, como íons orgânicos e inorgânicos no substrato, são responsáveis pela concentração de sólidos totais na amostra de saída. (PIVELI; KATO, 2006)

Em pesquisas realizadas por Castro (2011), o valor encontrado de sólidos totais na água drenada de um telhado verde foi três vezes maior em relação a água

drenada de um telhado convencional, devido à composição do substrato. Dessa forma, a água ao passar pelo sistema de cobertura vegetal, carreia materiais sólidos.

Segundo Andrade (1998), se for utilizada a irrigação por gotejamento, como é o caso do sistema instalado no experimento, os valores de sólidos totais não devem passar de 50 mg/L. Sendo assim, o valor encontrado na água drenada, está dentro da quantidade que não causa problemas ao sistema de gotejamento.

Fatores como tempo de instalação do telhado verde, tipo de substrato, e utilização de adubos, alteram as concentrações de nutrientes na água drenada dos sistemas e em relação ao desenvolvimento vegetativo, o nitrogênio é responsável pelo crescimento foliar, o fósforo fortalece o sistema radicular, aumenta as brotações laterais e assegura a energia necessária para o desenvolvimento inicial das mudas, e o potássio aumenta a resistência a pragas e doenças, além de promover o florescimento. (BELLÉ, 2013). A adubação realizada em outubro de 2017, com a formulação NPK 4-14-8, foi responsável pelos valores residuais observados na água de drenagem, desses três elementos: nitrogênio, fósforo e potássio, que são os macronutrientes, responsáveis pelo bom desenvolvimento da vegetação. Apesar do aumento significativo, chegando a 13 vezes no caso da concentração do fósforo, quando comparado a concentração da água utilizada na irrigação, os valores encontrados são baixos para se considerar a nutrição da vegetação quando do reuso da água, sendo imprescendível nova adubação.

Quando não ocorre a adubação química, a concentração de nitrogênio nas diversas formas em coberturas vegetais, tendem a diminuir à medida que eles atingem a estabilidade. (TEEMUSK; MANDER, 2007)

Alguns trabalhos sugerem que ocorre a diminuição do nitrogênio total no escoamento do telhado verde (CARPENTER; KALUVAKOLANU, 2010), outros demonstram um aumento de nitrato e concentrações de nitrogênio total (RETZLAFF, 2008; MONTERUSSO et al., 2005) ou ainda as concentrações são inalteradas (GREGOIRE et al., 2011; BERNDTSSON et al., 2009; KOHLER, 2011).

Pesquisas indicam que quase todo o fósforo é liberado como fosfato, e que há exemplos de coberturas vegetais que não demonstram nenhuma liberação desse nutriente (BERNDTSSON et al., 2006). Segundo Kohler et al. (2003), há uma redução do fosfato ao longo do tempo, sendo que, depois de quatro anos, a redução da carga de fosfato passou de 26% para 80%, por conta do desenvolvimento da vegetação.

Hathaway et al. (2008) também encontraram maiores concentrações de nitrogênio e fósforo na água drenada proveniente de telhados verdes adubados quimicamente.

A quantidade 150% maior da matéria orgânica na amostra de saída se explica pela principal composição do substrato utilizado, turfa de *sphagnum*, utilizado para aumentar o teor de matéria orgânica de substratos utilizados para plantas ornamentais.

A DBO está associada à quantidade de oxigênio necessária para ocorrer a oxidação da matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas. O aumento do valor da DBO expressa uma perda na qualidade da água, pois mais oxigênio está sendo consumido por microorganismos presentes na decomposição da matéria orgânica, e dessa forma, menos oxigênio estará disponível. (PIVELI; KATO. 2006)

Os valores encontrados representam um aumento da DBO, sendo que a presença de matéria orgânica na cobertura vegetal provoca a elevação desse parâmetro, de forma que compostos orgânicos são liberados da composição dos restos vegetais e do próprio substrato. (CASTRO, 2011)

A vermiculita expandida, também presente no substrato, é responsável por aumentar a aeração e a retenção de água, elevando a disponibilidade hídrica para a vegetação.

Utilizando como base o Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações (2005), a tabela 4 sugere as concentrações ideais dos parâmetros básicos para água de reúso classe 3, que considera o uso em irrigação de áreas verdes e rega de jardins.

Tabela 4 - Parâmetros básicos para água de reúso Classe 3

Parâmetros			Concentrações
pH			Entre 6,0 e 9,0
Salinidade			0,7 <EC (dS/m) < 3,0 450 < SDT (mg/L) < 150
Toxicidade por íons específicos	Para irrigação superficial	Sódio (SAR)	Entre 3 e 9
		Cloretos (mg/L)	< 350 mg/L
		Cloro residual (mg/L)	Máxima de 1 mg/L
	Para irrigação com aspersores	Sódio (SAR)	> ou = 3,0
		Cloretos (mg/L)	< 100 mg/L
		Cloro residual (mg/L)	< 1,0 mg/L
Boro (mg/L)	Irrigação de culturas alimentícias		0,7 mg/L
	Regas de jardim e similares		3,0 mg/L
Nitrogênio total (mg/L)			5 - 30 mg/L
DBO (mg/L)			< 20 mg/L
Sólidos suspensos totais (mg/L)			< 20 mg/L
Turbidez (UT)			< 5 UT
Cor aparente (UH)			< 30 UH
Coliformes fecais (mL)			≤ 200/100 mL

Fonte: FIESP

De acordo com os parâmetros indicados pela tabela 2, as análises de pH, nitrogênio total, DBO, sólidos suspensos totais e turbidez estão com os valores de concentração dentro do permitido para reúso da água em jardins.

Os parâmetros de coliformes fecais, boro, toxicidade por íons específicos e salinidade não foram analisados, visto que não causariam problemas para o desenvolvimento vegetativo, principalmente em áreas de uso paisagístico.

Coliformes fecais é um importante parâmetro na análise de água para irrigação de plantas alimentícias, como hortaliças, pois está diretamente envolvido com o consumo humano.

Uma elevada contaminação por coliformes fecais em plantas que serão consumidas, pode causar diversas doenças como infecções graves. (DUARTE, 2006) No caso do uso ornamental da vegetação, coliformes fecais não causam problemas.

Por conta da água receber tratamento, e ainda, o substrato utilizado ter como base material orgânico, os níveis de salinidade devem se manter abaixo do limite

proposto na tabela. De acordo com Gomes et al. (2000), adubos orgânicos tem-se tornado importantes na lixiviação do excesso de sais.

Segundo Freire & Freire (2007), a utilização de condicionadores orgânicos, podem reduzir a porcentagem de sódio devido à liberação de CO2 e ácidos orgânicos durante a decomposição da matéria orgânica.

O Boro, micronutriente utilizado para o desenvolvimento das plantas, não está na composição do substrato e não foi aplicado na adubação, dessa forma, a concentração desse elemento, não deve influenciar no reúso da água.

Segundo Sandri et al. (2006) em seus trabalhos utilizando água proveniente do tratamento de esgoto lançado na rede coletora local da UNICAMP, encontrou o teor máximo de boro de 0,3 mg/L. Dessa forma, mesmo em água residuária, o teor é 10 vezes menor, do que o recomendado pela tabela para regas de jardim.

A água drenada do sistema de telhado verde apresentou o parâmetro de cor de 241,6 uC, valor muito superior ao limite estabelecido pelo Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações, de 30 UH, principalmente por conta da drenagem da água pelo substrato. A unidade de cor (uC) representa o mesmo que a unidade Hazen (UH). (LIMA, 2014)

Em trabalhos realizados por Fernandes et al. (2017), com sistema de telhado verde para análise qualitativa da água drenada, o parâmetro de cor aparente chegou ao valor de 1000 UH, por conta da composição do substrato.

Entretanto, o parâmetro de cor não causa problemas, visto que não interfere no desenvolvimento vegetativo e ainda representa a alta concentração de matéria orgânica, que contribui para o crescimento das plantas.

5.2 Conforto térmico

Em relação as temperaturas internas dos protótipos para análise do conforto térmico, duas principais situações são válidas a se observar: primeiro em relação ao calor interno excessivo provocado pela radiação solar (principalmente nos horários mais quentes), e segundo em relação à todo o calor armazenado durante o dia que é emitido novamente ao ambiente, devido às diferenças de temperatura externa.

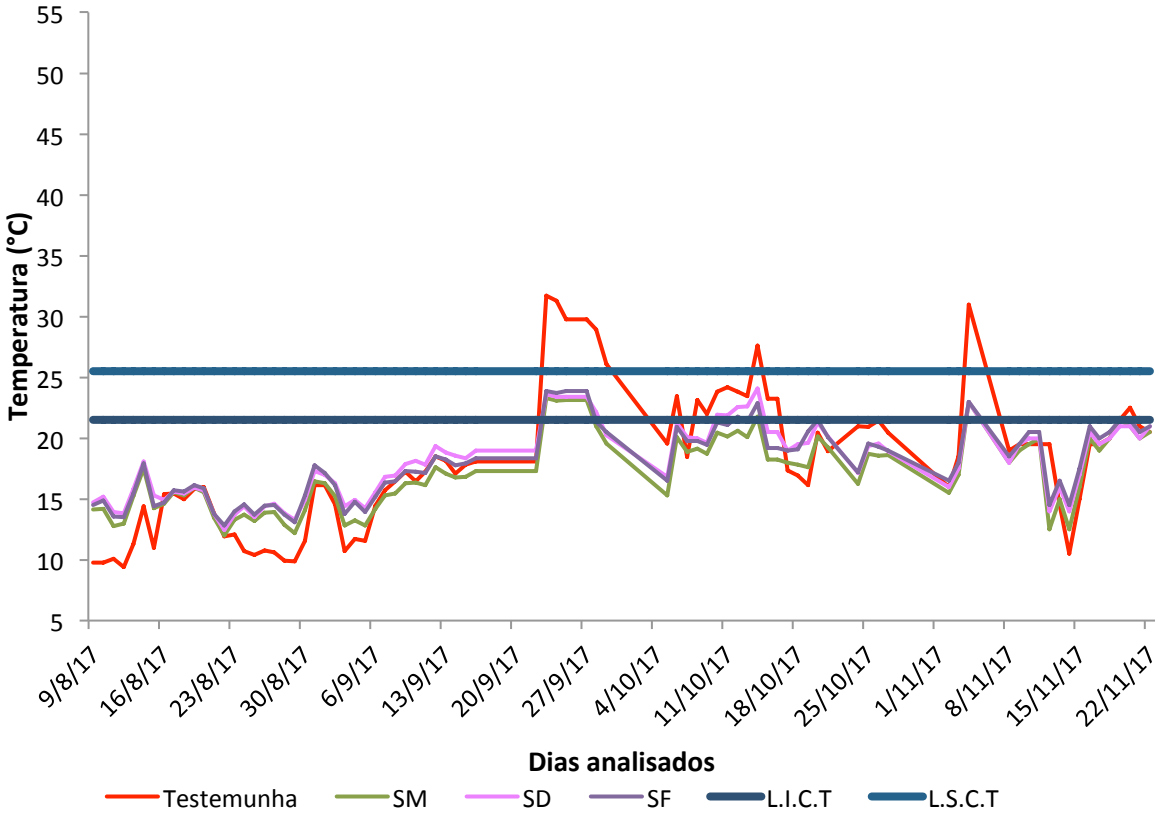
Além disso, a diferença entre as temperaturas internas e externas também são importantes na avaliação do potencial de isolamento térmico de coberturas vegetais.

