

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THAMILLE CASAGRANDE

O DESEMPENHO DE TELHADOS VERDES INTENSIVOS EM TERMOS DE
CONTROLE DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS E RETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS
NA CIDADE DE CURITIBA - PR

CURITIBA - PR

2020

THAMILLE CASAGRANDE

O DESEMPENHO DE TELHADOS VERDES INTENSIVOS EM TERMOS DE
CONTROLE DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS E RETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS
NA CIDADE DE CURITIBA - PR

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de concentração: Sustentabilidade no Ambiente Construído, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. PhD. Sergio Fernando Tavares

Coorientadora: Prof.^a Dra. Mariana Grassi Noya

CURITIBA - PR

2020

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

C334d Casagrande, Thamille
O desempenho de telhados verdes intensivos em termos de controle de temperaturas superficiais e retenção de águas pluviais na cidade de Curitiba - PR, [recurso eletrônico] / Thamille Casagrande. – Curitiba, 2020.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, 2020.

Orientador: Sergio Fernando Tavares.
Coorientadora: Mariana Grassi Noya.

1. Telhados. 2. Controle de temperatura. 3. Águas pluviais. 4. escoamento. I. Universidade Federal do Paraná. II. Tavares, Sergio Fernando. III. Noya, Mariana Grassi. IV. Título.

CDD: 622.43

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928



TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **THAMILLE CASAGRANDE** intitulada: **O DESEMPENHO DE TELHADOS VERDES INTENSIVOS EM TERMOS DE CONTROLE DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS E RETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA CIDADE DE CURITIBA - PR**, sob orientação do Prof. Dr. SÉRGIO FERNANDO TAVARES, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 17 de Abril de 2020.

Assinatura Eletrônica

22/04/2020 12:30:32.0

SÉRGIO FERNANDO TAVARES

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

22/04/2020 11:18:40.0

FRANCINE AIDIE ROSSI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

16/07/2020 11:57:40.0

ELOY FASSI CASAGRANDE JUNIOR

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao PPGCEC pela oportunidade de estudo e à CAPES pela bolsa de pesquisa.

Agradeço ao apoio da empresa Diprotec e do Viveiro Entre Flores que disponibilizaram parte do material para a confecção dos protótipos. À SIMEPAR e ao Terraço Verde, por disponibilizarem espaço para o desenvolvimento dos experimentos.

Ao meu orientador Sérgio Fernando Tavares, pelos ensinamentos, pela paciência e pelas confraternizações entre os colegas, foi de grande ajuda para nos conhecermos e distrairmos.

À minha coorientadora Mariana Grassi Noya, pela disponibilidade, atenção e imensa contribuição para a pesquisa. Sou muito grata por termos nos tornado também colegas de trabalho e ainda melhor, amigas.

Agradeço também a parceria formada com o João Paulo Mehl e Daniel Dias, que possibilitou o desenvolvimento de um projeto multidisciplinar, motivando a união de profissionais de diferentes especialidades.

Ao Nathan McCartney, pela impecável execução do projeto do banco em pallets criado para o desenvolvimento do experimento no Terraço.

Aos alunos de iniciação científica, Ana Clara Campos Fonseca, Lee Ha Gauen Neto, Leonardo Costa, Rachel Miller e Patrícia Leite, pela contribuição com a construção e monitoramento dos experimentos.

Obrigada aos amigos Elison Assis e Raphaella Smaniotto, que colaboraram com a construção dos experimentos.

Agradeço especialmente à colega e amiga Anna Claudia Fischer, pela imensa ajuda e companheirismo durante todo o programa, sou muito grata por você.

Aos meus pais, pelo esforço dedicado em minha educação e pela compreensão nos momentos em que estive ausente. Aos meus irmãos, pelo incentivo e carinho nos nossos reencontros.

Ao meu companheiro Daniel, por estar presente nos momentos mais difíceis, pela sua compreensão em meus momentos de angústia, pelo companheirismo e esforço pelo nosso bem.

*O que não precisamos no meio das nossas batalhas
é sentirmos vergonha de sermos humanos.*

Brené Brown

RESUMO

A utilização de telhados verdes pode promover diversos benefícios, como a redução da temperatura interna das edificações, a contenção de enchentes, a mitigação de ilhas de calor e a melhoria da qualidade do ar. A literatura existente comprova estes benefícios, mas grande parte dos estudos engloba apenas o uso de telhados verdes extensivos, deixando de aprofundar-se no uso de telhados verdes intensivos. Isto se deve ao fato de que os extensivos exercem menor carga sobre a edificação, além de possuir menores custos de implantação e manutenção, sendo seu uso considerado mais acessível. Desta forma, houve menor investigação no uso de telhados verdes intensivos, porém, as pesquisas existentes sobre o assunto demonstram que telhados verdes com uma camada de substrato mais profunda possuem maior percentual de retenção de águas pluviais, isolamento térmico e grau de cobertura vegetal. Para a realização desta pesquisa, foi levantado o estado da arte do assunto por meio de uma revisão sistemática de literatura, em que se verificou a inexistência de pesquisas no Brasil que analisassem o uso de telhados verdes intensivos. Levando em conta este panorama, a pesquisa tem como objetivo explorar o efeito que a espessura da camada de substrato pode surtir no desempenho de telhados verdes em relação à retenção de águas pluviais, controle de temperatura e grau de cobertura vegetal de suculentas herbáceas na cidade de Curitiba - PR. Para alcançar o objetivo proposto, foram conduzidos um experimento e um estudo de caso. O experimento consistiu no monitoramento de seis protótipos de telhado verde, sendo três intensivos e três extensivos, de modo que todos possuíssem o mesmo sistema de montagem, variando apenas na espessura da camada do substrato. Os protótipos foram monitorados durante oito meses avaliando as variáveis de temperatura superficial superior e inferior, percentual de retenção de águas pluviais e grau de cobertura das espécies *Sedum acre* e *Lampranthus productus*. O estudo de caso foi conduzido em um terraço jardim em que foi comparado o desempenho de um telhado verde intensivo, um extensivo e uma laje de concreto. A geração de dados ocorreu por meio da criação de uma rede de sensores sem fio que possibilitou o acompanhamento dos dados em tempo real, mediante um projeto desenvolvido a partir do conceito de internet das coisas. O monitoramento ocorreu durante quatro meses, avaliando as variáveis de temperatura da camada do substrato, temperatura dos ambientes localizados abaixo do terraço, percentual de retenção de águas pluviais e atraso de pico. O desenvolvimento dos dois estudos assegurou concluir que o desempenho de telhados verdes intensivos é superior aos extensivos para as variáveis analisadas, sendo possível reter até 38% a mais de água da chuva, com retardo de escoamento em quase três horas e a temperatura da camada do substrato mostrou-se constante por mais tempo, mostrando uma diferença de até 16°C em relação ao extensivo no dia mais quente. Além disso, foi possível verificar maior grau de cobertura vegetal nos intensivos, cobrindo até 17% mais do que os extensivos.

Palavras-chave: Cobertura verde intensiva. Escoamento superficial. Atraso de pico. Retenção do escoamento. Temperatura superficial.

ABSTRACT

The use of green roofs can promote several benefits, such as reducing the internal temperature of buildings, containing floods, mitigating heat islands and improving air quality. The existing literature proves these benefits, but most studies only cover the use of extensive green roofs, failing to deepen the use of intensive green roofs. This is because the extensive ones have less load on the building, in addition to lower implementation and maintenance costs, and its use is considered more accessible. Thus, there was less search with the use of intensive green roofs, however, the existing research on the subject demonstrates that green roofs with a deeper substrate layer have a higher percentage of rainwater retention, greater thermal insulation and higher vegetal coverage rate. To carry out this research, the state of the art of the subject was raised by means of a systematic literature review, which verified the need of research in Brazil that analyzed the use of intensive green roofs. Taking this scenario into account, the research aims to explore the effect that the substrate layer thickness can have on the performance of green roofs in relation to rainwater retention, surface temperature control and vegetation cover ratio in the city of Curitiba - PR. To achieve the proposed objective, an experiment and a case study were conducted. The experiment consisted of monitoring six green roof prototypes, three intensive and three extensive, so that all had the same assembly system, varying only in the thickness of the substrate layer. The prototypes were monitored for eight months, evaluating the variables of upper and lower surface temperature, percentage of rainwater retention and coverage rate of the species *Sedum acre* and *Lampranthus productus*. The case study was carried out on a garden terrace which the performance of an intensive green roof, an extensive one and a concrete slab was compared. The generation of data occurred through the creation of a wireless sensor network that enabled the monitoring of data in real time, through a project developed based on the concept of internet of things. The monitoring took place for four months, evaluating the variables of temperature of the substrate layer, temperature of the rooms located below the terrace, percentage of rainwater retention and peak delay. The development of these two studies made it possible to conclude that the performance of intensive green roofs is superior than the extensive ones for the analyzed variables, being possible to retain up to 38% more rainwater, with peak delay in almost three hours and the temperature of the substrate layer was constant for a longer time, showing a difference of up to 16 °C in compared to the extensive one on the hottest day. Besides, it was possible to verify a higher vegetation coverage rate in the intensive ones, covering up to 17% more than the extensive ones.

Keywords: Intensive green roof. Surface runoff. Peak delay. Rainwater retention. Temperature control. Surface temperature.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - TERRAÇO JARDIM DA VILLA SAVOYE – PROJETO DO ARQUITETO LE CORBUSIER	31
FIGURA 2 – CAMADAS DO TELHADO VERDE	33
FIGURA 3 - SISTEMA HIDROMODULAR ECOTELHADO	34
FIGURA 4 - MANTA GEOTÊXTIL BIDIM.....	35
FIGURA 5 - GEOCOMPOSTO DRENANTE - DIPROTEC	36
FIGURA 6 - SISTEMA ALVEOLAR LEVE - ECOTELHADO.....	36
FIGURA 7 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO	64
FIGURA 8 – INMET	65
FIGURA 9- PROCESSO CONSTRUTIVO DOS PROTÓTIPOS	66
FIGURA 10 - PROCESSO DE RESTAURAÇÃO DOS PROTÓTIPOS	67
FIGURA 11 - DETALHAMENTO DOS PROTÓTIPOS.....	68
FIGURA 12- ALTURA DA CAMADA DE SUBSTRATO – TELHADO VERDE INTENSIVO X EXTENSIVO.....	69
FIGURA 13 – PLANTIO DAS ESPÉCIES <i>SEDUM ACREE LAMPRANTHUS PRODUCTUS</i>	69
FIGURA 14 – ANÁLISE DE COBERTURA VEGETAL ATRAVÉS DO SOFTWARE <i>IMAGEJ</i> ®.....	70
FIGURA 15 - PROTÓTIPOS MONTADOS E GALÃO GRADUADO.....	71
FIGURA 16 – DATALOGGER TD890.....	73
FIGURA 17 - TERMOPARES POSICIONADOS PARA MEDIÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL SUPERIOR	73
FIGURA 18- TERMOPARES FIXADOS NOS PROTÓTIPOS PARA MEDIÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL INFERIOR.....	74
FIGURA 19- DATALOGGER INSTALADO NOS PROTÓTIPOS DE TELHADO VERDE EXTENSIVO.....	74
FIGURA 20- COBERTURA VEGETAL – 13/06/2019 VERSUS 27/06/2019.....	76
FIGURA 21 - COBERTURA VEGETAL – 11/07/2019 VERSUS 01/08/2019	77
FIGURA 22 - COBERTURA VEGETAL – 20/08/2019 VERSUS 10/09/2019.....	78
FIGURA 23 - COBERTURA VEGETAL – 01/10/2019 VERSUS 22/10/2019.....	78

FIGURA 24 - COBERTURA VEGETAL - 12/11/2019 VERSUS 03/12/2019.....	79
FIGURA 25 - COBERTURA VEGETAL - 20/12/2019 VERSUS 07/01/2020.....	79
FIGURA 26 - LOCALIZAÇÃO	101
FIGURA 27 - VISTA AÉREA DO TERRAÇO VERDE.....	101
FIGURA 28 - PLANTA DA COBERTURA - ESPAÇO TERRAÇO VERDE.....	102
FIGURA 29 - PLANTA DO 3º PAVIMENTO (INFERIOR À COBERTURA).....	102
FIGURA 30 - PROJETO PARA IMPLANTAÇÃO DOS MÓDULOS DE TELHADO VERDE	103
FIGURA 31 - PROJETO EM 3D PARA INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS DE TELHADO VERDE	104
FIGURA 32 - CANTEIROS CONSTRUÍDOS.....	104
FIGURA 33 - INSTALAÇÃO DA GEOMEMBRANA DE PEAD E VEDAÇÃO DAS EMENDAS COM FITA IMPERMEABILIZANTE.....	105
FIGURA 34 - FURO PARA ESCOAMENTO.....	101
FIGURA 35- MANTA DE DRENAGEM.....	105
FIGURA 36 - SUBSTRATO NOS CANTEIROS.....	102
FIGURA 37- PLANTIO DAS ESPÉCIES VEGETAIS.....	106
FIGURA 38 - CANTEIROS PRONTOS	106
FIGURA 39 - DIAGRAMA DA SOLUÇÃO.....	107
FIGURA 40 - SENSOR FC-37	108
FIGURA 41 - SENSOR CAPACITIVO DE UMIDADE	109
FIGURA 42 - SENSOR DE TEMPERATURA	109
FIGURA 43 - PLUVIÔMETRO DE CAÇAMBA	110
FIGURA 44 - CONTROLADOR FAVO TECNOLOGIA	110
FIGURA 45 - CONTROLADORES INSTALADOS EM CADA AMBIENTE	111
FIGURA 46 - AMOSTRAS DE SOLO	112
FIGURA 47 - CALIBRAGEM DOS SENSORES.....	113
FIGURA 48 - ROTEADOR DE BORDA	112
FIGURA 49 - MICROCONTROLADOR.....	116
FIGURA 50 - CAIXAS DE PASSAGENS COM MICROCONTROLADORES E FONTES DE ENERGIA	116
FIGURA 51 - PROTÓTIPO COM REDE DE SENSORES INSTALADA.....	117

FIGURA 52 - PLUVIÔMETRO E SENSORES INSTALADOS NO LADO EXTENSIVO..	117
FIGURA 53 - SENSOR DE CHUVA OXIDADO.....	118
FIGURA 54 - SENSOR ÓTICO DE CHUVA.....	119
FIGURA 55 - SENSOR CAPACITIVO INSTALADO NO RALO DO CANTEIRO EXTENSIVO.....	119
FIGURA 56 - INTERFACE DA PLATAFORMA	120
FIGURA 57 - PESAGEM E DIMENSÕES DO VOLUME	121
FIGURA 58 - CANTEIROS INTENSIVO E EXTENSIVO APÓS 4 MESES DO PLANTIO DAS ESPÉCIES VEGETAIS	129
FIGURA 59 - CARTA SOLAR DE CURITIBA.....	135

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – NORMAIS DE TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DE 1981-2010.....	40
GRÁFICO 2 - NORMAIS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA MENSAL DE 1981-2010	41
GRÁFICO 3 – PRECIPITAÇÃO MENSAL DE JANEIRO A DEZEMBRO DE 2019.....	80
GRÁFICO 4 – TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS ENTRE OUTUBRO E DEZEMBRO DE 2019	81
GRÁFICO 5 – MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 1 (23 A 24/09/2019).....	88
GRÁFICO 6 – MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 1 (24 A 25/09/2019).....	89
GRÁFICO 7– MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 2 (18 A 19/11/2019).....	90
GRÁFICO 8 – MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 2 (19 A 20/11/2019).....	90
GRÁFICO 9 – MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 2 (20 A 21/11/2019).....	91
GRÁFICO 10 – MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 3 (20 A 21/12/2019).....	92
GRÁFICO 11 – MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 3 (21 A 22/12/2019).....	92
GRÁFICO 12 – MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 3 (22 A 23/12/2019).....	93
GRÁFICO 13 – CALIBRAGEM DO SENSOR CAPACITIVO 1.....	114
GRÁFICO 14 – CALIBRAGEM DO SENSOR CAPACITIVO 2.....	115
GRÁFICO 15 – CALIBRAGEM DO SENSOR CAPACITIVO 3.....	115
GRÁFICO 16 – PRECIPITAÇÃO OCORRIDA X VOLUME RETIDO EM LITROS EM CADA CANTEIRO.....	126
GRÁFICO 17 – PERCENTUAL DE RETENÇÃO CANTEIRO INTENSIVO X EXTENSIVO	126

GRÁFICO 18 – AMPLITUDE TÉRMICA TEMPERATURA AR X EXTENSIVO X INTENSIVO	129
GRÁFICO 19 – COMPARAÇÃO ENTRE AS TEMPERATURAS DA CAMADA DE SUBSTRATO E AR REGISTRADAS EM CADA EVENTO EM UM PERÍODO DE 24H .	130
GRÁFICO 20 – EVENTO 1 - TEMPERATURAS DO AR EXTERNA E NOS AMBIENTES ABAIXO DO TERRAÇO (DIA 16/01).....	132
GRÁFICO 21- EVENTO 2 - TEMPERATURAS DO AR EXTERNA E NOS AMBIENTES ABAIXO DO TERRAÇO (DIA 25/01).....	132
GRÁFICO 22- EVENTO 3 - TEMPERATURAS DO AR EXTERNA E NOS AMBIENTES ABAIXO DO TERRAÇO (DIA 26/01).....	133
GRÁFICO 23 – EVENTO 4 - TEMPERATURAS DO AR EXTERNA E NOS AMBIENTES ABAIXO DO TERRAÇO (DIA 04/02).....	133
GRÁFICO 24 – TEMPERATURAS DO AR EXTERNA CONFORME DATAS DOS EVENTOS E DOS DIAS ANTERIORES.....	134

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS TELHADOS VERDES	22
TABELA 2 - RELAÇÃO PESO E PERCENTUAL DE ÁGUA RETIDO	113

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – SIMULAÇÃO DE INSERÇÃO DE DADOS PARA CONTROLE DE ESCOAMENTO.....	72
QUADRO 2 – EXEMPLO DE INSERÇÃO DOS DADOS BRUTOS – DADOS DO EVENTO 3.....	75
QUADRO 3 – GERAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE AS TEMPERATURAS DOS PROTÓTIPOS.....	75
QUADRO 4 – PERCENTUAL DE COBERTURA VEGETAL ATRAVÉS DE ANÁLISE COM O SOFTWARE <i>IMAGEJ</i> ®.....	81
QUADRO 5 – MÉDIA DO PERCENTUAL DE COBERTURA VEGETAL ATRAVÉS DE ANÁLISE COM O SOFTWARE <i>IMAGEJ</i> ®.....	82
QUADRO 6 – MÉDIA DO PERCENTUAL DE COBERTURA VEGETAL – EXTENSIVO VERSUS INTENSIVO.....	82
QUADRO 7 – CONTROLE DE ESCOAMENTO NOS PROTÓTIPOS DE TELHADO VERDE.....	83
QUADRO 8 – MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO PARA O OUTONO.....	86
QUADRO 9 - MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO PARA O INVERNO.....	86
QUADRO 10 - MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO PARA A PRIMAVERA.....	86
QUADRO 11 - MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO PARA O VERÃO.....	86
QUADRO 12 – MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO PLUVIAL EM CADA PROTÓTIPO.....	87
QUADRO 13- MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO ENTRE PROTÓTIPOS DE MESMA CLASSIFICAÇÃO.....	87
QUADRO 14 – FAIXAS DE VALORES DE CAPACITÂNCIA LIDOS NO SENSOR CORRESPONDENTES A UMIDADE.....	122
QUADRO 15 – EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO.....	124
QUADRO 16- DADOS INMET DURANTE OS EVENTOS SELECIONADOS.....	127
QUADRO 17 – COMPARAÇÃO ENTRE TEMPERATURAS DO AR, EXTENSIVO E INTENSIVO.....	128
QUADRO 18 – INTERVALOS DE PRECIPITAÇÃO NO DIA 28/01/20.....	130
QUADRO 19 – ATRASO DE PICO.....	131

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

CAM - Metabolismo Ácido das Crassuláceas

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

OMM - Organização Meteorológica Mundial

ONU – Organização Mundial das Nações Unidas

PEAD – Polietileno de alta densidade

PPGECC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil

PR – Paraná

TVE – Telhado verde extensivo

TVI – Telhado verde intensivo

UFPR – Universidade Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	20
1.1 PROBLEMA.....	21
1.2 HIPÓTESE.....	23
1.3 OBJETIVO	25
1.4 JUSTIFICATIVA.....	25
1.5 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA.....	27
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	28
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	30
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	30
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS TELHADOS VERDES	32
2.3 COMPONENTES.....	33
2.3.1 Vegetação	33
2.3.2 Substrato	34
2.3.3 Filtro.....	34
2.3.4 Camada de drenagem	35
2.3.5 Camada anti-raiz e camada de retenção	36
2.4 BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES	37
2.4.1 Gestão de águas pluviais.....	37
2.4.2 Mitigação de ilhas de calor.....	37
2.4.3 Isolamento térmico e acústico.....	38
2.4.4 Melhora na qualidade do ar e da água.....	38
2.4.5 Biodiversidade	38
2.5 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE CURITIBA	39
3 MÉTODO DE PESQUISA.....	42
3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	42
3.1.1 Unidade de análise.....	42
3.1.2 Delimitação do trabalho.....	42
3.1.3 Justificativa da escolha a partir do objetivo	44
3.1.4 Testes de validade	45
3.2 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS	45

3.3 MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS.....	46
4 TEMPERATURA E ESCOAMENTO EM TELHADOS VERDES INTENSIVOS: UMA REVISÃO	48
5 COMPORTAMENTO TÉRMICO E HIDROLÓGICO DE TELHADOS VERDES INTENSIVOS E O AUMENTO DO GRAU DE COBERTURA DE HERBÁCEAS SUCULENTAS	60
5.1 INTRODUÇÃO	61
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	63
5.2.1 Localização	64
5.2.2 Construção dos protótipos.....	65
5.2.3 Avaliação do grau de cobertura vegetal.....	70
5.2.4 Controle de escoamento.....	71
5.2.5 Controle de temperatura.....	72
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
5.3.1 Avaliação do grau de cobertura vegetal.....	76
5.3.2 Controle de escoamento.....	83
5.3.3 Controle de temperatura.....	88
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
6 RETARDO DO ESCOAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS E CONTROLE DE TEMPERATURA EM UM TERRAÇO JARDIM NA CIDADE DE CURITIBA: TELHADO VERDE INTENSIVO VERSUS EXTENSIVO	96
6.1 INTRODUÇÃO	97
6.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	99
6.2.1 Método de pesquisa.....	99
6.2.2 Localização	100
6.2.3 Construção dos canteiros.....	101
6.2.4 Desenvolvimento e escolha dos sensores	107
6.2.4.1 Calibração do sensor de capacitivo de umidade	111
6.2.5 Instalação da rede de sensores	116
6.2.5.1 Problemas enfrentados após instalação.....	118
6.2.6 Tratamento dos dados	120
6.2.6.1 Retenção de águas pluviais	120

6.2.6.2	Temperatura da camada de substrato.....	123
6.2.6.3	Temperatura dos ambientes abaixo do canteiro	123
6.2.6.4	Atraso de pico	124
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	124
6.3.1	Retenção de águas pluviais.....	124
6.3.2	Temperatura da camada de substrato	127
6.3.3	Atraso de pico.....	130
6.3.4	Temperatura dos ambientes abaixo dos canteiros.....	131
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	136
7	CONCLUSÕES.....	138
	REFERÊNCIAS	140

1 INTRODUÇÃO

O uso de telhados verdes vem sendo explorado tanto em estudos por meio da comunidade acadêmica, quanto na utilização da técnica em edifícios já existentes ou novos, pois oferecem uma gama de benefícios ambientais, econômicos e sociais. Benefícios comprovados incluem a redução de diversos problemas ambientais como: ilhas de calor, poluição do ar, consumo de energia do edifício, escoamento de águas pluviais, bem como a extensão do tempo de vida dos materiais que compõe o telhado (FRANCIS; JENSEN, 2017).

No Brasil, já existem diversas pesquisas que abordam principalmente a questão de retenção de águas pluviais, que auxilia na redução de enchentes (BÄR, 2019; LOPES, 2018; SAVI, 2015; TASSI et al., 2014; SANTOS et al. 2013; BALDESSAR, 2012), e de controle de temperatura, que evita gastos excessivos com energia por conta do uso de aparelhos de ar condicionado (OLIVEIRA; SOARES; SANTOS, 2016; PANZIERA et al., 2015; CATUZZO, 2013; VACILIKIO; FLEISCHFRESSER, 2011).

Apesar de existir um corpo significativo de pesquisas sobre o tópico, grande parte dos estudos abordam o uso de telhados verdes extensivos, pois estes apresentam menores dificuldades de implantação por possuírem custo, peso e manutenção mais baixa (BERARDI; GHAFARIANHOSEINI; GHAFARIANHOSEINI, 2014). Desta forma, menos interesse tem sido demonstrado pelo estudo de telhados verdes intensivos, mas Jim e Tsang (2011a) afirmam que esta técnica merece mais atenção devido aos benefícios superiores que podem apresentar.

Diversas pesquisas apontam que telhados verdes intensivos possuem melhor desempenho em relação a retenção do escoamento de águas pluviais e redução da temperatura superficial. Mentens, Raes e Hermy (2006) afirmam que a redução do escoamento superficial anual é fortemente determinada pela profundidade da camada do substrato, sendo que esta é maior em telhados intensivos.

Jim e Tsang (2011b) avaliaram o desempenho de um telhado verde intensivo em termos de redução de temperatura superficial através de um experimento realizado no terraço de um edifício em Hong Kong e afirmaram que telhados verdes intensivos também possuem excelente performance no controle de temperatura superficial.

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi explorar o efeito que a espessura da camada de substrato pode surtir no desempenho de telhados verdes em relação à retenção de águas pluviais, controle de temperatura e grau de cobertura vegetal de suculentas herbáceas na cidade de Curitiba – PR.

1.1 PROBLEMA

Sabe-se que a densidade populacional em grandes centros urbanos vem crescendo cada vez mais. Atualmente, cerca de 85% da população do país se concentra em áreas urbanas, um índice que deve atingir 91% até 2050 (CE100, 2017). Juntamente ao crescimento da população cresce o consumo de energia, a geração de resíduos, a impermeabilização do solo e diversos outros fatores que acarretam problemas ambientais.

Um dos problemas nos grandes centros urbanos são as inundações ocasionadas pela impermeabilização do solo, fato que pode resultar em sérios danos a edifícios, gerando além de poluição, perdas pessoais. Desta forma, há uma necessidade urgente de introduzir medidas de mitigação para o escoamento de águas pluviais. Neste contexto, várias medidas foram pensadas para resolver o problema, entre estas, os telhados verdes podem ser considerados uma solução eficaz na gestão de águas pluviais, uma vez que estes são capazes de reter a água da chuva e reduzir o atraso de pico (LIU; LI; LI, 2017).

Outro problema ocasionado pelo aumento da densidade urbana é a alta taxa de consumo de energia e recursos utilizados. Diversas pesquisas apontam que aproximadamente 40% do consumo de energia está associado à construção e manutenção de edifícios. Grande parte disso se deve ao fato da necessidade de climatização de ambientes através da utilização de aparelhos de ar condicionado (BERARDI; GHAFARIANHOSEINI; GHAFARIANHOSEINI, 2014). Diversos tipos de abordagens e tecnologias mais eficientes em termos de energia foram propostos para a diminuição de impactos, uma delas é o uso de telhados verdes, que também é uma forma de controle de temperatura interna e assim pode ajudar na redução do consumo de energia. Além disso, proporciona mitigação de ilhas de calor, redução de emissão de

gases do efeito estufa através da fotossíntese e absorção de águas pluviais (XIAO et al., 2014).

Telhados verdes são caracterizados de acordo com o porte das plantas que podem sustentar, pois a espessura da camada de substrato varia de acordo com a espécie escolhida. Os telhados verdes intensivos são caracterizados por possuírem maior espessura da camada de substrato, possibilitando a implantação de vegetação de grande porte, sendo possível até mesmo a utilização de árvores (IGRA, 2018).

Oberndorfer et al. (2007) consideram o telhado verde intensivo como o precursor das coberturas verdes, porém, devido às maiores exigências de manutenção e carga aplicada deste tipo de cobertura, foram posteriormente definidas novas técnicas construtivas, incorporando o uso de telhados extensivos principalmente. A Quadro abaixo classifica os telhados verdes de acordo com manutenção, irrigação, espécies, custo, peso, uso e espessura da camada de substrato.

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS TELHADOS VERDES



Classificação	Telhado verde extensivo	Telhado verde semi intensivo	Telhado verde intensivo
Manutenção	Baixa	Periodicamente	Alto
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente
Tipos de plantas	Musgos/Suculentas/Herbáceas/Gramíneas	Herbáceas/Gramíneas/Arbustos	Arbustos e Árvores
Custo	Baixo	Médio	Alto
Peso	60-150 kg/m ²	120-200 kg/m ²	180-500 kg/m ²
Uso	Camada de proteção ecológica	Telhado verde projetado	Terraço jardim
Espessura do substrato	60-200mm	120-250mm	> 300mm

FONTE: Adaptado de Besir e Cuce (2018).

Analisando a Quadro 1, é possível verificar que o telhado verde intensivo exige maior manutenção e possui maior custo e peso. Além destas condicionantes, foi possível notar através de buscas nas bases de dados (*Science Direct, Portal de Periódicos da Capes, Google Acadêmico e SciELO*) que a maioria das pesquisas estão voltadas para o uso de telhados verdes extensivos.

Para confirmar estes resultados encontrados por buscas aleatórias, realizou-se uma revisão sistemática de literatura, em que foi possível constatar que telhados verdes intensivos desempenham melhores resultados em relação ao percentual de retenção de águas pluviais e controle de temperatura, porém, estes ainda exigem maiores cuidados e possuem custos elevados. Além disso, não foram encontrados estudos relacionados ao tema no Brasil, o que demonstra a necessidade da realização de pesquisa sobre o tema para a nossa realidade, levando em consideração que o clima influencia fortemente no desempenho de telhados verdes.

Desta forma, o estudo a seguir busca responder ao seguinte problema de pesquisa: quanto é possível potencializar os benefícios de telhados verdes relacionados ao controle de temperatura de edificações e contenção de enchentes para o clima de Curitiba-PR quando a profundidade da camada de substrato é aumentada?

1.2 HIPÓTESE

A partir de análise de bibliografia selecionada, é possível afirmar que telhados verdes intensivos possuem melhor desempenho em termos de controle de temperatura, redução do escoamento superficial e aumento do grau de cobertura vegetal em relação a telhados verdes extensivos, porém, não foram encontrados dados que comprovem este fato para o clima brasileiro. Sendo assim, a falta de dados nacionais justifica a escolha do tema e os dados estrangeiros permitem levantar a hipótese de que os resultados serão similares para o clima de Curitiba, considerando que a revisão sistemática de literatura realizada¹ abrange estudos que analisam as variáveis para diferentes climas e todos apresentaram melhores resultados em telhados verdes intensivos.

Um estudo paramétrico utilizando os softwares *ENVI-met®* e *EnergyPlus®* simulou a diferença de temperatura superficial interna e externa de edificações com um telhado verde intensivo e comparou as mesmas variáveis com um semiextensivo para quatro cidades com climas diferentes, sendo elas: Cairo, Hong Kong, Tóquio e Paris. Foi confirmado melhor desempenho de telhados verdes intensivos para todos os

¹ Ver capítulo 4.

climas, variando em 14°C no Cairo, 10°C em Hong Kong, 8,5°C em Tóquio e 7°C em Paris (MORAKINYO et al., 2017).

Diversas variáveis influenciam no desempenho de telhados verdes. Scharf e Zluwa (2017) afirmam que o clima é um dos fatores que influenciam diretamente no desempenho térmico de coberturas verdes, principalmente quando são avaliadas técnicas diferentes de implantação. Além disso, os autores afirmam que a espessura do substrato também influencia no desempenho térmico do sistema. Através de uma análise de sete tipos diferentes de sistemas de telhados verdes, foi observada a diferença de valores de transmitância térmica para um sistema de 12 cm de espessura e outro de 30 cm, correspondendo a valores de 0,944W/m²K e 0,299 W/m²K respectivamente.

De acordo com Jim e Tsang (2011b), telhados verdes intensivos possuem menor taxa de evapotranspiração e menor perda de calor latente em relação aos telhados verdes extensivos.

Em termos de redução no escoamento superficial, Mentens, Raes e Hermy (2016) afirmam que a capacidade de retenção de águas pluviais anual pode variar de 75% para telhados verdes intensivos a 45% para telhados verdes extensivos.

Outro ponto importante na relevância do uso de telhados verde intensivos seria a função dada através da utilização de terraços jardim, dando uso a um espaço anteriormente inutilizado. Neste caso, vale ressaltar os cinco pontos da arquitetura moderna definidos por Le Corbusier, sendo eles: os pilotis, o terraço jardim, a planta livre e a janela em fita (BAHIMA, 2002). A ideia de manter o térreo livre e dar uso a cobertura permite maior interação do usuário com a paisagem, criando espaços de convivência e áreas verdes que possibilitam também melhorias na qualidade do ar. Além disso, telhados verdes intensivos podem trazer habitats mais amenos para pássaros e insetos, pois a maior profundidade do substrato permite o plantio de variadas espécies, inclusive árvores (JIM; TSANG, 2011a).

Desta forma, é fortalecida a hipótese de que telhados verdes intensivos possuem desempenho superior em relação as variáveis selecionadas para a cidade de Curitiba, e ainda podem propiciar novos espaços verdes dentro do meio urbano, transformando a cobertura em um novo espaço de convivência.

1.3 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa a seguir foi explorar o efeito que a espessura da camada de substrato pode surtir no desempenho de telhados verdes em relação à retenção de águas pluviais, controle de temperatura e grau de cobertura vegetal de suculentas herbáceas na cidade de Curitiba – PR.

1.4 JUSTIFICATIVA

O uso de telhados verdes como solução para problemas ambientais vem sendo amplamente discutido, principalmente na comunidade acadêmica. Diversos benefícios são apontados a partir do uso desta técnica, como: mitigação de ilhas de calor, redução da emissão de gases do efeito estufa através da fotossíntese, absorção do escoamento superficial e isolamento térmico.

Neste contexto, telhados verdes extensivos foram estudados assiduamente por pesquisadores e profissionais devido a menor carga exercida no telhado e menores custos de instalação e manutenção. Sendo assim, pesquisas aprofundadas no uso de telhados verdes intensivos foram menos exploradas, não sendo disseminados os benefícios da implantação deste tipo de técnica (JIM; TSANG, 2011a).

Apesar de existirem maiores dificuldades para a implantação de telhados verdes intensivos, a literatura demonstra benefícios na utilização desta técnica, principalmente relacionados a absorção de águas pluviais e controle de temperatura. Speak et al. (2013) afirmam que a absorção de águas pluviais é fortemente determinada pela profundidade da camada de substrato, característica inerente aos telhados verdes intensivos. O tipo de telhado, número e profundidade de camadas do substrato são significativamente relacionados ao escoamento anual, sendo que para um telhado tradicional o escoamento pode chegar a 91%, enquanto que para um telhado intensivo este valor é reduzido para 15% (MENTENS; RAES; HERMY, 2006), reduzindo assim a possibilidade de enchentes, problema constante nos grandes centros urbanos que causa grandes danos à população.

A ocorrência de enchentes dá-se pela ineficiência do sistema de drenagem e impermeabilização do solo, fator que representa 85% do território curitibano, de acordo com o pesquisador Roberto Fendrich (SILVEIRA, 2019). Este fator contribui pela recorrência de inundações na cidade de Curitiba. O avanço tecnológico no desenvolvimento de novas técnicas para a implementação de telhados verdes tem se mostrado promissor, facilitando a implantação em coberturas já existentes, podendo ser considerado grande aliado na resolução deste problema. Desta forma, é possível evitar grandes gastos com obras de drenagem, estimados em R\$ 480 milhões pela Prefeitura de Curitiba (CURITIBA. Prefeitura Municipal, 2019).

Outro problema gerado pela indústria da construção civil é o gasto energético, pois o setor é responsável por um terço do consumo energético mundial (IEA, 2013). O uso de telhados verdes também pode ser considerado como uma solução para redução do consumo energético, pois é capaz de reduzir a temperatura interna das edificações. Speak et al. (2013) afirmam que a temperatura superficial da laje dos ambientes internos de um edifício pode reduzir em até 1,58 °C em relação a laje sem cobertura verde, fato que colabora com a redução de custos com energia, pois quando a edificação possui capacidade de manter-se em temperatura adequada para conforto dos ocupantes, os gastos com ar condicionado podem ser reduzidos.

Levando em consideração a literatura existente, é possível afirmar que esses benefícios podem ainda ser potencializados quando a espessura da camada de substrato é aumentada. De acordo com Jim e Tsang (2011b), telhados verdes intensivos superam os extensivos em termos de qualidade e complexidade da biomassa, biodiversidade, efeito bioclimático e valor estético e paisagístico. Este tipo de telhado é normalmente utilizado em terraços jardim, pois a camada de substrato espessa permite o plantio de espécies grandes e lenhosas, criando uma atmosfera próxima a uma praça, o que ajuda a melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas densamente construídas, fornecendo novos espaços verdes aos usuários, dando assim nova função a cobertura antes inexplorada.

A partir de uma revisão sistemática de literatura² realizada pela autora, foi possível verificar o número de estudos existentes referentes ao tema. Para elaboração

² Ver capítulo 4.

da revisão foram feitas pesquisas nas bases de dados *Science Direct*, *Portal de Periódicos da Capes*, *Google Acadêmico* e *SciELO*, resultando em um total de 15 estudos selecionados, sendo estes apenas em inglês, pois não foram encontrados estudos referentes ao assunto em português. A partir destes, verifica-se a minoria de estudos voltados para o uso de telhados verde intensivos, sendo que os poucos encontrados demonstram um melhor desempenho quando a camada de substrato é mais espessa, deixando clara a necessidade de novas pesquisas sobre o assunto, aumentando assim a gama de evidências e validade das pesquisas existentes.

Sendo assim, justifica-se a escolha do tema, pois faz-se necessária a introdução do assunto no âmbito nacional, visto que no exterior existem vários estudos que demonstram os benefícios da utilização de telhados verdes intensivos. Além disso, não há nenhum estudo específico sobre esta classificação de coberturas verdes dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), outro ponto que demonstra a relevância do tema.

1.5 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

A temática de telhados verdes vem sendo explorada desde 2008 dentro da linha de pesquisa “Sustentabilidade no Ambiente Construído” do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná. O primeiro tema abordado foi “Coberturas Verdes no Contexto da Região Metropolitana de Curitiba - Barreiras e Potencialidades”, em que Nascimento (2008) buscou identificar quais as dificuldades na disseminação do uso de coberturas verdes no contexto urbano da Região Metropolitana de Curitiba.

Foram analisados pontos importantes como a redução da vazão de água pluvial escoada por Baldessar (2012) e Miller (2014), que analisaram o comportamento do substrato neste quesito. Outras variáveis como a influência das espécies utilizadas (SAVI, 2015; LOPES, 2018), o estudo da temperatura superficial para mitigação de ilhas de calor (SCROCCARO, 2016) e a qualidade da água (BÄR, 2019) também foram levantadas, tendo assim certa variedade de temas relacionados ao assunto dentro do programa.

Porém, todos os estudos mencionados tomam como base o uso de telhados verdes extensivos, não tendo ainda nenhuma menção aos benefícios do uso de telhados verdes intensivos. Sendo assim, a pesquisa proposta é válida também para o enriquecimento do acervo do programa.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Os três primeiros capítulos discorrem os elementos necessários para introduzir o assunto, informar sobre o essencial para a compreensão acerca do tema e definição do método seguido para a condução da pesquisa.

Os resultados desta pesquisa estão apresentados no formato de coletânea de artigos, abordados nos capítulos quatro, cinco e seis.

O capítulo quatro apresenta uma revisão sistemática de literatura que teve como objetivo levantar o estado da arte a partir da exploração de estudos que analisassem o uso de telhados verdes intensivos, buscando encontrar evidências que comprovassem o desempenho superior deste sistema em relação aos telhados verdes extensivos, sendo analisadas as variáveis de temperatura e escoamento superficial.

O capítulo cinco diz respeito à um experimento realizado dentro da estação meteorológica de Curitiba do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em que foram construídos seis protótipos de telhado verde, sendo três intensivos e três extensivos. Neste experimento foram monitoradas as variáveis de retenção de águas pluviais, temperatura superficial superior e inferior de protótipos e grau de cobertura de herbáceas suculentas.

Já o capítulo seis aborda um estudo de caso, realizado em um terraço jardim localizado no bairro Hugo Lange, em Curitiba. O objetivo da realização deste estudo foi verificar o comportamento de telhados verdes em uma edificação existente, principalmente pela possibilidade de avaliar a temperatura do ar dos ambientes localizados abaixo do terraço, além da possibilidade de leitura de outras variáveis, como temperatura da camada do substrato e atraso de pico. A medição dessas variáveis apenas pode ser possível neste experimento por conta da parceria com o Terraço Verde, que disponibilizou o espaço para locação do experimento e a UTFPR, por meio do desenvolvimento da rede de sensores pelo colega Daniel Dias.

As conclusões acerca do assunto foram desenvolvidas no quinto e último capítulo e tem como objetivo trazer uma conclusão geral após o desenvolvimento dos três artigos expostos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo visa embasar a pesquisa de modo a explorar os principais conceitos em relação aos telhados verdes. O assunto foi introduzido de modo a contextualizar o assunto e demonstrar como os telhados verdes são classificados e quais são os materiais que os compõe, além de abordar seus benefícios.

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Telhados verdes são simplesmente telhados com vegetação que podem assumir muitas formas diferentes. Podem ser instalados tanto em coberturas planas como em inclinadas, sendo que o tipo de vegetação e substrato deverá ser pensado especificamente para cada tipo de telhado (CANTOR, 2008). Basicamente, o telhado verde é criado quando um esquema de plantio é estabelecido em uma estrutura de cobertura (GRO, 2014). Estes podem ser projetados como espaços de lazer ou apenas com a intenção de trazer benefícios como o isolamento térmico.

A utilização de telhados verdes parece ser uma técnica atual, mas diversos pesquisadores apontam o início desta história em 500 a.C, com os Jardins Suspensos da Babilônia. Os impérios romano e grego também empregavam esta técnica. Na região do mediterrâneo, a utilização de várias plantas nas edificações foi incorporada para proporcionar condições de temperatura interna mais agradáveis (BESIR; CUCE, 2018).

Pesquisadores afirmam que a disseminação das ideias precursoras no uso de telhados verdes (principalmente os do tipo intensivos) foi com a criação dos cinco pontos da nova arquitetura de Le Corbusier (1925), onde o arquiteto propôs a criação do *toit-jardin* (terraço jardim) com a intenção de dar uso a cobertura, transferindo o solo ocupado pela edificação para o terraço (Figura 1) (BALDESSAR, 2012).

FIGURA 1 - TERRAÇO JARDIM DA VILLA SAVOYE - PROJETO DO ARQUITETO LE CORBUSIER



FONTE: Archdaily (2010).

O uso da cobertura como terraço jardim pode ser desenvolvido graças ao avanço técnico do concreto armado, pois nestes casos normalmente são utilizados telhados verdes intensivos, que possuem maior carga em relação aos outros tipos. Desta forma, o uso de telhados verdes intensivos proporcionou a utilização de um espaço que anteriormente era perdido, possibilitando uma nova área de convivência na edificação, além de devolver o verde do solo que passou a ser ocupado pela edificação.

Apesar da técnica ter sido difundida já nos anos 20, a intensificação dos estudos sobre telhados verdes começou na Alemanha no início dos anos 60, quando as crises de energia surgiram e então iniciou-se a construção de telhados verdes para reduzir o consumo de energia dos edifícios (SHAFIQUE; KIM; RAFIQ, 2018).

Dentro deste cenário, foi criada a *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau* (FLL), em português - Sociedade Alemã de Pesquisa, Desenvolvimento e Construção de Paisagens - uma organização independente sem fins lucrativos, fundada em 1975 por oito organizações profissionais com o objetivo de melhorar as condições ambientais através do avanço e disseminação de pesquisa de plantas e suas aplicações planejadas (BREUNING, 2019). Esta organização criou um guia para a construção de telhados verdes em 1982, e continua ativa tendo sua última edição lançada em 2018. Este guia é uma ferramenta básica

confiável para a construção de telhados verdes e de alta qualidade em todo o mundo (BREUNING; YANDERS, 2012).

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS TELHADOS VERDES

Os telhados verdes são classificados em extensivos, semiextensivos e intensivos, diferenciando nas variáveis peso, camada do substrato, manutenção, custo, espécies de plantas e irrigação, conforme Quadro 1³. Os telhados extensivos são utilizados com mais frequência devido a menor carga aplicada e ao menor custo, porém, substratos de crescimento mais profundos oferecem maiores possibilidades na escolha da vegetação (BESIR; CUCE, 2018).

O meio de crescimento da vegetação de um telhado verde é chamado de substrato, diferente de solo – nome comumente utilizado –, pois engloba mais de um componente, podendo estes serem orgânicos ou inorgânicos (CANTOR, 2008).

Telhados verdes extensivos são instalações onde o substrato varia de 3 a 15 centímetros. Esta forma de cultivo envolve a inserção de espécies menores e que não requerem muita manutenção, além de possuírem a característica de auto propagação. A vegetação indicada engloba musgos, suculentas, herbáceas e gramíneas (FLL GUIDELINE, 2012).

O telhado verde semiextensivo é um tipo de telhado verde intermediário que pode incluir características de coberturas extensivas ou intensivas. A profundidade do substrato varia de 15 a 30 cm, e uma gama mais ampla de plantas pode ser incluída em comparação com extensivos, incluindo arbustos e plantas lenhosas. Já os requisitos de irrigação e manutenção dependem da planta espécie instaladas (GRO, 2014).

Os telhados verdes intensivos, também conhecidos como terraços jardim, são projetados principalmente para criar espaços recreativos e de lazer. Geralmente possuem acesso e possuem características semelhantes aos jardins tradicionais, incluindo gramados, árvores, arbustos e áreas de paisagismo, dando uso a cobertura. Sistemas de telhados verdes intensivos envolvem o uso de maiores profundidades de substrato (acima de 30 cm), o que ocasiona uma carga maior sobre a estrutura (GRO,

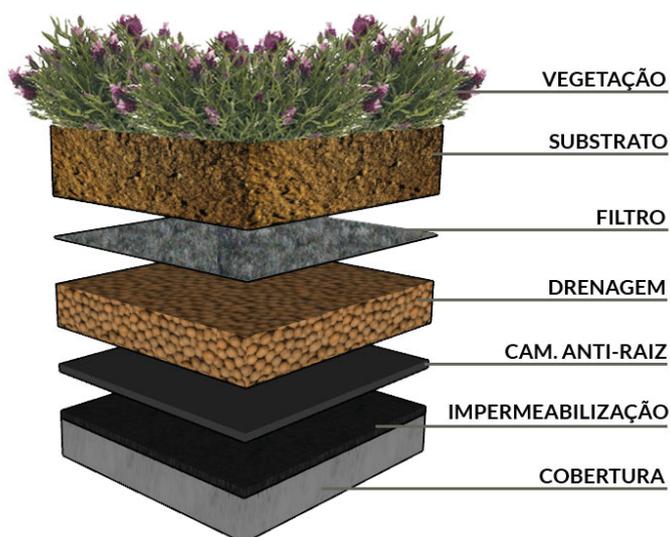
³ Item 1.1 – página 18.

2014). Este tipo de implantação exige maiores cuidados e manutenção, principalmente em relação a regas regulares.

2.3 COMPONENTES

A composição de um telhado verde consiste em várias camadas, e pode variar conforme necessidade ou função. As camadas básicas que o compõe são as seguintes: vegetação, meio de crescimento (substrato), filtro, camada de drenagem, camada anti-raiz e impermeabilização, conforme Figura 2.

FIGURA 2 - CAMADAS DO TELHADO VERDE



FONTE: A autora (2019).

2.3.1 Vegetação

A escolha da vegetação é de grande importância no processo de construção do telhado verde, e esta pode determinar o sucesso ou insucesso da implantação. É necessário verificar qual o clima da região onde o telhado verde será implantado, bem como insolação, vento e precipitação. Desta forma, será possível verificar se o local atende às necessidades da espécie que se pretende plantar (FLL GUIDELINE, 2012).

A escolha da espécie depende do objetivo que se pretende alcançar. Nos casos onde se pretende melhorar a retenção de águas pluviais, são indicadas espécies de metabolismo CAM (metabolismo ácido das crassuláceas), que armazenam água em suas folhas. A arquitetura da planta também pode influenciar, pois o tamanho da folha, forma e

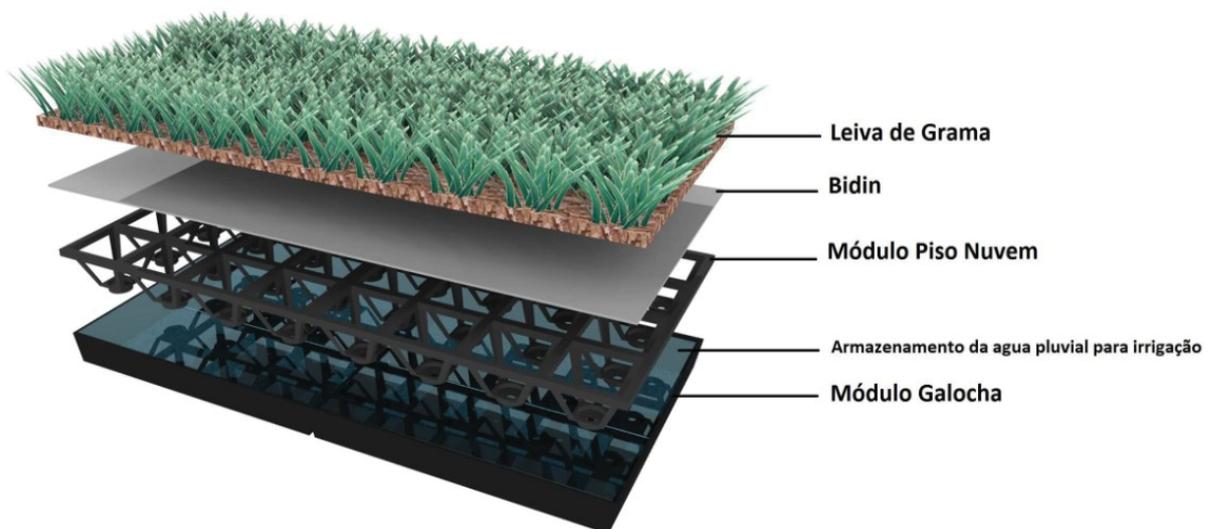
cobertura podem afetar o desempenho do telhado verde e sua tolerância à seca, vento, luz, sombra e poluentes. As variações no clima, como incidência de luz solar, temperatura e padrões de precipitação também podem afetar a duração e época das estações de crescimento (GRO, 2014).

2.3.2 Substrato

De acordo com o GRO (2014), o meio de crescimento é um substrato projetado com uma proporção específica de matéria orgânica e inorgânica para enraizamento das plantas de modo a fornecê-las ar, água e níveis de nutrientes necessários para sobrevivência.

Porém, existem formas diferenciadas de cultivo, como por exemplo o sistema hidromodular Ecotelhado® (Figura 3), que usa uma placa de plástico reciclado que reserva água, e quando utilizado com grama, não necessita de substrato, sendo considerado um sistema semi-hidropônico.

FIGURA 3 - SISTEMA HIDROMODULAR ECOTELHADO



FONTE: Ecotelhado (2019a).

2.3.3 Filtro

O filtro tem como objetivo evitar que sedimentos sejam infiltrados na camada de drenagem e obstruam o fluxo de escoamento da água (GRO, 2014).

O material normalmente utilizado para este fim é a manta geotêxtil, comumente conhecido como *bidim*, devido a marca Bidim® ter se tornado referência no mercado. Geotêxteis não tecidos são mantas sintéticas permeáveis, fabricados pelo sistema de agulhagem, resistentes à tração, puncionamento e agentes químicos (DIPROTEC, 2019).

FIGURA 4 - MANTA GEOTÊXTEL BIDIM



FONTE: Bidim (2019).

2.3.4 Camada de drenagem

Para funcionar corretamente, a camada de drenagem deve permitir o escoamento do excesso de água, evitando assim o acúmulo de água no substrato. As camadas de drenagem também podem incorporar células de armazenamento de água para reter água adicional que pode ser difundida para a camada de suporte da planta durante períodos secos prolongados (FLL GUIDELINE, 2012).

Pode ser constituída de diferentes materiais e técnicas. Um dos materiais mais utilizados para drenagem é a argila expandida, que é um material cerâmico leve com um núcleo alveolar produzido pela queima de argila natural em um forno rotativo. É muito utilizado por ser um material leve, com alta permeabilidade e durabilidade, além de possuir também boas características para isolamento térmico e acústico.

Atualmente, existem diversos sistemas de drenagem no mercado, sendo que alguns já possuem a drenagem e o filtro no mesmo produto (Figura 5) ou também que possuem a função de armazenar água (Figura 6), ajudando a diminuir o estresse hídrico da vegetação em períodos de seca.

FIGURA 5 - GEOCOMPOSTO DRENANTE - DIPROTEC



FONTE: A autora (2019).

FIGURA 6 - SISTEMA ALVEOLAR LEVE - ECOTELHADO



FONTE: Ecotelhado (2019b).

2.3.5 Camada anti-raiz e camada de retenção

A camada anti-raiz é uma membrana que protege permanentemente a cobertura do telhado, impedindo que as raízes das plantas cresçam através dele, auxiliando também na proteção da impermeabilização. Pode tomar a forma de uma membrana independente ou uma versão que também possui função de proteger e auxiliar na impermeabilização, como a manta geotêxtil, que garante que a retenção ou proteção da umidade continue funcionando durante toda a vida útil do telhado (GRO, 2014).

2.4 BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES

Os telhados verdes oferecem diversas vantagens para a população, pois beneficiam o ambiente de forma geral através do seu impacto positivo na sustentabilidade e biodiversidade, além de proporcionar novos espaços de convívio com a natureza em meio às edificações.

2.4.1 Gestão de águas pluviais

A construção de superfícies impermeáveis, como estradas ou edifícios ocupam o lugar de espaços que antes eram permeáveis. Quando ocorrem precipitações em superfícies impermeáveis, estas são direcionadas para os sistemas de drenagem e rios. Quando ocorrem precipitações com grande intensidade e tempo prolongado, os sistemas de drenagem podem ficar sobrecarregados, ocasionando inundações. Desta forma, os telhados verdes podem contribuir com a gestão de águas pluviais, pois parte da água fica retida nas folhas, substrato e sistema de drenagem, evitando que todo o volume de água seja direcionado para os sistemas de drenagem e rios.

Ao absorver a água da chuva, um número considerável de sistemas de telhado verde bem projetados podem permitir que o sistema de águas pluviais funcione sem transbordar para o sistema de esgoto (CANTOR, 2008).

2.4.2 Mitigação de ilhas de calor

A formação de ilhas de calor ocorre por conta do calor do sol que é absorvido pelas superfícies impermeáveis na cidade durante o dia irradiado durante a noite, criando um microclima mais quente na cidade. Portanto, as temperaturas urbanas são muitas vezes maiores que as dos espaços vegetados que as circundam, o que pode levar a uma maior demanda de energia para resfriar os ambientes construídos durante a noite (GRO, 2014).

As temperaturas do ar são menores em espaços vegetados devido ao processo de evapotranspiração, em que ocorre a perda de água do solo por evaporação e da

planta por transpiração. Este processo faz com que a umidade seja devolvida ao ambiente, resfriando-o.

Desta forma, o telhado verde cria um efeito de resfriamento do ar circundante, levando a uma redução do efeito de ilha de calor urbana.

2.4.3 Isolamento térmico e acústico

O sistema de implantação de um telhado verde pode proporcionar isolamento térmico e acústico, pois o sistema possui propriedades isolantes devido à sua espessura, que ocasiona resistência à transmissão de calor e age como uma barreira acústica, reduzindo o volume de sons externos ao edifício. Com o controle da temperatura externa é possível evitar o uso de aparelhos de ar condicionado para resfriamento ou aquecimento do ambiente interno, evitando assim o gasto energético (CANTOR, 2008).

2.4.4 Melhora na qualidade do ar e da água

É amplamente reconhecido que os telhados verdes desempenham um papel positivo na melhoria da qualidade do ar e da água. No processo da fotossíntese, as plantas absorvem dióxido de carbono da atmosfera e liberam oxigênio de volta. Além disso, a vegetação também filtra as partículas transportadas pelo ar à medida que o ar passa sobre as plantas, fixando-se nas folhas e caules, melhorando assim a qualidade do ar. A qualidade da água também é beneficiada por este processo, pois estas partículas fixadas nos caules e folhas são levadas para o substrato por meio de chuvas naturais ou irrigação. Desta forma, são mantidas no interior do substrato, evitando a inserção nos cursos de água (GRO, 2014).

2.4.5 Biodiversidade

A criação de novos habitats de vida selvagem em ambientes urbanos ou recriar habitats que foram perdidos durante o desenvolvimento da cidade podem ser proporcionados pela implantação de telhados verdes. O tipo de sistema escolhido pode

ser projetado para fornecer um habitat para atrair diferentes espécies de insetos, basta escolher a planta indicada para o fim desejado.

Telhados verdes extensivos, que normalmente são projetados para que não haja tráfego de pessoas, podem oferecer bom habitat para plantas, pássaros e insetos. Desta forma, são capazes de criar um "corredor verde" através de um ambiente urbano, ajudando o movimento e a dispersão da vida selvagem, conectando a população à natureza (GRO, 2014).

Já os telhados verdes intensivos podem auxiliar no contato direto com a natureza. Além da criação de um terraço jardim, onde é possível interagir diretamente com as plantas e insetos, a possibilidade de diversidade de espécies é ainda maior, pois a camada mais espessa de substrato proporciona o plantio de espécies de maior porte.

2.5 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE CURITIBA

O estudo da classificação climática de Curitiba é importante para compreensão dos resultados observados após a coleta de dados do experimento, pois as condições climatológicas influenciam diretamente no desempenho de telhados verdes.

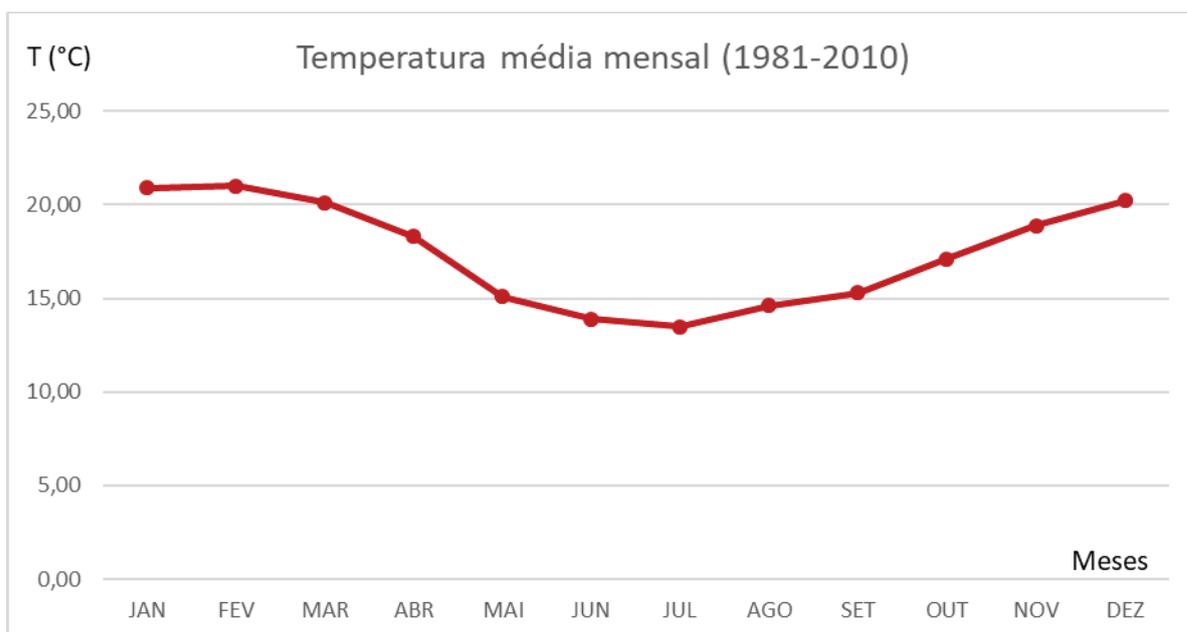
O clima de Curitiba caracteriza-se como Cfb de acordo com a classificação climática de Köpper Geiger (IAPAR, 2019). Esta classificação divide os climas em 5 grandes grupos ("A", "B", "C", "D", "E") e diversos tipos e subtipos. Cada clima é representado por um conjunto variável de letras (com 2 ou 3 caracteres) com a seguinte significação sendo que a primeira letra denota a característica geral do clima de uma região, constituindo o indicador do grupo climático. A segunda letra estabelece o tipo de clima dentro do grupo, e denota as particularidades do regime pluviométrico, isto é, a quantidade e distribuição da precipitação. Já a terceira letra denota a temperatura média mensal do ar dos meses mais quentes (AYOADE, 2015).

Sendo assim, Curitiba possui clima temperado, onde a temperatura média do ar dos 3 meses mais frios fica compreendida entre -3°C e 18°C e a temperatura média do mês mais quente é maior que 10°C , tendo as estações de verão e inverno bem definidas. O clima é considerado úmido e há ocorrência de chuva em todos os meses do ano, ocorrendo inexistência de estação seca. No mês mais quente, a temperatura média do ar costuma ser maior que 22°C , porém, nos quatro meses mais quentes há uma

variação maior, sendo que a temperatura média passa ser maior que 10°C, caracterizando assim como verão temperado (PORTAL UFG, 2016).

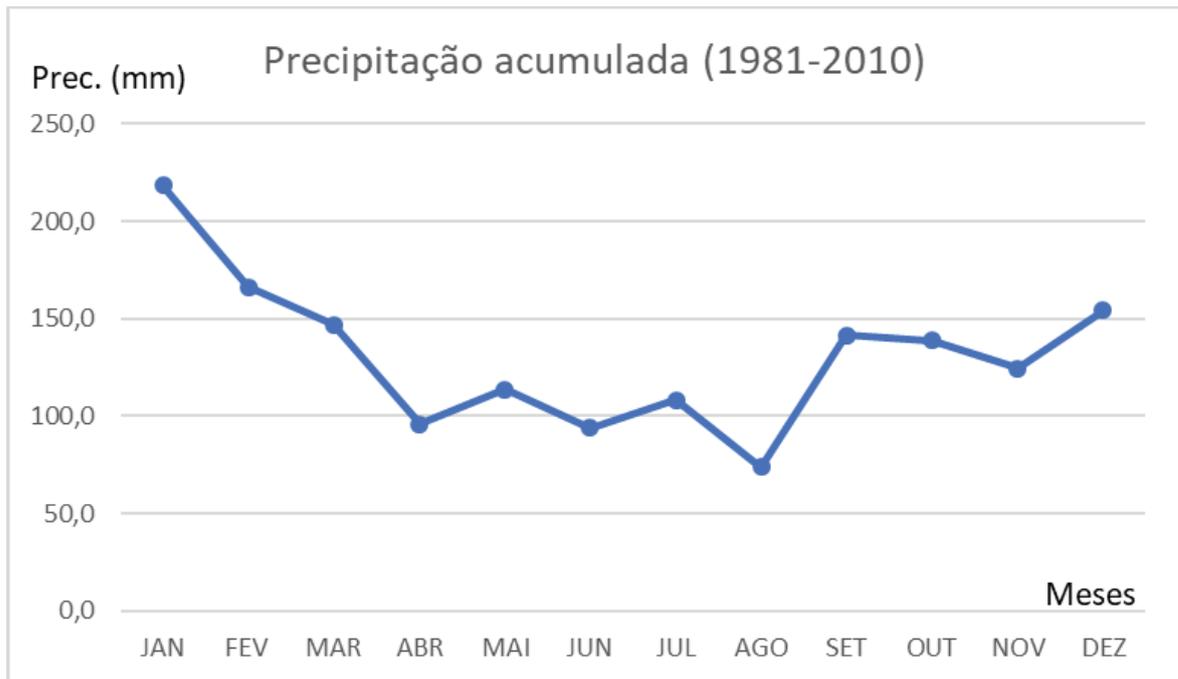
As normais climatológicas de temperatura média e precipitação acumulada podem ser observadas nos Gráficos 1 e 2. De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM) as normais climatológicas são valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas. As normais climatológicas de 1981-2010 são as mais recentes, consideradas normais de referência e utilizadas como parâmetro até os dias de hoje (INMET, 2019).

GRÁFICO 1 - NORMAIS DE TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DE 1981-2010



FONTE: INMET (2019).

GRÁFICO 2 - NORMAIS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA MENSAL DE 1981-2010



FONTE: INMET (2019).

Em relação a temperatura, junho e julho são os meses mais frios e janeiro e fevereiro são os meses mais quentes. Sobre a precipitação há bastante variação, mas é possível notar maior acumulação nos meses de janeiro e fevereiro e menor no mês de agosto.

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Esta pesquisa possui caráter exploratório, pois busca construir hipóteses a partir de um recorte de espaço e tempo. Sendo assim, propõe explorar o efeito que a espessura da camada de substrato pode surtir no desempenho de telhados verdes em relação à retenção de águas pluviais, controle de temperatura e grau de cobertura vegetal de suculentas herbáceas na cidade de Curitiba – PR.

Para alcance do objetivo proposto, foram conduzidos dois estudos distintos, sendo um experimento e um estudo de caso.

O experimento consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (GIL, 2002). Deste modo, foi conduzido um experimento com protótipos de telhado verde em que foram analisadas as variáveis de temperatura superficial, retenção de águas pluviais e grau de cobertura vegetal.

Já o estudo de caso avalia o comportamento de um telhado verde existente, portanto explora situações da vida real, preservando o caráter unitário do objeto estudado, o que o caracteriza como tal (YIN, 2014).

3.1.1 Unidade de análise

Considerando que o objetivo da pesquisa foi explorar o efeito que a espessura da camada de substrato pode surtir no desempenho de telhados verdes em relação às variáveis já mencionadas, a unidade de análise é variação que a espessura da camada de substrato produz no desempenho de telhados verdes.

3.1.2 Delimitação do trabalho

A execução de um experimento e um estudo de caso permitiu analisar o objeto de estudo de formas distintas, pois o primeiro foi realizado com protótipos e o outro foi conduzido em um terraço verde sobre laje existente.

O experimento consistiu na construção de seis protótipos de telhado verde, sendo três repetições de telhado verde intensivo e três repetições de telhado verde extensivo, todos com o mesmo tipo de substrato e espécie de planta, apenas variando a espessura da camada de substrato.

As variáveis analisadas foram:

- 1) Temperatura superficial (superior e inferior). A medição foi efetuada com o uso de termopares do tipo K fixados nas partes superior e inferior dos protótipos, conectados a um *datalogger*. Neste caso, as medidas foram comparadas à temperatura do ar, através de dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).
- 2) Capacidade de escoamento e retenção de águas pluviais através de leitura de galões do tipo pet graduados, sendo as medições também comparadas com os dados de precipitação do INMET.
- 3) Verificação do grau de cobertura vegetal. Esta análise foi feita mediante observação, registro fotográfico e rastreamento de imagens através do software *ImageJ*®.

O estudo de caso foi realizado em um terraço verde existente. Foi feita a comparação entre um canteiro com telhado verde intensivo, um extensivo e a mesma área de laje.

As variáveis analisadas foram:

- 1) Temperatura da camada de substrato: foi utilizado sensor do tipo DS18D20 enterrado na camada de substrato a sete centímetros de profundidade.
- 2) Temperatura do ar interna: a medição foi feita através de um sensor de temperatura do tipo DHT11 que foi instalado nos ambientes localizados abaixo do terraço verde, sendo que cada canteiro estava em um ambiente diferente e cada ambiente possuía a mesma área, um coberto apenas com laje, outro com um telhado verde intensivo e outro com um telhado verde extensivo.

- 3) Retenção de águas pluviais: foi instalado um sensor capacitivo de umidade do tipo CS12 que mediu a massa de água retida no solo. Para extração do percentual de retenção, foi utilizado pluviômetro do tipo caçamba ou balança – modelo MS-WH-SP-RG para comparação com a quantidade de precipitação ocorrida.
- 4) Atraso de pico: foram instalados sensores de chuva do tipo resistivo (modelo FC-37) tanto em cima quanto embaixo dos módulos, com o intuito de calcular o atraso de pico, que nada mais é que a diferença de tempo entre o instante em que começou a chover e o momento em que a água começa a escoar através do ralo.

Foi alterada apenas a variável de espessura da camada de substrato, sendo mantidas todas as outras variáveis iguais (tipo de substrato, impermeabilização, camada anti-raiz, drenagem e vegetação), para que não houvesse influência nas medições.

3.1.3 Justificativa da escolha a partir do objetivo

Para confrontar a visão teórica com os dados da realidade, torna-se necessário traçar um modelo conceitual e operativo de pesquisa, denominado delineamento. O delineamento refere-se ao planejamento da pesquisa e considera o ambiente em que são coletados os dados e as formas de controle das variáveis envolvidas. O procedimento adotado para a coleta de dados é que irá definir o delineamento da pesquisa (GIL, 2002).

Esta pesquisa segue dois delineamentos distintos, pois o objetivo da pesquisa permitiu que fossem seguidas duas estratégias, uma com a simulação através da execução de um experimento, e outra a partir da observação de uma situação real, caracterizando um estudo de caso.

Gil (2002) afirma que a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Sendo assim, determinado o objeto de estudo (telhado verde intensivo), selecionadas as variáveis capazes de influenciá-lo (temperatura superficial, temperatura do ar interna,

escoamento, atraso de pico e grau de cobertura vegetal) e definidas as formas de controle e de observação.

De acordo com Yin (2014), o estudo de caso é escolhido quando são analisados acontecimentos contemporâneos, em que não se pode manipular comportamentos e nem permite a replicação do estudo. Como a observação foi feita em um terraço verde existente, não foi possível manipular o comportamento dos usuários. Além disso, trata-se de um caso real e único, em que não há possibilidade de replicar o estudo.

3.1.4 Testes de validade

A validade da pesquisa foi assegurada através da montagem correta dos protótipos e organização dos ensaios, sendo assim permitida a correlação adequada para obtenção e análise dos dados. A execução do experimento seguiu a sequência correta descrita no protocolo de dados, sendo apresentada através de registros fotográficos e relatórios construídos ao longo da pesquisa, propiciando legibilidade na análise de dados.

Os protótipos foram instalados lado a lado e construídos com mesma área, de modo a garantir as mesmas condições ambientais para todos. Além disso, foi alterada apenas a variável de espessura da camada de substrato, sendo mantidas todas as outras variáveis iguais, para que não houvesse influência nas medições.

Tanto no experimento, quanto no estudo de caso, não foi avaliada a influência do tipo de substrato, visto que o objetivo da pesquisa é determinar a influência da espessura da camada. Também não foi avaliada a qualidade da água escoada.

3.2 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados desta pesquisa foi feita da seguinte forma:

- 1) Revisão bibliográfica: fundamentação teórica que tem como objetivo construir embasamento para a pesquisa. Inicialmente, foi estudado o contexto histórico de telhados verdes, com o intuito de compreender como surgiu esta técnica. Após contextualização, foi descrita a classificação de

telhados verdes, bem como seus componentes e benefícios da sua utilização.

- 2) Estado da arte: elaboração de artigo de revisão apresentado no capítulo quatro, em que foi feita uma seleção de artigos com a intenção de explorar o que foi estudado sobre o assunto e levantar dados que demonstrem se telhados verdes intensivos possuem desempenho superior aos extensivos em relação as variáveis definidas.
- 3) Definição do método de pesquisa: foram determinados o método experimental - por meio de um experimento com protótipos de telhado verde, e o estudo de caso - através da observação de um terraço verde existente.
- 4) Montagem do experimento: montagem de seis protótipos de telhado verde, sendo três extensivos e três intensivos, variando apenas a espessura da camada de substrato, sendo estas de 10 cm e 46 cm, respectivamente. O relato da condução e resultados alcançados a partir deste experimento pode ser visualizado no capítulo cinco.
- 5) Estudo de caso: organização de sensores e delimitação de espaço para observação e coleta de dados das variáveis determinadas para análise do comportamento do aumento da camada de substrato em um terraço verde existente. O relato da condução do estudo de caso e resultados alcançados podem ser visualizados no capítulo seis.
- 6) Coleta de dados: acompanhamento de medições registradas em planilhas e relatório fotográfico para posterior comparação dos resultados.
- 7) Análise dos resultados: após coleta foi feita a análise dos resultados encontrados, gerando gráficos e Quadros que possibilitaram a comparação entre os resultados.

3.3 MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS

De acordo com Robson (2002), a análise de dados quantitativos é dividida em dois tipos: exploratória e confirmatória. A análise exploratória explora os dados,

tentando encontrar o que eles estão dizendo. Já a confirmatória, procura estabelecer se realmente foi encontrado o que se esperava.

Nesta pesquisa, foram abordados os dois métodos, pois o confirmatório confirma um dado já encontrado anteriormente por outros pesquisadores, levando em consideração que já existem estudos que comprovem o desempenho superior dos telhados verdes intensivos em relação as variáveis analisadas. Porém, como não foram encontrados estudos relacionados ao tema no Brasil, o método de análise exploratório propõe explorar o comportamento das variáveis para o clima de Curitiba, pois sabe-se que o clima influencia diretamente no desempenho de telhados verdes.

Os protótipos foram observados, os dados coletados e lançados em planilhas para a geração de gráficos e Quadros, que após montadas deram a possibilidade de análise comparativa para o estabelecimento das conclusões.

4 TEMPERATURA E ESCOAMENTO EM TELHADOS VERDES INTENSIVOS: UMA REVISÃO

III Encuentro Latinoamericano y Europeo sobre
Edificaciones y Comunidades Sostenibles



[VOLVER AL ÍNDICE](#)

TEMPERATURA E ESCOAMENTO EM TELHADOS VERDES INTENSIVOS UMA REVISÃO

Thamille Casagrande (thamille.casagrande@gmail.com); Lee Ha Guae Neto (oguae@gmail.com); Rachel Miller (mmiller.rach@gmail.com); Ana Clara Campos Fonseca (anafonseca98@gmail.com); Mariana Grassi Noya (mariana.noya@pucpr.br); Sérgio Fernando Tavares (sergioftavares@gmail.com)

Universidade Federal do Paraná - Curso de Arquitetura e Urbanismo (UFPR - CAU)- Brazil

Universidade Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (UFPR - PPGECC) - Brazil

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Escola de Ciências da Vida, Curso de Agronomia (PUC/PR - ECV) - Brazil

Palavras chave: telhados verdes, telhados verdes intensivos, controle de temperatura, escoamento superficial, retenção de águas pluviais.

O uso de telhados verdes vem sendo cada vez mais explorado por pesquisadores, ficando comprovado os diversos benefícios que os mesmos podem desempenhar para aliviar os problemas ambientais urbanos associados principalmente a ilhas de calor e escoamento de águas pluviais. A maioria dos estudos concentra-se no uso de telhados verdes extensivos, pois estes apresentam menor carga exercida sobre a cobertura e menores custos de instalação e manutenção. Sendo assim, pesquisas aprofundadas no uso de telhados verdes intensivos foram menos exploradas, não sendo disseminados os benefícios da implantação desta técnica. Apesar de existirem maiores dificuldades para a implantação de telhados verdes intensivos, a literatura demonstra maiores benefícios na utilização deste método, principalmente relacionados a absorção de águas pluviais e controle de temperatura. Esta revisão sistemática de literatura busca levantar os estudos existentes sobre o assunto com a intenção de demonstrar os benefícios proporcionados pelo uso de telhados verdes intensivos em termos de controle de temperatura e retenção de águas pluviais. Pesquisas nas bases de dados Science Direct, Portal de Periódicos da Capes, Google Acadêmico e SciELO resultaram em um total de 15 estudos selecionados, sendo estes apenas em inglês, pois não foram encontrados estudos referentes ao assunto em português. A partir destes, verifica-se a minoria de estudos voltados para o uso de telhados verde intensivos, sendo que os poucos encontrados demonstram um melhor desempenho no uso desta técnica, deixando clara a necessidade de novas pesquisas sobre o assunto, aumentando assim a gama de evidências e validade das pesquisas existentes.

1. INTRODUÇÃO

O uso de telhados verdes vem sendo explorado tanto em estudos através da comunidade acadêmica, quanto na utilização da técnica em edifícios já existentes ou novos, pois oferecem uma gama de benefícios ambientais, econômicos e sociais. Benefícios comprovados incluem a redução de diversos problemas ambientais como: ilhas de calor, poluição do ar, consumo de energia do edifício, escoamento de águas pluviais, bem como a extensão do tempo de vida dos materiais que compõe o telhado (Francis; Jensen, 2017).

Apesar de existir um corpo significativo de pesquisas sobre o tópico, grande parte dos estudos abordam o uso de telhados verdes extensivos, pois estes apresentam menores dificuldades de implantação por possuírem custo, peso e manutenção mais baixa. Desta forma, menos interesse tem sido demonstrado pelo estudo de telhados verdes intensivos,

mas Jim e Tsang (2011) afirmam que esta técnica merece mais atenção devido aos benefícios superiores que podem apresentar.

Diversas pesquisas apontam que telhados verdes intensivos possuem melhor desempenho em relação a retenção do escoamento de águas pluviais e redução da temperatura superficial. Mentis et. al (2006) afirmam que a redução do escoamento superficial anual é fortemente determinada pela profundidade da camada do substrato, sendo que esta é maior em telhados intensivos. Jim e Tsang (2011) avaliaram o desempenho de um telhado verde intensivo em termos de redução de temperatura superficial através de um experimento realizado no terraço de um edifício em Hong Kong e afirmaram que telhados verdes intensivos também possuem excelente performance no controle de temperatura superficial.

Desta forma, esta revisão sistemática busca encontrar referências que explorem o uso de telhados verdes intensivos, de modo a avaliar se a eficácia deste sistema é superior aos demais existentes em termos de controle de temperatura e retenção do escoamento de águas pluviais.