Na figura 26, os valores de temperatura interna às oito horas estão dispostos em relação à zona de conforto térmico.

Para a avaliação do conforto térmico, dados meteorológicos foram analisados.

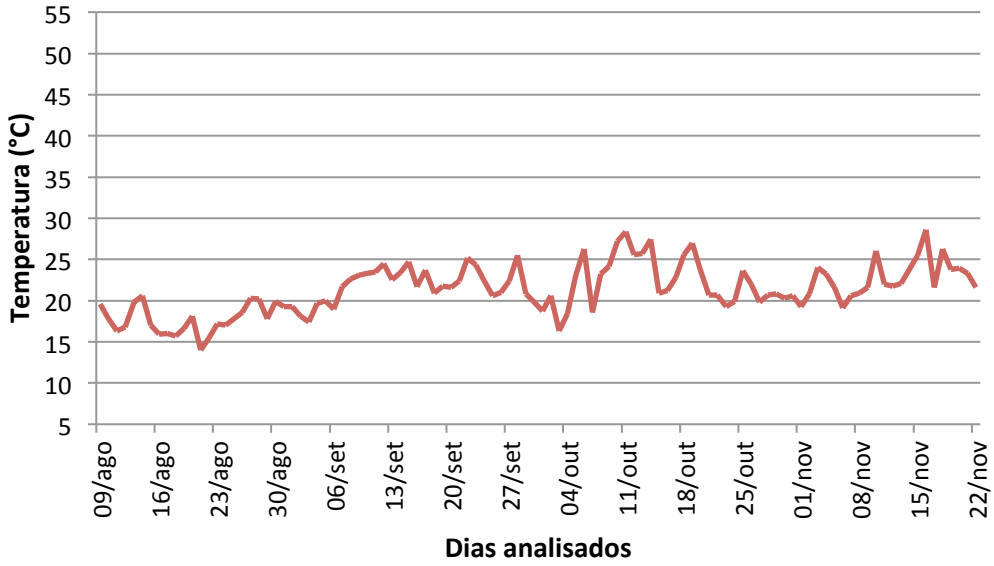
Os dados de temperatura do ar externo, radiação solar global e pluviosidade, coletados pela estação meteorológica, localizada na Faculdade de Engenharia de Sorocaba, às 08:00, estão dispostos na figura 27, 28 e 29.

Figura 25 - Gráfico de temperatura interna às 08:00 horas em relação ao limite inferior e superior de conforto térmico (L.I.C.T e L.S.C.T respectivamente) nos sistemas: Modular (SM), MacDrain (SD), FLAT (SF) e Testemunha



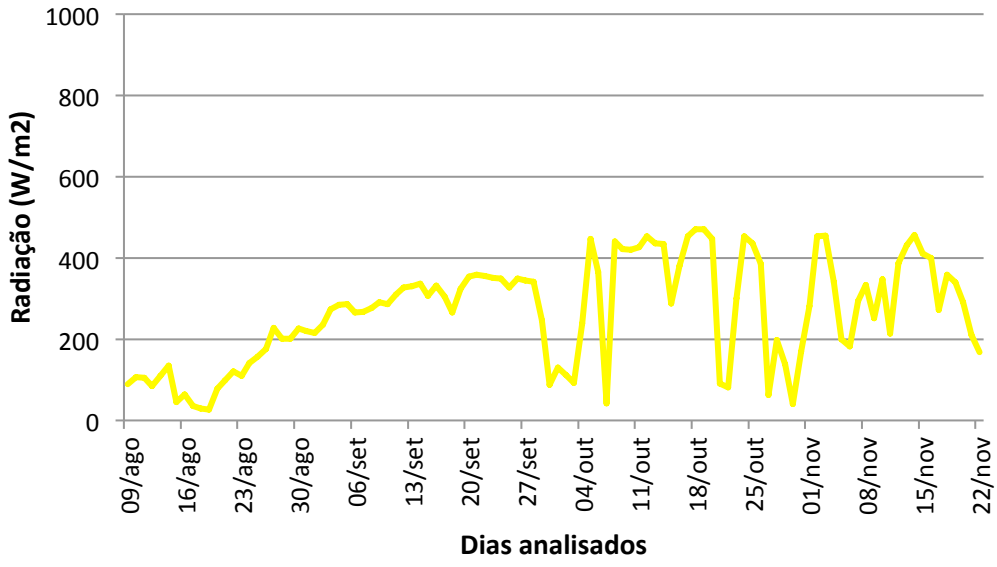
Fonte: Autoria própria

Figura 26 - Temperatura exerna do ar às 08:00 horas



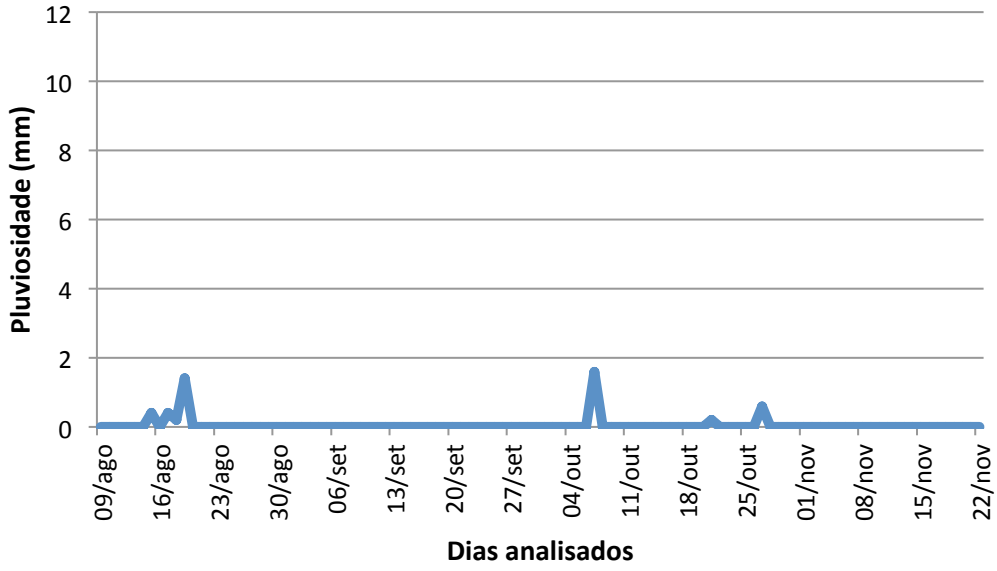
Fonte: Autoria própria

Figura 27 - Radiação solar às 08:00 horas



Fonte: Autoria própria

Figura 28 - Pluviosidade às 08:00 horas



Fonte: Autoria própria

No primeiro horário analisado, resultante das temperaturas mais baixas da madrugada, os sistemas de telhados verdes tendem a manter o calor retido nos dias mais frios, como no começo das análises, período de inverno (09/08/2017 à 22/09/2017), e dessa forma, mantém as temperaturas internas mais altas, próximas à zona de conforto térmico.

Já com o aumento das temperaturas a partir da primavera (23/09/2017 à 22/11/2017), mesmo às oito horas, as temperaturas se elevam, chegando a 32 °C, e dessa forma o protótipo com o uso de cobertura vegetal, consegue isolar o sistema, atenuando a radiação solar e proporcionando valores de temperatura interna na zona de conforto térmico, ou mesmo próxima a essa.

Devido ao horário, o funcionamento do telhado verde em relação ao conforto térmico não é tão expressivo quando comparado aos horários mais quentes do dia, porém, de acordo com a figura 26, tanto nos dias mais quentes, como nos dias mais frios, os sistemas de cobertura vegetal fazem com que os valores de temperatura interna fiquem mais próximos à zona de conforto térmico.

No início das análises realizadas, período de inverno, as temperaturas do ar são mais baixas, além da menor radiação solar incidente sobre o local onde os protótipos estavam instalados. A pluviosidade, nos meses de inverno e primavera também é baixa, característica do clima tropical, com inverno seco e verão chuvoso. (MENDONÇA, 2017)

Dessa forma, os dados de conforto térmico seguem o padrão das análises climáticas do ambiente externo, com as temperaturas amenas no início do período analisado e a medida que a primavera se inicia, a temperatura e a radiação aumentam.

Em manhãs com alta temperatura externa, chegando a 24,5 °C, como no caso do dia 23 de setembro, a temperatura interna chega a 32 °C no protótipo sem sistema de telhado verde. Em contrapartida, os protótipos que possuem a cobertura vegetal, mantém a temperatura em torno de 24 °C, dentro da zona de conforto térmico. A radiação solar é responsável também pelo aumento de temperatura, chegando a 350 W m^{-2} nesse dia.