2. OBJETIVO

Esta revisão sistemática de literatura tem como objetivo a exploração de estudos que analisem o uso de telhados verdes intensivos, buscando encontrar evidências que comprovem o desempenho superior deste sistema em relação aos telhados verdes extensivos, sendo analisadas as variáveis de temperatura e escoamento superficial.

3. METODOLOGIA

Este estudo de revisão sistemática de literatura seguiu as recomendações *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* - PRISMA (Liberati et al., 2009). Este método apresenta um fluxograma que permite identificar como a pesquisa foi realizada definindo o número de estudos encontrados e selecionados além da disponibilização de um *checklist* para guiar a pesquisa conforme critérios definidos pelo mesmo. Estes critérios foram utilizados para a condução desta pesquisa e serão abordados a seguir.

3.1. Critérios de elegibilidade

Para a seleção de trabalhos, buscou-se pesquisas que tratassem do desempenho de telhados verdes intensivos em termos de controle de temperatura e capacidade de retenção de águas pluviais. Artigos que tratassem destas condicionantes, mas que não se enquadravam como telhados verdes intensivos de acordo com os critérios estabelecidos foram descartados.

Para esta revisão, discute-se o seguinte problema: telhados verdes intensivos podem desempenhar melhores resultados em relação a telhados verdes extensivos em termos de controle de temperatura e retenção de águas pluviais?

Para responder à pergunta de pesquisa buscou-se selecionar a maior variedade e quantidade possível de estudos. Para seleção, os materiais foram divididos entre os dois tópicos que abrangem o assunto: controle de tempera e retenção de águas pluviais.

3.2. Fontes de informação e busca

Para definição de palavras-chave e base de dados para pesquisa, foi utilizado um método de extração de dados conforme detalhado pelo professor Aldo Fontes-Pereira (Fontes-Pereira, 2017). Foi realizada uma busca com a união de palavras-chave em inglês e português, buscando determinar o panorama do assunto tanto no exterior, quanto no Brasil. A base de dados utilizada para a extração de palavras-chave foi o Google Acadêmico. Para a pesquisa de dados em inglês, foi realizada a busca com as seguintes palavras: "*intensive*

green roof AND *rainwater runoff* OR *temperature*", utilizando o uso de aspas para fechamento da palavra-chave e ainda o uso das conjunções *and* e *or* para que a busca encontrasse um ou outro assunto relacionado a telhados verdes intensivos. Foram escolhidos os cinco artigos mais relevantes sobre o tema e extraídas destes as palavras-chave, definindo quantas vezes cada palavra se repetiu e em qual base de dados foram encontradas. A partir desta busca, as palavras com maior número de aparições foram: *green roof*; *intensive green roof*; *rainwater runoff* e *thermal insulation*. A base de dados com maior aparição foi o *Science Direct*. Desta forma, foram definidos os seguintes termos para busca em inglês: "*intensive green roof*" AND "*rainwater runoff*" para encontrar artigos que tratassem de telhados verdes intensivos e o seu desempenho em relação a retenção do escoamento de águas pluviais, e "*intensive green roof*" AND "*thermal insulation*" para encontrar artigos que tratem do controle de temperatura. Da mesma forma, a busca foi realizada também em português, utilizando as palavras "telhados verdes intensivos" E "águas pluviais" OU "temperatura". Foram encontrados 51 resultados, porém, todos os estudos tratavam de telhados verdes extensivos. Desta forma, foi definida que a busca para artigos em português contemplaria apenas as palavras "telhados verdes intensivos".

As bases de dados para as buscas em inglês foram o *Science Direct* e o *Portal de Periódicos da Capes*. Já para a pesquisa em português, foram utilizadas as bases de dados *SciELO* e *Portal de Periódicos da Capes*. As buscas foram realizadas entre os meses Junho e Julho de 2018, sendo a última pesquisa realizada no dia 31 de Julho de 2018.

As buscas em português não obtiveram êxito, não sendo encontrado nenhum estudo no Brasil nas bases de dados pesquisadas. Quando utilizada a palavra-chave "telhados verdes intensivos" no *Google Acadêmico*, foram encontrados 66 resultados, porém todos tratavam de telhados verdes extensivos. Já no *SciELO*, com esta mesma palavra-chave não houve nenhum resultado, sendo então utilizadas as palavras-chave "telhado verde" e "cobertura verde", resultando em 26 estudos encontrados, porém nenhum tratava de telhados verdes intensivos. No *Portal de Periódico da Capes* também não houve resultado com a utilização da palavra-chave "telhados verdes intensivos", sendo assim também utilizadas as palavras "telhado verde" e "cobertura verde", totalizando em 55 resultados, sendo que todos tratavam de telhados verdes extensivos. Sendo assim, foi realizada uma busca nos periódicos publicados na *Revista Ambiente Construído (ANTAC)* de 1997 a 2018. Verificou-se apenas quatro artigos sobre telhados verdes, sendo todos sobre telhados verdes extensivos. Além desta busca, também foram feitas buscas nos artigos publicados no *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC)* de 2000 a 2016, onde foram encontrados 19 artigos sobre telhados verdes, sendo que dez eram sobre telhados verdes extensivos e nove sem especificidade da técnica, sendo tratada de forma geral. Desta forma, nesta revisão sistemática de literatura serão utilizados apenas estudos em inglês.

3.3. Seleção de estudos

Foi realizada uma seleção prévia dos estudos a partir da leitura do título e resumo para cada plataforma de busca. A partir desta pré-seleção foram excluídos trabalhos repetidos ou ainda os que não foram possíveis de serem obtidos pelo endereço eletrônico de divulgação. Após leitura completa dos estudos pré-selecionados, foram excluídos os trabalhos que não atenderam aos critérios de elegibilidade. Optou-se apenas pela inclusão de artigos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Materiais selecionados

Obteve-se um total de 64 estudos selecionados a partir da busca descrita na metodologia. Além desta seleção, foram adicionados mais três artigos encontrados na literatura cinzenta, encontrados por buscas no *Google Acadêmico* e *Research Gate*. Destes 67, 40 artigos eram

repetidos e foram então excluídos, resultando em 27 artigos a serem analisados. Em um terceiro momento foi feita a leitura em partes destes artigos restantes e foram excluídos então os que não atendiam aos critérios de elegibilidade, restando assim 17 artigos. Após leitura completa foram excluídos mais três artigos que não contemplavam as informações necessárias para composição desta revisão, resultando então em 14 artigos que compõe esta revisão sistemática de literatura. O fluxograma que demonstra esta seleção está ilustrado na figura 1.

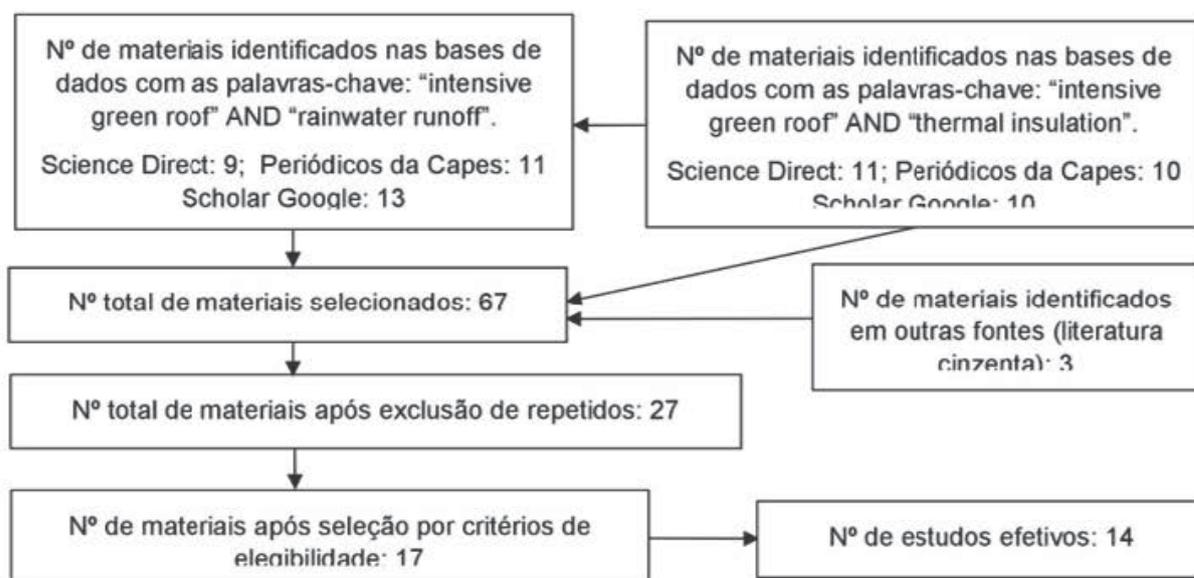


Figura 54. Fluxograma de seleção de materiais (Fonte: os autores, 2018).

Para análise dos resultados, os artigos selecionados foram divididos de acordo com a variável analisada em cada um. Esta divisão pode ser verificada conforme tabela 1, que demonstra os artigos selecionados por assunto.

Tabela 1. Estudos identificados com análise referente ao comportamento térmico e hidrológico de telhados verdes intensivos (cont.)

Título	Referência
Thermal-cooling performance of subtropical green roof with deep substrate and woodland vegetation	Lee e Jim (2018)
Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study	Morakinyo et. al (2017)
Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems	Scharf e Zluwa (2017)
Green roofs energy performance in Mediterranean climate	Silva et. al (2016)
Thermal insulation and cost effectiveness of green-roof systems: An empirical study in Hong Kong	Tam et. al (2016)
Simulation of the Thermal Behaviour of a Building Retrofitted with a Green Roof: Optimization of Energy Efficiency with Reference to Italian Climatic Zones	Gargari et. al (2016)
An investigation into the thermophysical properties and energy dynamics of an intensive green roof	Darkwa et. al (2013)
Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof	Jim e Tsang (2011)
Estudos identificados com análise referente ao comportamento hidrológico de telhados verdes intensivos	
Modelling green roof stormwater response for different soil depths	Castiglia et. al

	(2016)
Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate	Beecham e Razzaghmanesh (2015)
The hydrological behaviour of extensive and intensive green roofs in a dry climate	Razzaghmanesh e Beecham (2014)
Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof	Speak et. al (2013)
Green Roof Storm Water Retention-Monitoring Results	Uhl e Schiedt (2008)
Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?	Mentes et. al (2006)

4.2. Comportamento hidrológico de telhados verdes intensivos

De modo geral, o comportamento hidrológico de telhados verdes diz respeito a quantidade e qualidade das águas escoadas, porém, esta revisão abordará apenas estudos que contemplem o comportamento de telhados verdes intensivos em relação a quantidade de água escoada, abordando estudos que contemplem o percentual de retenção de escoamento, sendo este um dos benefícios proporcionados pelo uso de telhados verdes. Isso se deve ao fato da capacidade de armazenamento de água pelo sistema. Parte da água é armazenada no solo e devolvida para a atmosfera por evaporação e transpiração, sendo que a evaporação ocorre através do solo e a transpiração através das plantas. Este processo é chamado de evapotranspiração.

A seleção para este tópico é dividida entre estudos que contemplam a análise da retenção do escoamento de águas pluviais de telhados verdes intensivos por experimento, simulação computadorizada ou revisão, conforme tabela 2.

Tabela 2. Identificação dos estudos encontrados separados por método de avaliação (Fonte: os autores, 2018).

Estudos realizados por meio de experimento para avaliação do comportamento hidrológico de TV					
Autores	Nº eventos	Período aval.	Distinção do telhado	Perc. retenção	Localiz.
Beecham e Razzaghmanesh (2015)	5	1,5 anos	TV1: cv, i=1°, ext. (h sub. = 10 cm)	79,62%	Adelaide Austrália
			TV2: cv, i=25°, ext. (h sub. = 10 cm)	78,13%	
			TV3: cv, i=1°, int. (h sub. = 30 cm)	89,66%	
			TV4: cv, i=25°, int. (h sub. = 30 cm)	82,96%	
			TV5: sv, i=1°, ext. (h sub. = 10 cm)	63,74%	
			TV6: sv, i=25°, ext. (h sub. = 10 cm)	65,12%	
			TV7: sv, i=1°, int. (h sub. = 30cm)	67,66%	
			TV8: sv, i=25°, int. (h sub. = 30cm)	67,55%	
Razzaghmanesh e Beecham (2014)	226	2 anos	TV1: extensivo com substrato tipo A	81,66%	Adelaide Austrália
			TV2: extensivo com substrato tipo B	66,38%	
			TV3: intensivo com substrato tipo A	92,19%	
			TV4: intensivo com substrato tipo B	85,05%	
Speak et. al (2013)	254	1 ano	TV: intensivo (h substrato = 17 cm)	65,70%	Manchester Inglaterra
			Laje de concreto impermeabilizada	33,60%	
Uhl e Schiedt (2008)	---	2 anos	TV1: i=0%, ext., sub. M (h sub.=5cm)	67,00%	Münster, Alemanha
			TV2: i=0%, ext., sub. M (h sub.=8cm)	67,00%	
			TV3: i=0%, ext., sub. E (h sub.=10cm)	69,00%	
			TV4: i=0%, ext., sub. E (h sub.=15cm)	73,00%	
			TV5: i=0%, int., sub. I (h sub.=25 cm)	80,00%	
			TV6: i=0%, int., sub. I (h sub.=35 cm)	81,00%	
Estudo realizado por meio de revisão para avaliação do comportamento hidrológico de TV					
Autores	Nº estudos selecionados	Nº dados coletados	Distinção do telhado	Média h. sub.	Perc. retenção
Mentes et. al (2006)	18	628	Telhado verde intensivo	21 cm	75%
			Telhado verde extensivo	10 cm	50%
			Telhado coberto com cascalho	5 cm	25%
			Telhado sem cobertura vegetal	---	19%
Estudo realizado por meio simulação computadorizada para avaliação do comportamento hidrológico de TV					
Autores	Cenários (mm/aaaa)	Nº de eventos	Distinção do telhado	Perc. retenção	Localiz.
Castiglia et. al (2016)	01) 06/2008 a 08/2008	60	TV1: i=0%, ext. (h sub. = 5 cm)	26%	Auckland, Nova Zelândia
			TV2: i=0%, ext. (h sub. = 10cm)	27%	
			TV3: i=0%, ext. (h sub. = 20cm)	29%	

Tabela 2. Identificação dos estudos encontrados separados por método de avaliação (cont.)

Estudo realizado por meio simulação computadorizada para avaliação do comportamento hidrológico de TV					
Autores	Cenários (mm/aaaa)	Nº de eventos	Distinção do telhado	Perc. retenção	Localiz.
Castiglia et. al (2016)	01)06/2008 a 08/2008	60	TV4: i=0%, int. (h sub. = 40 cm)	33%	Auckland, Nova Zelândia
			TV5: i=0%, int. (h sub. = 80 cm)	40%	
			TV6: i=0%, int. (h sub. = 160 cm)	54%	
	02) 05/2010 a 07/2010	47	TV1: i=0%, ext. (h sub. = 5 cm)	26%	
			TV2: i=0%, ext. (h sub. = 10 cm)	27%	
			TV3: i=0%, ext. (h sub. = 20 cm)	30%	
			TV4: i=0%, int. (h sub. = 40 cm)	35%	
			TV5: i=0%, int. (h sub. = 80 cm)	44%	
			TV6: i=0%, int. (h sub. = 160 cm)	62%	
	03) 07/2012 a 09/2012	67	TV1: i=0%, ext. (h sub. = 5 cm)	32%	
			TV2: i=0%, ext. (h sub. = 10 cm)	34%	
			TV3: i=0%, ext. (h sub. = 20 cm)	37%	
			TV4: i=0%, int. (h sub. = 40 cm)	41%	
			TV5: i=0%, int. (h sub. = 80 cm)	49%	
			TV6: i=0%, int. (h sub. = 160 cm)	65%	

Obs.: TV = telhado verde; aval. = avaliação; perc. = percentual; localiz. = localização; cv = com vegetação; sv = sem vegetação; ext. = extensivo; int. = intensivo; h sub. = altura do substrato; sub. M/I/E = substrato tipo M/I/E.

A partir da revisão de artigos, nota-se a dificuldade de comparação entre os estudos, pois diversos são os fatores que influenciam no desempenho hidrológico de telhados verdes. Dentre os fatores externos, está o clima, a estação, o número de eventos e a intensidade das precipitações. Além disso, os fatores internos ao sistema também influenciam, como o tipo de substrato escolhido, a espécie da vegetação e inclinação do telhado.

É possível notar uma melhora no percentual de retenção de águas pluviais de telhados verdes intensivos em todos os dados coletados.

Beecham e Razzaghmanesh (2015) observam que os telhados verdes intensivos possuem melhor desempenho que extensivos, além de que os que possuíam vegetação obtiveram um desempenho melhor do que os que não possuíam.

Em um segundo experimento, Razzaghmanesh e Beecham (2014), também avaliam a diferença entre telhados verdes extensivos e intensivos, utilizando dois tipos diferentes de substratos, sendo o tipo A composto de tijolo triturado, escória, fibra de coco e compostos orgânicos compostados, enquanto o tipo B era composto de escória, casca de pinheiro compostada e flocos de hydrocell. É possível observar melhor desempenho nos telhados compostos pelo substrato do tipo A, sendo o intensivo o que possui maior retenção de águas pluviais. De acordo com os autores, esta diferença não é tão significativa, visto que os dois sistemas obtiveram ótimos resultados.

Speak et. al (2013) comparam o desempenho de um telhado verde intensivo de 43 anos de idade com uma laje de concreto e verificam também grande aumento no percentual de retenção de águas pluviais. A diferença média entre o telhado verde e a laje é de 65,7% para 33,6%, respectivamente. Os autores afirmam ainda que caso as coberturas do centro

de Manchester fossem substituídas por telhados verdes intensivos haveria um aumento de 2,3% na retenção anual do escoamento de águas pluviais.

Já Uhl e Schiedt (2008) realizam um experimento com a construção de 18 protótipos, havendo variação no tipo e altura do substrato, inclinação do telhado e área. Foi feita uma combinação de 3 tipos diferentes de substrato, sendo classificados em M, I e E. O tipo "M" é uma mistura de lava, pedra-pomes e ardósia expandida. O tipo "I" consiste em ardósia expandida, lava, pedra pomes, argila expandida, húmus de casca e composto de jardim. Já o tipo "E" possui a mesma composição que o "I", porém em diferentes proporções. Entre os protótipos foi utilizada uma variação na altura do substrato entre 5 e 35 cm, além de diferentes inclinações, sendo estas 0, 1,7 e 26,8%. Para esta revisão foram coletados apenas os dados que apresentaram maior percentual de retenção do escoamento superficial, sendo estes os protótipos sem inclinação. É possível observar grande diferença no percentual de retenção entre a menor (5 cm) e a maior (35 cm) espessura de substrato, sendo 67 e 81%, respectivamente. De acordo com os autores, o percentual de escoamento superficial é fortemente determinado pela altura do substrato.

Além dos artigos realizados através de experimentos, também foram encontrados um artigo de revisão de literatura e um de simulação computadorizada.

Na revisão de literatura foi abordada a questão da diferença do percentual de retenção do escoamento em diferentes tipos de telhados. Montes et. al (2006) realizaram uma seleção de 18 estudos e a partir destes foi feita a divisão de 4 classes para avaliação, sendo estas: telhado verde intensivo, telhado verde extensivo, telhado coberto com cascalho e telhado sem cobertura vegetal. Pela revisão já apontada até aqui, sabe-se que existe grande diferença na retenção quando implementado um telhado verde, mas a informação de grande relevância é a diferença entre os extensivos e intensivos. A partir da revisão obteve-se uma média do percentual de retenção do escoamento de 75% para telhados verdes intensivos e 50% para telhados verdes extensivos. Neste estudo, os autores enfatizam a importância da utilização de ferramentas que ajudem na redução do escoamento de águas pluviais, e concluem que o telhado verde é uma destas. Além disso, a grandeza da retenção depende da estrutura do telhado verde, das condições climáticas e quantidade de precipitação.

Já o estudo realizado por meio de simulação computadorizada utiliza do mesmo substrato e sem inclinação, variando apenas na altura do mesmo. Castiglia et. al (2016) realizam uma simulação através do software HYDRUS 1-D comparando o percentual de retenção do escoamento para 6 diferentes alturas de substratos, sendo 5, 10, 20, 40, 80 e 160 cm. É possível notar grande diferença entre a menor e maior altura variando de 26% a 65%, respectivamente.

Embora os resultados apresentados apontam para um melhor desempenho por parte dos telhados verdes intensivos, este tema ainda é muito pouco estudado, demonstrando a necessidade de aprofundamento no estudo.

4.3. Comportamento térmico de telhados verdes intensivos

Entre os benefícios proporcionados pelo uso de telhados verdes está a melhora no desempenho térmico dos edifícios e sua ambiência. De acordo com Lee e Jim (2018), inúmeras pesquisas se concentraram no uso de telhados verdes extensivos, com atenção inadequada ao uso de telhados verdes intensivos. Ainda existem poucos estudos focados no uso de telhados verdes intensivos. A partir da revisão de literatura, foi possível levantar oito artigos referentes ao tema, conforme pontuados na tabela 2. Para demonstração dos resultados de temperatura, os artigos serão demonstrados separadamente, por conta da diferença de coleta de dados de um para outro. Para avaliação de temperatura, cada estudo contempla um método diferente, sendo difícil a comparação através de tabelas. Sendo

assim, serão separados apenas os que tratam de experimentos dos que tratam de simulação computadorizada.

4.3.1. Estudos identificados realizados por meio de experimento para avaliação do comportamento térmico de telhados verdes intensivos

- I. Artigo 01 - *Thermal-cooling performance of subtropical green roof with deep substrate and woodland vegetation* (Lee; Jim, 2018)

Lee e Jim (2018) realizam um experimento na cidade de Hong Kong, China, com a intenção de avaliar a diferença de temperatura de um telhado verde intensivo (altura do substrato = um metro) e uma laje sem cobertura vegetal. Para tal avaliação foram escolhidos três eventos distintos, sendo um dia de sol, um dia nublado e um dia de chuva. De acordo com os autores, no telhado verde intensivo houve diminuição da temperatura mesmo no dia ensolarado, o que gerou uma redução na temperatura do ambiente interno. A temperatura constante no subsolo sugere que um substrato de 50 cm já é suficiente para proporcionar um isolamento térmico eficaz (Lee; Jim, 2018).

- II. Artigo 02 - *Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems* (Scharf; Zluwa, 2017)

O estudo traz uma descrição detalhada de sete tipos diferentes de sistemas de telhados verdes (diferenciando em profundidade, materiais e camadas) e suas performances de isolamento por um período de 15 meses. Cinco destes são considerados telhados verdes extensivos, com substrato de 12 cm de profundidade, enquanto os dois restantes são considerados telhados verdes intensivos, com 20 e 25 cm de substrato. Para medição, foi instalado um sensor para medir o fluxo de calor e temperatura sobre a camada de proteção e um sensor para medir a temperatura superficial e umidade, instalado diretamente sobre a superfície do substrato. Os resultados foram analisados separadamente para verão e inverno. Os telhados verdes intensivos apresentaram o menor impacto na temperatura, também apresentando estabilidade no fluxo de calor. Em relação aos valores de transmitância térmica, estes apresentaram o melhor desempenho com medida de 0,299 W/m²K em comparação a um telhado verde extensivo, com medida de 0,944 W/m²K.

Dentre as conclusões apresentadas pelos autores está a percepção na melhora do isolamento térmico de edifícios com a utilização de telhados verdes, sendo que espessura do substrato, materiais, estações e as camadas desempenham um papel fundamental no desempenho do sistema.

- III. Artigo 03 - *Green roofs energy performance in Mediterranean climate* (Silva; Gomes; Silva, 2016)

Os experimentos de campo foram realizados em um edifício localizado no centro de Lisboa, Portugal. O monitoramento do sistema é realizado em um ambiente interno ao edifício, onde o desempenho térmico foi avaliado com equipamentos afim de medir a temperatura externa e interna e fluxos de calor. A comparação foi feita entre um telhado verde extensivo (h substrato=10cm), semi-intensivo (h substrato=25cm) e intensivo (h substrato=70cm). Os eventos de medição aconteceram no inverno e verão. O experimento mostra grande diferença entre o desempenho de telhados verdes extensivos comparado aos semi-intensivos e intensivos. Os telhados verdes extensivos exigem duas vezes mais energia anual do que as outras duas soluções. A diferença entre semi-intensivo e intensivo não é tão grande para períodos de aquecimento, mas mostra grande diferença para períodos de resfriamento, sendo o telhado verde intensivo mais eficiente neste sentido.

- IV. Artigo 04 - *Thermal insulation and cost effectiveness of green-roof systems: An empirical study in Hong Kong* (Tam; Wang; Le, 2016)

O artigo contempla a avaliação do desempenho térmico de telhados verdes em três edifícios na cidade de Hong Kong. Cada estudo de caso contempla diferentes tipos de substrato e espécies de planta. O estudo de caso I é caracterizado como telhado verde intensivo e possui 30 cm de substrato, já os estudos de caso II e III são caracterizados como telhados verdes extensivos e possuem diferentes alturas de substrato, sendo o estudo de caso II dividido em zonas A, B e C, com 15, 10 e 5 cm de substrato respectivamente e o estudo de caso III com 5 cm de substrato. Os três estudos de caso provaram que sistemas de telhado verde podem melhorar o isolamento térmico em até 3,4 ° C. Os resultados revelaram que a profundidade do solo e os tipos de plantas são particularmente significativos para o desempenho do isolamento térmico. O solo mais profundo pode ter uma maior eficiência na retenção de umidade e levar a uma maior eficiência de evaporação das plantas, o que leva a um maior desempenho de isolamento térmico (Tam; Wang; Le, 2016).

- V. Artigo 05 - *Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof* (Jim; Tsang, 2011)

Este estudo avalia a performance térmica de um telhado verde intensivo na cidade de Hong Kong durante as quatro estações. O telhado verde em questão possui substrato com um metro de profundidade. As temperaturas coletadas foram medidas a 15 e a 160 cm acima do solo e a 10 e 90 cm abaixo do solo. De acordo com os autores, a camada de substrato do solo do telhado verde intensivo pode ser considerada um grande dissipador de calor para reduzir a flutuação da temperatura. No verão, houve redução de 4,2°C na temperatura do solo, resultando em uma boa diferença de temperatura para melhor controle da temperatura interna.

- VI. Artigo 06 - *An investigation into the thermophysical properties and energy dynamics of an intensive green roof* (Darkwa; Darkwa; Suba; Kokogiannakis, 2013)

O estudo contempla o monitoramento de um telhado verde intensivo na cidade de Ningbo, China. A amostra possui 40 cm de substrato e para análise do comportamento térmico do sistema são locados dois termopares no telhado verde e um no ambiente interno, bem como sensores para medição do fluxo de calor superficial e do solo. Durante o verão, a temperatura externa e interna medidas no substrato foram de 32°C e 28,7°C respectivamente, e ainda diminuindo a temperatura interna do ambiente para 26°C. Durante o inverno, a diferença de temperatura é ainda maior, sendo que quando a temperatura externa era de 5°C, a temperatura interna do solo foi de 20,5°C, mantendo a temperatura interna do ambiente em 21°C. É possível observar maior estabilidade na variação de temperatura no solo do telhado verde, principalmente durante verão, o que permite o controle de temperatura interno ao ambiente, evitando o uso de aparelhos de ar condicionado para tal fim.

4.3.2. Estudos identificados realizados por meio de simulação computadorizada para avaliação do comportamento térmico de telhados verdes intensivos

- I. Artigo 01 - *Simulation of the thermal behaviour of a building retrofitted with a green roof: optimization of energy efficiency with reference to italian climatic zones* (Gargari; Bibbiani; Fantozzi; Campiotti, 2016)

Neste estudo é investigada a influência da troca de um telhado inclinado composto por telha de barro por um telhado verde. O estudo de caso é um edifício de habitação social localizado em Pisa, na Itália. Para tal comparação realiza-se uma simulação através do software *EnergyPlus* comparando o telhado existente com diferentes tipos de telhados verdes, sendo estes extensivos e intensivos. Há uma diferença de aproximadamente 2°C entre o telhado inclinado e o telhado verde intensivo. De acordo com os autores, devido aos requisitos de pesquisa específicos, as simulações não consideraram grandes ganhos

internos. Os autores acreditam que para descrever adequadamente o desempenho de um telhado verde sob condições operacionais reais, essas condições devem ser medidas.

- II. Artigo 02 - Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study (Morakinyo; Dahanayake; Ng; Chow, 2017)

Este trabalho apresenta um estudo paramétrico sobre o efeito de quatro tipos de coberturas verdes com temperatura exterior/interior para quatro climas diferentes utilizando uma abordagem de co-simulação com *ENVI-met* e *EnergyPlus*. Para simulação foram utilizados os dados de quatro cidades com climas diferentes, sendo elas: Cairo, Hong Kong, Tóquio e Paris. Foi feita a comparação entre um telhado verde intensivo (h substrato = 70 cm) e um telhado verde extensivo (h substrato = 30cm). Os telhados verdes intensivos foram os que apresentaram melhores resultados de diferença de temperatura superficial, variando em 14°C no Cairo, 10°C em Hong Kong, 8,5°C em Tóquio e 7°C em Paris. Os resultados demonstram que a umidade relativa e a intensidade solar são parâmetros-chave que determinam o potencial de resfriamento por evaporação de telhados verdes. (Morakinyo; Dahanayake; Ng; Chow, 2017).

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento desta revisão sistemática de literatura nos mostra a insuficiência de resultados para o estudo de telhados verdes intensivos, pois poucos artigos que tratavam diretamente do assunto foram encontrados. A bibliografia levantada apresenta resultados positivos em relação a utilização do uso de telhados verdes intensivos, mas a escassez de estudos torna difícil uma conclusão coerente sobre a viabilidade no uso desta técnica. Por conta disso, é notável a necessidade de novos estudos que contemplem o tema para que existam maiores evidências para chegar a uma conclusão efetiva sobre o assunto. Além disso, não foram encontrados estudos no Brasil, o que torna necessária a introdução da pesquisa sobre o assunto no âmbito nacional, tratando de uma análise específica ao nosso clima.

A grande variedade de métodos utilizados dificulta a comparação dos dados levantados, embora seja possível notar desempenho superior por conta dos telhados verdes intensivos em relação ao controle de retenção do escoamento superficial e controle de temperatura em todos os estudos apontados.

Outro ponto importante a ser destacado é a incompatibilidade na classificação de telhados verdes extensivos e intensivos quanto a altura do substrato, pois este valor aparece de forma diferenciada em cada estudo, sendo que alguns autores consideram que substratos maiores que 15 cm podem ser considerados como intensivos, enquanto outros acreditam que estes devem ser maiores ou iguais a 30 cm.

Uma variável de grande influência no desempenho hidrológico e térmico de telhados verdes é o clima, o que nos mostra mais uma vez a necessidade de estudos que avaliem telhados verdes intensivos no Brasil, avaliando o comportamento destes no panorama nacional.

Sendo assim, sugere-se que futuras pesquisas desenvolvam novos experimentos que avaliem o comportamento térmico e hidrológico de telhados verdes intensivos, contribuindo assim com novos dados para que a confiabilidade da pesquisa na área seja aumentada.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beecham, S.; Razzaghamanesh, M. (2015). *Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate*. In: *Water Research*, v. 70, p. 370–384.
- Castiglia Feitosa, R.; Wilkinson, S. (2016). *Modelling green roof stormwater response for different soil depths*. In: *Landscape and Urban Planning*, v. 153, p. 170–179.

- Darkwa, J.; Darkwa, J.; Suba, G.; Kokogiannakis, G. (2013). *An investigation into the thermophysical properties and energy dynamics of an intensive green roof*. In: *JP Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 7, p. 65-84.
- Francis, L. F. M.; Jensen, M. B. (2017). *Benefits of green roofs: A systematic review of the evidence for three ecosystem services*. In: *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 28, p. 167–176.
- Fontes-Pereira, A. (2017). *Revisão sistemática de literatura: como escrever um artigo científico em 72 horas*. Rio de Janeiro.
- Gargari, C.; Bibbiani, C.; Fantozzi, F.; Campiotti, C. A. (2016). *Simulation of the Thermal Behaviour of a Building Retrofitted with a Green Roof: Optimization of Energy Efficiency with Reference to Italian Climatic Zones*. In: *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, v. 8, p. 628–636.
- Jim, C. Y.; Tsang, S. W. (2011). *Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof*. *Building and Environment*, v. 46, p. 1263–1274.
- Lee, L. S. H.; Jim, C. Y. (2018). *Thermal-cooling performance of subtropical green roof with deep substrate and woodland vegetation*. In: *Ecological Engineering*, v. 119, p. 8–18.
- Liberati, A.; Altman, D. G.; Tetzlaff, J.; Mulrow, C.; Gøtzsche, P. C.; Ioannidis, J. P. A.; Moher, D. (2009). *The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration*. In: *PLoS Medicine*, v. 6(7), e1000100.
- Mentens, J.; Raes, D.; Hermy, M. (2006). *Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?* In: *Landscape and Urban Planning*, v. 77(3), p. 217–226.
- Morakinyo, T. E.; Dahanayake, K. W. D. K. C.; Ng, E.; Chow, C. L. (2017). *Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study*. In: *Energy and Buildings*, v. 145, p. 226–237.
- Razzaghmanesh, M.; Beecham, S. (2014). *The hydrological behaviour of extensive and intensive green roofs in a dry climate*. In: *Science of The Total Environment*, v. 499, p. 284–296.
- Scharf, B.; Zluwa, I. (2017). *Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems*. In: *Energy and Buildings*, v. 151, p. 564–573.
- Silva, C. M.; Gomes, M. G.; Silva, M. (2016). *Green roofs energy performance in Mediterranean climate*. In: *Energy and Buildings*, v. 116, p. 318–325.
- Speak, A. F.; Rothwell, J. J.; Lindley, S. J.; Smith, C. L. (2013). *Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof*. In: *Science of The Total Environment* v. 461–462, p. 28–38.
- Tam, V. W. Y.; Wang, J.; Le, K. N. (2016). *Thermal insulation and cost effectiveness of green-roof systems: An empirical study in Hong Kong*. In: *Building and Environment*, v. 110, p. 46–54.
- Uhl, M. (2008). *Green Roof Storm Water Retention-Monitoring Results*. In: *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

5 COMPORTAMENTO TÉRMICO E HIDROLÓGICO DE TELHADOS VERDES INTENSIVOS E O AUMENTO DO GRAU DE COBERTURA DE HERBÁCEAS SUCULENTAS

Thermal and hydrological behavior of intensive green roofs and the increased rate coverage of succulent herbs

RESUMO

Estudos comprovam que o uso de telhados verdes pode apresentar diversos benefícios como a mitigação de enchentes, redução de ilhas de calor, melhoria da qualidade do ar e ainda proporcionar conforto térmico e acústico nas edificações. Estes benefícios podem ser potencializados com o uso de telhados verdes intensivos, porém, ainda são poucas as pesquisas relacionadas ao tema, principalmente no Brasil. Desta forma, vê-se a necessidade de gerar dados nacionais que comprovem tal afirmação, visto que o clima influencia diretamente no desempenho de telhados verdes. Sendo assim, o objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito que o aumento da camada de substrato pode surtir no desempenho de telhados verdes em relação ao comportamento térmico, hidrológico e aumento do grau de cobertura vegetal na cidade de Curitiba – PR. Para isso, realizou-se um experimento com a construção de seis protótipos de telhado verde, sendo três intensivos e três extensivos, de modo que todos possuíssem o mesmo substrato, camada de drenagem e espécies vegetais, sendo estas um consórcio de *Sedum acre* e *Lampranthus productus*. Os intensivos diferem dos extensivos apenas na espessura da camada de substrato, sendo de 46 cm e 10 cm, respectivamente. As variáveis definidas para avaliação do comportamento térmico e hidrológico foram temperatura superficial superior e inferior dos protótipos e percentual de retenção de águas pluviais. Os protótipos foram monitorados durante oito meses, o que possibilitou o acompanhamento de 21 eventos de precipitação e a realização de três eventos de aferição da temperatura com o uso de termopares do tipo K conectados a *dataloggers*, além da avaliação do grau de cobertura vegetal por meio de fotografias tiradas a cada 20 dias e analisadas através do software *ImageJ®*. Os dados gerados possibilitaram afirmar que telhados verdes intensivos podem aumentar o percentual de retenção de águas pluviais em até 13%, além de apresentar aumento do grau de cobertura vegetal de até 17%. Em relação ao comportamento térmico, foi possível observar uma variação de até 4°C entre a temperatura superficial inferior dos protótipos em períodos mais quentes, sendo o intensivo o que se mostrou com menor variação de temperatura durante o monitoramento.

Palavras-chave: Cobertura verde intensiva. Retenção de águas pluviais. escoamento superficial. Controle de temperatura. Isolamento térmico.

ABSTRACT

Studies prove that the use of green roofs can present several benefits such as flood mitigation, reduction of heat islands, improvement of air quality and still provide thermal and acoustic comfort in buildings. Some authors claim that these benefits can be enhanced with the use of intensive green roofs, however, there isn't enough

research related to the topic, especially in Brazil. Thus, there is a need to generate national data to prove this statement, since the climate directly influences the performance of green roofs. Therefore, the objective of the research was to evaluate the effect that the increase in the substrate layer may have on the performance of green roofs in relation to thermal, hydrological behavior and increase the vegetation coverage ratio in the city of Curitiba - PR. For this, an experiment was carried out with the manufacture of six green roof prototypes, three intensive and three extensive, so that all had the same substrate, drainage layer and plant species, these being a consortium of *Sedum acre* and *Lampranthus productus*. The intensives differ from the extensive ones only in the thickness of the substrate layer, being 46 cm and 10 cm, respectively. The variables defined for evaluating the thermal and hydrological behavior were the upper and lower surface temperature of the prototype and the percentage of rainwater retention. The prototypes were monitored for eight months, which enabled the monitoring of 21 precipitation events and the performance of three temperature events using type K thermocouples connected to dataloggers, in addition to assessing the vegetation coverage ratio through of photographs taken every 20 days and analyzed using *ImageJ*® software. The data generated make it possible to state that intensive green roofs can increase the percentage of rainwater retention by up to 13%, in addition to presenting an increase in the vegetation coverage ratio of up to 17%. Regarding the thermal behavior, it was possible to observe a variation of up to 4 ° C between the lower surface temperature of the prototypes in warmer periods, with the intensive one showing the lowest temperature variation during the monitoring.

Keywords: Intensive green roof. Rainwater retention. Surface runoff. Temperature control. Thermal insulation.

5.1 INTRODUÇÃO

De acordo com a ONU (2019), a população mundial deve crescer cerca de 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos. Aliado ao crescimento populacional, no Brasil há um grande déficit habitacional, estimado em 7,7 milhões de unidades, considerando habitações precárias e coabitação familiar. Além disso, a previsão é de que em dez anos esta demanda ainda cresça em 2 milhões, considerando a projeção de aumento da população (ABRAINCA, 2018).

O crescimento populacional e a grande demanda por novas habitações geram a necessidade de construção de novas edificações e de infraestrutura para o crescimento das cidades, e juntamente com o crescimento há a necessidade de impermeabilização do solo, fator associado a ocorrência de inundações. Uma das formas de mitigar a ocorrência de enchentes é através da incorporação de telhados verdes às edificações, pois parte da água fica retida no substrato e sistema de drenagem, evitando que todo o volume de água seja direcionado para os sistemas de drenagem e rios. Desta forma, o

aumento da implementação de sistemas de telhado verde nos centros urbanos pode reduzir o escoamento superficial e evitar que o sistema de drenagem urbano fique sobrecarregado, assim como Speak et al. (2013) afirmam que a retenção anual de chuvas em Manchester poderia ser aumentada em 2,3% se apenas 10% das edificações possuísem telhado verde.

Os benefícios ocasionados pela implantação de telhados verdes às edificações já vem sendo estudado há algum tempo, sendo que a mitigação de enchentes é apenas um deles, podendo também auxiliar no controle de temperatura interna das edificações, redução de ilhas de calor, melhora na qualidade do ar e da água e ainda estimula a biodiversidade, criando novos habitats de vida animal em ambientes urbanos ou recriar habitats que foram perdidos durante o desenvolvimento da cidade (GRO, 2014).

No Brasil, existem diversos estudos em relação a retenção de águas pluviais em telhados verdes (BÄR, 2019; LOPES, 2018; SAVI, 2015; TASSI et al., 2014; SANTOS et al. 2013; BALDESSAR, 2012), porém, através da realização de uma revisão sistemática de literatura foi possível constatar a inexistência de estudos nacionais que tenham como objeto de pesquisa o uso de telhados verdes intensivos (CASAGRANDE et al., 2019).

Já no exterior, diversas pesquisas apontam que telhados verdes intensivos possuem melhor desempenho em relação à retenção do escoamento de águas pluviais. Mentens, Raes e Hermy (2006) afirmam que a redução do escoamento superficial anual é fortemente determinada pela profundidade da camada do substrato, sendo que a capacidade de retenção de águas pluviais anual pode variar de 75% para telhados verdes intensivos a 45% para telhados verdes extensivos. Beecham e Razzaghmanesh (2015) realizaram um estudo experimental em que os dados de retenção pluvial foram comparados entre telhados verdes intensivos (espessura do substrato = 30cm) e extensivos (espessura do substrato = 10cm) e observaram que os telhados verdes intensivos puderam reter até 20% a mais de água da chuva.

Além da demanda por novas habitações implicar na impermeabilização do solo, também irá aumentar a necessidade energética para suprir estas habitações. O setor da construção civil é responsável por um terço do consumo energético mundial (IEA, 2013), e grande parte disso se deve ao fato da necessidade de climatização de

ambientes através da utilização de aparelhos de ar condicionado (BERARDI et al., 2014).

Neste sentido, telhados verdes também podem ser considerados uma forma de controle de temperatura interna e assim podem ajudar na redução do consumo de energia. Além disso, proporcionam mitigação de ilhas de calor, redução de emissão de gases do efeito estufa através da fotossíntese e absorção de águas pluviais (XIAO et al., 2014).

Speak et al. (2013) afirmam que a temperatura superficial da laje com cobertura verde pode reduzir em até 1,58 °C em relação a que não possui, enquanto Silva, Gomes e Silva (2016) comprovam que os telhados verdes extensivos exigem duas vezes mais energia anual do que os intensivos.

Levando em consideração que telhados verdes reagem de forma diferente de acordo com a condição climática (SCHARF; ZLUWA, 2017), vê-se a necessidade de estudos comparativos entre telhados verdes intensivos e extensivos para o clima brasileiro, possibilitando assim verificar a diferença de desempenho entre um sistema e outro para as condições climáticas da região de Curitiba.

Desta forma, este estudo busca explorar o uso de telhados verdes intensivos de modo a verificar quanto é possível melhorar o percentual de retenção de águas pluviais e a diferença entre as temperaturas superficiais superior e inferior quando a profundidade da camada de substrato é aumentada. Além disso, também foi monitorado se houve diferença no grau de cobertura vegetal das espécies consorciadas.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foi seguido o delineamento experimental, pois o objetivo da pesquisa foi comparar o desempenho de um telhado verde intensivo com um extensivo em termos de controle de temperatura superficial, percentual de retenção e grau de cobertura vegetal. Gil (2002) afirma que a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Sendo assim, foi determinado o objeto de estudo (telhado verde intensivo), selecionadas as variáveis capazes de influenciá-lo (percentual de retenção de águas

pluviais e desenvolvimento das espécies) e definida a forma de controle e de observação a partir do desenvolvimento de um experimento em que foram comparados três protótipos de telhados verdes intensivos com três protótipos de telhados verdes extensivos, sendo todos construídos da mesma forma, variando apenas espessura da camada de substrato, que foi a unidade de análise definida.

5.2.1 Localização

O experimento foi realizado na cidade de Curitiba - Paraná, Brasil (coordenadas geográficas 25° 25' 42" Sul, 49° 16' 24" Oeste). O clima de Curitiba caracteriza-se como Cfb de acordo com a classificação climática de Köppen Geiger (IAPAR, 2019). Sendo assim, Curitiba possui clima temperado, onde a temperatura média do ar dos 3 meses mais frios fica compreendida entre -3°C e 18°C e a temperatura média do mês mais quente é maior que 10°C, tendo as estações de verão e inverno bem definidas. O clima é considerado úmido e há ocorrência de chuva em todos os meses do ano, ocorrendo inexistência de estação seca. No mês mais quente, a temperatura média do ar costuma ser maior que 22° C e maior que 10° C nos 4 meses mais quentes, sendo caracterizado como verão temperado (PORTAL UFG, 2016). Os protótipos foram locados nas instalações da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que está localizado dentro do campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), conforme ilustrado nas Figuras 7 e 8.

FIGURA 7 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO



FONTE: A autora, adaptado de *Google Maps* (2019).

FIGURA 8 – INMET



FONTE: BÄR (2019).

5.2.2 Construção dos protótipos

Para execução do experimento foram reutilizados protótipos anteriormente construídos para realização de outro experimento já concluído. De acordo com a autora:

O projeto arquitetônico foi concebido em 3 módulos duplos, com duas caixas de 50cm x 100cm cada, sendo que 2 módulos contêm quatro caixas mais rasas, com 15cm de altura, para utilização do sistema extensivo, e 1 módulo com duas caixas de 30 cm de altura, para o cultivo semiextensivo, totalizando 6 caixas. Cada módulo tem uma inclinação de 3%, para garantir o escoamento da água precipitada (LOPES, 2018).

De acordo com Lopes (2018), os protótipos foram construídos com madeira reaproveitada de pallets, sendo estes feitos de *Pinus ellioti*. Foi feita a desmontagem dos pallets, corte das peças e confecção das caixas com junções executadas com pregos e parafusos. Após construção foi feita a vedação das frestas com material selante acrílico e a aplicação de borracha líquida da marca *Impertech*® para impermeabilização das caixas. Para o escoamento da água, foi feito um furo em cada caixa para encaixe de um cano de PVC 3/4". Como havia desnível no terreno, foi necessária a execução de sapatas niveladoras de concreto para manter as caixas em nível, garantindo assim a inclinação de 3% para o escoamento da água. A Figura 9 demonstra o processo construtivo dos protótipos conforme descrito.

FIGURA 9- PROCESSO CONSTRUTIVO DOS PROTÓTIPOS



FONTE: A autora, adaptado de LOPES (2018).

Para execução desta pesquisa, foi necessária a restauração e aumento dos caixotes para que pudesse ser executado o experimento com telhados intensivos. Como já haviam se passado aproximadamente 2 anos desde a confecção dos protótipos, estes já se encontravam degradados pela exposição a intempéries. Sendo assim, algumas madeiras que já estavam apodrecidas foram trocadas e foram executados travamentos nos pés para melhorar a sustentação. O processo de restauração dos protótipos pode ser verificado na Figura 10, em que são indicados os passos conforme descrição. Três protótipos tiveram sua profundidade aumentada de 30 para 55 cm para que assim ficassem três protótipos de telhado verde intensivo e três de telhado verde extensivo. Após o término do restauro e aumento dos caixotes, foi feita a vedação das frestas com material selante acrílico, impermeabilização com borracha líquida da marca *Impertech*[®] na parte interna e pintura com tinta lukspiso acrílico premium da marca *Lukscolor*[®] na parte externa. A escolha da tinta se deve ao fato desta possuir alta durabilidade e resistência a intempéries, além de ter bom custo-benefício. Após finalização do restauro dos caixotes, estes foram forrados com geomembrana PEAD doada pela empresa *Diprotec*[®]. De acordo com o fabricante, estas geomembranas são mantas laminadas flexíveis, que apresentam excelente performance quando utilizadas como revestimento impermeabilizante (DIPROTEC,

2019). Nas emendas da membrana foi utilizada fita impermeabilizante tapa tudo da marca *Quartzolit*[®]. Com a geomembrana instalada, foi feito o furo para drenagem e então colocada a manta de geocomposto drenante, também da marca *Diprotec*[®]. O geocomposto drenante possui função de filtrar a água presente na terra e drená-la através de seu núcleo, formado por pequenos canais onde ocorrem os escoamentos dos fluidos (DIPROTEC, 2019). Após inserção das mantas os protótipos estavam prontos para receber o substrato e a vegetação.

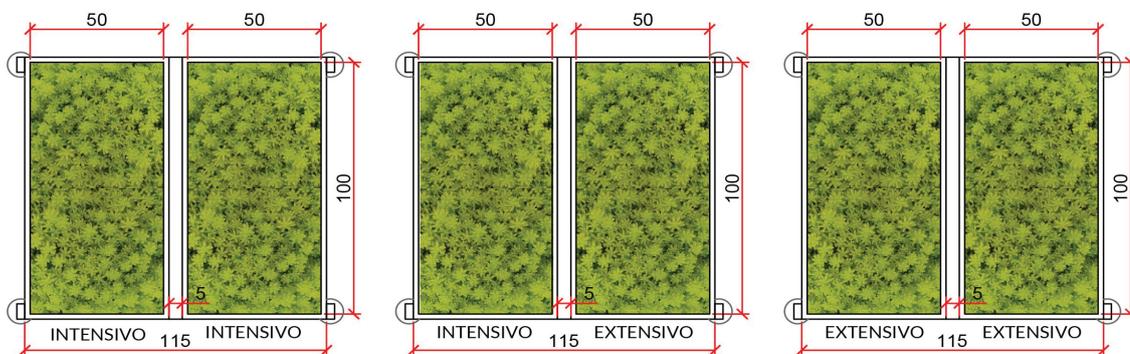
FIGURA 10 - PROCESSO DE RESTAURAÇÃO DOS PROTÓTIPOS



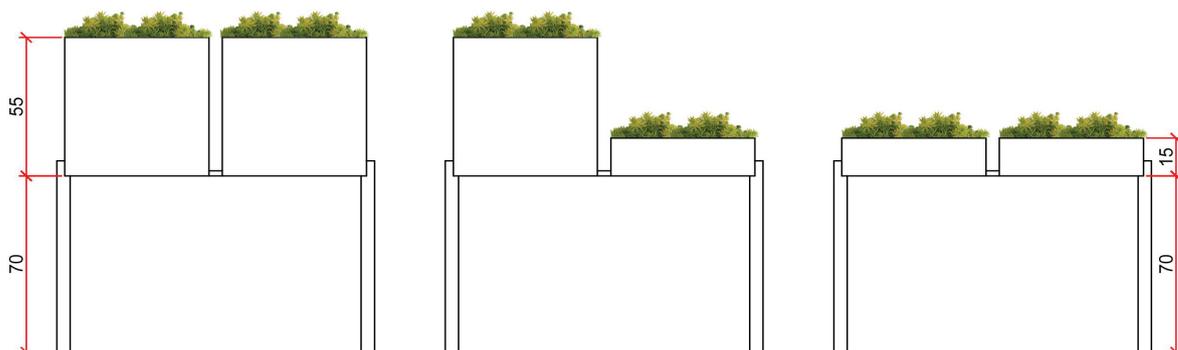
FONTE: A autora (2019).

Após término do restauro, os protótipos ficaram com as dimensões conforme ilustrado na Figura 11.

FIGURA 11 - DETALHAMENTO DOS PROTÓTIPOS



PLANTA BAIXA



ELEVAÇÃO

FONTE: A autora (2019).

O substrato foi inserido no dia 04 de maio de 2019, e este é de fabricação própria do *Viveiro Entre Flores*, que subsidiou parte do custo. O substrato é composto de casca de arroz carbonizada e casca de pinus triturada.

Após inserção do substrato verificou-se a altura da camada, sendo que os protótipos de telhado verde intensivo ficaram com 46 cm de altura e os de telhado verde extensivo com 10 cm de altura, conforme figura abaixo.

FIGURA 12- ALTURA DA CAMADA DE SUBSTRATO - TELHADO VERDE INTENSIVO X EXTENSIVO



FONTE: A autora (2019).

O plantio da vegetação foi realizado no dia 13 de maio de 2019, dando assim início ao monitoramento dos protótipos. Foram escolhidas duas espécies para plantio em consórcio, sendo estas de metabolismo CAM (metabolismo ácido das crassuláceas). De acordo com Zeiger et al. (2017) as plantas com metabolismo CAM abrem os estômatos a noite para permitir a entrada de gás carbônico e fecham durante o dia para evitar a perda de água por transpiração (apud NOYA, 2018). Neste contexto, espécies com este tipo de metabolismo são indicadas para telhados verdes quando há o intuito de retenção pluvial. As espécies escolhidas foram o *Sedum acre* e a *Lampranthus productus*, plantadas intercaladas conforme Figura 13. A quantidade de mudas foi calculada pela área de superfície da camada de substrato, sendo utilizadas 1,5 caixas por m².

FIGURA 13 - PLANTIO DAS ESPÉCIES *SEDUM ACREE LAMPRANTHUS PRODUCTUS*



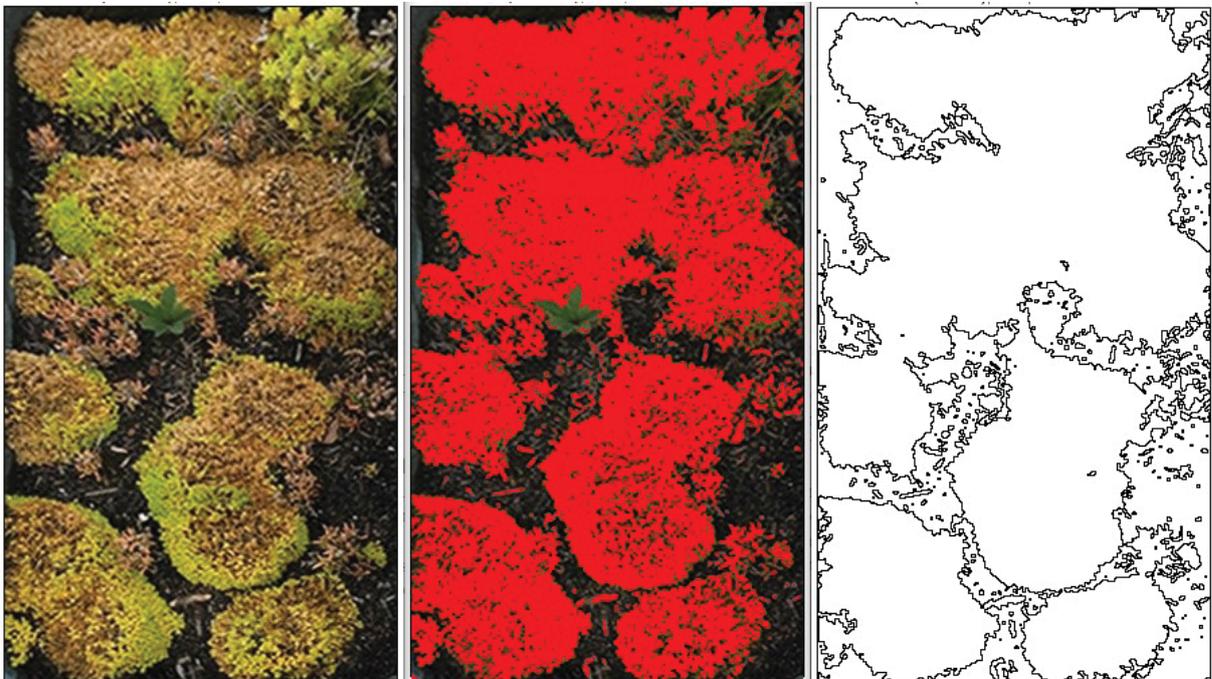
FONTE: A autora, (2019).

5.2.3 Avaliação do grau de cobertura vegetal

O bom desenvolvimento da vegetação é um indicador de sucesso da implantação do telhado verde. Desta forma, foi feita a análise do grau de cobertura a partir de fotografias tiradas por meio de um suporte que possibilitava o acoplamento da câmera, permitindo que as fotos fossem tiradas sempre da mesma posição. O suporte foi desenvolvido por Noya (2018) e é composto de uma estrutura de canos de policloreto de vinila (PVC) (20 mm) adaptada ao modelo de construção e fixada sobre o quadrante, com altura de 90 cm.

As visitas para a avaliação do grau de cobertura das espécies foram efetuadas a cada 15 dias no primeiro mês, que é a fase em que há maior desenvolvimento da vegetação, e posteriormente a cada 20 dias. O desenvolvimento da cobertura vegetal foi analisado visualmente para análise do comportamento vegetal frente às condições climáticas as quais foram submetidas e através do software *ImageJ*®, um software de análise de imagens que permite verificar o percentual de cobertura vegetal em cada protótipo, conforme Figura 14.

FIGURA 14 - ANÁLISE DE COBERTURA VEGETAL ATRAVÉS DO SOFTWARE *IMAGEJ*®



FONTE: A autora, a partir de análise do software *ImageJ*®(2020).

5.2.4 Controle de escoamento

Para monitoramento e controle do escoamento das águas pluviais foram instalados galões graduados para coleta para que a quantidade de água escoada pudesse ser medida, assim revelando o percentual de escoamento, conforme indicado na Figura 15.

As visitas aos protótipos eram realizadas logo que os eventos de precipitação cessavam e então a leitura de cada galão era feita e os dados coletados inseridos em uma planilha. Em casos onde o volume de chuva foi muito grande e ocorreu o transbordamento, o evento foi descartado.

Para cálculo do percentual de retenção, os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram utilizados como parâmetro para comparação da quantidade total de precipitação ocorrida, visto que os protótipos estão localizados dentro da estação meteorológica.

O método de tratamento dos dados é através de tabulação. Cada protótipo foi denominado conforme indicação na Figura 15, sendo diferenciados entre TVI (telhado verde intensivo) e TVE (telhado verde extensivo).

FIGURA 15 - PROTÓTIPOS MONTADOS E GALÃO GRADUADO



FONTE: A autora (2019).

O Quadro 1 demonstra a inserção dos dados coletados no evento 7 para demonstração do tratamento dos dados para o controle de escoamento. Como já mencionado, foram utilizados os dados de precipitação total do INMET para comparação com os dados coletados. Estes dados são apresentados em milímetros,

onde 1 mm equivale à 1 litro de precipitação por m² de área. Como cada protótipo possui 0,5 m², a precipitação ocorrida é a metade do valor fornecido pelo INMET. A leitura nos galões foi feita em centímetros, e então estes valores eram convertidos para litros. Sabe-se que o galão possui capacidade de 20 litros e possui 37 centímetros de altura. Sendo assim, calcula-se que 1,8 centímetros equivalerão à 1 litro de água, podendo assim calcular quantos litros estavam presentes no galão no momento da leitura. Desta forma, foi possível calcular o percentual de escoamento, o que nos dava por subtração o valor de percentual de retenção.

QUADRO 1 - SIMULAÇÃO DE INSERÇÃO DE DADOS PARA CONTROLE DE ESCOAMENTO

Controle de escoamento								
Evento	Data	Precip. INMET (em 1 m ²) (L)	Precip. Prot. (em 0,5m ²) (L)	Prot.	Medição			
					Medição galão (cm)	Medição galão (L)	Perc. Esc. (%)	Perc. Ret. (%)
1	19/08/19	20,8	10,4	TVI 1	0,5	0,28	2,67%	97,33%
				TVI 2	1	0,56	5,34%	94,66%
				TVI 3	0	0,00	0,00%	100%
				TVE 1	8	4,44	42,74%	57,26%
				TVE 2	8,5	4,72	45,41%	54,59%
				TVE 3	4	2,22	21,37%	78,63%
OBS.: PRECIP.: PRECIPITAÇÃO; PROT.: PROTÓTIPO; PERC.: PERCENTUAL; ESC.: ESCOAMENTO; RET.: RETENÇÃO.								

FONTE: A autora (2019).

5.2.5 Controle de temperatura

Os dados de temperaturas superficiais foram coletados através de termopares do tipo K, sendo medida a temperatura superficial do substrato e temperatura superficial na parte inferior dos caixotes. Estes termopares foram conectados a registradores de dados (*dataloggers*) do tipo TD890, como o da Figura 16.

FIGURA 18- TERMOPARES FIXADOS NOS PROTÓTIPOS PARA MEDIÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL INFERIOR



FONTE: A autora (2019).

FIGURA 19- DATALOGGER INSTALADO NOS PROTÓTIPOS DE TELHADO VERDE EXTENSIVO



FONTE: A autora (2019).

Os dados foram coletados em três eventos distintos, sendo nos meses de setembro, novembro e dezembro. O primeiro evento teve duração menor que os demais por conta de um problema ocasionado no registrador de dados, durando apenas 48 horas. Já nos dois eventos seguintes foi possível realizar a medição durante 72

horas. O registrador de dados foi programado para registrar as temperaturas com um intervalo de uma hora. As informações coletadas pelos *dataloggers* foram transferidas a um computador e após a primeira análise dos resultados optou-se por utilizar a média das temperaturas superficiais entre os protótipos com camada de substrato de mesma espessura, pois os dados estavam próximos, havendo variação máxima de apenas 1,5°C entre os protótipos de TVI e o mesmo ocorria entre os protótipos de TVE. O Quadro 2 exemplifica como os dados brutos foram inseridos em planilha. A primeira linha indica o termopar correspondente a cada *datalogger*, ou seja “T1-1” corresponde ao termopar conectado ao canal 1 do *datalogger* 1, “T2-2” corresponde ao termopar conectado ao canal 2 do *datalogger* 2, e assim por diante. A segunda linha indica em qual protótipo o termopar mencionado estava localizado e se na parte superior ou inferior. O horário de início não foi arredondado para demonstrar o horário exato que marcava o *datalogger* no momento de início da gravação de dados.

QUADRO 2 – EXEMPLO DE INSERÇÃO DOS DADOS BRUTOS – DADOS DO EVENTO 3

TERMO PAR	T1 - 1	T2 - 1	T3 - 1	T4 - 1	T1 - 2	T2 - 2	T3 - 2	T4 - 2	T1 - 3	T2 - 3	T3 - 3	T4 - 3
HORA	TVI 1 SUPE RIOR	TVI 1 INFE RIOR	TVI 2 SUPE RIOR	TVI 2 INFE RIOR	TVI 3 SUPE RIOR	TVI 3 INFE RIOR	TVE1 SUPE RIOR	TVE1 INFE RIOR	TVE2 SUPE RIOR	TVE2 INFE RIOR	TVE3 SUPE RIOR	TVE3 INFE RIOR
00:01	18,7	21,2	19,0	21,0	18,2	20,1	18,9	20,3	20,5	20,0	18,8	20,3
01:01	18,3	21,3	18,6	20,9	17,7	20,1	19,0	20,4	20,1	20,1	18,8	20,5
02:01	19,7	21,6	19,7	21,2	19,1	21,0	19,8	20,7	20,7	20,7	19,6	21,1
03:01	18,6	21,8	18,8	21,4	18,3	20,7	19,0	21,4	20,8	21,0	18,7	21,4
04:01	19,3	22,1	19,4	21,7	18,3	21,2	20,0	21,9	21,6	21,6	18,9	22,0

FONTE: A autora (2020).

Após a inserção dos dados brutos foi realizada a média entre as temperaturas de cada tipo de protótipo, restando apenas uma temperatura superior e inferior correspondente a cada tipo de protótipo (intensivo e extensivo), conforme Quadro 3.

QUADRO 3 – GERAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE AS TEMPERATURAS DOS PROTÓTIPOS

HORA	TVI SUPERIOR	TVI INFERIOR	TVE SUPERIOR	TVE INFERIOR	DIFERENÇA SUP - INF (TVI)	DIFERENÇA SUP - INF (TVE)
00:01	18,63°C	20,77°C	19,40°C	20,20°C	-2,13°C	-0,80°C
01:01	18,20°C	20,77°C	19,30°C	20,33°C	-2,57°C	-1,03°C
02:01	19,50°C	21,27°C	20,03°C	20,83°C	-1,77°C	-0,80°C
03:01	18,57°C	21,30°C	19,50°C	21,27°C	-2,73°C	-1,77°C
04:01	19,00°C	21,67°C	20,17°C	21,83°C	-2,67°C	-1,67°C

FONTE: A autora (2020).

A partir da Quadro gerada com as médias, os dados foram convertidos em gráficos para que a análise do resultado pudesse ser melhor visualizada.

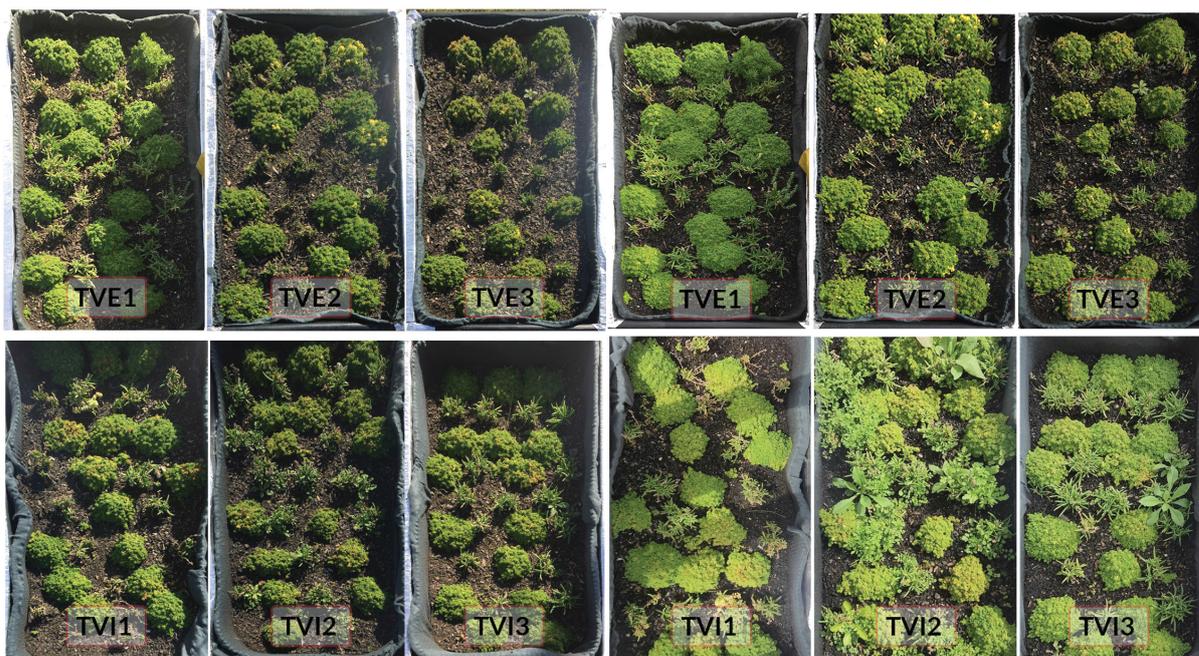
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.3.1 Avaliação do grau de cobertura vegetal

O monitoramento das espécies iniciou-se um mês após o plantio, no dia 13 de junho de 2019. As três primeiras colunas da Figura 20 ilustram a cobertura vegetal de cada protótipo neste dia, e as três seguintes demonstram o grau de cobertura das espécies quinze dias após o plantio, no dia 27/06/2019.

É possível observar o crescimento das espécies entre as datas, principalmente do *Sedum acre*. Também houve crescimento do *Lampranthus productus*, embora algumas mudas apresentassem folhas senescentes. Nos telhados verdes intensivos 2 e 3 houve incidência de plantas espontâneas, provavelmente dispersas por pássaros ou até mesmo por estarem próximas de outras espécies no viveiro de onde foram adquiridas.

FIGURA 20- COBERTURA VEGETAL - 13/06/2019 VERSUS 27/06/2019



FONTE: A autora (2019).

Passado o primeiro mês, o acompanhamento passou a ser feito a cada 20 dias. A Figura 21 demonstra o desenvolvimento da cobertura vegetal entre 11 de julho e 01 de agosto. É possível notar o desenvolvimento da vegetação neste período, principalmente das espécies espontâneas. Neste período, optou-se por preservar as espontâneas e aguardar novos eventos de precipitação para verificar o comportamento do sistema em relação ao controle de escoamento.

FIGURA 21 - COBERTURA VEGETAL - 11/07/2019 VERSUS 01/08/2019



FONTE: A autora (2019).

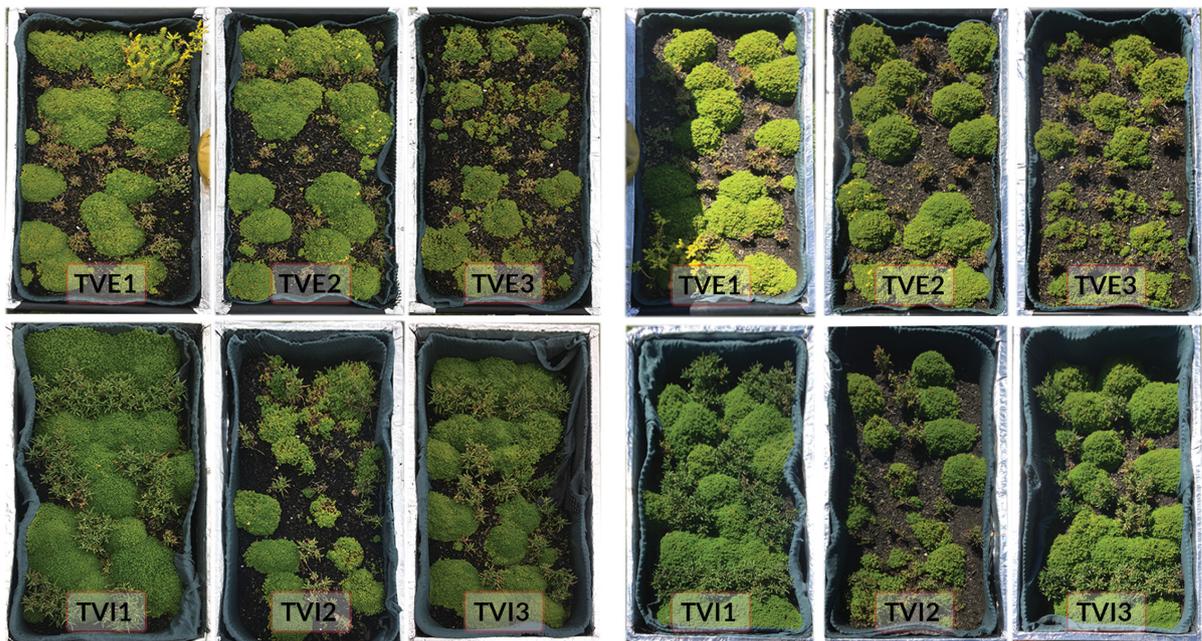
O período entre 20 de agosto e 10 de setembro (Figura 22) demonstra a transição entre o pico de crescimento da espécie espontânea e a retirada desta. Neste período em que a espécie foi mantida, notou-se diferença no percentual de retenção entre os protótipos de telhado verde intensivo, o que indicou a influência da espécie no desempenho do sistema em relação ao controle de escoamento. Desta forma, optou-se por removê-la, mantendo todos os protótipos com as mesmas espécies plantadas inicialmente.

FIGURA 22 - COBERTURA VEGETAL - 20/08/2019 VERSUS 10/09/2019



FONTE: A autora (2019).

FIGURA 23 - COBERTURA VEGETAL - 01/10/2019 VERSUS 22/10/2019



FONTE: A autora (2019).

Após a retirada das espécies espontâneas os protótipos de telhado verde intensivo apresentaram falhas na área de cobertura vegetal, principalmente no protótipo TVI2, em que havia maior área de espécies espontâneas. Neste período, já é possível observar melhor desempenho por parte do protótipo TVI1, que apresentou

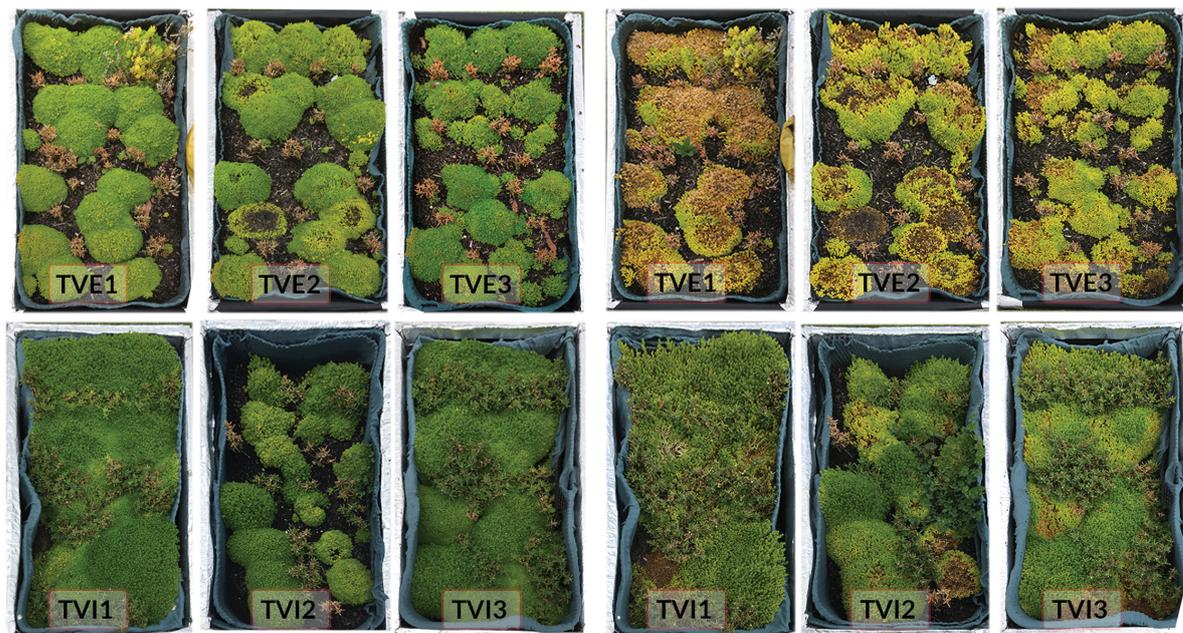
bom desenvolvimento mesmo da espécie *Lampranthus productus*, que não veio apresentando bom resultado de crescimento nos outros protótipos durante a condução do experimento.

FIGURA 24 - COBERTURA VEGETAL - 12/11/2019 VERSUS 03/12/2019



FONTE: A autora (2019).

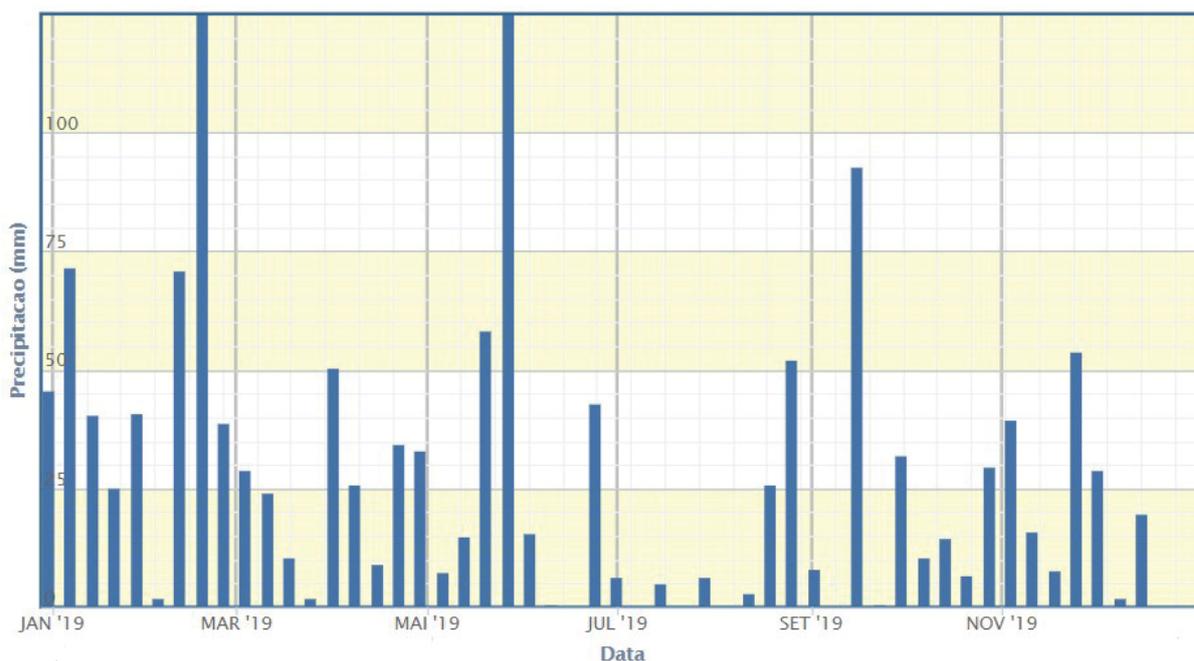
FIGURA 25 - COBERTURA VEGETAL - 20/12/2019 VERSUS 07/01/2020



FONTE: A autora (2019).

Até o dia 20 de dezembro de 2019 houve ótimo desempenho da espécie *Sedum acre* nos protótipos de telhado verde intensivo 1 e 3, porém, observou-se piora no aspecto da cobertura vegetal em todos os protótipos no dia 07 de janeiro. Isto pode ser explicado pelas altas temperaturas e estiagem no período decorrido. O Gráfico 3 ilustra a precipitação mensal no ano de 2019, em que é possível verificar o período de seca no final de dezembro.

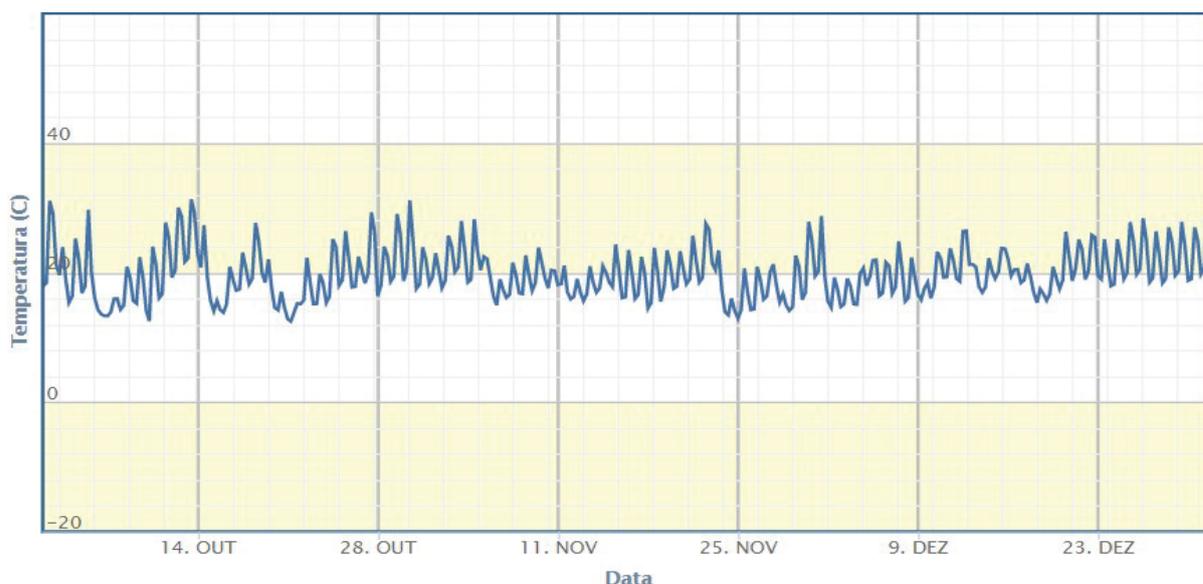
GRÁFICO 3 - PRECIPITAÇÃO MENSAL DE JANEIRO A DEZEMBRO DE 2019



FONTE: INMET (2020).