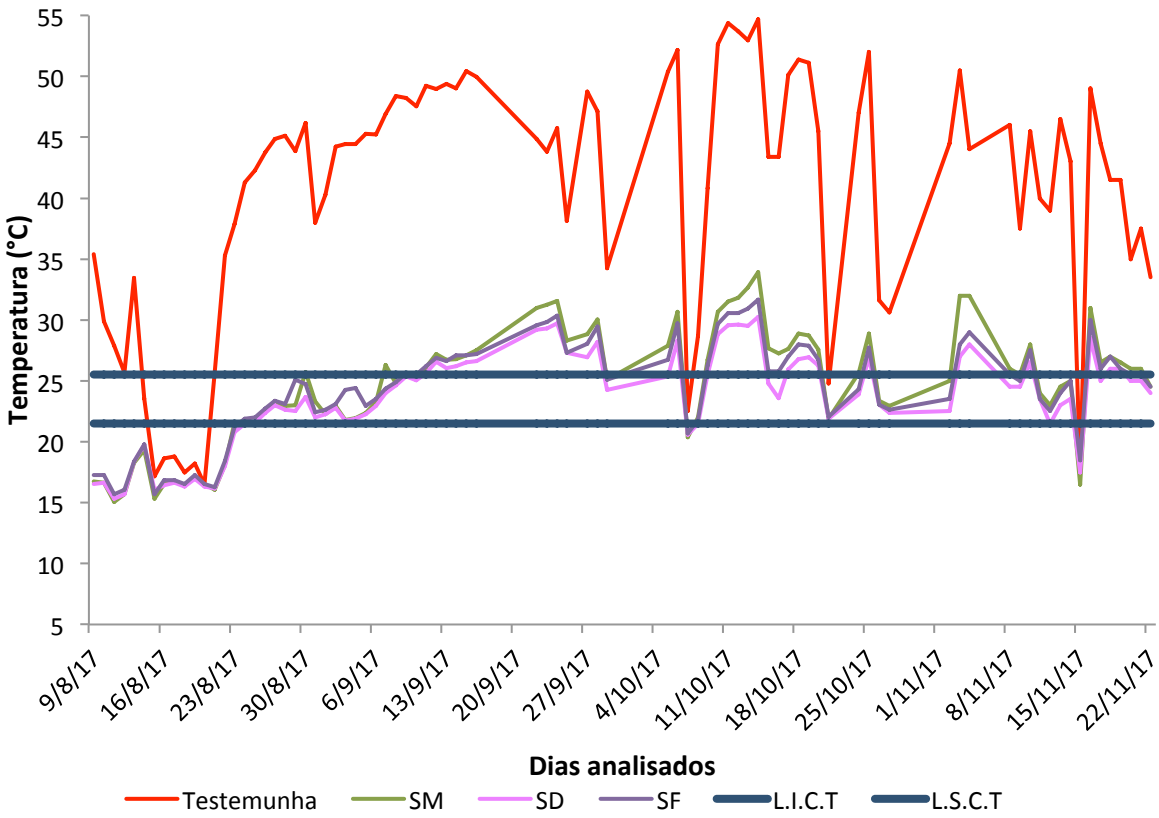
Níveis baixo de radiação solar, resultam em temperatura mais baixas, além do índice pluviométrico também contribuir para menores valores de temperatura, como no caso dia dia 7 de outubro, em que a radiação atinge o menor valor, de 42 W/m2, a temperatura externa é de 18 °C e o índice pluviométrico é o maior do período, atingindo 1,6 mm. Nesse caso, a temperatura interna dos compartimentos é menor que o limite inferior de conforto térmico, mas ainda assim, o Sistema Flat, por exemplo, mantém a temperatura interna em 20 °C, enquanto o testemunha está em 18,5 °C.

Dias frios, representados por exemplo, pelo dia 9 de agosto, em que tem-se período de inverno, observa-se que, enquanto a temperatura externa atinge 17 °C, a temperatura interna do protótipo testemunha atinge 9 °C. Já nos protótipos com telhado verde, a temperatura chega a 14 °C, comprovando o potencial do sistema em isolar a perda de calor, mantendo a temperatura mais próxima à zona do conforto térmico.

Nos horários mais quentes do dia, como no caso das 13 horas, o potencial do telhado verde, principalmente em relação à testemunha pode ser melhor obervado, conforme a figura 30.

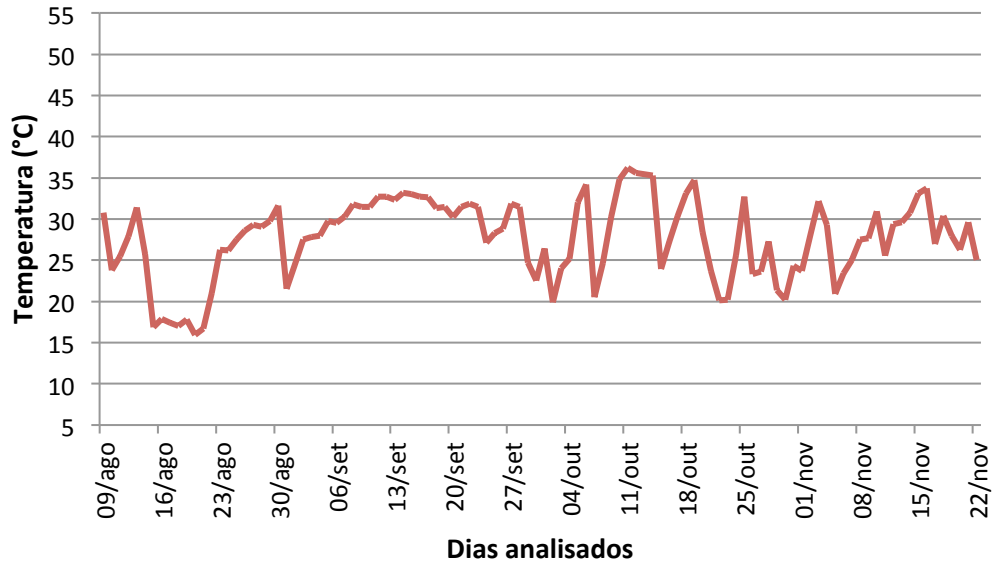
Os dados climáticos do ambiente, obtidos da estação meteorológica, que mostram as variações de temperatura externa, radiação solar global e pluviosidade no período avaliado às 13 horas, estão dispostos nas figuras 31, 32 e 33.

Figura 29 - Gráfico de temperatura interna às 13:00 horas em relação ao limite inferior e superior de conforto térmico (L.I.C.T e L.S.C.T respectivamente) nos sistemas: Modular (SM), MacDrain (SD), FLAT (SF) e Testemunha



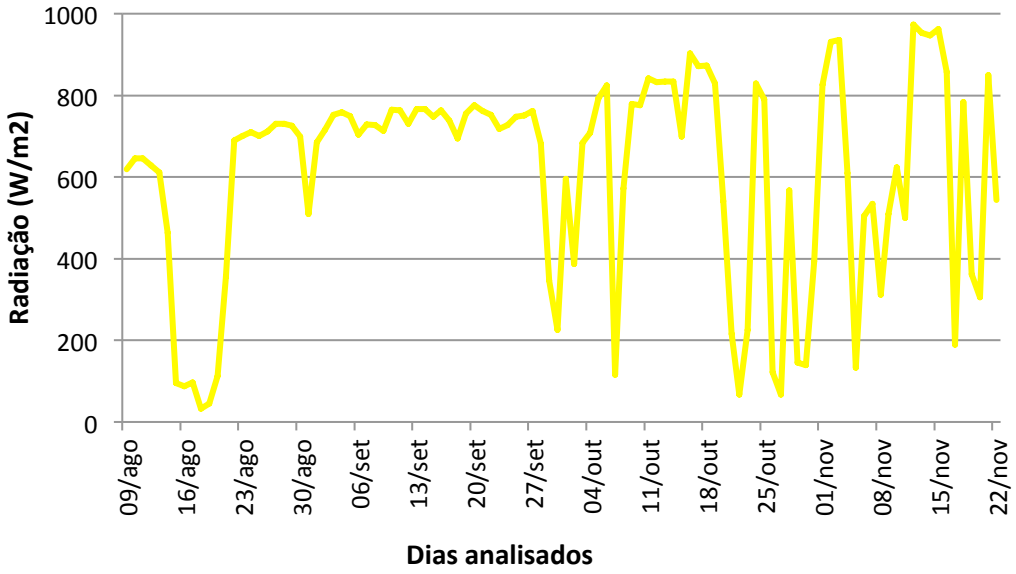
Fonte: Autoria própria

Figura 30 - Temperatura externa do ar às 13:00 horas



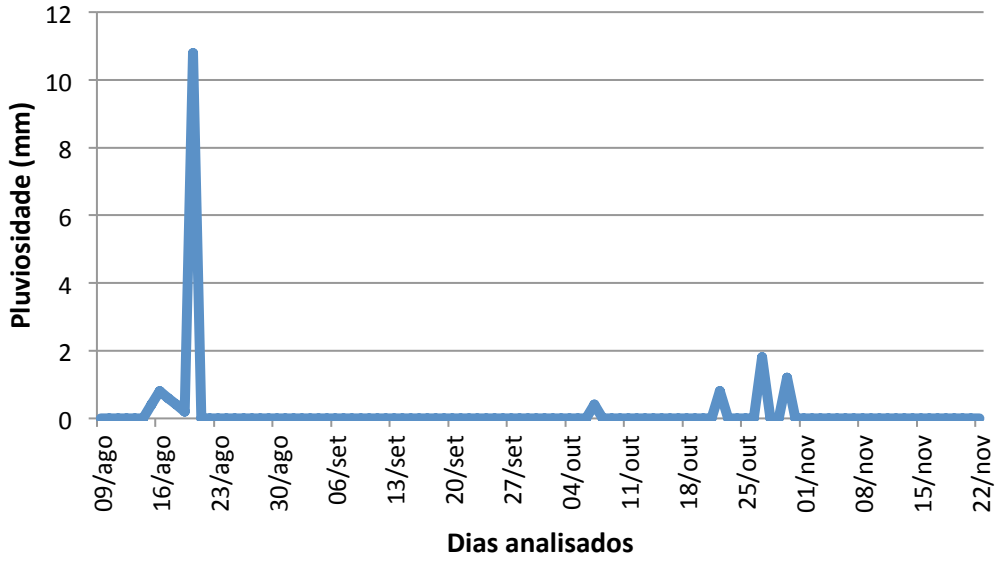
Fonte: Autoria própria

Figura 31 - Radiação solar às 13:00 horas



Fonte: Autoria própria

Figura 32 - Pluviosidade às 13:00 horas



Fonte: Autoria própria

As temperaturas internas registradas no protótipo testemunha são muito elevadas, principalmente por conta que o calor, quando não há telhado verde, é mais facilmente trasmitido para o compartimento abaixo onde se localiza o sensor, aumentando a temperatura interna. Esse resultado evidencia a eficiência do telhado verde no isolamento térmico de um ambiente.

No caso dos protótipos que possuem o telhado verde instalado, apesar da temperatura ficar acima da zona de conforto térmico, em alguns períodos, a diferença em relação ao protótipo testemunha é grande.

Do total dos 255 dado analisados às 13 horas para os três sistemas com cobertura vegetal, apenas 40% ficaram na zona de conforto térmico ao longo do período, entretanto, os valores de temperatura interna são expressivamente menores, chegando a 43% de redução no sistema com telhado verde em relação ao protótipo testemunha.