O Gráfico 4 diz respeito as temperaturas máximas e mínimas registradas de outubro a dezembro de 2019. A maior temperatura registrada foi no dia 31 de dezembro, marcando 31°C.

GRÁFICO 4 - TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS ENTRE OUTUBRO E DEZEMBRO DE 2019



FONTE: INMET (2020).

A partir da análise das imagens de cada protótipo com o software *ImageJ*®, foi possível extrair o percentual de cobertura vegetal em cada data de monitoramento, conforme Quadro 4.

QUADRO 4 - PERCENTUAL DE COBERTURA VEGETAL ATRAVÉS DE ANÁLISE COM O SOFTWARE *IMAGEJ*®

DATA	PERCENTUAL DE COBERTURA VEGETAL EM CADA PROTÓTIPO					
	TVE1	TVE2	TVE3	TVI1	TVI2	TVI3
13/06/2019	57%	54%	52%	68%	67%	66%
27/06/2019	60%	55%	54%	73%	75%	76%
11/07/2019	60%	55%	55%	75%	77%	76%
01/08/2019	60%	55%	56%	76%	79%	78%
20/08/2019	61%	56%	57%	79%	82%	84%
10/09/2019	62%	57%	55%	79%	67%	74%
01/10/2019	63%	57%	56%	83%	67%	75%
22/10/2019	63%	58%	56%	84%	68%	75%
12/11/2019	69%	62%	62%	86%	71%	83%
03/12/2019	72%	63%	64%	88%	72%	85%
20/12/2019	73%	63%	65%	89%	73%	86%
07/01/2020	69%	59%	63%	81%	79%	86%

FONTE: A autora (2020).

Analisando o Quadro 5 é possível observar que houve aumento da cobertura vegetal em todos os protótipos, porém, nos protótipos de telhado verde intensivo o desenvolvimento das espécies foi mais satisfatório, tendo um aumento de cobertura vegetal de até 20%, enquanto nos telhados verdes extensivos este valor foi de no máximo 12%.

Realizando a média entre os eventos registrados (Quadro 5) para cada protótipo é evidenciado um índice de cobertura vegetal maior nos protótipos de telhado verde intensivos.

QUADRO 5 - MÉDIA DO PERCENTUAL DE COBERTURA VEGETAL ATRAVÉS DE ANÁLISE COM O SOFTWARE *IMAGEJ*®

MÉDIA DO PERCENTUAL DE COBERTURA VEGETAL EM CADA PROTÓTIPO					
TVE1	TVE2	TVE3	TVI1	TVI2	TVI3
64%	58%	58%	80%	73%	78%

FONTE: A autora (2020).

A partir da visualização das fotos e da análise do percentual de cobertura vegetal é possível afirmar que as espécies vegetais se desenvolvem melhor em telhados verdes intensivos, sendo possível constatar que em média o índice de cobertura vegetal é 17% maior do que nos extensivos (Quadro 6), justamente pela camada de substrato ser maior e proporcionar material fértil para as plantas, diminuindo a competição por absorção de nutrientes.

QUADRO 6 - MÉDIA DO PERCENTUAL DE COBERTURA VEGETAL - EXTENSIVO VERSUS INTENSIVO

MÉDIA DO PERCENTUAL DE COBERTURA VEGETAL - EXTENSIVO X INTENSIVO	
TELHADO VERDE EXTENSIVO	TELHADO VERDE INTENSIVO
60%	77%

FONTE: A autora (2020).

O consórcio de *Sedum acre* e *Lampranthus productus* não foi bem-sucedido, visto que a *Lampranthus productus* não obteve desenvolvimento satisfatório. Apesar desta não ter apresentado aumento no grau de cobertura, o *Sedum acre* manteve-se

em crescimento durante o monitoramento, sofrendo estresse hídrico apenas no final do experimento, quando foi exposto a altas temperaturas e falta de chuva no mês de dezembro (Gráficos 3 e 4). O fato de não ter sido realizada a rega em nenhum momento demonstra que o *Sedum acre* é uma espécie adequada para o uso de telhados verdes, havendo necessidade de irrigação apenas em períodos de estiagem.

5.3.2 Controle de escoamento

O controle de escoamento foi monitorado de 13 de maio de 2019 a 02 de janeiro de 2020, fechando em um total de 21 eventos ocorridos. Destes 21 eventos, três foram descartados pela ocorrência de transbordamento do galão coletor. Os dados coletados podem ser observados no Quadro 7.

QUADRO 7 – CONTROLE DE ESCOAMENTO NOS PROTÓTIPOS DE TELHADO VERDE

(continua)

CONTROLE DE ESCOAMENTO								
Evento	Data	Precipitação dados INMET (em 1 m ²) (L)	Precipitação no protótipo (em 0,5m ²) (L)	Protótipo	Medição			
					Medida galão (cm)	Medida galão (L)	Percentual escoamento (%)	Percentual retenção (%)
1	17/05/19 a 19/05/19	40	20	TVI 1	8	4,44	22,22%	77,78%
				TVI 2	5	2,78	13,89%	86,11%
				TVI 3	25	13,89	69,44%	30,56%
				TVE 1	35	19,44	97,22%	2,78%
				TVE 2	15	8,33	41,67%	58,33%
				TVE 3	10	5,56	27,78%	72,22%
2	23/05/19 a 24/05/19	42,2	21,1	TVI 1	12	6,67	31,60%	68,40%
				TVI 2	13	7,22	34,23%	65,77%
				TVI 3	5	2,78	13,16%	86,84%
				TVE 1	18	10,00	47,39%	52,61%
				TVE 2	20	11,11	52,66%	47,34%
				TVE 3	25	13,89	65,82%	34,18%
3	15/07/19	4,2	2,1	TVI 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 3	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 3	0	0,00	0,00%	100,00%
4	02/08/19	5,2	2,6	TVI 1	0	0,00	0,00%	100,00%

CONTROLE DE ESCOAMENTO								
Evento	Data	Precipitação dados INMET (em 1 m ²) (L)	Precipitação no protótipo (em 0,5m ²) (L)	Protótipo	Medição			
					Medida galão (cm)	Medida galão (L)	Percentual escoamento (%)	Percentual retenção (%)
				TVI 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 3	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 1	1	0,56	21,37%	78,63%
				TVE 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 3	0	0,00	0,00%	100,00%
5	19/08/19	20,8	10,4	TVI 1	0,5	0,28	2,67%	97,33%
				TVI 2	1	0,56	5,34%	94,66%
				TVI 3	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 1	8	4,44	42,74%	57,26%
				TVE 2	8,5	4,72	45,41%	54,59%
				TVE 3	4	2,22	21,37%	78,63%
6	23/08/19	6	3	TVI 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 3	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 3	0	0,00	0,00%	100,00%
7	31/08/19 a 01/09/19	53	26,5	TVI 1	11	6,11	23,06%	76,94%
				TVI 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 3	8	4,44	16,77%	83,23%
				TVE 1	28	15,56	58,70%	41,30%
				TVE 2	19	10,56	39,83%	60,17%
				TVE 3	15	8,33	31,45%	68,55%
8	18/09/19 a 19/09/19	55,8	27,9	TVI 1	9,5	5,28	18,92%	81,08%
				TVI 2	4	2,22	7,96%	92,04%
				TVI 3	5	2,78	9,96%	90,04%
				TVE 1	34	18,89	67,70%	32,30%
				TVE 2	31	17,22	61,73%	38,27%
				TVE 3	27	15,00	53,76%	46,24%
9	14/10/19	24,8	12,4	TVI 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 3	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 3	0	0,00	0,00%	100,00%
10	21/10/19	6	3	TVI 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 3	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 3	0	0,00	0,00%	100,00%
11	28/10/19	26	13	TVI 1	5	2,78	21,37%	78,63%
				TVI 2	2	1,11	8,55%	91,45%
				TVI 3	2	1,11	8,55%	91,45%
				TVE 1	13	7,22	55,56%	44,44%
				TVE 2	12	6,67	51,28%	48,72%
				TVE 3	5	2,78	21,37%	78,63%

CONTROLE DE ESCOAMENTO								
Evento	Data	Precipitação dados INMET (em 1 m ²) (L)	Precipitação no protótipo (em 0,5m ²) (L)	Protótipo	Medição			
					Medida galão (cm)	Medida galão (L)	Percentual escoamento (%)	Percentual retenção (%)
12	03/11/19 a 05/11/19	13,4	6,7	TVI 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 3	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 1	1	0,56	8,29%	91,71%
				TVE 2	1	0,56	8,29%	91,71%
				TVE 3	0	0,00	0,00%	100,00%
13	10/11/19	29,6	14,8	TVI 1	4	2,22	15,02%	84,98%
				TVI 2	2	1,11	7,51%	92,49%
				TVI 3	1	0,56	3,75%	96,25%
				TVE 1	16	8,89	60,06%	39,94%
				TVE 2	10	5,56	37,54%	62,46%
				TVE 3	8	4,44	30,03%	69,97%
14	14/11/19	10	5	TVI 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 3	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 3	0	0,00	0,00%	100,00%
15	5/12/19	42	21	TVI 1	15	8,33	39,68%	60,32%
				TVI 2	11	6,11	29,10%	70,90%
				TVI 3	8	4,44	21,16%	78,84%
				TVE 1	35	19,44	92,59%	7,41%
				TVE 2	22	12,22	58,20%	41,80%
				TVE 3	19	10,56	50,26%	49,74%
16	16/12/19	11,8	5,9	TVI 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 3	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 3	0	0,00	0,00%	100,00%
17	22/12/19	4,8	2,4	TVI 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 3	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 3	0	0,00	0,00%	100,00%
18	02/01/20	18,6	9,3	TVI 1	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 2	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVI 3	0	0,00	0,00%	100,00%
				TVE 1	6	3,33	35,84%	64,16%
				TVE 2	5	2,78	29,87%	70,13%
				TVE 3	3	1,67	17,92%	82,08%

FONTE: A autora (2020).

O Quadro foi dividido por cores que indicam as estações do ano. A cor verde indica outono, a azul inverno, amarelo primavera e laranja indica o verão. O maior período de monitoramento foi entre o inverno e a primavera, tendo apenas dois eventos no outono e verão. Os quadros abaixo demonstram a média do percentual de retenção de cada protótipo para cada estação.

QUADRO 8 - MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO PARA O OUTONO

MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO EM CADA PROTÓTIPO - OUTONO					
TVI1	TVI2	TVI3	TVE1	TVE2	TVE3
73%	76%	59%	28%	53%	53%

FONTE: A autora (2020).

QUADRO 9 - MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO PARA O INVERNO

MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO EM CADA PROTÓTIPO - INVERNO					
TVI1	TVI2	TVI3	TVE1	TVE2	TVE3
93%	98%	96%	68%	76%	82%

FONTE: A autora (2020).

QUADRO 10 - MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO PARA A PRIMAVERA

MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO EM CADA PROTÓTIPO - PRIMAVERA					
TVI1	TVI2	TVI3	TVE1	TVE2	TVE3
90%	94%	96%	73%	81%	87%

FONTE: A autora (2020).

QUADRO 11 - MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO PARA O VERÃO

MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO EM CADA PROTÓTIPO - VERÃO					
TVI1	TVI2	TVI3	TVE1	TVE2	TVE3
100%	100%	100%	82%	85%	91%

FONTE: A autora (2020).

A análise do desempenho hidrológico do sistema não é tão precisa quando feita separada por estações, pois o tempo de monitoramento é muito curto, principalmente para o outono e verão.

Visto isto, faz-se necessário fazer uma análise da média total por protótipos, que pode ser observada no Quadro 12.

QUADRO 12 - MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO PLUVIAL EM CADA PROTÓTIPO

MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO TOTAL EM CADA PROTÓTIPO					
TVI1	TVI2	TVI3	TVE1	TVE2	TVE3
90%	94%	92%	67%	76%	82%

FONTE: A autora (2020).

É possível verificar melhor desempenho em todos os protótipos de telhado verde intensivo, tendo pouca diferença de percentual de retenção pluvial entre eles. Já os extensivos apresentaram valores com maior discrepância, principalmente no protótipo TVE1. O fato de que este protótipo estava muito próximo do TVI3, associado à orientação solar em que estão posicionados, ocasionou em sombra, o que fez com que não estivesse exposto às mesmas condições climáticas que os protótipos TVE2 e TVE3. Considerando este fato, optou-se por realizar a média entre os três protótipos de telhado verde intensivo e apenas os dois últimos de telhado verde extensivo, descartando os dados do protótipo TVE1. Desta forma, a média entre os protótipos pode ser observada no Quadro 13.

QUADRO 13- MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO ENTRE PROTÓTIPOS DE MESMA CLASSIFICAÇÃO

MÉDIA DO PERCENTUAL DE RETENÇÃO TVI X TVE	
TVI	TVE
92%	79%

FONTE: A autora (2020).

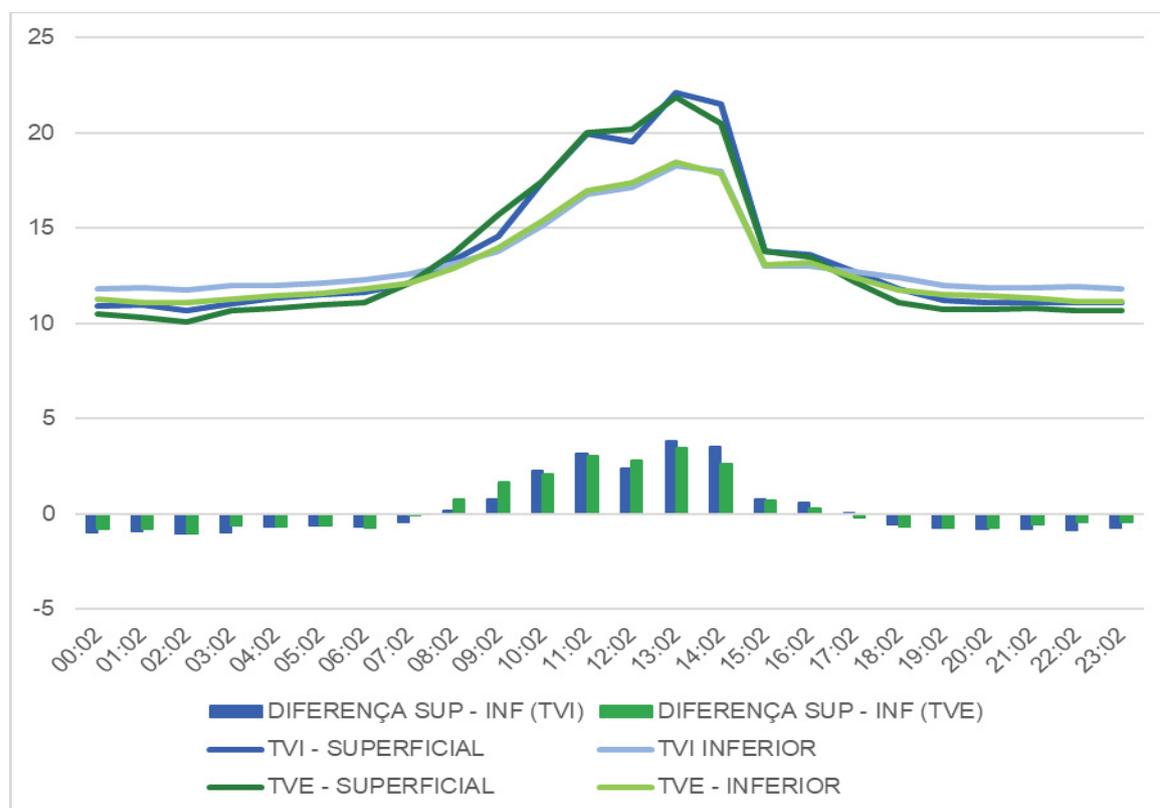
Desta forma, confirma-se a hipótese de que telhados verdes intensivos apresentam melhores resultados em relação ao controle de escoamento superficial, visto que os protótipos de telhado verde intensivo apresentaram 13% a mais de retenção de águas pluviais em relação aos telhados verdes extensivos.

5.3.3 Controle de temperatura

O monitoramento da temperatura superficial iniciou no dia 23 de setembro de 2019 e foi realizada em três eventos, o primeiro no inverno, o segundo na primavera e o terceiro no verão. Conforme já mencionado no item 5.2.5, foi definido que a análise seria feita por meio da média dos dados de temperatura superficial e inferior entre os protótipos de telhado verde intensivo e extensivo, além de verificar a diferença de temperatura superior e inferior em cada modelo. A partir disso, optou-se por gerar os gráficos com dados coletados durante 24h, para que a visualização dos resultados fosse mais precisa.

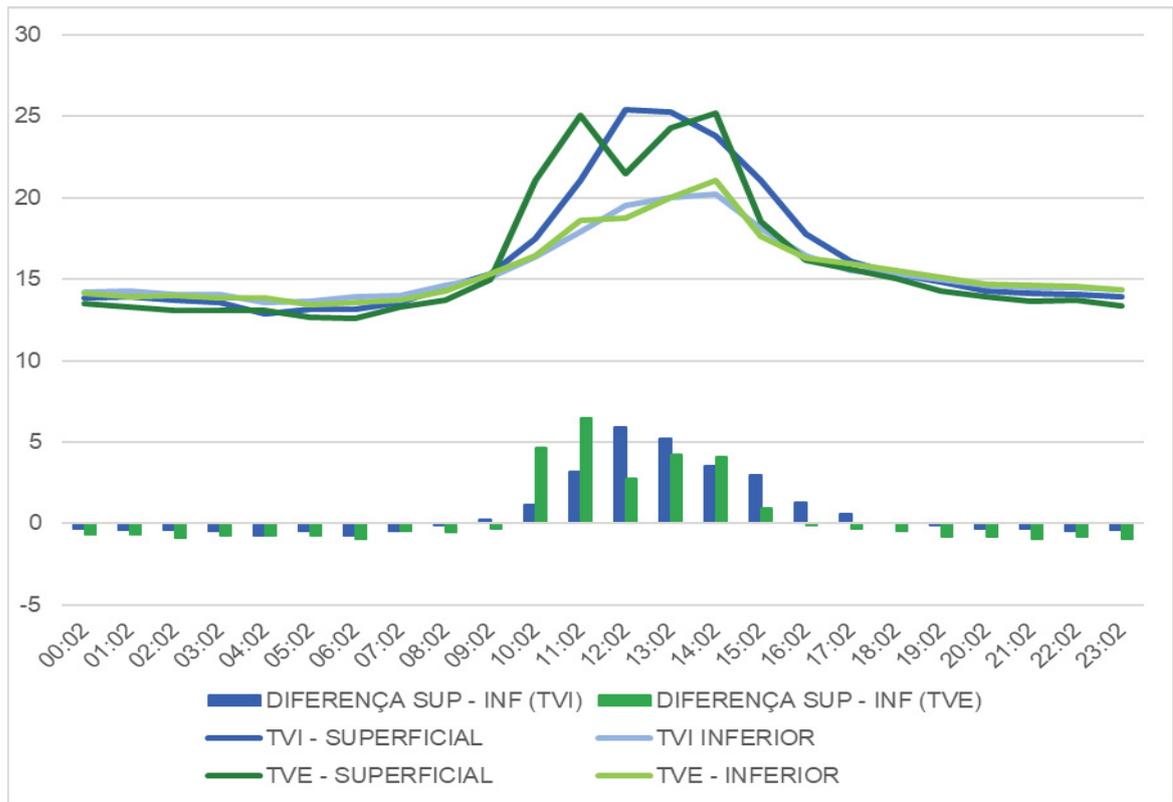
Os Gráficos 5 e 6 demonstram os dados de temperatura do evento 1, realizado entre 23 e 25 de setembro de 2019. As linhas representam as temperaturas médias registradas em um intervalo de meia hora e as colunas indicam a variação entre a temperatura superior e a inferior para cada modelo.

GRÁFICO 5 - MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 1 (23 A 24/09/2019)



Fonte: A autora (2020).

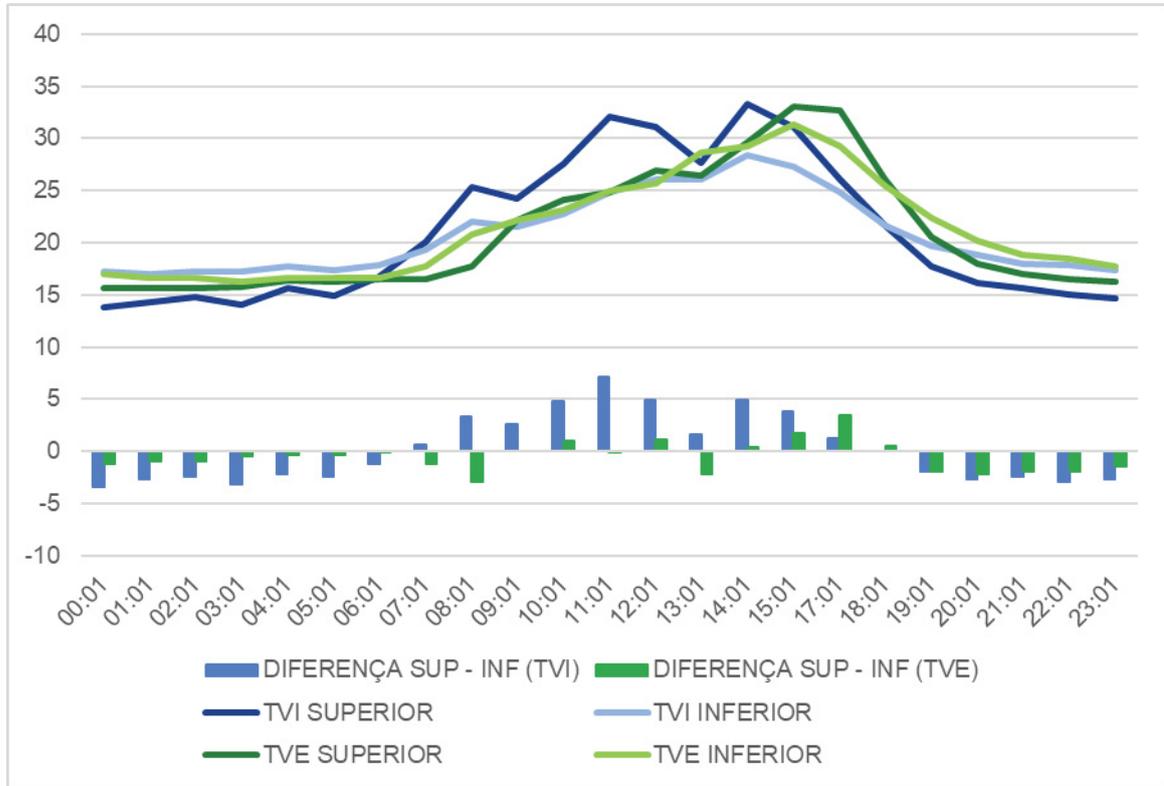
GRÁFICO 6 - MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 1 (24 A 25/09/2019)



Fonte: A autora (2020).

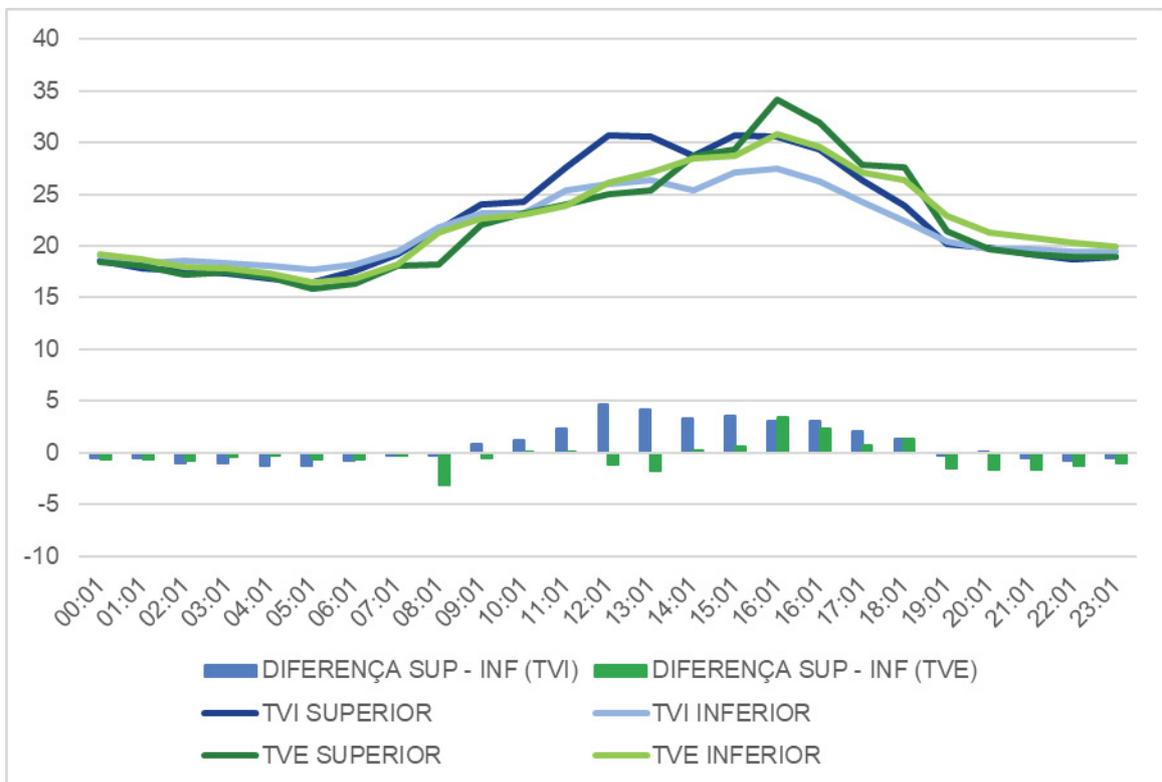
Os Gráficos 7, 8 e 9 ilustram as médias de temperaturas registradas durante o evento 2, realizado entre 18 e 21 de novembro de 2019.

GRÁFICO 7- MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 2 (18 A 19/11/2019)



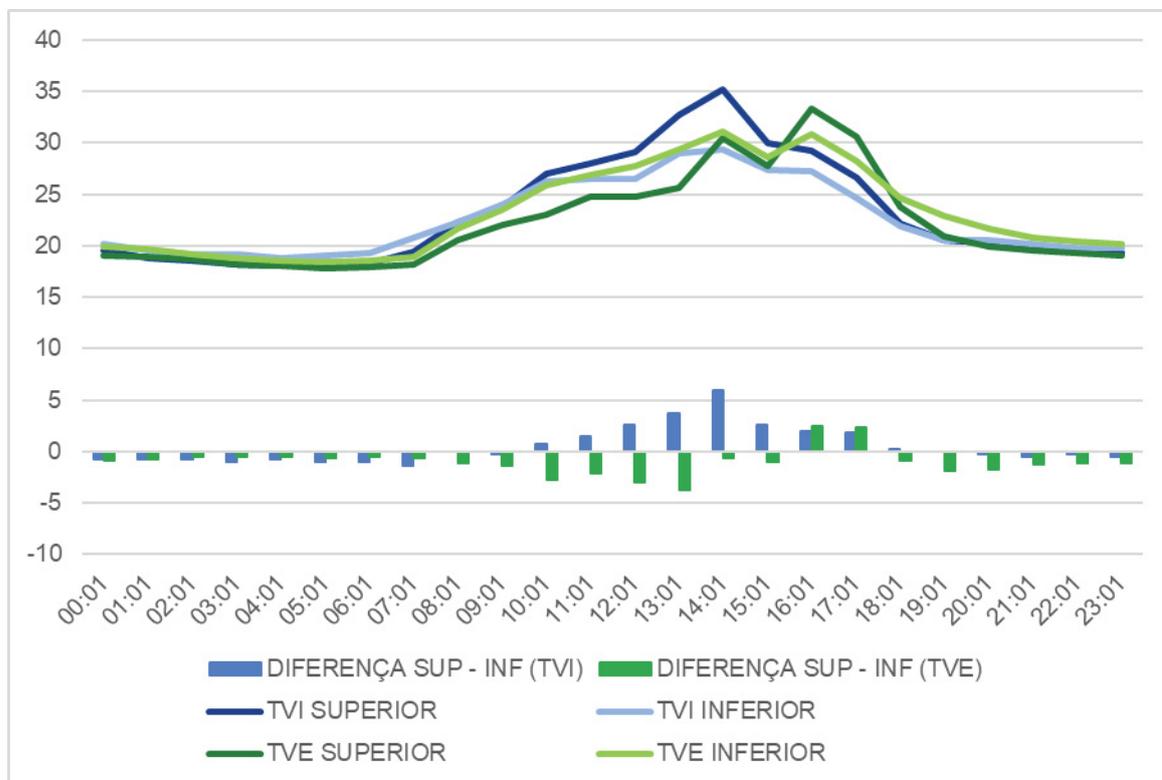
FONTE: A autora (2020).

GRÁFICO 8 - MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 2 (19 A 20/11/2019)



FONTE: A autora (2020).

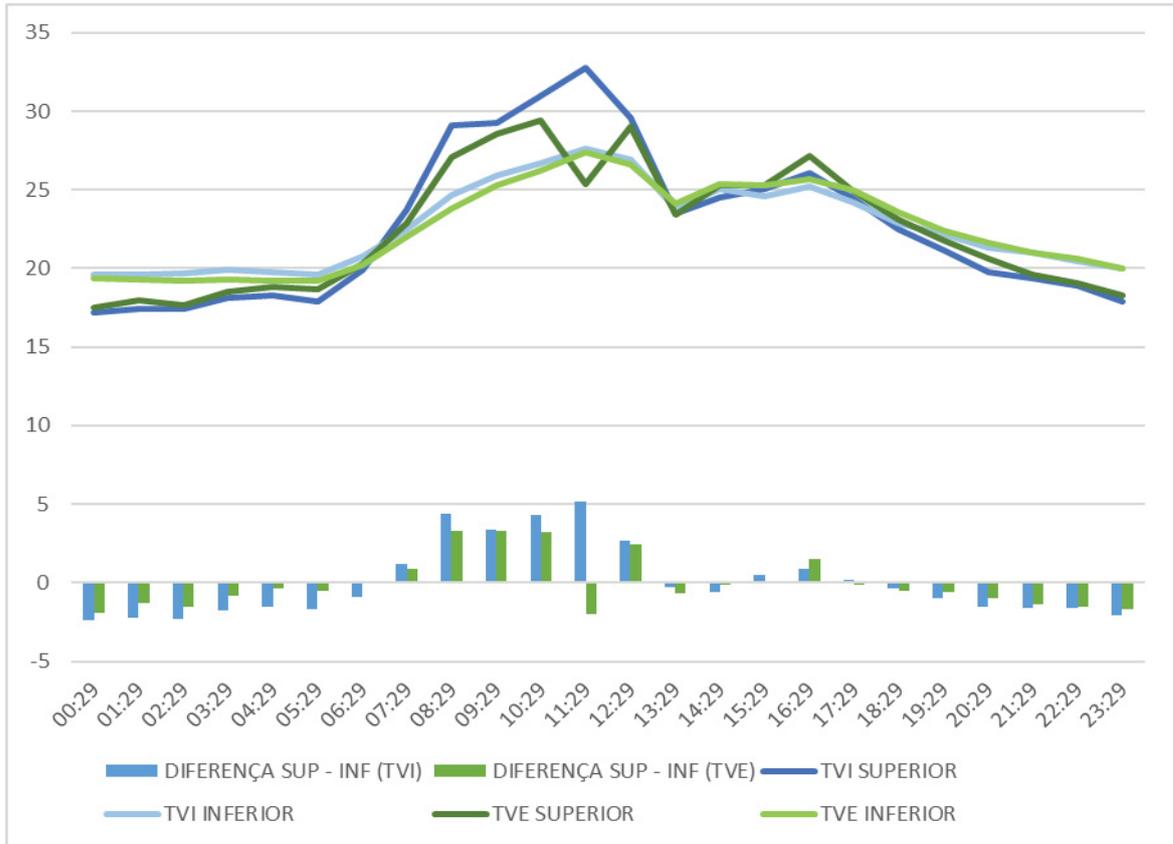
GRÁFICO 9 – MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 2 (20 A 21/11/2019)



FONTE: A autora (2020).

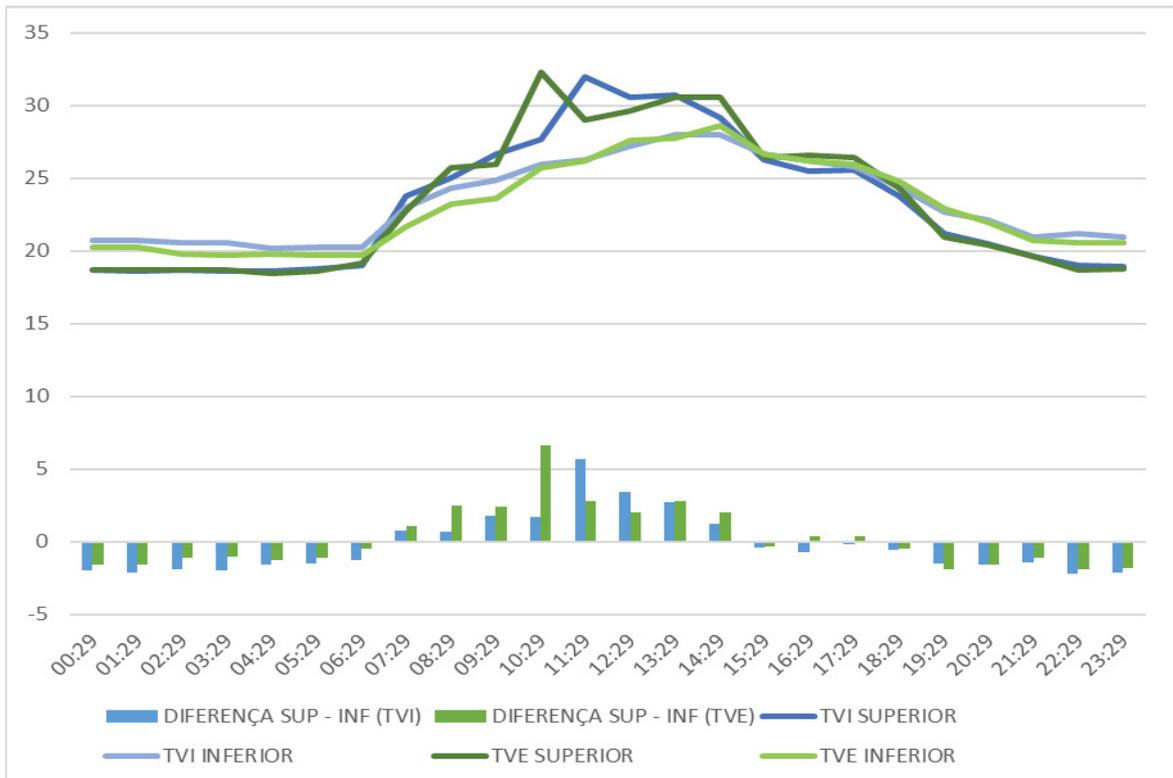
Os Gráficos 10, 11 e 12 ilustram as médias de temperaturas registradas durante o evento 3, realizado entre 20 e 23 de dezembro de 2019.

GRÁFICO 10 – MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 3 (20 A 21/12/2019)



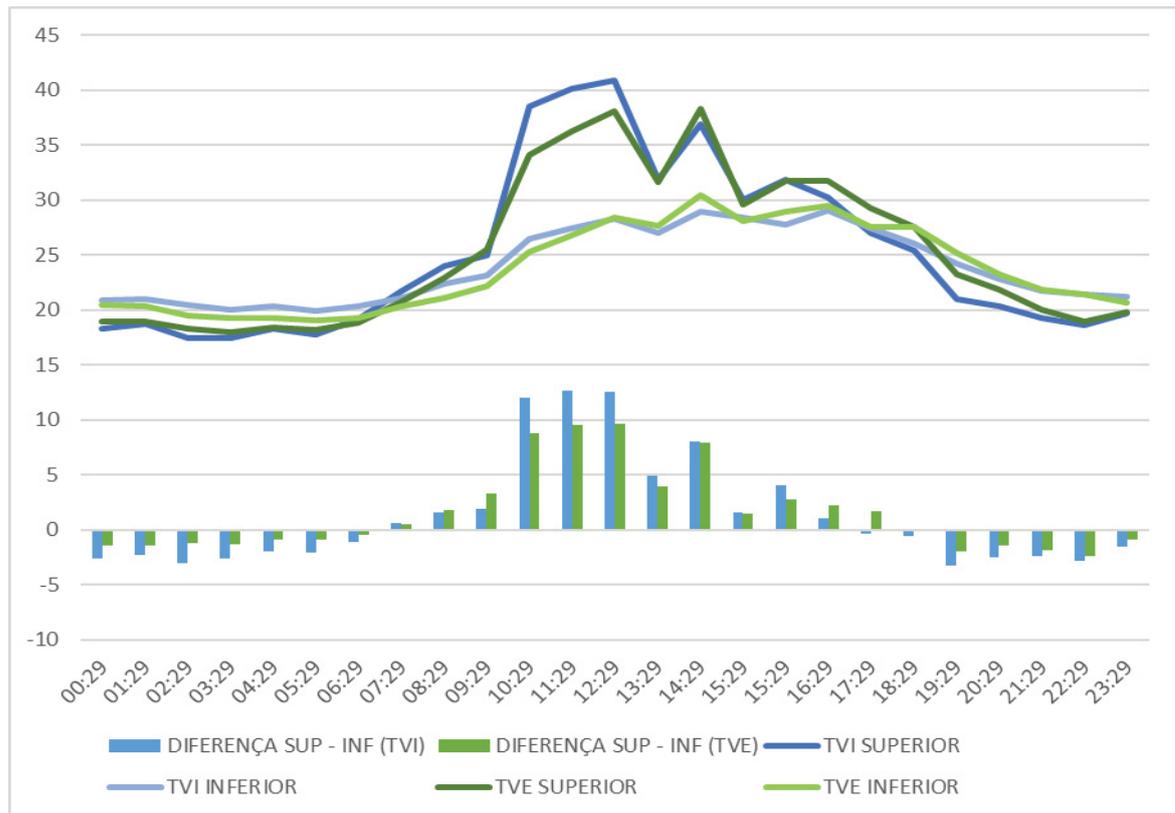
FONTE: A autora (2020).

GRÁFICO 11 – MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 3 (21 A 22/12/2019)



FONTE: A autora (2020).

GRÁFICO 12 – MÉDIA DE TEMPERATURAS DURANTE O EVENTO 3 (22 A 23/12/2019)



FONTE: A autora (2020).

Analisando os gráficos é possível perceber que quando as temperaturas estão mais altas e sobem em um intervalo de tempo menor, a diferença entre a temperatura superficial superior e inferior é maior, indicando que a temperatura embaixo do telhado verde se mantém mais estável e não sofre tanto com o aumento da temperatura externa. Já quando as temperaturas são mais baixas e estáveis, os valores de diferença entre a temperatura superior e inferior ficam mais próximos, não demonstrando variação significativa.

A tendência mostrada por um maior período de tempo é que quando as temperaturas superiores estão mais altas, as inferiores se mantêm mais estáveis, e quando as temperaturas superiores ficam mais baixas, as inferiores se mantêm com valores mais próximos das superiores ou reduzem em uma escala menor, porém, no evento 2 foram verificadas temperaturas inferiores mais altas que as superiores, mesmo em períodos mais quentes nos protótipos de telhado verde extensivo, enquanto nos intensivos as temperaturas inferiores mostraram-se mais altas apenas quando houve queda na temperatura superior.

Na maior parte do tempo os intensivos se mostraram mais efetivos que os extensivos, porém não houve diferença de temperatura significativa entre os intensivos e extensivos no inverno, em que ambas se mantiveram mais constantes e na mesma faixa de variação.

Em dias mais frios, a diferença entre as temperaturas superiores e inferiores foi muito baixa em ambos os modelos, variando no máximo 1°C. Além disso, a comparação entre extensivo e intensivo na diferença de temperatura superior – inferior se mostrou ainda mais baixa, variando no máximo 0,5°C.

Embora a amostra seja pequena, foi possível verificar desempenho superior do telhado verde intensivo para os dias mais quentes, em que apresentou variação de até 12°C entre a temperatura superior e inferior, enquanto no telhado verde extensivo esta diferença foi de 8°C.

Nos picos mais altos das temperaturas superficiais foi possível verificar uma diferença de até 4°C na temperatura inferior entre o telhado verde intensivo e extensivo, sendo o extensivo o que apresentou a menor variação de temperatura superior – inferior.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação ao desenvolvimento das espécies é possível afirmar que camadas de substrato mais profundas influenciam no grau de cobertura vegetal, pois houve maior cobertura nos protótipos de telhado verde intensivo. Embora o consórcio de *Sedum acre* e *Lampranthus productus* não tenha sido bem-sucedido, a espécie *Sedum acre* apresentou bom grau de cobertura durante maior parte do monitoramento. O fato de não ter sido realizada a rega em nenhum momento demonstra que o *Sedum acre* é uma espécie adequada para o uso de telhados verdes, havendo necessidade de irrigação apenas em períodos de estiagem.

A retenção do escoamento superficial apresentou resultado satisfatório em relação ao objetivo da pesquisa, demonstrando que telhados verdes intensivos possuem desempenho superior aos extensivos em relação a retenção de águas pluviais para o clima de Curitiba.

No que diz respeito ao controle de temperatura, é possível verificar uma tendência de que o uso de telhados verdes possa ser mais efetivo em climas mais quentes, pois as trocas de calor foram menores quando as temperaturas alcançavam o pico mais alto do dia. Neste caso, nos períodos que marcavam temperaturas mais altas foi possível notar menor variação na temperatura superficial inferior nos protótipos de telhado verde intensivo.

Nos períodos mais frios a diferença entre um modelo e outro não foi significativa.

6 RETARDO DO ESCOAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS E CONTROLE DE TEMPERATURA EM UM TERRAÇO JARDIM NA CIDADE DE CURITIBA: TELHADO VERDE INTENSIVO VERSUS EXTENSIVO

Rainwater runoff delay and temperature control on a terrace in the city of Curitiba: intensive versus extensive green roof

RESUMO

O uso de telhados verdes vem sendo estudado há anos por conta dos benefícios que este pode apresentar em relação a mitigação de enchentes, redução de ilhas de calor, melhoria da qualidade do ar e conforto térmico e acústico nas edificações. Porém, através da elaboração de uma revisão sistemática de literatura, observou-se que a maioria dos estudos se concentram no uso de telhados verdes extensivos, enquanto os poucos que trazem resultados sobre os intensivos afirmam que é possível potencializar os benefícios citados através do uso de camadas de substrato mais profundas. Além dos poucos resultados encontrados, não foram encontrados estudos no Brasil em relação ao tema, o que demonstra a necessidade da geração de resultados para o nosso contexto, visto que o clima influencia no desempenho de telhados verdes. Sendo assim, o objetivo da pesquisa é explorar o efeito que a profundidade da camada de substrato pode surtir no desempenho de telhados verdes em relação à retenção de águas pluviais, atraso de pico e controle de temperatura interna das edificações na cidade de Curitiba-PR. Para isso, realizou-se um estudo de caso em um terraço jardim em que foi comparado o desempenho entre um telhado verde intensivo, um extensivo e uma laje de concreto. Os dois tipos de telhado verde possuíam o mesmo tipo de substrato, drenagem e espécies vegetais, variando apenas a espessura da camada de substrato, que é a unidade de análise. A geração de dados ocorreu por meio da criação de uma rede de sensores sem fio que possibilitou o acompanhamento dos dados em tempo real, através de um projeto desenvolvido a partir do conceito de internet das coisas. O monitoramento do experimento ocorreu durante quatro meses, o que possibilitou o acompanhamento de 12 eventos de precipitação e dados de temperatura durante todo o período. O desenvolvimento do experimento possibilitou afirmar que telhados verdes intensivos possuem desempenho superior em relação as variáveis mencionadas, sendo que a média do percentual de retenção de águas pluviais aumentou em até 38% nos telhados verdes intensivos em relação aos extensivos, enquanto o atraso de pico pôde ser retardado em quase três horas. Em relação a temperatura da camada de substrato, o telhado verde intensivo apresentou valor mais baixo e constante, mostrando uma diferença de até 16°C no dia mais quente comparado ao extensivo.

Palavras-chave: Terraço jardim. Cobertura verde intensiva. Retenção de águas pluviais. Atraso de pico. Comportamento térmico. Isolamento térmico.

ABSTRACT

The use of green roofs has been studied for years because of the benefits it can have in relation to flood mitigation, reduction of heat islands, improvement of air quality and

thermal and acoustic comfort in buildings. However, through the development of a systematic literature review, it was observed that most studies focus on the use of extensive green roofs, while the few that bring results on the intensive ones claim that it is possible to enhance the benefits mentioned through the use of deeper substrate layers. In addition to the few results found, no studies were found in Brazil on the subject, which demonstrates the need to generate results for our context, since the climate influences the performance of green roofs. Therefore, the objective of the research is to explore the effect that the thickness of the substrate layer may have on the performance of green roofs in relation to rainwater retention, peak delay and internal temperature control of buildings in the city of Curitiba (Brazil). For this, a case study was carried out on a garden terrace in which the performance between an intensive green roof, an extensive roof and a bare roof was compared. These two types of green roof had the same type of substrate, drainage and plant species, varying only the thickness of the substrate layer, which is the unit of analysis. The generation of data occurred through the creation of a wireless sensor network that enabled the monitoring of data in real time, through a project developed based on the concept of internet of things (IOT). The experiment was monitored for four months, which made it possible to monitor 12 precipitation events and temperature data throughout the period. The development of the experiment made it possible to affirm that intensive green roofs have superior performance in relation to the mentioned variables, and the percentage of rainwater retention increased by up to 60% in intensive green roofs in relation to extensive ones, while the peak delay could be improved in almost three hours. Regarding the temperature of the substrate layer, the intensive green roof showed a lower and constant value, showing a difference of up to 16° C on the hottest day compared to the extensive one.

Keywords: Garden terrace. Intensive green roof. Rainwater retention. Peak delay. Thermal behavior. Thermal insulation.

6.1 INTRODUÇÃO

De acordo com o IBGE (2019), Curitiba ganhou 15.920 habitantes em um ano, crescimento este que se demonstra maior que 70% dos municípios do Paraná (PAVANELI, 2019). Com o crescimento da população, aumenta a demanda por novas moradias e conseqüentemente por ampliação da infraestrutura urbana, o que ocasiona em extensão da impermeabilização do solo, que já representa 85% do território curitibano, de acordo com o pesquisador Roberto Fendrich (SILVEIRA, 2019).

Um dos problemas ocasionados pela impermeabilização do solo é a ocorrência de enchentes, questão recorrente na cidade de Curitiba. De acordo com o professor Marlos Hardt, mestre em Gestão Urbana, uma das soluções para a contenção de enchentes na capital é incentivar o uso de paredes e telhados verdes (SILVEIRA, 2019),

porém, a Prefeitura de Curitiba não tem visto esta como a solução para este problema, e pretende investir R\$ 480 milhões em obras de drenagem que prometem garantir que a população sinta cada vez menos os impactos ocasionados pelas fortes chuvas (CURITIBA. Prefeitura Municipal, 2019).

Levando em consideração os resultados encontrados na literatura existente, supõe-se que seria muito mais vantajoso e menos custoso para a Prefeitura se criasse medidas de obrigatoriedade e/ou incentivo do uso de telhados verdes, pois é possível retardar grande parte do escoamento superficial através de coberturas vegetadas (BÄR, 2019; LOPES, 2018; SAVI, 2015; TASSI et al., 2014; SANTOS et al. 2013; BALDESSAR, 2012), o que colaboraria significativamente na redução de enchentes, evitando assim grandes gastos e transtornos com obras de drenagem.

Além de os telhados verdes apresentarem resultados positivos na redução de enchentes, também podem melhorar a qualidade do ar, aumentar a biodiversidade, mitigar ilhas de calor e controlar a temperatura interna das edificações, questão esta que pode auxiliar na redução do gasto energético, pois com o isolamento térmico proporcionado pelo telhado verde, o ambiente reduz as trocas de calor com o meio externo, o que evita que os usuários utilizem aparelhos de ar condicionado.

Mediante a realização de pesquisas acerca do tema, foram encontrados diversos estudos que comprovam estes benefícios, e notou-se que em estudos da literatura estrangeira, telhados verdes intensivos mostram-se mais eficientes em relação aos extensivos no que diz respeito a retenção de águas pluviais e controle de temperatura (CASAGRANDE et al., 2019).

Mentens Raes e Hermy (2006) afirmam que a profundidade da camada do substrato influencia no percentual de retenção de águas pluviais, sendo que a capacidade de retenção de um telhado verde intensivo pode ser até 30% maior que um extensivo.

Speak et al. (2013) e Silva, Gomes e Silva (2016) comprovam que os telhados verdes intensivos podem potencializar o isolamento térmico das edificações, diminuindo a troca de calor entre o ambiente externo e interno.

Apesar de encontrar dados na literatura estrangeira que comprovem que telhados verdes intensivos possuem melhores resultados em relação a retenção de águas pluviais e controle de temperatura, no Brasil o tema ainda é pouco difundido.

Scharf e Zluwa (2017) afirmam que telhados verdes reagem de forma diferente de acordo com a condição climática, o que demonstra a necessidade de estudos relacionados ao tema para o clima brasileiro.

Desta forma, este estudo buscou explorar o uso de telhados verdes intensivos de modo a verificar quanto é possível melhorar o percentual de retenção de águas pluviais, atraso de pico e temperatura quando a profundidade da camada de substrato é aumentada. Além disso, foi possível verificar como esta técnica se comporta em um terraço verde localizado na cidade de Curitiba, buscando então trazer dados que justifiquem o uso de telhados verdes como solução para as enchentes e a redução do gasto energético do município.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Método de pesquisa

Esta pesquisa propôs realizar a comparação entre um telhado verde intensivo, um extensivo e uma laje de concreto em um terraço jardim de modo a verificar quanto a espessura da camada de substrato pode influenciar no desempenho de telhados verdes em relação a temperatura da camada de substrato, temperatura interna dos ambientes localizados abaixo do terraço, retenção de águas pluviais e atraso de pico. Sendo assim, a unidade de análise é dimensão da camada de substrato. Esta pesquisa trata-se de um estudo de caso, em que o objeto de estudo é o telhado verde intensivo. Para condução deste estudo, as variáveis em questão foram analisadas da seguinte forma:

- 1) Temperatura da camada de substrato: foi utilizado sensor do tipo DS18D20 enterrado na camada de substrato a sete centímetros de profundidade.
- 2) Temperatura do ar dos ambientes: A medição foi feita através de um sensor de temperatura e umidade do tipo DHT11 que foi instalado no ambiente abaixo do terraço verde, sendo que cada módulo (telhado verde intensivo – laje – extensivo) estava acima de um ambiente diferente e cada ambiente possui a mesma área.
- 3) Retenção de águas pluviais: foi instalado um sensor capacitivo de umidade do tipo CS12 que mediu a massa de água retida no solo. Para cálculo do

percentual de retenção, foi utilizado como parâmetro um pluviômetro do tipo caçamba ou balança – modelo MS-WH-SP-RG para comparação com a quantidade de precipitação ocorrida.

- 4) Atraso de pico: foram instalados sensores de chuva do tipo resistivo (modelo FC-37) tanto em cima quanto embaixo dos módulos, com o intuito de calcular o atraso de pico, que nada mais é que a diferença de tempo entre o instante em que começou a chover e o momento em que a água começa a escoar através do ralo.

Foi alterada apenas a variável de espessura da camada de substrato, sendo mantidas todas as outras variáveis iguais (tipo de substrato, impermeabilização, camada anti-raiz, drenagem e vegetação), para que não houvesse influência nas medições.

6.2.2 Localização

O estudo de caso está localizado na cidade de Curitiba-PR, situado nas coordenadas geográficas -25.422516S, -49.247699W, em um terraço jardim denominado Terraço Verde. A condução do experimento foi realizada através de uma parceria com o local, que articula produtos e serviços ligados à sustentabilidade urbana, fomenta sua replicação e fortalece a economia verde. O objetivo do projeto é transformar uma área ociosa em um local para desenvolver tecnologias sustentáveis e educação (TERRAÇO VERDE, 2019). Um dos interesses do Terraço Verde é replicar a ideia para outros espaços da cidade e com isso busca dados que demonstrem os benefícios da utilização de telhados verdes para despertar interesse da população na utilização da técnica, desta forma criou-se a parceria para a execução do experimento no local.

FIGURA 26 – LOCALIZAÇÃO



FONTE: Os autores, adaptado de Google Maps (2019).

FIGURA 27 – VISTA AÉREA DO TERRAÇO VERDE

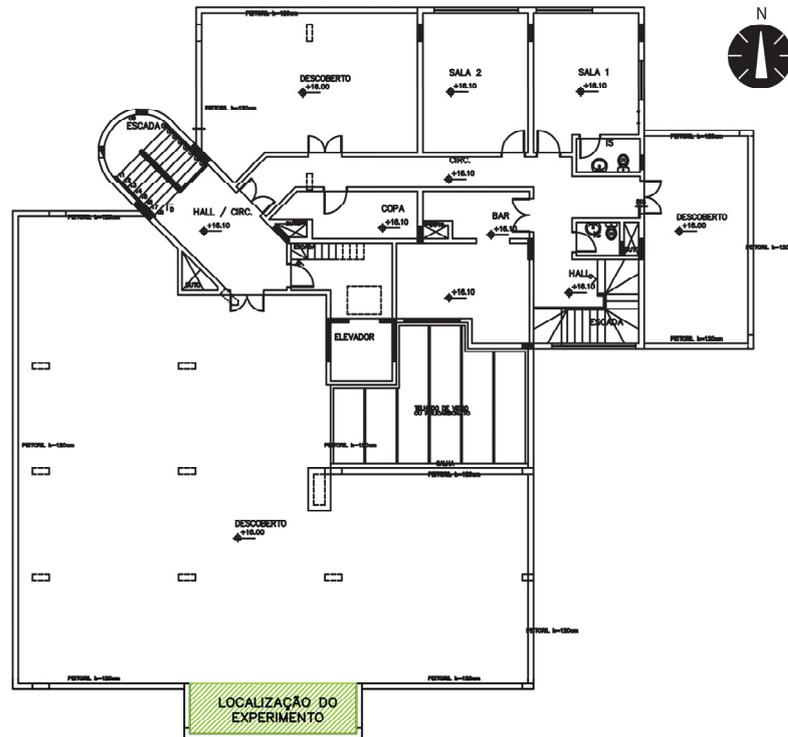


FONTE: REC Filmes (2019).

6.2.3 Construção dos canteiros

O espaço Terraço Verde ainda se encontra em construção e quando iniciou-se a parceria, existia apenas a implantação de telhado verde do tipo extensivo. Desta forma, para atender a necessidade da pesquisa, foram criados canteiros compostos por dois módulos com mesma área, sendo um de telhado verde intensivo e outro de telhado verde extensivo. A Figura 28 apresenta a planta de cobertura do edifício com indicação da localização do experimento.

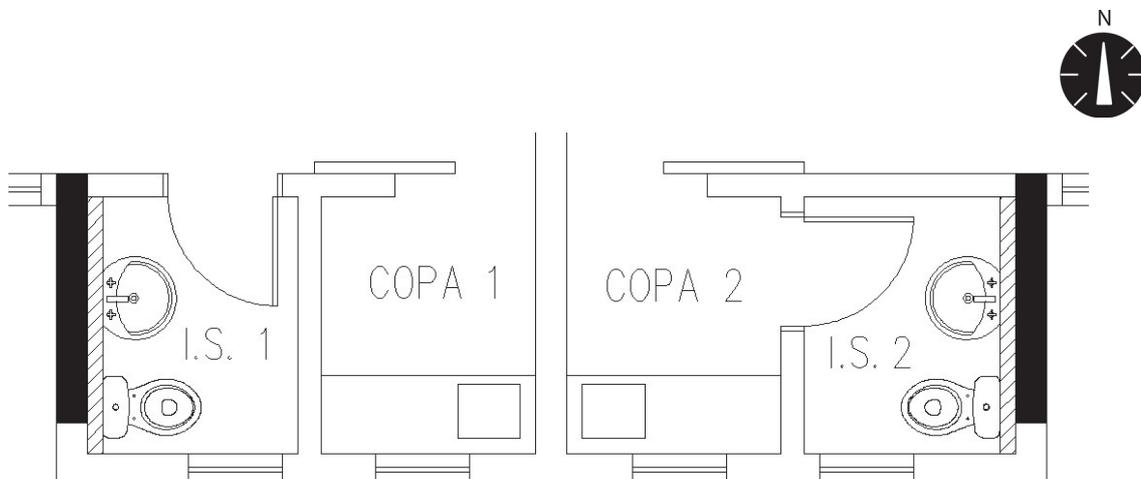
FIGURA 28 – PLANTA DA COBERTURA – ESPAÇO TERRAÇO VERDE



FONTE: Os autores, a partir de projeto cedido pelo Terraço Verde (2020).

Para escolha da posição do experimento, levou-se em consideração os ambientes localizados no pavimento inferior, pois seria necessário medir a temperatura em três ambientes distintos, um que estivesse abaixo do telhado verde extensivo, outro abaixo do intensivo e outro abaixo da laje de concreto. A Figura 29 indica a planta dos ambientes que ficam logo abaixo do local do experimento.

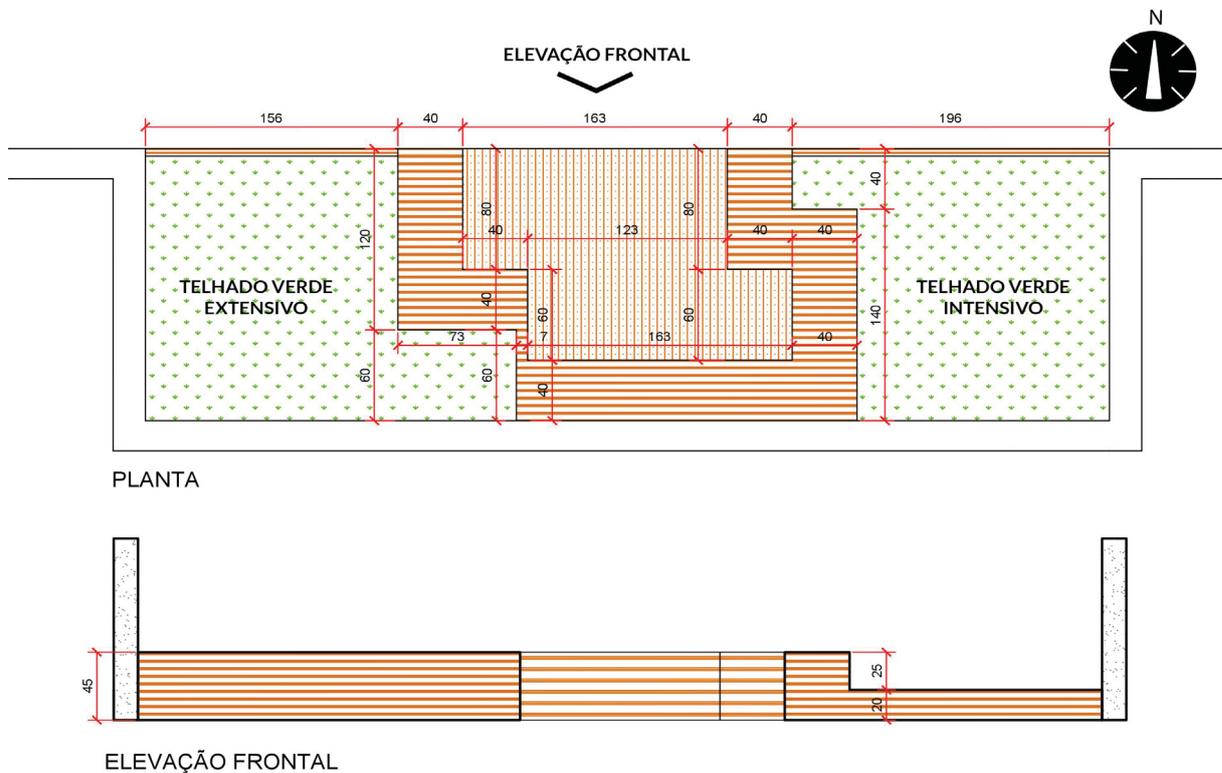
FIGURA 29 – PLANTA DO 3º PAVIMENTO (INFERIOR À COBERTURA)



FONTE: Os autores, a partir de projeto cedido pelo Terraço Verde (2020).

Abaixo do terraço constam duas salas comerciais, e cada uma possui uma instalação sanitária (I.S.) e uma copa. Desta forma, os módulos de telhado verde foram pensados de modo que o telhado verde extensivo ficasse acima da I.S. 1, o intensivo acima da I.S.2, e acima do espaço onde estão as copas ficaria apenas laje, sem implantação de telhado verde. Esta configuração possibilitou a medição da temperatura do ar dentro dos ambientes separadamente, podendo assim fazer uma comparação entre os canteiros de telhado verde e a laje. A Figura 30 demonstra o projeto para a construção dos módulos, em que é possível observar a posição de cada canteiro acima da planta indicada na Figura 29.

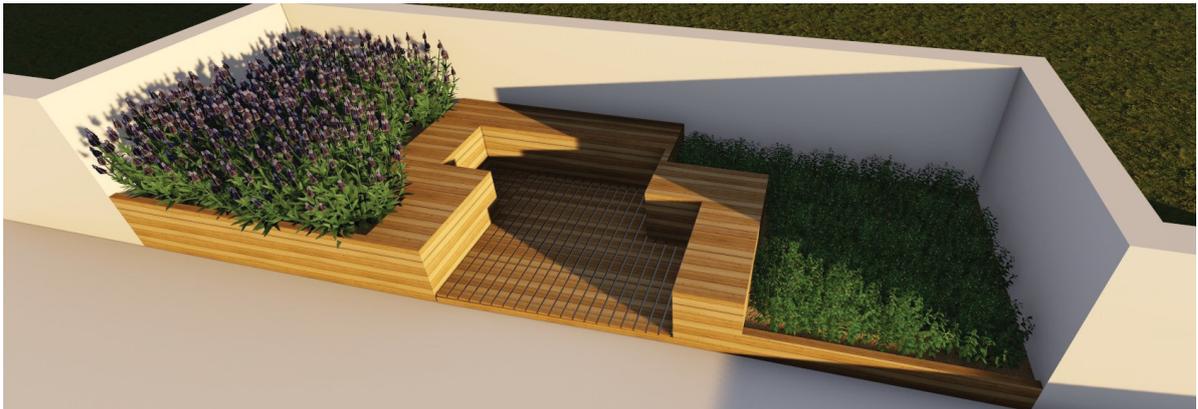
FIGURA 30 - PROJETO PARA IMPLANTAÇÃO DOS MÓDULOS DE TELHADO VERDE



FONTE: Os autores (2019).

Pelo fato deste ser um local comercial, era necessário que os módulos possuíssem também um caráter estético. Desta forma, criou-se uma estrutura construída com pallets que também possui a função de espaço de estar.

FIGURA 31 - PROJETO EM 3D PARA INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS DE TELHADO VERDE



FONTE: Os autores (2019).

Para construção dos canteiros foi feito o reaproveitamento de pallets de madeira de *Pinus elliottii* com a utilização de pregos e parafusos para união das peças. A Figura 32 demonstra o módulo pronto, antes da inserção do telhado verde.

FIGURA 32 - CANTEIROS CONSTRUÍDOS



FONTE: Os autores (2019).

Para medição do atraso de pico, era necessário acessar a parte inferior dos canteiros, e por conta disso, os canteiros foram construídos elevados à sete centímetros do piso e foi feita uma abertura na lateral inferior (madeira posicionada horizontalmente no canto inferior de cada canteiro) de cada um para que pudesse ser realizado o acesso para instalação e manutenção dos sensores.

Após concluída a construção, foi feita a vedação dos canteiros com geomembrana de PEAD doada pela empresa *Diprotec*®, que funciona como camada

anti-raiz e impermeabilizante. Para vedação das emendas foi utilizada fita impermeabilizante tapa tudo da marca *Quartzolit®*, conforme Figura 33.

FIGURA 33 – INSTALAÇÃO DA GEOMEMBRANA DE PEAD E VEDAÇÃO DAS EMENDAS COM FITA IMPERMEABILIZANTE



FONTE: Os autores (2019).

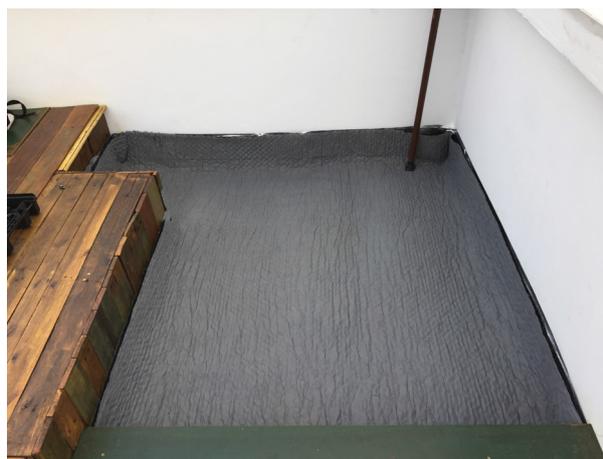
Após feita a impermeabilização, foi realizado um furo (Figura 34) com diâmetro de 3 centímetros no canto de cada canteiro para escoamento da água (ambos nas laterais de acesso aos sensores de chuva para medição do atraso de pico), e depois inserida a camada de drenagem, em que foi utilizada manta de geocomposto drenante *MacDrain®*, da marca *Maccaferri®*, conforme Figura 35.

FIGURA 34 – FURO PARA ESCOAMENTO



FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 35 – MANTA DE DRENAGEM



FONTE: Os autores (2019).

O substrato foi composto de húmus derivado de compostagem de resíduos orgânicos, vermiculita, argila expandida triturada e substrato comercial feito com casca de arroz carbonizada e casca de pinus do *Viveiro Entre Flores®* na proporção 2:1:1:6, respectivamente. Para que a mistura ficasse homogênea, as partes foram inseridas em

uma bombona plástica de 50 litros, que possibilitou a mistura do material com facilidade através da rolagem da mesma. Depois de misturado, o substrato foi inserido nos canteiros (Figura 36) e então foi feito o plantio das espécies vegetais, sendo a quantidade de mudas calculada em 1,5 caixas por metro quadrado (Figura 37).

FIGURA 36 - SUBSTRATO NOS CANTEIROS



FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 37- PLANTIO DAS ESPÉCIES VEGETAIS



FONTE: Os autores (2019).

O plantio foi realizado no dia 23/08/2019 e foi feito um consórcio de *Bulbine frutescens* e *Tradescantia pallida*. A escolha da primeira espécie deu-se ao fato de que é tolerante ao frio e com pouca exigência de água, além de poder ser cultivada a sol pleno (LORENZI, 2015). Já a segunda, caracteriza-se por ser uma planta rústica que não exige nem podas nem contenções, tornando fácil a manutenção de telhados verdes (LORENZI, 2015). Savi (2015) observou que esta espécie não apresenta resistência a geadas, porém, possui fácil enraizamento e rebrotou sem a necessidade da troca das mudas, o que a torna apta para uso em telhados verdes na cidade de Curitiba. A Figura 38 ilustra como os canteiros ficaram após montagem completa.

FIGURA 38 - CANTEIROS PRONTOS

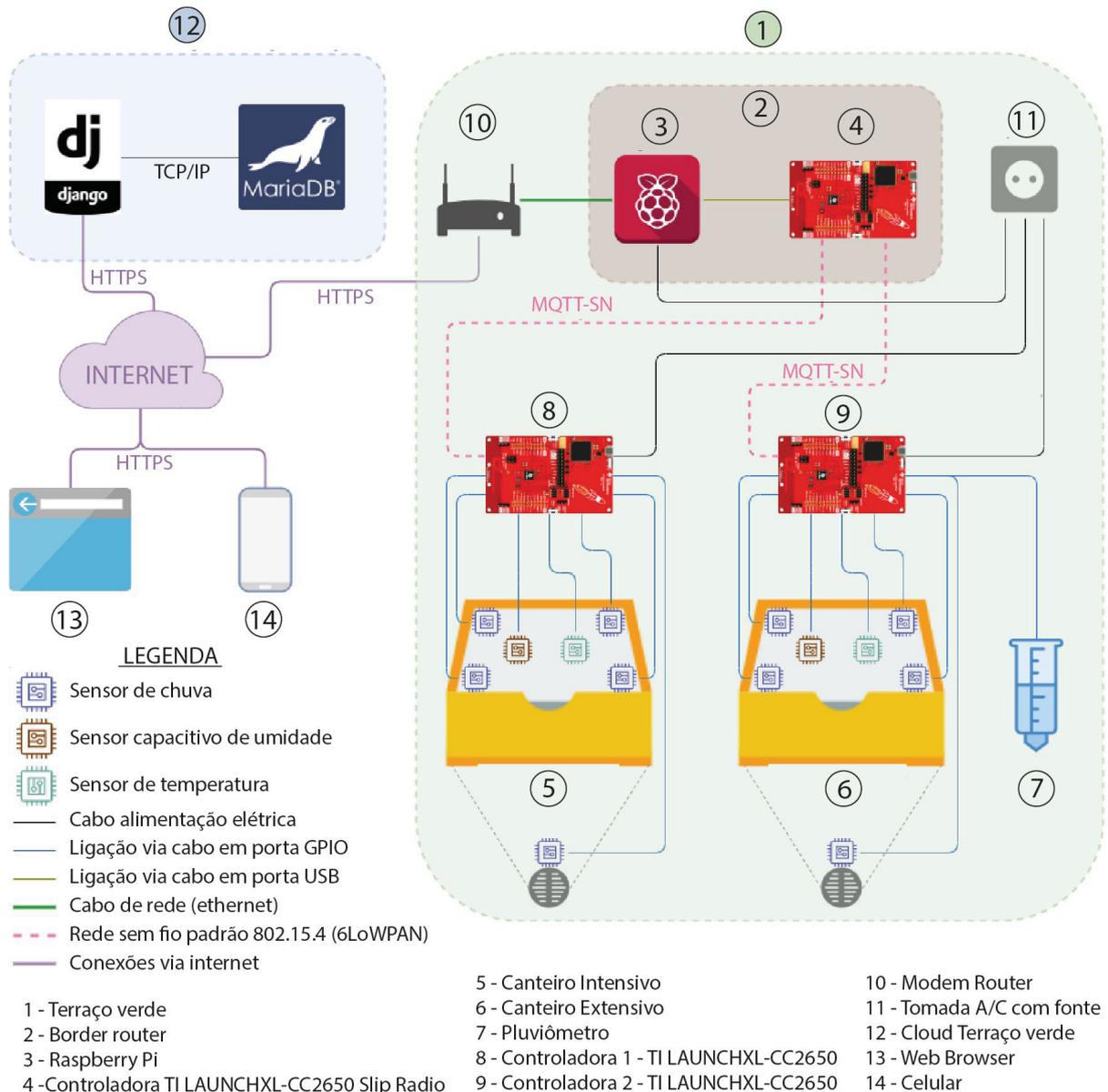


FONTE: Os autores (2019).

6.2.4 Desenvolvimento e escolha dos sensores

A geração de dados ocorreu por meio da criação de uma rede de sensores sem fio que possibilitou o acompanhamento dos dados em tempo real, através de um projeto desenvolvido a partir do conceito de internet das coisas.

FIGURA 39 – DIAGRAMA DA SOLUÇÃO



FONTE: Os autores (2019).

A rede de sensores foi desenvolvida utilizando equipamentos de baixo custo, incluindo computador de placa única, microcontroladores e sensores. Contando com sensores específicos para cada necessidade de informação, a rede tem os sensores ligados aos microcontroladores, que efetuam as leituras e, em seguida, enviam os dados

para o computador de placa única (*Raspberry Pi®*) que, através de conexão com a internet, encaminha os dados recebidos para um servidor em nuvem.

O *Raspberry Pi®*, modelo 3B, foi escolhido como computador de placa única devido ao baixo custo e a disponibilidade de software para efetuar a interligação entre a internet e a rede de sensores. Os microcontroladores utilizados são da *Texas Instruments®*, modelo LAUNCHXL-CC2650. São utilizados três microcontroladores neste projeto, sendo dois nos canteiros, para efetuar a leitura dos sensores, e outro ligado ao *Raspberry Pi®*, compondo o roteador de borda (*border router*), responsável pela comunicação entre a rede de sensores e a internet.

A Figura 39 ilustra como a solução foi organizada. Os microcontroladores (8 e 9) conectam os sensores ligados ao respectivo lado de cada canteiro (5 e 6), recebendo informações dos sensores, que são enviadas ao roteador de borda (*border router*) (2). O roteador de borda encaminha os pacotes recebidos dos sensores através da internet (10) para o servidor em nuvem (12), onde os dados são armazenados e tratados, podendo ser acessados via navegador *web* (13) ou celular (14).

Para a escolha dos sensores que iriam efetuar a detecção de chuva, medição de umidade no solo, medição de temperatura do solo, temperatura do ar e contagem de precipitação, foi considerada a relação precisão e custo.

Para detecção de chuva foi escolhido o sensor resistivo FC-37 (Figura 40) que identifica chuva por curto circuito em trilhas expostas em uma placa. Assim que uma mesma gota toca trilhas expostas de pólos diferentes, a sinalização é efetuada. Este sensor ficou tanto na superfície dos canteiros quanto no ralo, detectando o início da chuva, e o momento em que a água chega ao ralo. Assim que água era detectada pelo sensor, seja na superfície ou no ralo, um evento era gerado e salvo. O atraso de pico é calculado pela diferença de tempo entre o início da chuva, e a chegada da água no ralo.

FIGURA 40 – SENSOR FC-37



FONTE: Os autores (2019).

Para gerar resultados de percentual de retenção foi utilizado um sensor capacitivo de umidade do solo (Figura 41) que estima a quantidade de água no solo através da capacitância. Este sensor ficou enterrado no solo, colocado a 7 centímetros de profundidade. A medição foi efetuada em intervalos de uma hora.

FIGURA 41 - SENSOR CAPACITIVO DE UMIDADE



FONTE: Alexnd (2019).

Para medir a temperatura do solo foi utilizado o sensor DS18D20 (Figura 42), que é resistente a água e pode medir a temperatura do meio onde estiver posicionado, seja ar, água ou solo. Este sensor, bem como o sensor capacitivo, ficou enterrado no solo a 7 centímetros de profundidade. A medição foi efetuada também em intervalos de uma hora.

FIGURA 42 - SENSOR DE TEMPERATURA



FONTE: Open Circuit Shop (2019).

O pluviômetro de caçamba (ou balsa) utilizado para contagem da precipitação é o modelo MS-WH-SP-RG (Figura 43). Através de uma haste articulada, este sensor mede a quantidade de precipitação sem a necessidade de manutenção, pois toda a água que passa pelo funil é descartada, sem a necessidade de esvaziamento de

qualquer recipiente. A cada movimentação da haste, o sensor gera uma medida que quantifica 0,2794 mm de água por metro quadrado.

FIGURA 43 - PLUVIÔMETRO DE CAÇAMBA



FONTE: Os autores (2019).

Para análise do comportamento dos módulos de telhado verde em relação aos ambientes internos foi utilizado um sistema desenvolvido pela empresa *Favo Tecnologia®*. Este sistema foi desenvolvido com o intuito de controlar o plantio de hortas urbanas, sendo possível medir temperatura, umidade e incidência de luz. O sistema conta com um sensor LDR (*Light Dependent Resistor*), que mede a incidência de luz, e também um termo higrômetro, medindo a temperatura e umidade relativa do ar. O controlador conecta-se à rede Wi-Fi e os dados são disponibilizados através de um aplicativo de celular, podendo ser acessado de qualquer lugar.

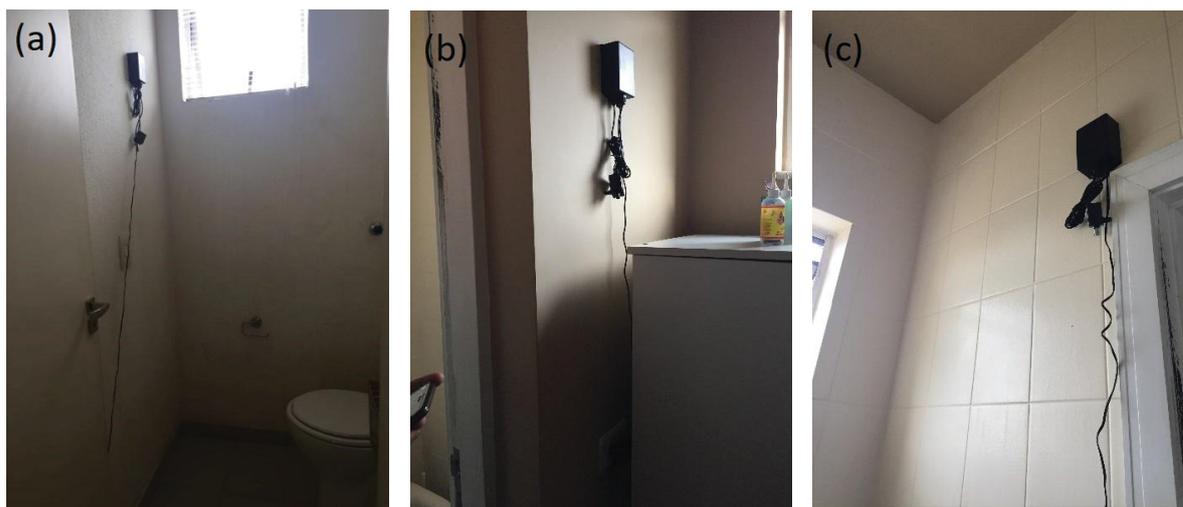
FIGURA 44 - CONTROLADOR FAVO TECNOLOGIA



FONTE: Imagem disponibilizada pela Favo Tecnologia®(2019).