Segundo Liu & Baskaran (2003), a cobertura verde reduz em 95% o ganho de calor em horários mais quentes do dia. Além disso, a amplitude térmica é significativamente reduzida e ainda, a demanda de energia gasta com ar condicionado é reduzida em 25%.

Na semana do dia 16 à 23 de agosto, como obervado nos dados da estação meteorológica, as temperaturas externas são amenas, assim como a radiação é baixa, e a pluviosidade alta em relação ao período todo. Dessa forma, o potencial de isolamento térmico do telhado verde não é tão representativo.

Já nos casos de altas temperaturas, como no dia 14 de outubro, tem-se temperatura externa de 35,4 °C e radiação de 834,17 Wm^{-2}, enquanto a temperatura interna do protótipo testemunha é de 54,7 °C. Para os protótipos com telhados verdes a temperatura interna ficou entre 31,0 °C a 33,9 °C. Sendo assim, ainda que as temperaturas estejam acima da zona de conforto térmico, a diferença em relação ao sistema testemunha é de 23,0 °C, uma redução máxima de 43%.

De acordo com Koenigsberger et al. (1980), a temperatura normal da pele varia entre 31°C a 34°C. Em todo o período avaliado, a maior temperatura interna encontrada nos protótipos com cobertura vegetal, foi de 33,9 °C, dessa forma, o organismo humano não irá trocar calor com o ambiente de forma significativa, já que o valor está abaixo do limite da temperatura normal da pele.

Em trabalho realizado por Lopes (2007), a temperatura superficial interna abaixo do sistema de telhado verde, ao contrário de outros materiais de cobertura como o fibrocimento, cerâmica e aço galvanizado, não atingiu os 34 °C. O aço galvanizado, por exemplo, atingiu 58 °C e o fibrocimento a 50 °C, nos horários mais quentes do dia.

A vegetação auxiliou para a ocorrência de maior conforto térmico, uma vez que grande quantidade de radiação solar é absorvida pela vegetação que apresentou bom desenvolvimento nos telhados verdes instalados. Essa radiação não é transmitida para as outras camadas, como o substrato e as diferentes estruturas dos sistemas de telhados verdes. Segundo Theodosiou (2003), a densidade das folhagens influência o desempenho térmico dos telhados verdes, uma vez que possibilita maior sombreamento e evapotranspiração. Para Del Barrio (1998), a importância da vegetação está relacionada a distribuição horizontal das folhas, proporcionando menor transmissão de radiação solar para a superfície do substrato, sendo que as trocas de ar entre a camada vegetal e o ar externo do telhado verde, possuem importante papel para o estado higrotérmico.

O substrato também tem papel importante na retenção do calor. Seu principal efeito está relacionado a espessura, uma vez que há uma atenuação no fluxo de calor recebido externamente pela radiação solar. Portanto, o fluxo de calor é

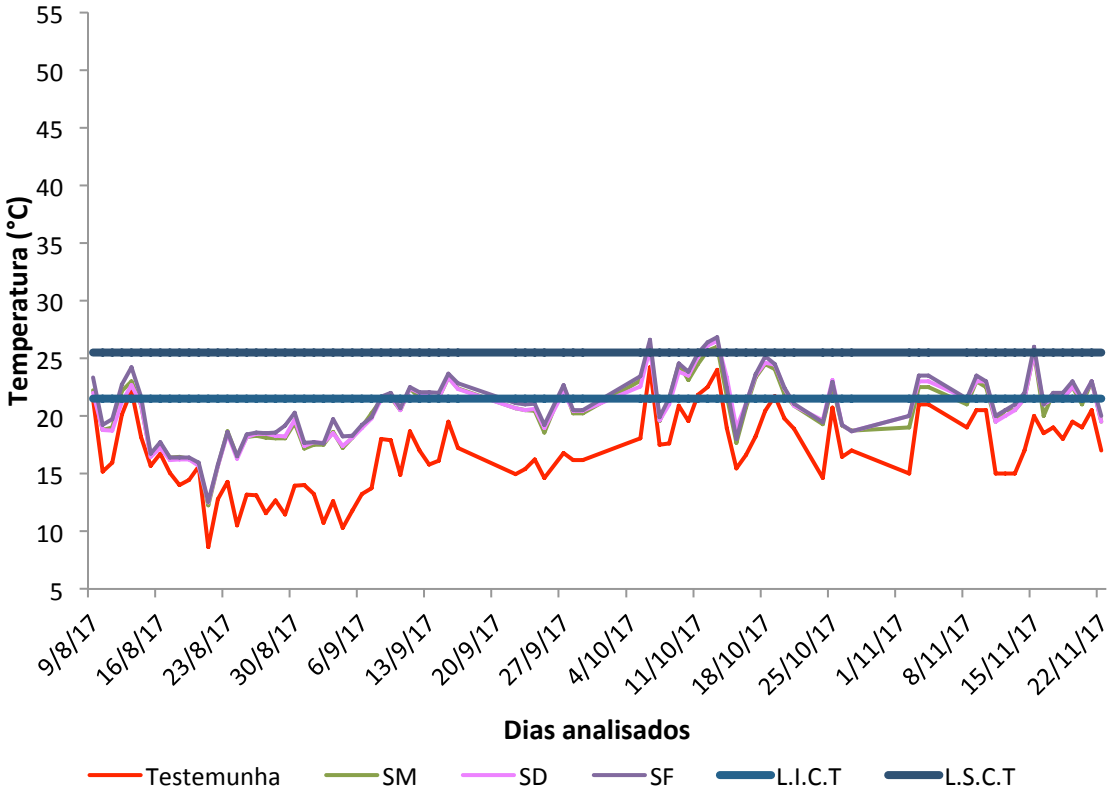
diretamente proporcional a espessura do substrato, sendo que, quanto maior a espessura do substrato, maior a inércia térmica e menor o fluxo de calor, tanto de fora para dentro, quanto de dentro para fora. (THEODOSIOU, 2003)

Atraves de análises térmicas realizadas em Sidney e Rio de Janeiro, Wilkinson et al. (2017), comprovam o potencial de telhados verdes e jardins verticais para a atenuação da temperatura, em experimento com estruturas fechadas de madeira, com e sem coberturas verdes e jardins verticais. As temperaturas chegaram a 6 °C de diferença, atribuindo esse fato ao aumento do isolamento térmico da estrutura pelos sistemas verdes instalados.

No caso de temperaturas amenas, como no período noturno, telhados verdes reduzem em 26% a perda do calor, proporcionando um maior conforto térmico. (LIU & BASKARAN, 2003) Esse fato, pode ser verificado na figura 34.

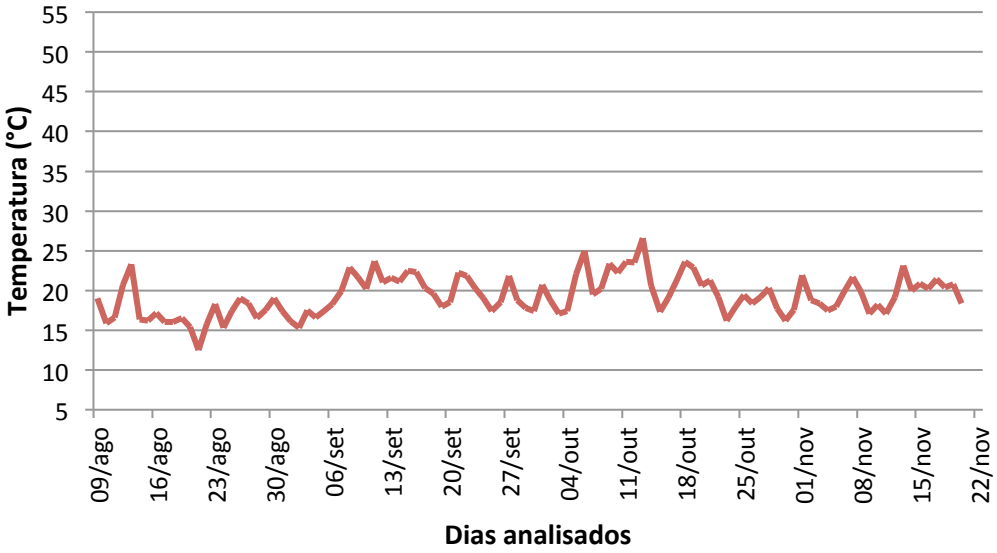
Os dados das temperaturas externas e a quantidade de chuva no período, obtidos com a estação meteorológica, podem ser observados nas figuras 35 e 36.

Figura 33 - Gráfico de temperatura interna às 22:00 horas em relação ao limite inferior e superior de conforto térmico (L.I.C.T e L.S.C.T respectivamente) nos sistemas: Modular (SM), MacDrain (SD), FLAT (SF) e Testemunha



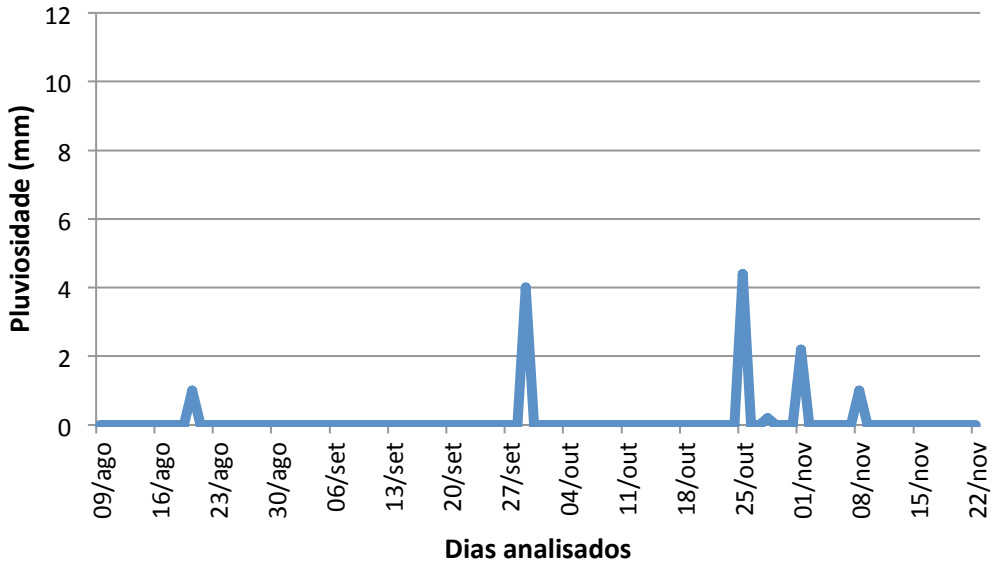
Fonte: Autoria própria

Figura 34 - Temperatura externa do ar às 22:00 horas



Fonte: Autoria própria

Figura 35 - Pluviosidade às 22:00 horas



Fonte: Autoria própria

As temperaturas mais amenas dos sensores abaixo dos sistemas, são devido ao calor retido dentro do compartimento durante o dia, ser mantido pelos sistemas

de telhados verdes, diferente do protótipo testemunha, que por não possuir nenhum sistema instalado, tende a perder calor e manter a temperatura interna mais baixa.

A maior parte das temperaturas coletadas às 22 horas, mantiveram-se abaixo do limite superior de conforto térmico, 25,5 ºC e dentro da faixa considerada ideal, comprovando a eficiência do sistema no período noturno.

Em noites de inverno com temperaturas baixas, como no caso do dia 21 de agosto, os sistemas com telhado verde conseguiram manter as temperaturas internas mais próximas ao limite inferior de conforto térmico. Sendo assim, foi possivel manter o ambiente mais agradável, uma vez que apresentou temperatura interna dos protótipos com telhado verde de 12,5 ºC, a mesma temperatura do ambiente externo, enquanto no protótipo testemunha foi 8,6 ºC.

De acordo com Vieira et al. (2016) em pesquisas realizadas com coberturas de telhado de fibrocimento comparado ao telhado verde sobre a estrutura de fibrocimento, o fluxo de calor no período noturno, é invertido, passando a ser do interior do cômodo para o telhado, dessa forma, durante a noite as temperaturas no cômodo com telhado verde, estavam maiores do que no local com somente a telha de fibrocimento.

Em trabalhos realizados por Vecchia (2005) e Vacilikio (2011), foi demonstrado que telhados verdes reduziram as temperaturas durante o dia, e conseguiram retardar o resfriamento durante a noite.

Da mesma forma que a transferência de calor durante o dia é menor no sentido do ambiente externo para os compartimentos dos sistemas, a camada que compõe os diferentes sistemas de telhados verdes é responsável por reter o calor que tende a se dissipar no período noturno, em que as temperaturas externas são menores, e não há o fenômeno da radiação solar.

Sendo assim, a espessura do substrato e a vegetação também influenciam no período noturno, mas na retenção do calor obtido durante o dia no compartimento abaixo dos protótipos.

Apesar dos dados de temperatura interna não ficarem na zona de conforto térmico, em relação à testemunha, os valores ficam mais próximos ao limite inferior proposto pela norma.

5.3 Comparação dos sistemas

As médias das diferenças entre os valores de temperatura do ar externo e interno foram comparados estatisticamente.

Esses valores encontrados são provenientes das diferenças do comportamento térmico dos diferentes sistemas que compõem os protótipos instalados.

As comparações estatísticas entre os sistemas independente do horário, e entre os horários independente dos sistemas, realizas pelo teste de Tukey a 5% de significância estão dispostos nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Comparação entre sistemas independente dos horários

Tratamento	Médias
Sistema Macdrain	103,29 a
Sistema Modular	102,74 ab
Sistema FLAT	102,25 b
Testemunha	98,76 c

Fonte: Autoria própria
Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 6 - Comparação entre horários independente dos sistemas

Horário	Médias
08:00	103,66 a
13:00	102,49 b
22:00	99,13 c

Fonte: Autoria própria
Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Independentemente do horário avaliado, os protótipos apresentaram diferenças, uma vez que o tratamento sem cobertura vegetal, mostrou-se estatisticamente diferente de todos os outros, provando o efeito da ausência do telhado verde instalado, conforme Tabela 5.

Em relação aos horários, as médias também diferem estatisticamente independente do tipo de sistema utilizado, por conta das variações climáticas que ocorrem nos períodos da manhã, tarde e noite, como apontado na Tabela 6.

Sendo assim, foram realizados os testes estatísticos para cada horário, e podendo dessa forma, comparar os sistemas em cada situação, conforme tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7 - Comparação entre os sistemas às 08:00 horas

Tratamento	Médias
Sistema MacDrain	104,56 a
Sistema FLAT	104,25 a
Sistema Modular	103,74 a
Testemunha	102,09 b

Fonte: Autoria própria
Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

No primeiro período analisado, os sistemas de telhados verdes não tiveram diferenças significativas na atenuação da temperatura, de forma que somente o tratamento que não possuía cobertura vegetal, foi estatisticamente diferente do restante.

Às 13 horas, o menor valor da média das diferenças de temperatura do protótipo testemunha, representa que a temperatura externa é menor que a temperatura interna, devido a maior transmissão de calor para o compartimento, resultante da ausência do sistema de telhado verde.

Tabela 8 - Comparação entre os sistemas às 13:00 horas

Tratamento	Médias
Sistema FLAT	107,13 a
Sistema MacDrain	106,93 ab
Sistema Modular	106,00 b
Testemunha	89,91 c

Fonte: Autoria própria
Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Pode-se observar na Tabela 8 que o sistema FLAT difere do sistema modular, apresentando efeitos diferentes no potencial de isolamento térmico desses tipos de telhados verdes. A maior diferença de temperatura externa em relação a temperatura interna no sistema FLAT chegou a 16 ºC em todos os dias analisados, já no caso do sistema Modular, a maior diferença foi de 12,3 ºC.

A amplitude térmica chegou a 18,8 ºC negativos no caso do protótipo testemunha no dia 17 de outubro. Enquanto a temperatura externa era de 31,25 ºC e a radiação 871 Wm^{-2}, o sensor interno indicava 50,1 ºC. O valor negativo, indica a temperatura interna maior que a do ar, externa.

Em trabalho realizado por Panziera et al. (2015), a temperatura interna de um ambiente com telhado convencional de fibrocimento foi estatisticamente diferente de um local com telhado verde nos horários mais quentes do dia, dessa forma o sistema de cobertura vegetal foi eficaz na redução do ganho de calor do ambiente.

Tabela 9 - Comparação entre os sistemas às 22:00

Tratamento	Médias
Testemunha	102,12 a
Sistema Modular	98,47 b
Sistema MacDrain	98,38 b
Sistema FLAT	97,52 b

Fonte: Autoria própria
Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para o horário de medição noturna, o protótipo testemunha foi o único a diferir estatisticamente do restante dos dados, conforme a Tabela 9, evidenciando o efeito negativo da ausência do sistema de telhado verde a noite, possibilitando a maior dissipação do calor acumulado nos compartimentos durante o dia.

A média das diferenças no caso da testemunha, foi de 2,12 ºC, indicando que a temperatura externa ao protótipo é maior que a interna, e dessa forma, o ambiente interno é mais frio. No caso das outras médias dos protótipos que possuem cobertura vegetal, os valores foram negativos, apontando a temperatura interna maior que a temperatura externa, e dessa forma, contribuindo para o conforto térmico. A diferença entre as médias dos diferentes sistemas não foi estatisticamente significante.

6 CONCLUSÃO

O telhado verde é efetivo na atenuação da radiação incidente na cobertura, resultando em menores temperaturas internas em horários mais quentes, e em períodos mais frios, como à noite, possui a capacidade de manter a temperatura interna maior que a externa.

Comparando-se com o protótipo apenas impermeabilizado, sem cobertura vegetal, todos os sistemas de telhados verdes instalados foram efetivos para o conforto térmico, uma vez que as camadas que compõe os protótipos, são responsáveis pela menor transmissão de calor entre o ambiente externo e o interno.

A maior diferença observada foi dàs 13 horas, devido a maior temperatura externa e radiação. Mesmo em dias mais frios, como foi observado no inverno, o sistema de cobertura vegetal foi eficaz em manter as temperaturas mais agradáveis e próximas a zona de conforto térmico, conservando o calor armazenado durante o dia no interior do compartimento.

A maior parte dos valores de temperatura interna não ficaram dentro dos limites propostos pela NBR 16401/08. Entretanto, em relação ao protótipo testemunha, a redução foi significativa, sendo que os sistemas FLAT e Macdrain, apresentaram a maior redução dos valores de temperatura, principalmente às 13 horas.

Dessa forma, conclui-se que a utilização da vegetação sobre as edificações, apresentou bom comportamento térmico em relação às váriações térmicas externas, principalmente comparado à uma cobertura convencional, apenas impermeabilizada.

Como já era previsto, uso de fertilizantes e matéria orgânica afetaram os parâmetros da água coletada no telhado verde, pois contém grande carga orgânica e de nutrientes NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), o que afeta tanto parâmetros físicos como cor e turbidez (a água sai mais turva e escura), químicos, com o aumento de íons na água drenada, além do parâmetro biológico de aumento da atividade microbiana, medida através da DBO.

Apesar das alterações observadas nas análises, a qualidade da água drenada do sistema FLAT, pode ser considerada adequada, em relação à reutilização em irrigação de jardins ou do próprio sistema de cobertura vegetal. A reutilização da água pode representar uma importante economia e um incentivo a utilização de telhados verdes em edificações.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, V.M.N.; ABREU, P.G. Estudo das condições climáticas para a produção de aves, no Estado de Goiás. 2006. Disponível em: . Acesso em: <www.nordesterural.com.br> 05 Jul. 2018.

AMORIM, S.V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.

ANDRADE, L. Filtração 1: conheça as partículas sólidas que estão na água de irrigação. **Avaré: Scarcelli informativo em gotas do Brasil,** 1998.

ARAÚJO, S. R. As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos. **Soropédica, RJ**, p. 5, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT-NBR 16401: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários.** São Paulo, SP, 2008.

AULICIEMS, A.; S. V. Szokolay. **Thermal comfort.** Brisbane, Qld.: PLEA: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture The University of Queensland. 1997. 64 p.

BALDESSAR, S.M.N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada. 2012. 124f.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BARBOSA, V.L.; JÚNIOR, A.F.N. Paisagem, ecologia urbana e planejamento ambiental. **Geografia (Londrina)**, v. 18, n. 2, p. 21-36, 2009.

BAROSKY, T.K. **Plasticidade ornamental e propagação de herbáceas para utilização em telhado verde. 2011. 134f.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

BARTHOLOMEI, C.L.B. **A Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído. 2003. 189f.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

BEATRICE, C.C.; VECCHIA, F. Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 5, n. 1, p. 5-24, 2011.

BELLÉ, S. Apostila de paisagismo. **Bento Gonçalves: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul**, 2013.

BENETTI, Antônio D. Water reuse: issues, technologies, and applications. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 247-248, 2008.

BENGTSSON, L.; GRAHN, L.; OLSSON, J. Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. **Hydrology Research**, v. 36, n. 3, p. 259-268, 2005.