O modelo do sensor de temperatura utilizado no controlador é o DHT11 e está localizado tanto no terraço para medição da temperatura do ar externa, quanto nos ambientes localizados abaixo dos canteiros, conforme demonstrado na Figura 45, que registra imagens dos controladores instalados em cada ambiente, conforme foram indicados na planta da Figura 29.

FIGURA 45 - CONTROLADORES INSTALADOS EM CADA AMBIENTE



FONTE: Os autores (2019).

LEGENDA: a) Banheiro abaixo do canteiro intensivo.

b) Copa abaixo da laje.

c) Banheiro abaixo do canteiro extensivo.

6.2.4.1 Calibração do sensor de capacitivo de umidade

Dos sensores escolhidos, o sensor capacitivo de umidade utilizado para medir a absorção do solo era o único que necessitava ser calibrado. Isso se deve a composição do solo ter influência direta na medição da capacitância. Desta forma, era necessário calibrar os sensores para o solo onde seriam utilizados. A calibração consistiu em determinar a leitura de cada sensor em relação ao solo, variando a quantidade de água presente. Foi necessário partir de um solo o mais próximo possível de umidade zero, e seguir a calibração com diferentes quantidades de água, até saturar a capacidade de absorção de água pelo solo.

Para iniciar a calibração partindo de um valor próximo de umidade zero no solo, foi necessário secar a amostra de solo em uma estufa por 24 horas, a 70 °C. Após este processo, e o devido resfriamento da amostra a temperatura ambiente, o solo foi separado em amostras menores, com o intuito de adicionar água nas proporções de

umidade requeridas. Foram definidas amostras com 50g de solo seco, inseridas em copos plásticos com furos no fundo, pois era necessário que a água escoasse, simulando o processo natural de escoamento dos canteiros. Desta forma, foi definido que seria inserido água nas amostras de solo seco até a proporção 1:1,5 (solo:água). Para maior precisão, foram feitas 3 amostras para cada percentual de umidade, variando de 0 a 150% de água no solo, ou seja, 48 amostras (Figura 46).

FIGURA 46 - AMOSTRAS DE SOLO



FONTE: Os autores (2019).

Foram calibrados três sensores capacitivos, dois para utilização no experimento, e um terceiro de reserva. Após inserida a quantidade de água na proporção desejada houve espera de 5 minutos para escoamento da água não absorvida, e então as amostras foram pesadas novamente.

As faixas de percentual de água foram definidas através do peso médio das três amostras por percentual de água adicionado. A Tabela 2 demonstra o peso de cada amostra após a inserção de água nas proporções definidas e qual o percentual de água foi absorvido para cada uma.

TABELA 2 - RELAÇÃO PESO E PERCENTUAL DE ÁGUA RETIDO

% médio de água	Peso da amostra em gramas		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
0,00%	50,0	50,0	50,0
12,43%	56,9	57,0	57,4
17,26%	60,7	59,8	60,8
24,05%	66,1	65,6	65,8
26,59%	69,7	67,9	66,8
29,78%	73,1	70,1	70,5
34,13%	78,1	72,4	77,5
37,33%	78,3	79,7	81,4
38,11%	79,3	81,5	81,6
38,80%	79,3	83,6	82,3
40,33%	83,5	84,1	83,8
41,83%	84,9	87,3	85,7
44,28%	89,2	90,5	89,5
45,43%	90,9	92,5	91,5
48,66%	92,9	99,6	100,0
53,71%	114,0	103,4	107,2

FONTE: Os autores (2019).

Para saber qual valor medido no sensor equivaleria ao percentual de água definido através da pesagem, os sensores foram inseridos nas amostras e então foi lido o valor informado através de software desenvolvido para leitura e inserção dos valores (Figura 47). Este valor diz respeito a capacitância e varia entre 1.200.000 e 500.000. Quanto menor o valor da leitura, maior a umidade detectada no solo.

FIGURA 47 - CALIBRAGEM DOS SENSORES



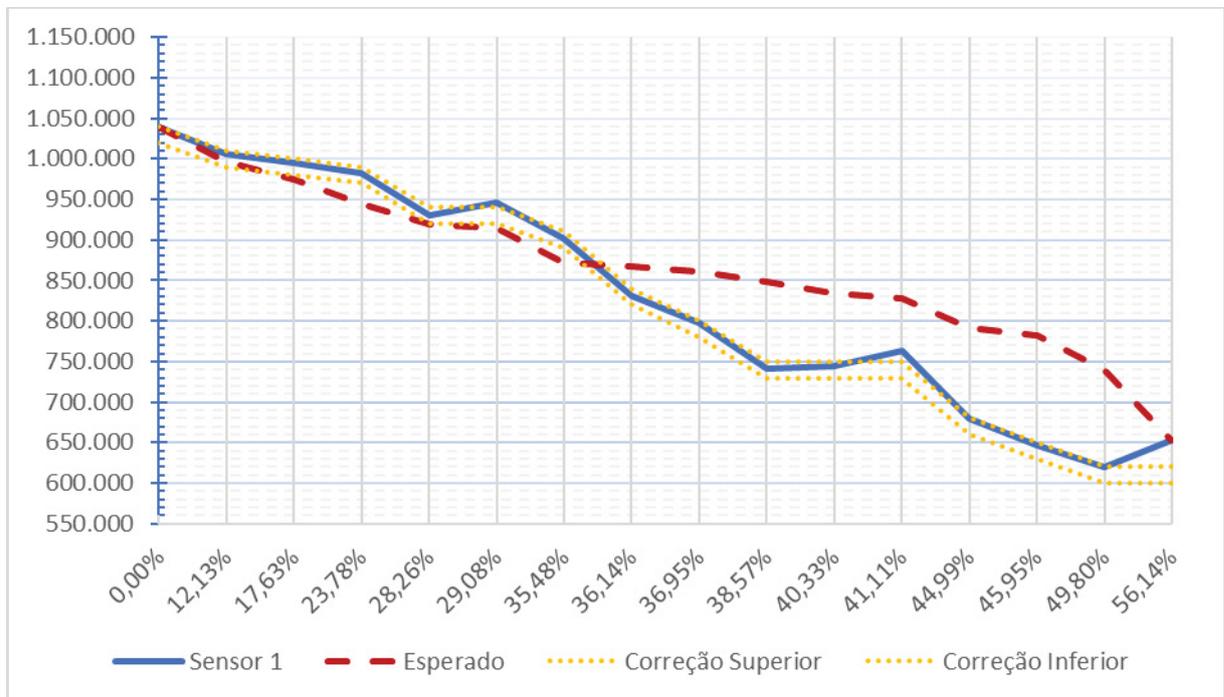
FONTE: Os autores (2019).

Como em algumas amostras houve variação maior na leitura entre as três repetições de mesma umidade, foram indicados limites inferiores e superiores para criar os intervalos de leitura, indicando um percentual médio de água absorvida.

Os gráficos 13, 14 e 15 apresentam as leituras de cada sensor, junto com uma faixa de correção, para que um valor lido possa ser situado em um intervalo de leitura.

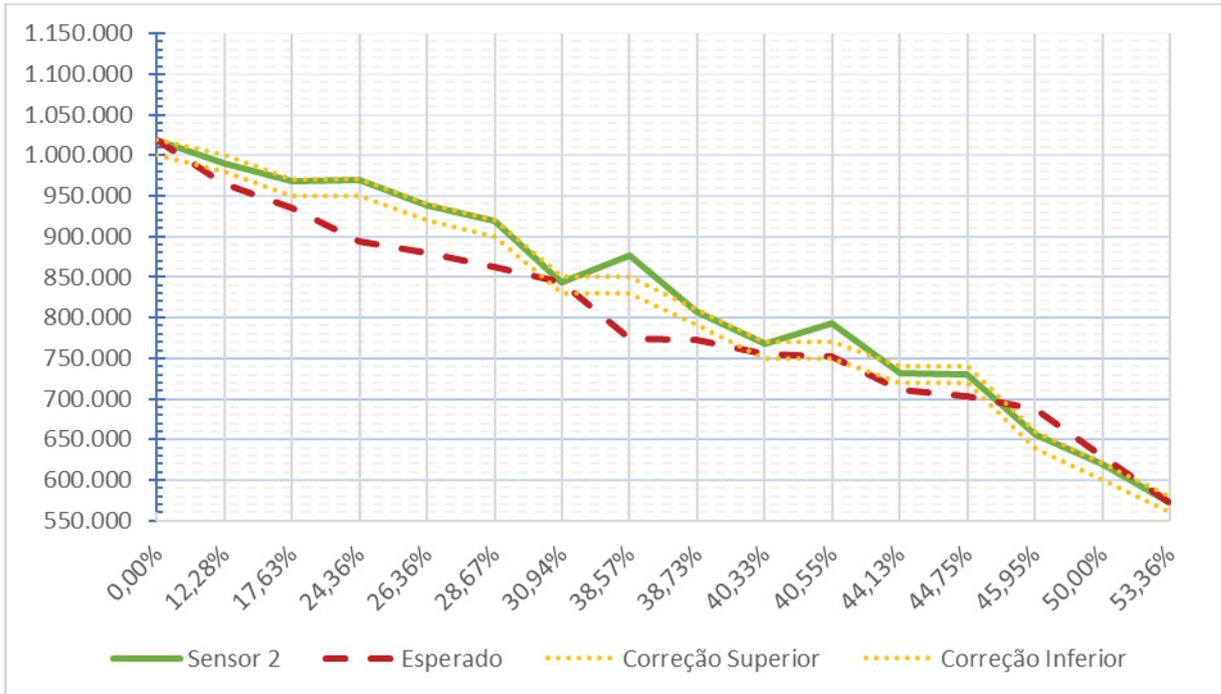
Uma vez definido os intervalos de leitura para cada sensor, é possível posicionar o valor lido no intervalo mais próximo, considerando sempre o intervalo de menor absorção de água.

GRÁFICO 13 - CALIBRAGEM DO SENSOR CAPACITIVO 1



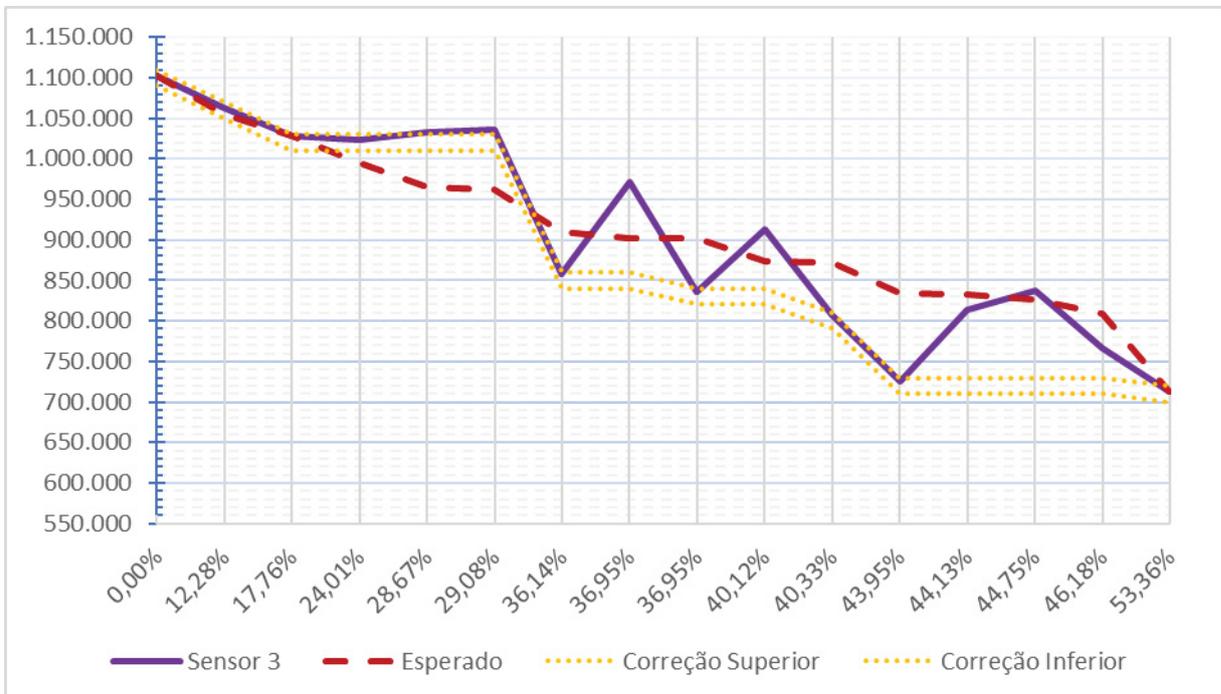
FONTE: Os autores (2019).

GRÁFICO 14 - CALIBRAGEM DO SENSOR CAPACITIVO 2



FONTE: Os autores (2019).

GRÁFICO 15 - CALIBRAGEM DO SENSOR CAPACITIVO 3



FONTE: Os autores (2019).

Os sensores escolhidos para utilização foram os que apresentaram menor variação no intervalo, ficando o sensor 1 instalado no canteiro intensivo, e o sensor 2

no extensivo. O sensor 3 foi reservado como sobressalente caso um dos sensores utilizados apresentasse problema.

6.2.5 Instalação da rede de sensores

A instalação da rede de sensores considerou dois princípios básicos: melhor posicionamento possível dos sensores para efetuar as medições e isolamento dos componentes eletrônicos evitando exposição ao sol e a umidade.

O roteador de borda e os microcontroladores foram instalados em caixas de passagem a prova d'água (Figuras 48 e 50), e a ligação com os sensores foi efetuada utilizando cabos elétricos com isolamento. Os microcontroladores foram instalados sob placas perfuradas (Figura 49), utilizadas para conectar os sensores ao microcontrolador de uma forma mais segura e organizada, sendo fixados através de duas barras de pinos 2x10 em 180 graus.

FIGURA 48 - ROTEADOR DE BORDA



FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 49 - MICROCONTROLADOR



FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 50 - CAIXAS DE PASSAGENS COM MICROCONTROLADORES E FONTES DE ENERGIA



FONTE: Os autores (2019).

As caixas de passagem dos microcontroladores foram posicionadas no centro do conjunto (Figura 51), instaladas cada qual ao lado do canteiro a ser monitorado. Junto às caixas dos microcontroladores foi instalado outra caixa de passagem para armazenar as fontes de energia, que foram ligadas a rede elétrica através de tomada de 127V próxima.

Cada microcontrolador foi ligado a cinco sensores de detecção de chuva, sendo 4 na superfície e um no ralo, além de um sensor de temperatura e um sensor capacitivo de umidade. O pluviômetro foi ligado ao microcontrolador do canteiro extensivo, e posicionado deste mesmo lado (Figura 52).

FIGURA 51 - PROTÓTIPO COM REDE DE SENSORES INSTALADA



FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 52 - PLUVIÔMETRO E SENSORES INSTALADOS NO LADO EXTENSIVO



FONTE: Os autores (2019).

6.2.5.1 Problemas enfrentados após instalação

Durante a primeira chuva após a instalação, foi detectado mau funcionamento dos sensores de chuva, que não detectaram o início da chuva e da água chegando ao ralo conforme esperado. Foi descoberto que o mau funcionamento do sensor FC-37 devia-se a má qualidade do sensor, que apresentou oxidação já no primeiro contato com água. A Figura 53 mostra um dos sensores oxidados uma semana após a instalação.

FIGURA 53 – SENSOR DE CHUVA OXIDADO



FONTE: Os autores (2019).

Devido a este problema, não foi possível medir o atraso de pico durante os 4 meses de coleta de dados. Todos os dados gerados por estes sensores foram descartados.

Durante este período, foram realizadas pesquisas em busca de uma nova alternativa para realizar a medição do atraso de pico e optou-se pela utilização de um sensor óptico de chuva para detecção do início da chuva e sensores capacitivos para detecção da chegada da água nos ralos. O sensor óptico de chuva (Figura 54) detecta as gotas de chuva que tocam a proteção plástica do sensor e possui boa precisão, detectando o exato momento em que começar chover.

FIGURA 54 - SENSOR ÓTICO DE CHUVA



FONTE: Os autores (2019).

Os sensores capacitivos utilizados para a detecção da chuva que escoará pelo ralo são os mesmos utilizados para medição de umidade (Figura 41). A escolha deste se deu pelo fato de que este tipo de sensor não tem os contatos expostos ao tempo, e também não trabalha com as trilhas recebendo corrente de forma ininterrupta. Portanto, é um sensor que não oxida. A chuva é detectada pela presença da água na superfície do sensor, o que varia o valor de capacitância elétrica lido nas trilhas. Os sensores ficaram dispostos acima do solo (Figura 55), fixados na parte inferior do canteiro de telhado verde com a utilização de um funil, o que permite que a água escoe com precisão até o sensor. Foram feitos furos nas laterias dos funis para que a água pudesse escoar com maior facilidade caso houvesse extravasamento.

FIGURA 55 - SENSOR CAPACITIVO INSTALADO NO RALO DO CANTEIRO EXTENSIVO



FONTE: Os autores (2019).

Este novo sistema foi instalado no dia 18 de janeiro de 2020, datando o início do monitoramento do atraso de pico.

6.2.6 Tratamento dos dados

Todos os dados podem ser visualizados em tempo real através da plataforma <https://tv-cwb-iot.terracoverde.eco.br/> (Figura 56). Para análise dos resultados, os dados foram exportados para o formato .csv e organizados de forma a gerar gráficos que demonstram os resultados esperados.

FIGURA 56 - INTERFACE DA PLATAFORMA

Terraço Verde - Comparação Modelo Intensivo Vs Extensivo Pesquisa comparativa entre tipos de telhados verdes

Pesquisadores responsáveis: Thamille Casagrande e Daniel Dias

Escolha a informação que deseja consultar:

Comparação	Temperatura ▼
Data/Hora Inicial	11/02/2020 00:00
Data/Hora Final	11/05/2020 00:00

Enviar

FONTE: Os autores (2019).

6.2.6.1 Retenção de águas pluviais

Como já mencionado, para a realização da calibração dos sensores de umidade foi necessário secar o substrato totalmente, o que possibilitou calcular sua densidade, para então calcular o volume de substrato seco contido em cada canteiro (intensivo e extensivo). Desta forma, seria possível verificar o volume de água contido no solo de acordo com a medição do sensor de umidade, o que nos dá o percentual de retenção de água retido no solo. Primeiramente, foi calculado o volume de uma porção de 50 g de substrato seco contido em um copo plástico, a partir da fórmula de cálculo de volume de tronco de cone:

$$v = \pi.h/3. (R^2 + R.r + r^2)$$

Onde R é o raio da circunferência superior, r é o raio da circunferência inferior, e h é a altura, conforme Figura 57.

FIGURA 57 - PESAGEM E DIMENSÕES DO VOLUME



FONTE: Os autores (2019).

Através das medidas mencionadas, chega-se a um volume de 137,84 cm³ contido em 50 g de substrato seco. A partir disso, é possível calcular a densidade do solo através da fórmula:

$$d = m/v$$

Em que d é a densidade, m é a massa e v o volume, chegando em um resultado de densidade de 0,362 g/cm³, ou 362 kg/m³.

Para calcular a massa de cada canteiro, primeiramente calculamos os seus respectivos volumes através da equação:

$$v = a.h$$

Em que a é a área do canteiro e h sua altura, calculado conforme medidas ilustradas na Figura 30. Desta forma, chega-se a um volume de 0,89 m³ para o canteiro

intensivo e 0,30 m³ para o extensivo, e então é calculada a massa de cada canteiro através da equação:

$$m = d.v$$

Assim, multiplica-se a densidade calculada anteriormente (362 kg/m³) pelo volume calculado de cada canteiro e obtém-se uma massa de 322 kg de substrato seco no canteiro intensivo e 108,6 kg no extensivo.

A partir da calibração dos sensores de umidade foi possível rastrear os valores de capacitância registrados que correspondem as faixas de umidade de acordo com o Quadro 14.

QUADRO 14 - FAIXAS DE VALORES DE CAPACITÂNCIA LIDOS NO SENSOR CORRESPONDENTES A UMIDADE

Intensivo				Extensivo			
Sensor 1		Peso: 322		Sensor 2		Peso: 108,6	
Maior valor	Menor valor	% de água	Litros	Maior valor	Menor valor	% de água	Litros
1500000	1020000	0,00%	0,00	1500000	1000001	0,00%	0,00
1019999	1000001	12,13%	39,06	1000000	980000	12,28%	17,16
1000000	990001	17,63%	56,77	979999	950000	17,63%	24,64
990000	970000	23,78%	76,57	949999	920001	26,36%	36,84
969999	920000	28,26%	91,00	920000	900000	28,67%	40,07
919999	890000	35,48%	114,25	899999	830000	30,94%	43,24
889999	820000	36,14%	116,37	829999	790000	38,73%	54,12
819999	780000	36,95%	118,98	789999	750000	40,33%	56,37
779999	730000	38,57%	124,20	749999	720000	44,13%	61,68
729999	660000	44,99%	144,87	719999	640000	45,95%	64,22
659999	630000	45,95%	147,96	639999	600000	50,00%	69,88
629999	600000	49,80%	160,36	599999	560000	53,36%	74,57

FONTE: Os autores (2019).

Dessa forma, os valores lidos em cada sensor indicaram o percentual de umidade do solo, e a partir do peso de referência do solo seco é possível verificar qual a massa de água retida no solo. Com o valor da massa de água retida no solo, compara-se o valor lido com a quantidade de precipitação ocorrida em cada canteiro, que é dado por:

$$P_i = A_i.P_o \quad e \quad P_e = A_e.P_o$$

Onde P_i é a precipitação no canteiro intensivo, A_i é a área do canteiro intensivo, P_e é a precipitação no canteiro extensivo, A_e é a área do canteiro extensivo e P_o é a precipitação ocorrida. Sabendo o volume de água retida no solo, é possível então calcular o percentual de retenção em relação a precipitação ocorrida, que é dado pela relação:

$$Pr = Var.100/P$$

Onde Pr é o percentual de retenção, Var é o volume de água retido no solo e P é a precipitação.

Assim, é possível verificar qual o volume e o percentual de água retida no solo em ambos os canteiros, possibilitando então realizar a comparação de desempenho de um com o outro.

6.2.6.2 Temperatura da camada de substrato

Os dados de temperatura eram enviados de hora em hora e a temperatura da camada de substrato foi registrada durante todo o período de monitoramento. Para geração de resultados, foram escolhidos dois dias em que houve maior amplitude térmica em cada mês de monitoramento, totalizando assim em oito eventos analisados, durante um período de 24h. Os dados foram extraídos e convertidos em gráficos que demonstraram a temperatura do ar, a temperatura do substrato do canteiro intensivo e a temperatura do substrato do canteiro extensivo, possibilitando assim a comparação dos dados.

6.2.6.3 Temperatura dos ambientes abaixo do canteiro

A temperatura dos ambientes localizados abaixo do terraço foi monitorada apenas em janeiro devido a um problema interno do edifício, o que não possibilitou o acesso às salas no período anterior, pois estas são de propriedade particular. Dessa forma, foram selecionados dois eventos em que houve maior amplitude térmica do ar para análise das temperaturas medidas nos ambientes. Assim, foi possível comparar a diferença de temperatura entre um ambiente e outro em relação a temperatura do ar por um período de 24h.

6.2.6.4 Atraso de pico

O atraso de pico é a diferença de tempo entre o momento que começa a chover e o momento em que a água começa a escoar pelo ralo do telhado verde. Esta variável é uma boa métrica para comparar um sistema de telhado verde intensivo com um extensivo, pois pode dar uma melhor precisão de quanto é possível retardar o escoamento superficial.

O sensor ótico de chuva registra o horário em que começa a chover, e o sensor capacitivo de umidade localizado no ralo de cada canteiro registra o horário em que o é captada a primeira gota da água que escoar através de cada canteiro de telhado verde.

Portanto, basta subtrair o horário do primeiro escoamento pelo horário em que começou a chover, tendo assim calculado o atraso de pico para cada canteiro.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.3.1 Retenção de águas pluviais

O monitoramento ocorreu de 27/09/2019 a 28/01/2020, totalizando um período de quatro meses. Durante este intervalo, foi possível registrar 12 eventos de precipitação, que podem ser observados no Quadro 15.

QUADRO 15 - EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO

(continua)

Evento	Data Hora	Dif. Horas (h)	Retenção Intensivo				Retenção Extensivo			
			Precip. Ocorrida (L)	Vol. Medido (L)	Vol. Útil (L)	% Retido	Precip. ocorrida (L)	Vol. Medido (L)	Vol. Útil (L)	% Retido
1	05/10/19 19:29	0	19,07	20,67	19,07	100 %	17,43	7,85	7,85	45%
2	14/10/19 22:04	218	28,15	15,49	15,49	55%	25,72	6,37	6,37	25%
3	21/10/19 09:42	155	10,90	12,40	10,90	100 %	9,96	4,40	4,40	44%
4	27/10/19 22:13	156	70,83	12,40	12,40	17%	64,73	6,10	6,10	9%
5	23/11/19 15:48	641	34,51	43,99	34,51	100 %	31,53	16,30	16,30	51%
6	26/11/19 23:52	80	20,89	36,16	20,89	100 %	19,09	7,85	7,85	41%
7	05/12/19 06:15	198	19,07	15,49	15,49	81%	17,43	4,40	4,40	25%

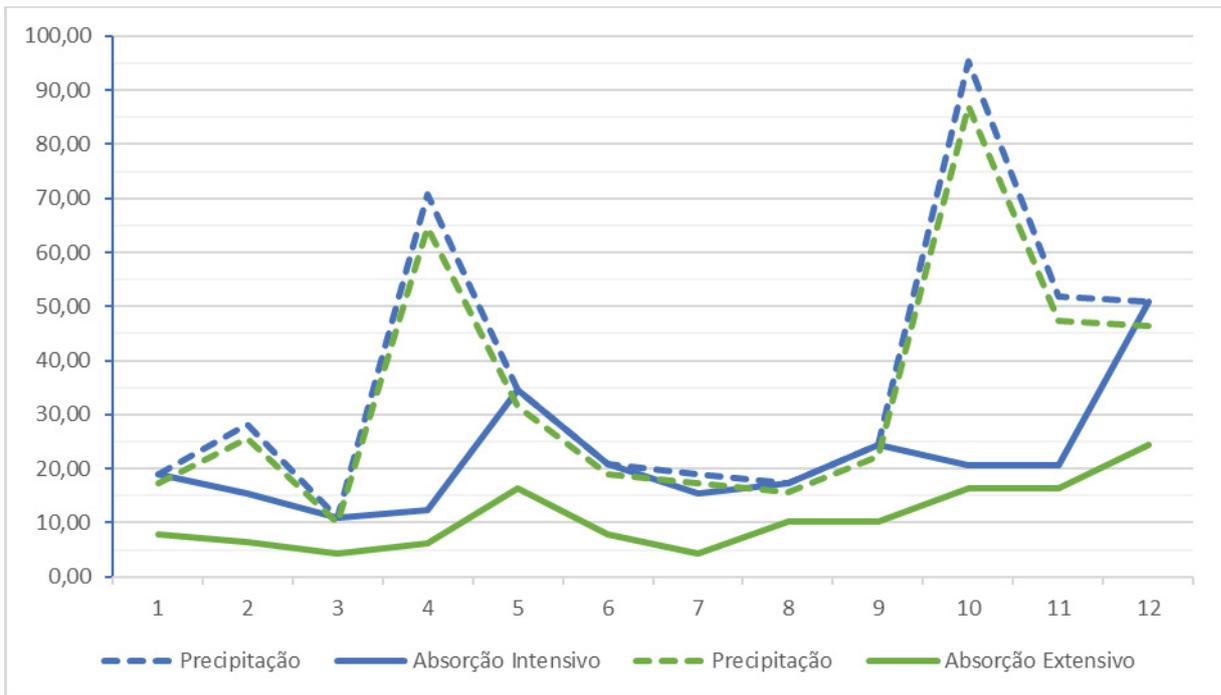
Evento	Data Hora	Dif. Horas (h)	Retenção Intensivo				Retenção Extensivo			
			Precip. Ocorrida (L)	Vol. Medido (L)	Vol. Útil (L)	% Retido	Precip. ocorrida (L)	Vol. Medido (L)	Vol. Útil (L)	% Retido
8	16/12/19 06:05	263	17,25	20,67	17,25	100 %	15,77	10,20	10,20	64%
9	02/01/20 12:38	414	24,52	28,50	24,52	100 %	22,41	10,20	10,20	45%
10	09/01/20 17:36	172	95,35	20,67	20,67	22%	87,13	16,30	16,30	18%
11	16/01/20 18:49	169	51,76	20,67	20,67	40%	47,30	16,30	16,30	34%
12	28/01/20 16:37	285	50,85	48,30	48,30	95%	46,47	24,35	24,35	52%

FONTE: Os autores (2020).

A diferença de horas representa o intervalo de tempo entre um evento e outro, em que a hora considerada indica o momento em que o evento cessou. A precipitação ocorrida indica quanto choveu em cada canteiro em litros, pois como estes possuem áreas ligeiramente diferentes foi necessário multiplicar o valor pela área de ação, levando em consideração que a precipitação medida através do pluviômetro considera o volume de chuva em 1m² de área. O volume medido representa os valores de quantidade de água retida no solo gerados pelo sensor capacitivo de umidade, já o volume útil indica o volume considerado para cálculo, levando em consideração a margem de erro do sensor capacitivo, que em alguns momentos mediu valores de volume de água retido superiores à quantidade precipitada.

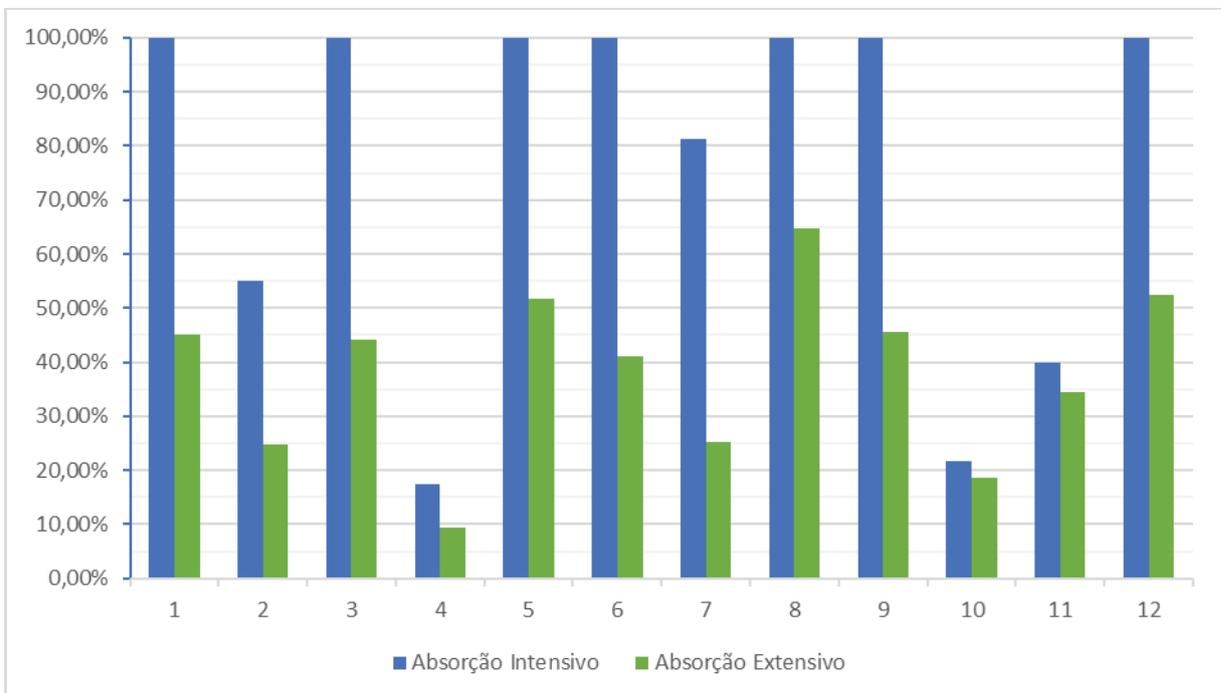
Os Gráficos 16 e 17 permitem visualizar os resultados de forma mais clara, possibilitando melhor comparação entre um canteiro e outro.

GRÁFICO 16 - PRECIPITAÇÃO OCORRIDA X VOLUME RETIDO EM LITROS EM CADA CANTEIRO



FONTE: Os autores (2020).

GRÁFICO 17 - PERCENTUAL DE RETENÇÃO CANTEIRO INTENSIVO X EXTENSIVO



FONTE: Os autores (2020).

Analisando os gráficos e Quadro é possível notar diferença considerável de absorção entre um evento e outro, para ambos os canteiros. Para melhor compreensão

é necessário analisar as condições climáticas no período. O Quadro 16 demonstra os dados do INMET coletados no período em questão.

QUADRO 16- DADOS INMET DURANTE OS EVENTOS SELECIONADOS

Data	Temperatura (°C)		Umidade (%)		Vento (m/s)		Radiação média (kJ/m ²)
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Vel. Média	Raj. Média	
05/10/2019	31,7	16,1	59,3	46,7	2,4	6,1	1068,1
14/10/2019	30,7	17,8	100,0	35,0	2,8	6,9	1131,0
21/10/2019	31,4	17,6	100,0	78,0	1,9	4,9	1506,3
27/10/2019	16,5	11,4	100,0	30,0	2,8	7,2	247,9
23/11/2019	27,9	15,2	100,0	55,0	1,6	5,4	535,9
26/11/2019	23,9	13,3	94,0	58,0	2,4	6,5	810,8
05/12/2020	25,4	17,6	94,0	58,0	1,9	5,2	443,0
16/12/2019	22,7	17,2	100,0	71,0	2,3	6,9	681,1
02/01/2020	32,2	19,9	95,0	65,0	1,9	4,9	700,1
09/01/2020	25,9	18,3	94,0	41,0	1,7	5,0	247,9
16/01/2020	30,6	18,3	98,0	46,0	2,1	6,0	979,3
28/01/2020	28,9	18,8	100,0	51,0	1,8	5,5	1119,7

FONTE: Os autores (2020).

Acredita-se que o fato de, em alguns casos, ter ocorrido mais ou menos absorção deva-se ao clima, bem como o tempo decorrido entre um evento e outro. Os eventos 4 e 10 registraram níveis baixos de absorção em ambos os canteiros, sendo possível supor que isto se deve ao fato de baixa radiação solar em ambos os dias, aliada a uma grande variação de umidade, o que indica que pode ter influenciado na evaporação da água retida no solo referente ao evento anterior, deixando o solo já saturado antes do evento em questão ocorrer.

Apesar da diferença de absorção entre os eventos, houve maior absorção de água da chuva no canteiro intensivo em todos os eventos, sendo possível absorver até 60% a mais que o extensivo, conforme demonstrado no Gráfico 17 - evento 6.

6.3.2 Temperatura da camada de substrato

A temperatura da camada de substrato também foi monitorada desde o dia 27/09/2019 até o dia 28/01/2020. Para análise da variável, optou-se por verificar em quais dias houve maior amplitude térmica, o que auxiliou na verificação de estabilidade

da temperatura da camada de substrato. Foram escolhidos dois eventos por mês em que houve maior amplitude térmica, totalizando em oito eventos. O Quadro 17 demonstra as temperaturas máximas, mínimas e amplitude térmica do ar, da camada de substrato do canteiro extensivo e da camada de substrato do canteiro intensivo.

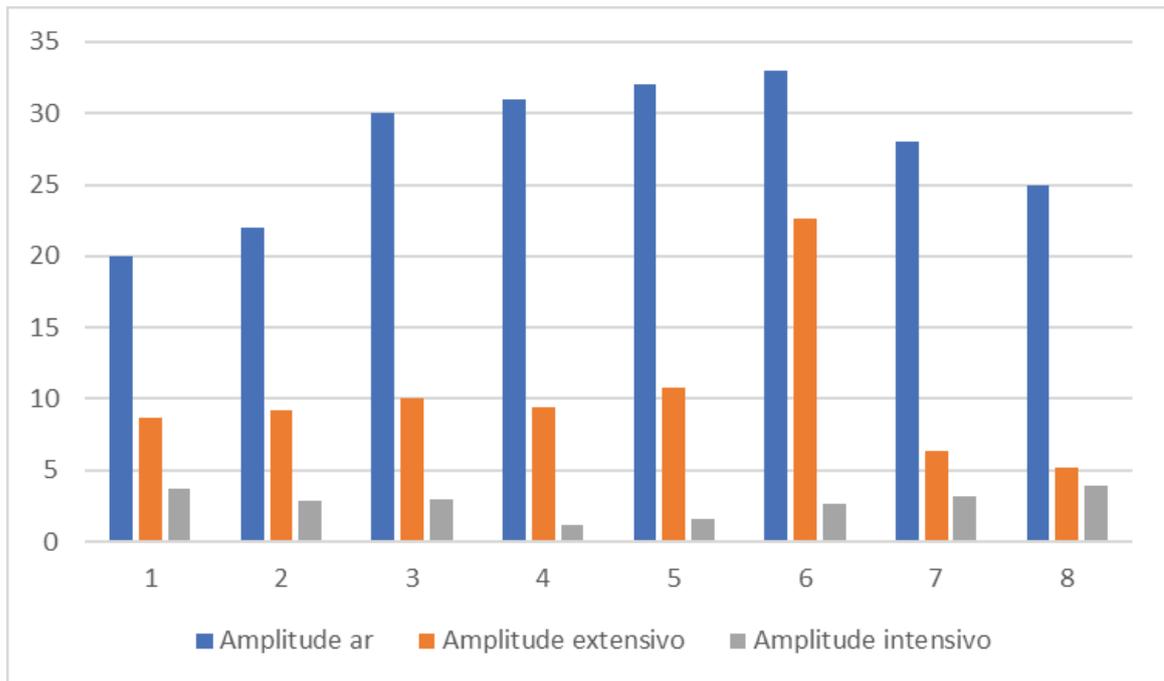
QUADRO 17 - COMPARAÇÃO ENTRE TEMPERATURAS DO AR, EXTENSIVO E INTENSIVO

Evento	Data	Temperatura do ar			Extensivo			Intensivo		
		Temp. ar mín	Temp. ar máx	Amp.	Temp. Subst. mín	Temp. Subst. máx	Amp.	Temp. Subst. mín	Temp. Subst. máx	Amp.
1	01/10/2019	15°C	35°C	20°C	18°C	27°C	9°C	22°C	25°C	4°C
2	05/10/2019	17°C	39°C	22°C	21°C	31°C	9°C	26°C	29°C	3°C
3	25/11/2019	12°C	42°C	30°C	14°C	24°C	10°C	18°C	21°C	3°C
4	29/11/2019	12°C	43°C	31°C	15°C	25°C	9°C	19°C	20°C	1°C
5	28/12/2019	17°C	49°C	32°C	22°C	32°C	11°C	22°C	23°C	2°C
6	31/12/2019	20°C	53°C	33°C	20°C	42°C	22°C	23°C	26°C	3°C
7	05/01/2020	15°C	43°C	28°C	18°C	24°C	6°C	23°C	26°C	3°C
8	10/01/2020	21	46°C	25°C	23°C	28°C	5°C	17°C	21°C	4°C

FONTE: Os autores (2020).