BERARDI, U.; GHAFFARIANHOSEINI, A.; GHAFFARIANHOSEINI, A. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied Energy**, v. 115, p. 411-428, 2014.

BERGHAGE, R. et al. Quantifying evaporation and transpirational water losses from green roofs and green roof media capacity for neutralizing acid rain. **National Decentralized Water Resources Capacity Development Project**, 2007.

BERNDTSSON, J.C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 4, p. 351-360, 2010.

BERNDTSSON, J.C.; EMILSSON, T.; BENGTSSON, L. The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality. **Science of the Total Environment**, v. 355, n. 1-3, p. 48-63, 2006.

BERNDTSSON, J.C.C; BENGTSSON, L.; JINNO, K. Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 3, p. 369-380, 2009.

BIANCHINI, F.; HEWAGE, K. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. **Building and environment**, v. 48, p. 57-65, 2012.

BOSCO, M.R.O. et al. Influência do estresse salino na composição mineral da berinjela. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, 2009.

BRAGA, B. et al. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305 p.

BRAGER, G. S.; DE DEAR, R.J. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, v.27, p.83-96. 1998.

BLANK, L. et al. Directions in green roof research: A bibliometric study. **Building and Environment**, v. 66, p. 23-28, 2013.

BRASKERUD, B.C. **Grønne tak og styrtregn**. 2014.

BRIGADÃO, C. **Dicionário de ecologia.**Topbooks, 1992.

CAHINO, A. M. et al. Estudo comparativo da redução de corem lixiviado de aterro sanitário utilizando processos de fotocatálise solar. In: **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental,** n. V, 2014, Belo Horizonte. Gestão ambiental – Ações e comportamento. Bauru: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2014. p. 20.

CAMERON, R.; BERGHAGE, R. Integrated biofilters converting wastewater to a water resource. Greening rooftops for sustainable cities conference, Atlanta, GA. In: **Proceedings of 7th North American Greenroof Conference: Greening**

Rooftops for Sustainable Communities, Baltimore, MD. The Cardinal Group Toronto. 2009.

CAO, C. T.N. et al. Biochar makes green roof substrates lighter and improves water supply to plants. **Ecological engineering**, v. 71, p. 368-374, 2014.

CARDOSO, A. S. et al. Coberturas com materiais alternativos de instalações de produção animal com vistas ao conforto térmico. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, v. 19, n. 5, p. 404-421, 2011.

CARLON, M. R. **Percepção dos Atores Sociais Quanto às Alternativas de Implantação de Sistemas de Captação e Aproveitamento de Água de Chuva em Joinville – SC. 2005. 202f**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, Santa Catarina, 2005.

CARPENTER, D.D.; KALUVAKOLANU, P. Effect of roof surface type on storm-water runoff from full-scale roofs in a temperate climate. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 137, n. 3, p. 161-169, 2010.

CASCAIS, B. F. A. **Monitoramento de efluentes e comparação das eficiências das estações de tratamento de esgoto da Grande Florianópolis (insular e área continental). 2008. 72 f.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CASTRO, A. S. **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle qualiquantitativo do escoamento superficial urbano. 2011. 142 f.** Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Programa de Pós-graduação de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011

CECCHIN, M. Os telhados verdes como alternativa ao meio urbano. 2010.

CENGEL, Y. A. **Transferência de calor e massa**. São Paulo: Amgh, 2012. p. 906

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA – CEPAGRI. Clima de Sorocaba. Sorocaba. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_584.html>. Acesso em: 20 Fev. 2018.

CETESB-COMPANHIA, DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO. AMBIENTAL. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos-2012. **São Paulo: CETESB**, 2013.

CHEN, C. Performance evaluation and development strategies for green roofs in Taiwan: A review. **Ecological Engineering**, v. 52, p. 51-58, 2013.

CHEN, X. P. et al. A review of green roof performance towards management of roof runoff. **Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied ecology**, v. 26, n. 8, p. 2581-2590, 2015.

CHEMISANA, D.; LAMNATOU, C. Photovoltaic-green roofs: An experimental evaluation of system performance. **Applied Energy**, v. 119, p. 246-256, 2014.

CLARK, C.; ADRIAENS, P.; TALBOT, B. Probabilistic economic analysis of green roof benefits for policy design. 2006.

COOK-PATTON, S.C.; BAUERLE, T.L. Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: a literature review. **Journal of environmental management**, v. 106, p. 85-92, 2012.

CORMIER, N. S.; PELLEGRINO, P.R.M. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. **Paisagem e Ambiente**, n. 25, p. 127-142, 2008.

COSTA, L.M.L. **Espaços verdes sobre cobertura. Uma abordagem estética e ética. 2010. 87f.** Tese (Doutorado em Arquitetura Paisagística) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

CRUZ, G.C.F. **Clima urbano em Ponta Grossa-PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira. 2009. 366f.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

DA COSTA RANGEL, A.C.L.; ARANHA, K.C.; DA SILVA, M.C.B.C. Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 35, 2015.

FERNANDES, V.C. et al. Telhados verdes: Uma perspectiva contemporânea. **Revista CIATEC-UPF**, v. 9, n. 1, p. 46-57, 2017.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS, R. F., et al. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.929-954.

GENGO, R. C.; HENKES, J.A. A utilização do paisagismo como ferramenta na preservação e melhoria ambiental em área urbana. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 1, n. 2, p. 55-81, 2012.

GOMES, E. M. et al. Improvement in chemical properties of saline-sodic soil and rice yield under under different treatments. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2000.

DALLA COSTA, O. A. et al. Técnicas de manejo racional no desembarque de suínos destinados ao abate. **Embrapa,** CNPSA, 2008. (Comunicado Técnico).

DA SILVA, I. J. O.; MIRANDA, K. O S. Impactos do bem-estar na produção de ovos. **Thesis,** São Paulo, ano VI, n. 11, p. 89-115, 1° semestre, 2009.

DE MELLO, G. B. P. et al. Estudo da implantação de um telhado verde na Faculdade de Engenharia Mecânica. **Revista Ciências do Ambiente On-line**, v. 6, n. 2, 2011.

DE OLIVEIRA, C.A.; BARCELO, W,F,; PEIXOTO, J.S.G. Análise da qualidade de água do córrego dos Cesários Anápolis/GO. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 2, 2013.

DEL BARRIO, E.P. Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. **Energy and buildings**, v. 27, n. 2, p. 179-193, 1998.

DESHAZER, J.A., HAHN, G.L.; XIN, H. Basic principles of the thermal environment and livestock energetics. 2009. In: J.A. Deshazer, (Ed). **Livestock energetic and thermal environmental management.** St. Joseph: ASABE. pp. 1-22.

DOBSON, H. et al. Is stress really all that important?. **Theriogenology**, v. 55, n. 1, p. 65-73, 2001.

DO CARMO, R. L. et al. Demographic Transition And Transition Of Urban Water Consumption In Brazil [transição Demográfica E Transição Do Consumo Urbano De água No Brasil]. **Revista Brasileira de Estudos de População**, 2014.

DUARTE, A.M.S. **Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (Capsicum annun L.). 2006. 187f.** Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006

DUARTE, J.B. **Princípios sobre delineamentos em experimentação agrícola.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Estatística) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1996.

DUMKE, E.M.S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade: uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da Região Metropolitana de Curitiba (AU-RMC). 2007. 417f.** Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

DURHMAN, A. K.; ROWE, D.B.; RUGH, C.L. Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa. **HortScience**, v. 42, n. 3, p. 588-595, 2007.

DURHMAN, A.K.; ROWE, D.B.; RUGH, C.L. Effect of watering regimen on chlorophyll fluorescence and growth of selected green roof plant taxa. **HortScience**, v. 41, n. 7, p. 1623-1628, 2006.

DVORAK, B.; VOLDER, A. Green roof vegetation for North American ecoregions: a literature review. **Landscape and urban planning**, v. 96, n. 4, p. 197-213, 2010.

EMILSSON, T. Vegetation development on extensive vegetated green roofs: influence of substrate composition, establishment method and species mix. **Ecological engineering**, v. 33, n. 3, p. 265-277, 2008.

EMILSSON, T. et al. Effect of using conventional and controlled release fertiliser on nutrient runoff from various vegetated roof systems. **Ecological engineering**, v. 29, n. 3, p. 260-271, 2007.

EMILSSON, T.; ROLF, Kaj. Comparison of establishment methods for extensive green roofs in southern Sweden. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 3, n. 2, p. 103-111, 2005.

EUGENE, W. R. et al. Standard methods for the examination of water and wastewater. **American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 22nd edn. Washington DC, USA Google Scholar**, 2012.

EUMORFOPOULOU, E.; ARAVANTINOS, D. The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. **Energy and buildings**, v. 27, n. 1, p. 29-36, 1998.

FANGER, P. O.; TOFTUM, J.. **Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates.** Energy and buildings, v.34, p.533-536. 2002a.

FARRELL, C.; ANG, X. Qi; RAYNER, J.P. Water-retention additives increase plant available water in green roof substrates. **Ecological Engineering**, v. 52, p. 112-118, 2013.

FARRELL, C. et al. Green roofs for hot and dry climates: interacting effects of plant water use, succulence and substrate. **Ecological Engineering**, v. 49, p. 270-276, 2012.

FERRANTE, P. et al. Vegetation growth parameters and leaf temperature: Experimental results from a six plots green roofs' system. **Energy,** v. 115, p. 1723-1732, 2016.

FERRAZ, I.L. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica. 2012. 113f.** Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FERREIRA, A.S.; CORADI, C.; CARNIELETTO, E. Arquitetura sustentável: building sheet tree. **Seminário de Iniciação Científica, Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão e Mostra Universitária**, 2016.

FILIPEFLOP, BLOG. **Qual módulo ESP8266 comprar?** Disponível em: <http://blog.filipeflop.com/wireless/qual-modulo-esp8266-comprar.html> Acesso em: 20 jun. 2017.

FILIPEFLOP, BLOG. **Medindo temperatura debaixo d'água com DS18B20.** Disponível em: <http://blog.filipeflop.com/sensores/sensor-de-temperatura-ds18b20-arduino.html>Acesso em: Acesso em: 20 jun. 2017.

FIRMINO, M.C. et al. Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária tratada sob cultivo do pinhão manso. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 11, n. 2, p. 32-37, 2015.

FRANÇA, L.C.D.J. O uso do telhado verde como alternativa sustentável aos centros urbanos: opção viável para a sociedade moderna do século XXI. **Revista Húmus**, v. 2, n. 4, 2012.

FRAVET, A.M.M.F. **Qualidade da água utilizada para irrigação de hortaliças na região de Botucatu-SP e saúde pública. 2006. 71f.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

GARTLAND, L. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. **São Paulo: Oficina de Textos**, 2010.

GATTO, C.M. **Coberturas verdes: a importância da estrutura e impermeabilização utilizadas. 2012. 160f.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

GHELFI FILHO; SILVA; I.J.O.; MOURA, D.J; CONSIGLIERO, F.R. índice de conforto térmico e da CTR para diferentes materiais de cobertura em três estações do ano. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA,** 20., 1991, Londrina, Anais... Londrina: SBEA, 1992. p.94-110.

GIRALT, R.P. **Conforto térmico em espaços públicos abertos na cidade de Torres-RS. 2006. 237f.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GIVONI, B. Man, climate and arquiteture. 2 ed. London; **Applied Science Publishers Ltda.**1976.

GOMES, C.A.V. et al. Efeito do ambiente térmico e níveis de suplementação nos parâmetros fisiológicos de caprinos Moxotó. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.12, n.2, p.213–219, 2008.

GREEN ROOFS FOR HEALTH CITIES. **Green Roof Benefits**, 2009.

GREGOIRE, B. G.; CLAUSEN, J. C. Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 6, p. 963-969, 2011.

HAFNER, A. V. Conservação e reuso de água em edificações –experiências nacionais e internacionais. **Rio de Janeiro, RJ,** 2007.

HASHEMI, S.S.G.; MAHMUD, H.B.; ASHRAF, M.A. Performance of green roofs with respect to water quality and reduction of energy consumption in tropics: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 669-679, 2015.

HATHAWAY, A.M.; HUNT, W.F.; JENNINGS, G.D. A field study of green roof hydrologic and water quality performance. **Transactions of the ASABE**, v. 51, n. 1, p. 37-44, 2008.

HEIM, A.; LUNDHOLM, J. Species interactions in green roof vegetation suggest complementary planting mixtures. **Landscape and Urban Planning**, v. 130, p. 125-133, 2014.

HELLER, L.; DE PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano.** Minas Gerais: UFMG, 2006. 418 p.

HENEINE, M. C. A. S. **Cobertura Verde. 2008. 49 f.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

HESPANHOL, I. et al. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HÖTZEL, M.J.; MACHADO FILHO, L.C.P. Bem-estar animal na agricultura do século XXI. **Revista de etologia**, v. 6, n. 1, p. 3-15, 2004.

HUI, S.C.M; CHAN, S. C. Integration of green roof and solar photovoltaic systems. In: **Joint symposium.** 2011. p. 1-12.

HUYNH, T.T.T., et al. 2006. Effects of tropical climate and water cooling methods on growing pigs' responses. **Livest. Sci**, 104:278–291.

INSTITUTO CIDADE JARDIM. **Sistemas de telhados verdes.** Disponível em: < http://institutocidadejardim.com.br/> Acesso em: 20 jun. 2017.

JOHNSON, J.; NEWTON, J. Building green, a guide for using plants on roofs walls and pavement, the London ecology unit. **London Google Scholar**, 1996.

JORDÃO, E. P. e PESSOA, C. A., Tratamento de Esgotos Domésticos, 3ª ed., **ABES,** Rio de Janeiro, 1995.

KAISER, A. S. et al. Experimental study of cooling BIPV modules by forced convection in the air channel. **Applied Energy**, v. 135, p. 88-97, 2014.

KAPLAN, R.; KAPLAN, S. The Experience of Nature: A Psychological Perspective. New York, NY: **Cambrigde University Press;** 1995.

KATUKIZA, A. Y. et al. A two-step crushed lava rock filter unit for grey water treatment at household level in an urban slum. **Journal of environmental management**, v. 133, p. 258-267, 2014.

KOENIGSBERGER, et al. **Manual of tropic housing and building**, Part 1 – Climatic desing. London: Longman group limited, p.320, 1980.

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

KOHLER, M.; SCHMIDT, M. Study of extensive green roofs in berlin. Part III: Retention of contaminants. **International Report, Technical University of Berlin**, 2003.

KREITH, F.; MANGLIK, R.M.; BOHN, M.S. **Principios de transferência de calor**. Cengage Learning Editores, 2012.

LAMNATOU, C.; CHEMISANA, D. A critical analysis of factors affecting photovoltaic-green roof performance. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 264-280, 2015.

LANDSCHAFTSBAU, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung. Guidelines for the planning, execution and upkeep of green-roof sites. **Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, Bonn, Germany**, 2002.

LEE, K.E. et al. Living roof preference is influenced by plant characteristics and diversity. **Landscape and Urban Planning**, v. 122, p. 152-159, 2014.

LEHMANN, S. Low carbon districts: Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure. **City, Culture and Society,** v. 5, n. 1, p. 1-8, 2014.

LEHMANN, S.; CROCKER, R**. Designing for zero waste: consumption, technologies and the built environment.** Routledge, 2013.

LEVINE, J.M. Species diversity and biological invasions: relating local process to community pattern. **Science**, v. 288, n. 5467, p. 852-854, 2000.

LI, J. et al. Effect of green roof on ambient CO 2 concentration. **Building and Environment,** v. 45, n. 12, p. 2644-2651, 2010.

LICHT, J.; LUNDHOLM, J. Native Coastal Plants for Northeastern Extensive and Semi-intensive Green Roof trays: Substrates, Fabrics, and Plant Selection. In: **Proc. of 4th North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Boston, Mass**. 2006.

LIMA, G. et al. Índices de conforto térmico: revisão e proposta para o clima quente e úmido de Natal-RN. **VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído,** 2005.

LIMA, Y. E. S. P. de. **Potencial de coagulantes naturais como alternativa no processo da Estação de Tratamento de Água (ETA). 2014. 62f.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental)-Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

LIU, K. et al. Thermal performance of green roofs through field evaluation. In: **Proceedings for the First North American Green Roof Infrastructure Conference, Awards and Trade Show**. 2003. p. 29-30.

LOPES, D.A.R. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura. 2007. 145f.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

LOPES, L.C.P; RIBEIRO, J.C.J. O Papel da Avaliação de Impacto Ambiental para Adoção de Medidas Compensatórias. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**, v. 2, n. 1, p. 148-169, 2016.

LUCHETTI. **Soluções para construção.** Disponível em: <http://luchetti.com.br/lorem-4/ >. Acesso em: 29 jun. 2017.

MACEDO, J. A. B. Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas, 2ª ed., **CRQ/MG**, 2001.

MACHADO, M. V.; BRITTO, C.; NEILA, J. El Cálculo de la Conductividad Térmica Equivalente en la Cubierta Ecológica. **Revista Ambiente Construído**, v.3, n.3, p.65-76, 2003.

MACLVOR, J. Scott et al. Decoupling factors affecting plant diversity and cover on extensive green roofs. **Journal of environmental management**, v. 130, p. 297-305, 2013.

MANCUSO, P.C.S; SANTOS, H.F.D. **Reúso de água.** São Paulo: Manole, 2003. 550 p.

MELO, A.A. **A importância da construção civil para o desenvolvimento: uma análise da relação entre custo, renda e crédito no setor habitacional. 2011. 49f.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2017. 206 p.

MENTES, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?. **Landscape and urban planning**, v. 77, n. 3, p. 217-226, 2006.

MILLER, L. E.; HEIM, A. E.; LUNDHOLM, J. Green roof vegetation type affects germination and initial survival of colonizing woody species. **Urban forestry & urban greening**, v. 13, n. 4, p. 892-899, 2014.

MINKE, G. Techos verdes: Planificación, ejecución, consejos prácticos. **Montevidéu: Fin de Siglo.** Uruguay, 2003. 86p.

MINKS, V. A rede de design verde urbano – uma alternativa sustentável para megacidades?. **Revista LABVERDE,** n. 7, p. 120-141, 2013.

MONTERUSSO, M.A.; ROWE, D.B.; RUGH, C.L. Establishment and persistence of Sedum spp. and native taxa for green roof applications. **HortScience**, v. 40, n. 2, p. 391-396, 2005.

MORAES, E.C; FIORIO, P.R. Fundamentos de sensoriamento remoto. **São José dos campos: INPE**, 2002.

MORQUECHO, R.; PITT, R. Pollutant associations with particulates in stormwater. **Proceedings of the Water Environment Federation**, v. 2005, n. 11, p. 4973-4999, 2005.

MUI, K. W. H; CHAN, W.T.D. **Adaptive comfort temperature model of air-conditioned building in Hong Kong.** Building and Environment, v.38, n.6, JUN, p.837-852. 2003.

NAGASE, A.; DUNNETT, N. Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. **Landscape and urban planning**, v. 104, n. 3, p. 356-363, 2012.

NAGASE, A.; DUNNETT, N. The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. **Landscape and Urban Planning,** v. 103, n. 2, p. 230-236, 2011.

NAGASE, A.; DUNNETT, N.; CHOI, M.. Investigation of weed phenology in an establishing semi-extensive green roof. **Ecological engineering**, v. 58, p. 156-164, 2013.

NEKTARIOS, P.A. et al. Green roof substrate type and depth affect the growth of the native species Dianthus fruticosus under reduced irrigation regimens. **HortScience**, v. 46, n. 8, p. 1208-1216, 2011.

NIACHOU, A. et. al. Analysis of green roof thermal properties and investigation of its energy performance. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 7, p. 719-729, 2001.

NICOL, F. Adaptive thermal comfort standards in the hot–humid tropics. **Energy and buildings**, v. 36, n. 7, p. 628-637, 2004.

NICOL, F. **Special issue on thermal comfort standards.** Energy and buildings, v.34, n.6, p.529-685. 2002.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M.A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings.** Energy and Building, v.34, p.563-572. 2002.

NIU, H. et al. Scaling of economic benefits from green roof implementation in Washington, DC. **Environmental science & technology,** v. 44, n. 11, p. 4302-4308, 2010.

OBERNDORFER, E. et al. Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. **BioScience**, v. 57, n. 10, p. 823-833, 2007.

OLIVEIRA, N.W.E. Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico. **Rj: Universidade do Estado de Rio de Janeiro**, v. 87, 2009.

OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; ABREU, M. L. T.; FERREIRA, R. A.; VAZ, R. G. M. V.; CELLA, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia.,** v.35, n.3, p. 797-803, 2006.

OMNITRADE. **Empresa e serviços.** Disponível em: <http://www.omnitradebrasil.com/empresa.html> Acesso em: 20 jun. 2017.

ONMURA, S.; MATSUMOTO, M.; HOKOI, S. Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 7, p. 653-666, 2001.

PANDIT, R.; LABAND, D.N. Energy savings from tree shade. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, p. 1324-1329, 2010.