No Gráfico 18 é possível ter uma melhor visualização da amplitude térmica entre a temperatura do ar, do canteiro extensivo e do intensivo. Mesmo no canteiro extensivo a temperatura já se mantém mais estável do que a temperatura do ar, porém, a diferença é notável entre o extensivo e o intensivo. Isso se deve ao fato de a camada de substrato absorver um maior volume de água, mantendo-se mais úmida por um maior período de tempo, além de ter um melhor desenvolvimento das espécies vegetais (Figura 58), possibilitando maior sombreamento.

GRÁFICO 18 – AMPLITUDE TÉRMICA TEMPERATURA AR X EXTENSIVO X INTENSIVO



FONTE: Os autores (2020).

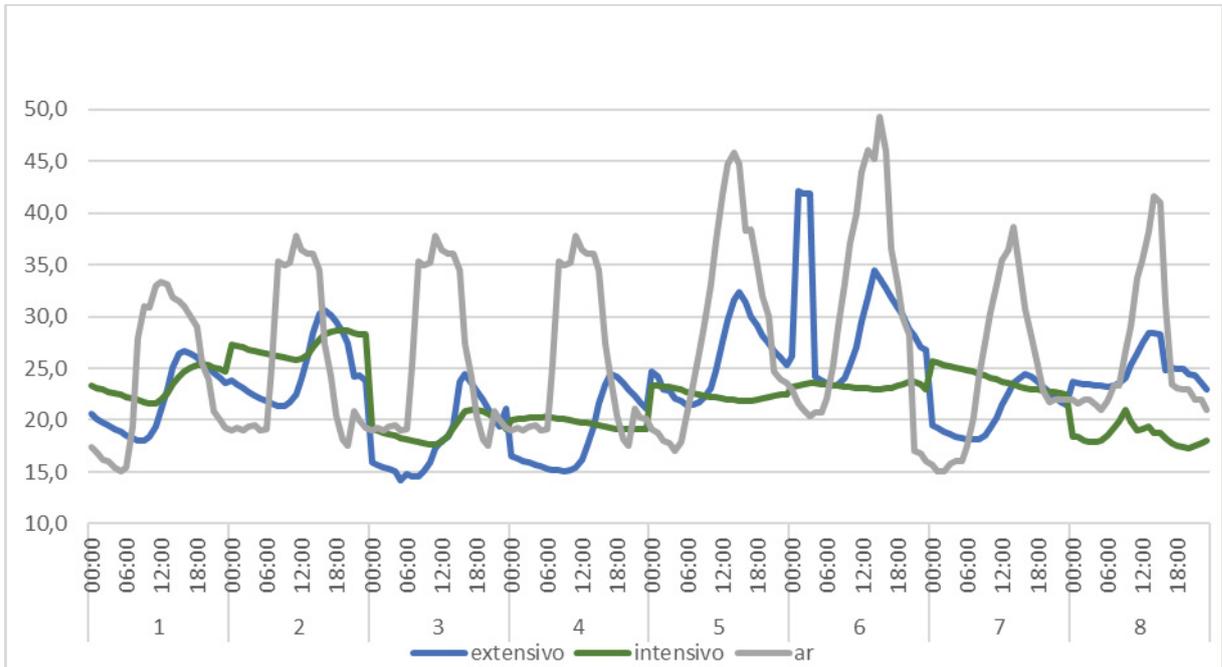
FIGURA 58 – CANTEIROS INTENSIVO E EXTENSIVO APÓS 4 MESES DO PLANTIO DAS ESPÉCIES VEGETAIS



FONTE: Os autores (2020).

O Gráfico 19 demonstra a variação da temperatura em cada evento em um período de 24h, em que é possível perceber temperaturas mais constantes no canteiro intensivo.

GRÁFICO 19 - COMPARAÇÃO ENTRE AS TEMPERATURAS DA CAMADA DE SUBSTRATO E AR REGISTRADAS EM CADA EVENTO EM UM PERÍODO DE 24H



FONTE: Os autores (2020).

6.3.3 Atraso de pico

Por conta dos problemas mencionados no item 6.2.5.1, foi possível coletar dados de atraso de pico de apenas um evento de chuva.

A medição do atraso de pico ocorreu no dia 28/01/2020, conforme evento 12 (Quadro 17). A precipitação ocorrida foi de 50,85 litros e foi calculado um percentual de 95% de retenção para o canteiro intensivo e 52% para o extensivo.

Neste dia, a precipitação iniciou as 13:06:18, mas não se manteve constante. Houve vários intervalos, que podem ser observados no Quadro 18.

QUADRO 18 - INTERVALOS DE PRECIPITAÇÃO NO DIA 28/01/20

(continua)

Intervalos precipitação (hh:mm:ss)	
Início - Fim	13:06:18 - 14:10:27
Início - Fim	15:37:38 - 15:54:32
Início - Fim	16:17:35 - 17:21:26

Intervalos precipitação (hh:mm:ss)	
Início - Fim	19:35:27 - 19:50:46
Início - Fim	19:59:19 - 20:14:28
Início - Fim	20:45:59 - 22:48:40
Início - Fim	22:57:22 - 23:25:43

FONTE: Os autores (2020).

O Quadro 19 demonstra o momento em que a água é detectada no sensor que está localizado abaixo do ralo de cada canteiro, indicando o momento em que o escoamento iniciou, possibilitando o cálculo do atraso de pico pela diferença do momento em que a chuva iniciou.

QUADRO 19 – ATRASO DE PICO

Início escoamento (hh:mm:ss)		Atraso de pico (hh:mm:ss)
Início escoamento canteiro extensivo	13:37:11	0:30:53
Início escoamento canteiro intensivo	16:35:10	03:28:52

FONTE: Os autores (2020).

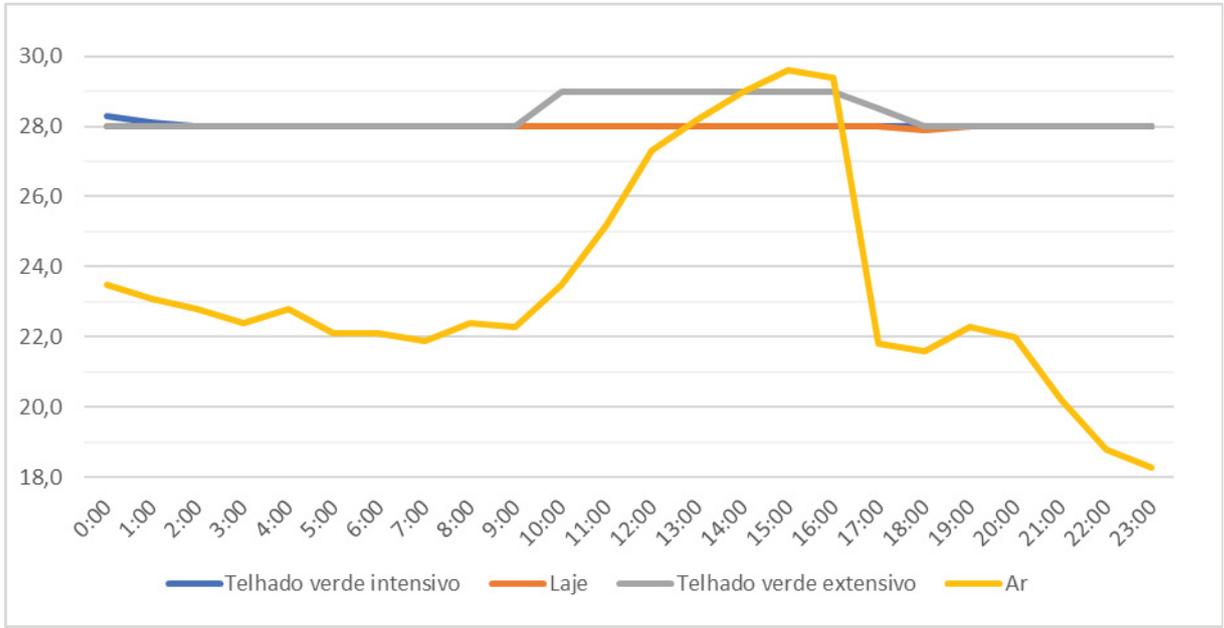
É possível observar um desempenho consideravelmente superior do canteiro intensivo, mostrando atraso de 02:57:59 em relação ao extensivo.

6.3.4 Temperatura dos ambientes abaixo dos canteiros

O programado era que o monitoramento da temperatura dos ambientes abaixo do terraço ocorresse em paralelo com a medição das demais variáveis, porém, houveram problemas com a permissão para acesso de uma das salas, impossibilitando a medição da temperatura interna por um período. Sendo assim, o monitoramento da temperatura dos ambientes ocorreu do dia 16/01/2020 a 05/02/2020. Dentro deste período foram escolhidos quatro eventos em dias que tiveram a maior amplitude térmica do ar, sendo escolhidos os dias 16, 25 e 26 de janeiro e 04 de fevereiro. Os gráficos 20, 21, 22 e 23 demonstram as temperaturas do ar, no ambiente abaixo do

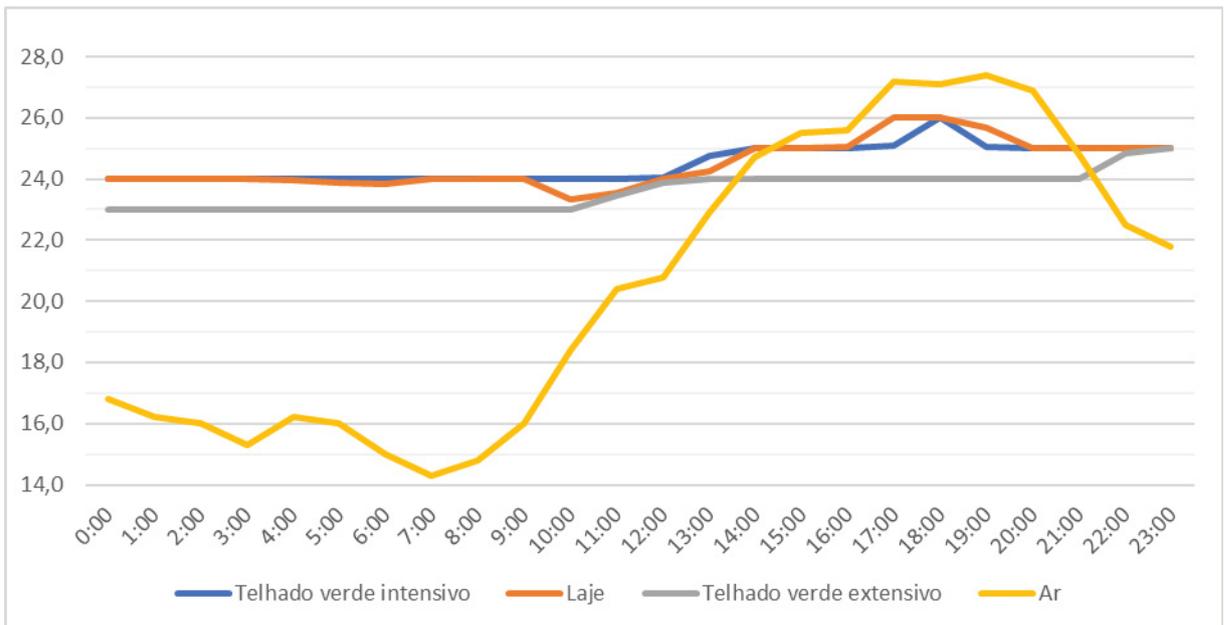
telhado verde intensivo, no ambiente abaixo da laje e no ambiente abaixo do telhado verde extensivo, conforme legenda.

GRÁFICO 20 - EVENTO 1 - TEMPERATURAS DO AR EXTERNA E NOS AMBIENTES ABAIXO DO TERRAÇO (DIA 16/01)



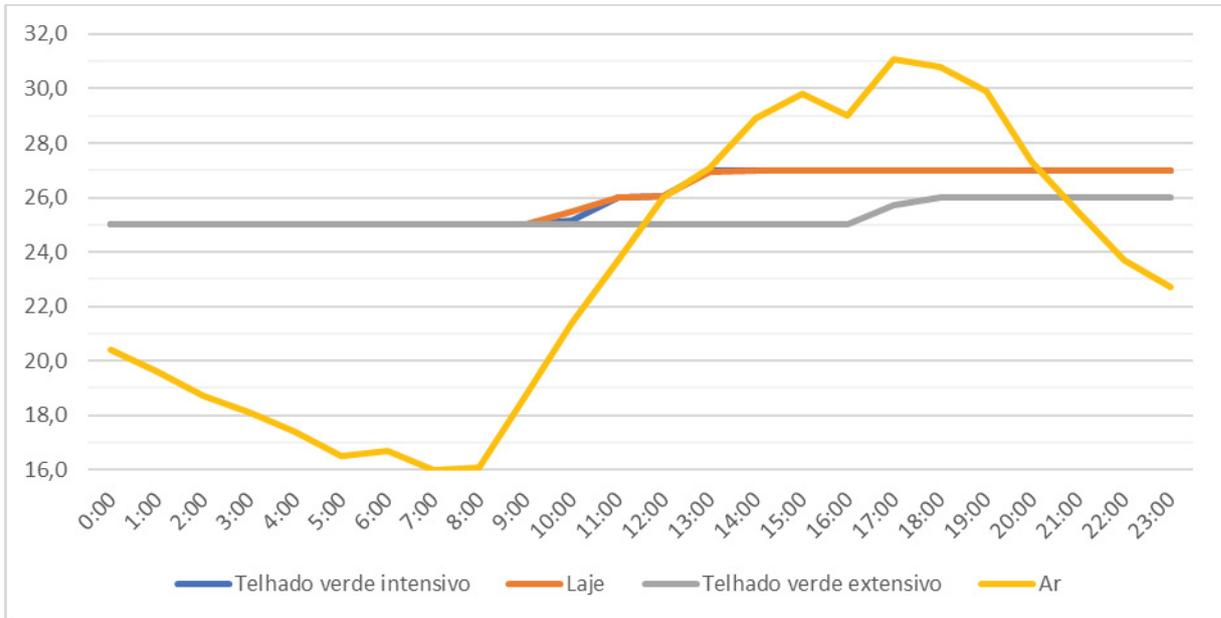
FONTE: Os autores (2020).

GRÁFICO 21- EVENTO 2 - TEMPERATURAS DO AR EXTERNA E NOS AMBIENTES ABAIXO DO TERRAÇO (DIA 25/01)



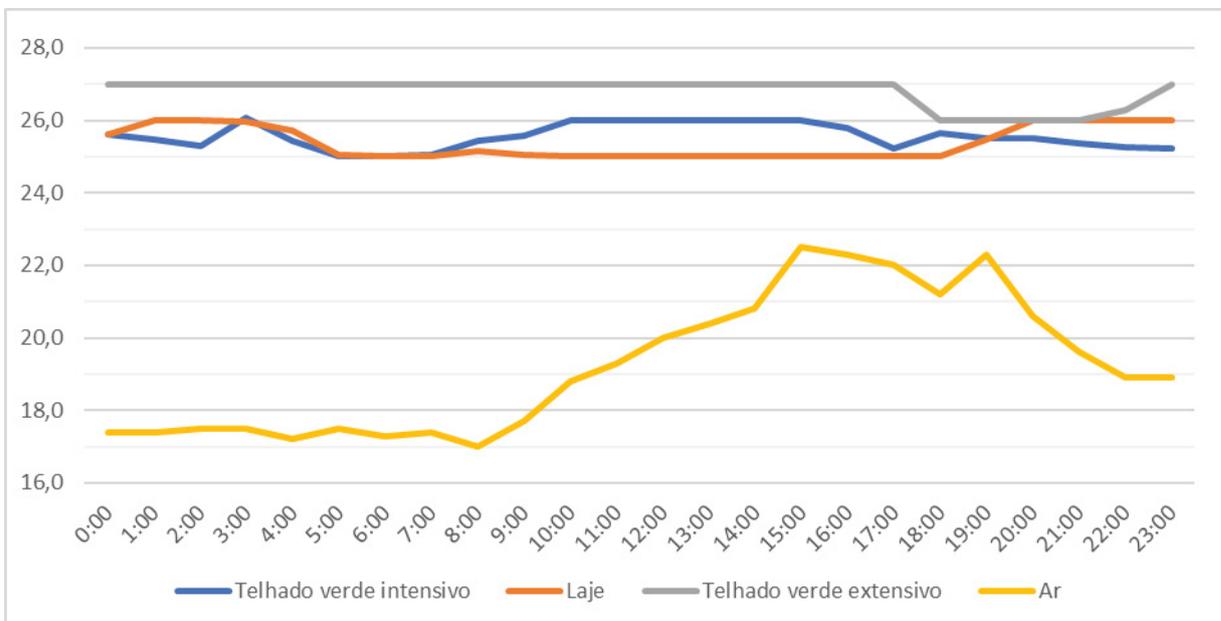
FONTE: Os autores (2020).

GRÁFICO 22- EVENTO 3 - TEMPERATURAS DO AR EXTERNA E NOS AMBIENTES ABAIXO DO TERRAÇO (DIA 26/01)



FONTE: Os autores (2020).

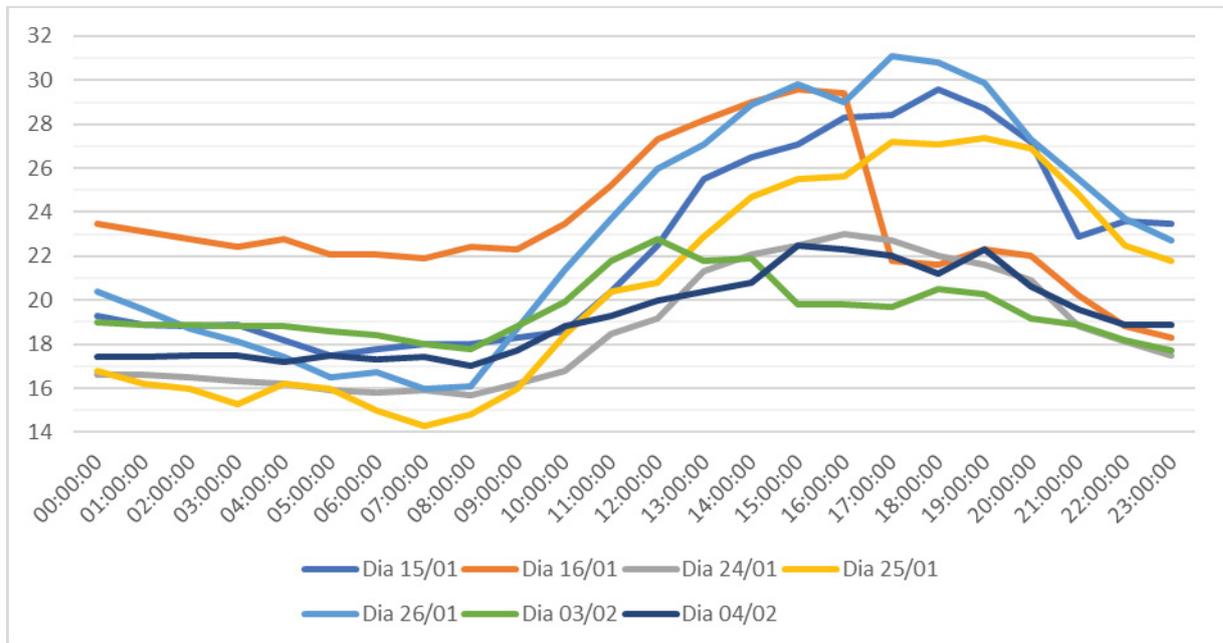
GRÁFICO 23 - EVENTO 4 - TEMPERATURAS DO AR EXTERNA E NOS AMBIENTES ABAIXO DO TERRAÇO (DIA 04/02)



FONTE: Os autores (2020).

Para melhor compreensão dos gráficos gerados a partir dos eventos selecionados fez-se necessária a comparação das temperaturas externas registradas nos dias anteriores com as temperaturas registradas durante os eventos (Gráfico 24).

GRÁFICO 24 - TEMPERATURAS DO AR EXTERNA CONFORME DATAS DOS EVENTOS E DOS DIAS ANTERIORES



FONTE: Os autores (2020).

Os gráficos demonstram temperaturas muito próximas em todos os eventos, variando de 23 a 28°C, mesmo ocorrendo variação maior da temperatura do ar externa. Na maior parte do tempo a temperatura interna mostrou-se superior à externa, exceto no período da tarde nos eventos 2 e 3 em que houve uma elevação da temperatura externa, enquanto a temperatura nos ambientes se manteve mais constante.

Analisando o Gráfico 24 é possível observar uma tendência da variação de temperaturas tanto nos dias anteriores quanto nos dias selecionados para análise, observando menor temperatura à meia noite, com início do aumento por volta das 9h, registrando maiores temperaturas a tarde, entre 16h e 19h. Os valores mais altos registrados no período da tarde demonstram maior absorção de calor pela envoltória da edificação neste período, mantendo essa temperatura próxima da constância pelo fato de não haver diminuição significativa de temperatura externa em um intervalo de tempo necessário para que a edificação esfrie antes de a temperatura externa voltar a subir.

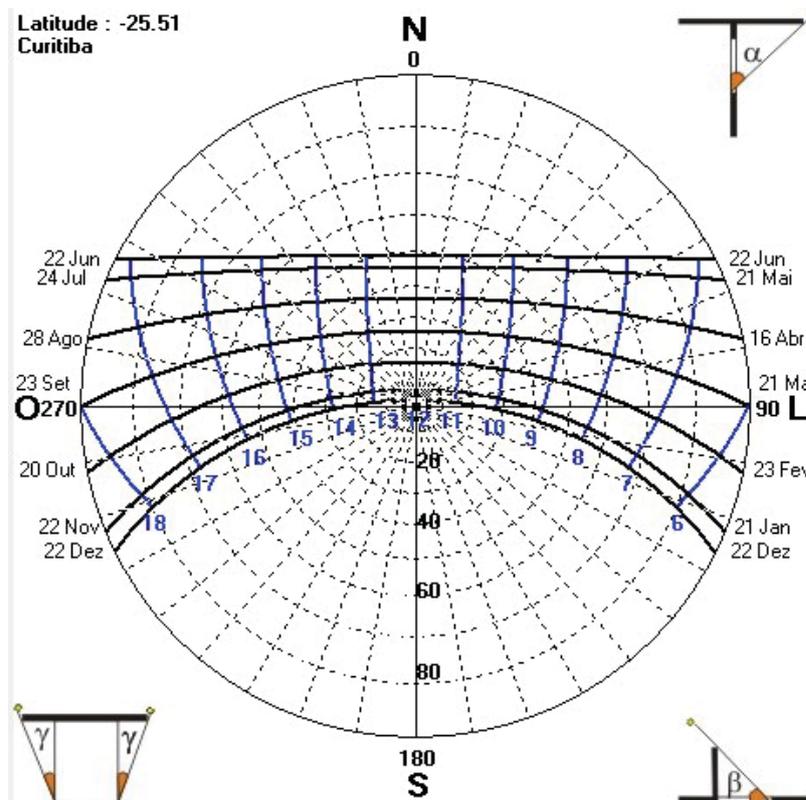
No evento 1 a temperatura varia apenas no período compreendido entre 9h e 18h, para ambos os ambientes que possuem telhado verde. Enquanto a temperatura da laje permanece constante durante todo o dia.

Nos eventos 2 e 3, houve aumento da temperatura de todos os ambientes quando a temperatura do ar externa subiu, sendo que a da laje registrou uma elevação maior. Porém, o ambiente que possui o telhado verde extensivo foi a que apresentou menor elevação de temperatura nestes casos.

No evento 4 todas as temperaturas apresentaram-se maior que a temperatura do ar durante o dia todo, sendo que neste caso o ambiente com o telhado verde extensivo apresentou maior temperatura que as demais, enquanto a laje apresentou a menor.

Nos casos onde o ambiente em que o telhado verde extensivo se encontra apresentou menores temperaturas que o ambiente abaixo do intensivo, difere do que foi encontrado na literatura existente. Para compreender o motivo fez-se necessária análise da carta solar de Curitiba (Figura 59), em que é possível visualizar a insolação da envoltória da edificação.

FIGURA 59 - CARTA SOLAR DE CURITIBA



FONTE: Os autores, criado a partir do software Sol-Ar® (2020).

É possível observar que há incidência solar na fachada sul (fachada da localização dos ambientes em análise) no início da manhã para os meses de janeiro e fevereiro. Já na fachada leste (fachada em que está compreendida o ambiente abaixo do telhado verde intensivo) há sol a manhã toda, fazendo com que este fique mais quente nos dias em que há maior incidência solar no período da manhã.

Acredita-se que o motivo pelo qual não houve diferença de temperatura entre os ambientes se deve à duas questões: haver uma camada de ar entre o telhado verde e a laje (criada desta forma para que fosse possível medir o atraso de pico), e a área de influência dos canteiros ser muito pequena e próxima, havendo transferência de calor horizontal por meio da laje.

De qualquer forma, faz-se necessária a continuação do experimento para que seja possível avaliar o comportamento da temperatura dos ambientes por um maior período, podendo avaliar também o que ocorre nas demais estações do ano.

6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados demonstram que o uso de telhados verdes pode ser um grande aliado no combate à enchentes, sendo que o retardo do escoamento pode ainda ser potencializado com o uso de telhados verdes intensivos.

Em relação a retenção de águas pluvias o resultado foi satisfatório e condizente com a literatura existente, demonstrando que telhados verdes intensivos podem reter a água da chuva em média de até 38% a mais que os extensivos.

Apesar de o resultado do atraso de pico ser correspondente a apenas um evento de precipitação, mostrou-se satisfatório e condizente com o resultado de percentual de retenção, indicando que telhados verdes intensivos podem apresentar melhor desempenho em relação ao retardo do escoamento superficial.

O canteiro intensivo também mostrou-se superior no que se refere a variação da temperatura da camada de substrato, apresentando variação máxima de apenas 4°C durante um dia, enquanto o extensivo apresentou variação de até 22°C nos dias mais quentes.

A partir do resultado observado de temperatura da camada de substrato, é possível presumir que o ambiente localizado abaixo do canteiro intensivo também apresentaria melhores resultados em relação ao controle de temperatura superficial,

porém, não foi como o esperado, sendo que não houve variação de temperatura entre os ambientes. Porém, é válido dar continuidade ao monitoramento para verificar o comportamento da variável durante as outras estações do ano. De qualquer forma, acredita-se fortemente que a proximidade dos canteiros e a ausência de contato direta do telhado verde com a laje fez com que houvesse influência entre eles, impossibilitando uma análise mais precisa de cada um. Sendo assim, aconselha-se que trabalhos futuros realizem esta comparação separadamente, de modo que não haja nenhuma influência entre um e outro e que a área de atuação destes seja por toda a cobertura.

7 CONCLUSÕES

Considerando que o objetivo da pesquisa foi investigar o efeito que o aumento da camada de substrato poderia surtir no desempenho de telhados verdes, pode-se dizer que camadas de substrato mais profundas apresentam melhores resultados em relação as variáveis analisadas.

É importante destacar a relevância deste estudo ter sido composto de um experimento em conjunto com um estudo de caso, pois o fato de o último ter sido conduzido em um ambiente privado possibilitou menor controle sobre eventos externos, comprometendo alguns resultados. Desta forma, o experimento colaborou fortemente para que as variáveis pudessem ser observadas por um maior período, trazendo resultados mais concisos.

Tanto no experimento, quanto no estudo de caso os telhados verdes intensivos apresentaram melhores resultados.

Os protótipos de telhado verde intensivo apresentaram aumento no grau de cobertura vegetal de até 17% em relação aos extensivos, média de percentual de retenção de águas pluviais de 92% e uma variação de até 4°C entre a temperatura superficial inferior e superior em períodos mais quentes.

No estudo de caso realizado no terraço jardim foi possível observar uma diferença de até 38% na média de percentual de retenção entre os canteiros, sendo que o intensivo apresentou uma média de 75% de retenção, enquanto o extensivo apresentou média de 37%.

Apesar de os resultados de temperatura do ar interna do estudo de caso não apresentarem o esperado, os dados de temperatura da camada do substrato indicam que a temperatura é mais constante em telhados verdes intensivos, o que aponta para a suposição de que utilizando o conceito em toda a extensão da cobertura, os resultados seriam replicados.

Apesar dos problemas ocasionados durante o desenvolvimento do estudo de caso impossibilitarem a medição do atraso de pico por um período maior, o resultado de um evento já demonstrou que o retardo do escoamento superficial é potencializado quando a espessura da camada de substrato é maior.

Outro ponto que merece destaque é a facilidade que a criação da rede de sensores e conexão com a internet para visualização dos dados em tempo real trouxe para o monitoramento, tornando mais prática e assertiva a identificação de erros. Este fato reforça a necessidade de união de diferentes expertises no campo da pesquisa científica, criando pesquisas multidisciplinares e mais eficientes com a intenção de conquistar melhores resultados.

Recomenda-se para trabalhos futuros trabalhar com mais de duas espessuras de substrato, possibilitando mais repetições e uma análise estatística mais apurada. No caso de uma comparação entre um terraço jardim intensivo e um extensivo existentes, é aconselhável que estes estejam em terraços separados e que toda - ou quase toda - a área de cobertura seja vegetada, para que não haja interferência de transferência de calor horizontal por meio da laje.

Retomando ao problema de pesquisa e considerando os resultados expostos, é possível afirmar que os benefícios de telhados verdes relacionados ao controle de temperatura de edificações e contenção de enchentes são potencializados para o clima de Curitiba-PR quando a profundidade da camada de substrato é aumentada, sendo que a retenção do escoamento pluvial pôde ser aumentada em até 38% e a temperatura da camada de substrato apresentou-se mais constante, variando no máximo 4°C em telhados verdes intensivos.

REFERÊNCIAS

- ABRAININC. **Análise das Necessidades Habitacionais e suas Tendências para os Próximos Dez Anos**. Fundação Getúlio Vargas, 2018. Relatório técnico. Disponível em: <<https://www.abrainc.org.br/wp-content/uploads/2018/10/ANEHAB-Estudo-completo.pdf>>. Acesso em 10 jan. 2020.
- ALEXND. Anúncio do produto. 2019. Disponível em: <alexnd.com>. Acesso em 20 out. 2019.
- ARCHDAILY. AD Classics: Villa Savoye / Le Corbusier. 2010. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/84524/ad-classics-villa-savoye-le-corbusier>>. Acesso em: 05 mai. 2019.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 11^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.
- BAHIMA, C. F. D. S. **Edifício moderno brasileiro: a urbanização dos cinco pontos de Le Corbusier 1936-57**, 2002. 255 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Arquitetura. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura. Porto Alegre (RS), 2002. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/55477>>. Acesso em 05 mai. 2018.
- BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**, 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/52621>>. Acesso em 14 jul. 2018.
- BÄR, V. B. **Influência de diferentes camadas de drenagem no desempenho hidrológico de telhados verdes extensivos na cidade de Curitiba - PR**, 2019, 172 f. Dissertação (Mestrado) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2019. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1884/62159>> Acesso em: 15 ago. 2019.
- BEECHAM, S.; RAZZAGHMANESH, M. Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate. **Water Research**, v. 70, p. 370–384, 2015. Pergamon. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135414008471>>. Acesso em: 28 jun. 2018.
- BERARDI, U.; GHAFARIANHOSEINI, AMIRHOSEIN; GHAFARIANHOSEINI, ALI. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied Energy**, v. 115, p. 411–428, 2014. Elsevier. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913008775>>. Acesso em: 01 jul. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>.
- BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and facades: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 82, p. 915-939, 2018. Elsevier. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117313680>>. Acesso em: 27 ago. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>.

BETA COMERCIAL. Imagem de anúncio do produto. 2020. Disponível em: <<https://www.betacomercial.com.br/loja/produto/termometro-digital-td-890>>. Acesso em 08 jan. 2020.

BIDIM. Linha Bidim RT. 2019. Disponível em: <<http://www.bidim.com.br/produto/linha-bidim-rt/>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

BREUNING, J. German FLL Guideline for Green Roofs introduced in 2002 at ASTM Subcommittee E06.71. Disponível em: <<http://www.greenrooftechnology.com/fll-green-roof-guideline>>. Acesso em: 17 fev. 2019.

BREUNING, J.; YANDERS, A. **Introduction to the FLL Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing**. Baltimore (Estados Unidos): Green Roof Technology, 2012.

CANTOR, S. L. **Green roofs in sustainable landscape design**. 1ª ed. Nova York (Estados Unidos): W. W. Norton & Company, 2008.

CASAGRANDE, T.; et al. Temperatura e escoamento em telhados verdes intensivos: uma revisão. **III Encuentro Latinoamericano y Europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sostenibles**, p. 1373–1384, 2019. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1rV4VH7ifSQwS12JYInNklvhV7OZspwVQ/view>>.

CATUZZO, H. **Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo**, 2013, 206 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2013. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-18122013-123812/en.php>> Acesso em: 05 jan. 2020.

CE100. **Uma economia circular no Brasil: uma abordagem exploratória inicial**. Ellen MacArthur Foundation, 2017.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. Obras de combate às enchentes preparam cidade para as chuvas de verão. 2019. Disponível em: <<https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/obras-de-combate-as-enchentes-preparam-cidade-para-as-chuvas-de-verao/48893>>. Acesso em: 07 fev. 2020.

DIPROTEC. Geossintéticos e Ecológicos. 2019. Disponível em: <<http://www.diprotec.com.br/produto/manta-geotextil-nao-tecido/>>. Acesso em 25 jul. 2019.

ECOTELHADO. Telhado verde hidromodular para coberturas. 2019a. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/hidromodular/>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

ECOTELHADO. Telhado verde modular alveolar leve. 2019b. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/sistema-modular-alveolar-leve/>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

FLL GUIDELINE. **Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites**. Bonn (Alemanha): Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2012.

FRANCIS, L. F. M.; JENSEN, M. B. Benefits of green roofs: A systematic review of the evidence for three ecosystem services. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 28, p. 167–176, 2017. Urban & Fischer. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866717302479>>. Acesso em: 27 ago. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.015>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GRO. **The GRO Green Roof Code: Green Roof Code of Best Practice for UK 2014**, 2014.

IAPAR. Atlas Climático do Paraná. 2019. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2533>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

IBGE. Panorama Curitiba. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>>. Acesso em: 6 fev. 2020.

IEA. International Energy Agency. Transition to sustainable buildings. Paris, 2013. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/transition-to-sustainable-buildings>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

IGRA. The International Green Roof Association. Disponível em: <<http://www.igra-world.com/>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

INMET. Gráficos Climatológicos. 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/porta/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

JIM, C.Y.; TSANG, S. W. Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof. **Building and Environment**, v. 46, n. 6, p. 1263–1274, 2011a. Pergamon. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez22.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0360132310003653?via%3Dihub>>. Acesso em: 29 jul. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.013>.

JIM, C.Y.; TSANG, S. W. Ecological energetics of tropical intensive green roof. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 10, p. 2696–2704, 2011b. Elsevier. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez22.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378778811002672?via%3Dihub>>. Acesso em: 29 jul. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.018>.

LIU, C.; LI, Y.; LI, J. Geographic information system-based assessment of mitigating flash-flood disaster from green roof systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 64, p. 321–331, 2017. Pergamon. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971516301132>>. Acesso em: 17 jun. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.04.008>.

LOPES, T. V. **Adaptação e influência de diferentes espécies nativas em telhados verdes na cidade de Curitiba (PR)**, 2018. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2018. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1884/56871>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

LORENZI, H. **Plantas para jardim no Brasil: herbáceas, arbusticas e trepadeiras**. 2^a ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2015.

MENTENS, 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**, Leuven (Bélgica), v. 77, n. 3, p. 217–226, 2006. Elsevier. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204605000496>>. Acesso em: 06 ago. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>.

MILLER, A. P. R. R. **Análise do comportamento de substrato para retenção de água pluvial para coberturas verdes extensivas em Curitiba - PR**, 2014. 93 f. Dissertação (mestrado) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/36435>>. Acesso em 25 ago. 2018.

MORAKINYO, T. E.; DAHANAYAKE, K. W. D. K. C.; NG, E.; CHOW, C. L. Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study. **Energy and Buildings**, v. 145, p. 226–237, 2017. Elsevier. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817310915>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

NASCIMENTO, W. C. do. **Coberturas verdes no contexto da região metropolitana de Curitiba - barreiras e potencialidades**, 2008, 204 f. Dissertação (Mestrado) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/21202>> Acesso em: 15 mar. 2019.

NOYA, M. G. **Subsídios à implantação de telhados verdes extensivos**, 2018. 116 f. Tese (Doutorado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2018. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1884/58478>> Acesso em 05 set. 2019.

OBERNDORFER, E.; et al. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. **BioScience**, v. 5, 2007. Disponível em: <<https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/57/10/823/232363>>. Acesso em: 20 mai. 2018. <https://doi.org/10.1641/B571005>.

OLIVEIRA, P. L.; SOARES, R. G.; SANTOS, S. X. Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de coberturas. **Petra**, v. 2, n. 1, p. 36-55, 2016. Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix. Disponível em: <<https://www.metodista.br/revistas-izabela/index.php/ptr/article/view/922/767>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Perspectivas Mundiais de População 2019: Destaques**. 2019. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp>>. Acesso em: 08 jan. 2020.

OPEN CIRCUIT SHOP. Anúncio do produto. 2019. Disponível em: <opencircuitshop.com>. Acesso em: 20 out. 2019.

PANZIERA, A. G.; CALIL, V. S.; AMARAL, F. D.; SWAROWSKY, A. Desempenho de diferentes tipos de telhado verde no conforto térmico urbano na cidade de Santa Maria, RS. **Disciplinarum Scientia**, v. 16, p. 445-457, 2015. UFN. Disponível em: <<https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1406/1328>>. Acesso em: 08 ago. 2019.

PAVANELLI, A. Curitiba ganha 15,9 mil habitantes em um ano; número é maior que a população de 70% das cidades do Paraná. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2019/08/28/curitiba-ganha-159-mil-habitantes-em-um-ano-numero-e-maior-que-a-populacao-de-70percent-das-cidades-do-parana.ghtml>>. Acesso em: 6 fev. 2020.

PORTAL UFG. Classificação climática de Köppen-Geiger. Disponível em: <https://portais.ufg.br/up/68/o/Classifica___o_Clim_tica_Koppen.pdf>. Acesso em 10 jun. 2018.

REC FILMES. Imagem disponibilizada pela empresa. 2019.

ROBSON, C. **Real world research: a resource for social scientists and practitioner - researchers**. 2ª ed. Australia: Backwell Publishing, 2002.

SANTOS, P. T. DA S.; et al. Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-174, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v13n1/v13n1a11.pdf>> Acesso em: 14 jul. 2018.

SAVI, A. **Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais no seu desempenho na cidade de Curitiba**, 2015. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/42102>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

SCHARF, B.; ZLUWA, I. Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems. **Energy and Buildings**, v. 151, p. 564-573, 2017. Elsevier. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez22.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378778817320856?>