PANZIERA, A.G. et al. Desempenho de diferentes tipos de telhado verde no conforto térmico urbano na cidade de Santa Maria, RS. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 16, n. 3, p. 445-457, 2015.

PARIZZOTO, S.; LAMBERTS, R. Investigation of Green Roof Performace in Temperature Climate: A Case Study of an Experimental Building in Florianopolis City, Southern Brazil. **Journal of Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 43, p. 1712-1722, 2011;

PARRON, L.M.; MUNIZ, D.H.F.; PEREIRA, C.M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2011.

PATEMIANI, J.E.S.; PINTO, J.M. Qualidade da água. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. **Irrigação série Engenharia Agricola.** Ed. Piracicaba: FUNEP/SBEA, 2001, v.1, p. 195-253.

PAULA, R. Z. R. **A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído. 2004. 119f.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2004

PECK, S.W.; CALLAGHAN, C.; KUHN, M.E.; BASS. B. **Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada.** Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Canada: 1999.

PÉREZ, G. et al. Green roofs as passive system for energy savings when using rubber crumbs as drainage layer. **Energy Procedia**, v. 30, p. 452-460, 2012.

PERI, G. et al. The cost of green roofs disposal in a life cycle perspective: Covering the gap. **Energy,** v. 48, n. 1, p. 406-414, 2012.

PIRES, R.C.M.; MIRANDA, J.H. Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. **Irrigação**, v. 1, p. 121-194, 2001.

PIVELI, R.P.; KATO, M.T. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. In: **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. 2006.

PORTOLANO, M. G. **A ecologia na arquitetura: teto jardim. 2007. 65f.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, **Rio Claro**, 2007.

REBOUÇAS, A. **Uso inteligente da água**. São Paulo: Escrituras Editora, 2015. 207 p.

REIS, T. C.; RODELLA, A. A. Cinética de degradação da matéria orgânica e variação do pH do solo sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, 2002.

RENNÓ, C.D.; SOARES, J. V. Conceitos básicos de modelagem hidrológica. **Embrapa Informação Tecnológica**, 2007.

RETZLAFF, W. et al. What is that running off my green roof. In: **Conference Proceedings of the Sixth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference Awards and Trade Show**. 2008.

RIBEIRO, A. K. M. et al. **Método para avaliação do impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em residências unifamiliares a partir da análise do ciclo de vida.** 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

RIBEIRO, M.E.J. **Infraestrutura verde: uma estratégia de conexão entre pessoas e lugares. Por um planejamento urbano ecológico para Goiânia. 2010. 178f.** Tese (Doutorado em Paisagem e Ambiente) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural.** Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores: Ed. da Universidade, UFRGS, 1998.

RODRIGUES, A.M.; PIEDADE, A.C.; BRAGA, A.M. Térmica de edifícios. **Edições Orion, Amadora, Portugal**, 2009.

ROLA, S.M. A Naturação como ferramenta para a sustentabilidade de cidades: estudo da capacidade do sistema de naturação em filtrar a água de chuva. 2008. **Supervisors: Luiz Pinguelli Rosa**, 2008.

ROWE, D. B. Green roofs as a means of pollution abatement. **Environmental pollution**, v. 159, n. 8, p. 2100-2110, 2011.

ROWE, D. B.; GETTER, K.L.; DURHMAN, A.K. Effect of green roof media depth on Crassulacean plant succession over seven years. **Landscape and Urban Planning,** v. 104, n. 3, p. 310-319, 2012.

SAADATIAN, O. et al. A review of energy aspects of green roofs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 23, p. 155-168, 2013.

SANDRI, D. et al. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, 2006.

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities–a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar Energy,** v. 103, p. 682-703, 2014.

SANTOS, H.F. et al. **Reúso de água.** São Paulo: Universidade de São Paulo-Faculdade de Saúde, 2003.

SAUTCHUK, C. et al. Conservação e reúso da água em edificações–Manual da FIESP [Conservation and reuse of water in buildings–Manual of the FIESP]. **São Paulo,** 2005.

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.

SCHMITZ, T. et al. Dejeto suíno e extrato pirolenhoso–influência na retenção/lixiviação de metais no solo. **Revista Liberato**, v. 18, n. 29, 2017.

SCHINDLER, Bracha Y. et al. Integration of photovoltaic panels and green roofs: review and predictions of effects on electricity production and plant communities. **Israel journal of ecology & evolution**, v. 62, n. 1-2, p. 68-73, 2016.

SCHWEITZER, O.; ERELL, E. Evaluation of the energy performance and irrigation requirements of extensive green roofs in a water-scarce Mediterranean climate. **Energy and Buildings**, v. 68, p. 25-32, 2014.

SEVEGNANI, K. B.; GHELFI FILHO, H.; SILVA, IJO da. Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico. **Scientia Agricola**, v. 51, n. 1, p. 1-7, 1994.

SILVA, N.C. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental. 2011. 60f.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. Botânica sistemática. **Nova Odessa: Instituto Plantarum**, 2005.

SPANGENBERG, J. Melhoria do clima urbano nas metrópoles tropicais-Estudo de caso. 2004.

SPEAK, A. F. et al. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. **Atmospheric Environment**, v. 61, p. 283-293, 2012.

CRUZEIRO DO SUL**. Facens apresentará as inovações em uma feira**. 2016. Disponível em: <http://www.jornalcruzeiro.com.br/materia/750774/facens-apresentara-as-inovacoes-em-uma-feira>. Acesso em: 25 jun. 2017.

SUTTON, R.K. Introduction to green roof ecosystems. In: **Green Roof Ecosystems**. Springer, Cham, 2015. p. 1-25.

TAM, V.W.Y.; WANG, J.; LE, K.N. Thermal insulation and cost effectiveness of green-roof systems: An empirical study in Hong Kong. **Building and Environment,** v. 110, p. 46-54, 2016.

TEEMUSK, A.; MANDER, Ü. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events. **Ecological engineering**, v. 30, n. 3, p. 271-277, 2007.

THEODOSIOU, T.G. Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. **Energy and buildings**, v. 35, n. 9, p. 909-917, 2003.

TOMAZ, 2005. **Telhado verde**. 2005. Capítulo 10.

TORRES, João Delfino et al. Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção de baixo custo e análise de dados**. Scientia Plena**, v. 11, n. 2, 2015.

TOWNSHEND, D.; DUGGIE, A. Study on green roof application in Hong Kong. **Architectural services department,** 2007.

TUNDISI, J.G. Governança da água. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, v. 20, n. 2, 2016.

VACILIKIO, D.V.; FLEISCFRESSER, L. Comparação entre telhado verde e convencional nas temperaturas internas de ambientes. **Simpósio Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, v. 3, 2011.

VAN MECHELEN, C.; DUTOIT, T.; HERMY, M. Adapting green roof irrigation practices for a sustainable future: A review. **Sustainable Cities and Society**, v. 19, p. 74-90, 2015.

VAN SETERS, T. et al. Evaluation of green roofs for runoff retention, runoff quality, and leachability. **Water Quality Research Journal of Canada**, v. 44, n. 1, p. 33, 2009.

VAN RENTERGHEM, T.; BOTTELDOOREN, D. In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. **Building and environment**, v. 46, n. 3, p. 729-738, 2011.

VECCHIA, F. Cobertura verde leve (CVL): ensaio experimental. **VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC), Maceió, Alagoas, Brasil**, 2005.

VIEIRA, T.J.; FLEISCHFRESSER, L.; PRUDENTE, L.A. Comparação da variação de temperatura interna de um ambiente revestido com telhado verde e um com telhado

convencional. **Encontro Nacional dos Estudantes de Engenharia Ambiental; Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade; Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental–Centro-Oeste**, 2016.

VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 740-752, 2016.

VIJAYARAGHAVAN, K.; BALASUBRAMANIAN, R. Is biosorption suitable for decontamination of metal-bearing wastewaters? A critical review on the state-of-the-art of biosorption processes and future directions. **Journal of environmental management**, v. 160, p. 283-296, 2015.

VIJAYARAGHAVAN, K. et al. Application of seaweed as substrate additive in green roofs: Enhancement of water retention and sorption capacity. **Landscape and Urban Planning**, v. 143, p. 25-32, 2015.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, Umid Man. Can green roof act as a sink for contaminants? A methodological study to evaluate runoff quality from green roofs. **Environmental Pollution,** v. 194, p. 121-129, 2014.

VIJAYARAGHAVAN, K.; RAJA, Franklin D. Design and development of green roof substrate to improve runoff water quality: Plant growth experiments and adsorption. **Water research**, v. 63, p. 94-101, 2014.

VIJAYARAGHAVAN, K.; RAJA, Franklin D. Pilot-scale evaluation of green roofs with Sargassum biomass as an additive to improve runoff quality. **Ecological Engineering**, v. 75, p. 70-78, 2015.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M.; BALASUBRAMANIAN, R. A field study to evaluate runoff quality from green roofs. **Water research,** v. 46, n. 4, p. 1337-1345, 2012.

VILLARREAL, E. L.; BENGTSSON, L. Response of a Sedum green-roof to individual rain events. **Ecological Engineering**, v. 25, n. 1, p. 1-7, 2005.

VILLAS BOAS, N.; DOCA, R.H.; BISCUOLA, G.J. Tópicos de física, 2: termologia, ondulatória e óptica. **São Paulo: Saraiva**, 2007.

WIKIMEDIA COMMONS. Categoria: Sorocaba. Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Sorocaba>. Acesso em: 20 fevereiro 2018.

WILKINSON, S. et al. Evaluating the thermal performance of retrofitted lightweight green roofs and walls in Sydney and Rio de Janeiro. **Procedia engineering**, v. 180, p. 231-240, 2017.

WILLES, J.A. **Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema. 2014. 69f.** Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

WILSON, E. O. **O Futuro da Vida: um estudo da biosfera para a proteção de todas as espécies, inclusive a humana.** Rio de Janeiro, Edit. 2002.

WONG, N.H. et al. Study of Thermal Performance of Extensive Rooftop Greenery Systems in the Tropical Climate. **Journal of Building and Environment**, Amsterdam, v. 42, p. 25-54, January, 2007.

WONG, N.H.; Y. CHEN; C. L. ONG; A. SIA. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. **Building and Environment**. V. 38, n. 2, p. 261-270. 2003.

XAVIER, A.A.P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis. 1999. 198f.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,1999.

XIAO, M. et al. A review of green roof research and development in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 633-648, 2014.

YANG, H.S.; KANG, J.; CHOI, M.S. Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level. **Building and Environment,** v. 50, p. 44-55, 2012.