

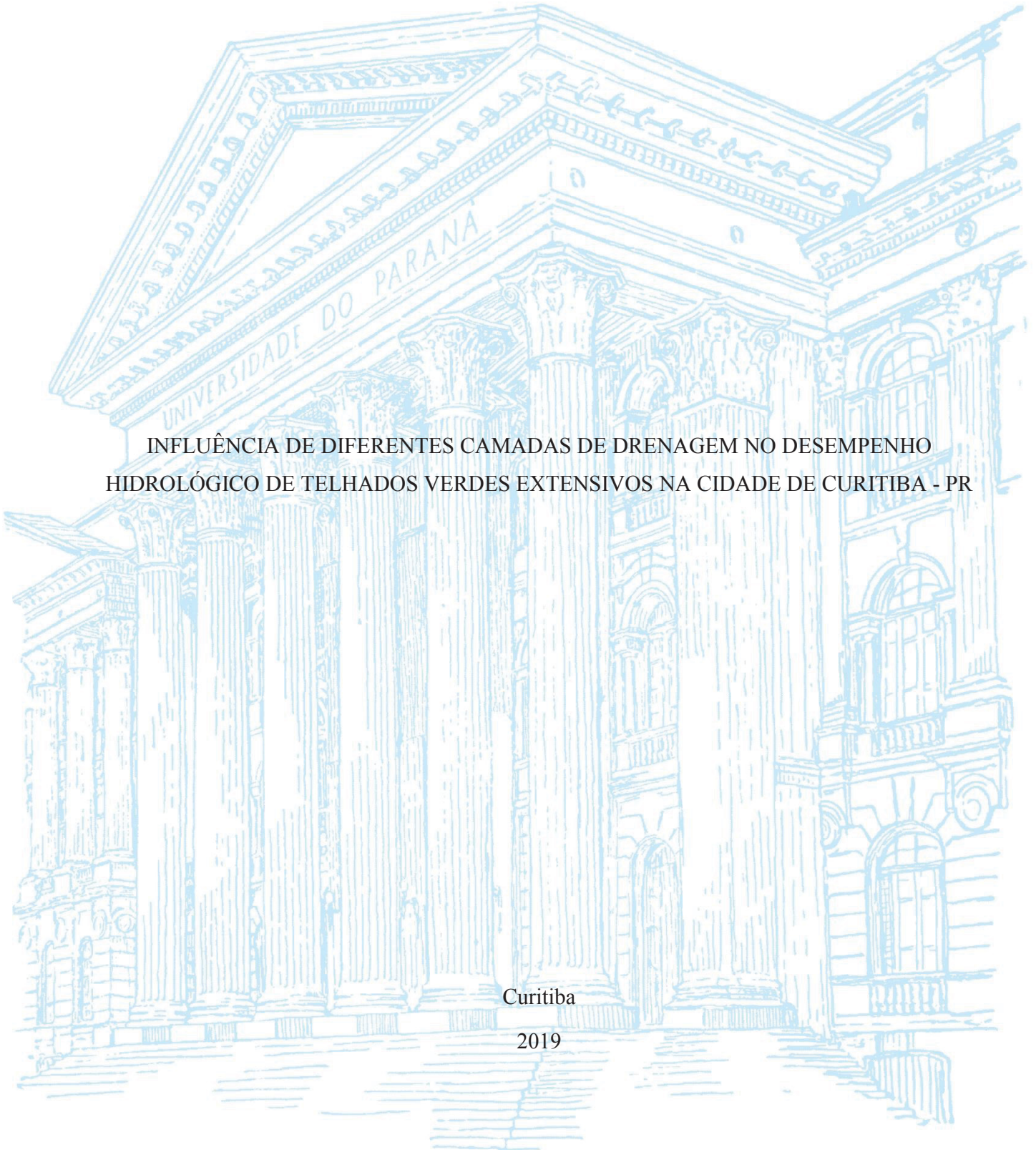
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNA VOGT BÄR

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CAMADAS DE DRENAGEM NO DESEMPENHO  
HIDROLÓGICO DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS NA CIDADE DE CURITIBA - PR

Curitiba

2019



BRUNA VOGT BÄR

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CAMADAS DE DRENAGEM NO DESEMPENHO  
HIDROLÓGICO DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS NA CIDADE DE CURITIBA – PR

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Área de concentração: Ambiente Construído, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia da Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. PhD. Sergio Fernando Tavares

Coorientadora: Prof. Dr. Heloise Garcia Knapik

Curitiba

2019

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

B223i Bär, Bruna Vogt

Influência de diferentes camadas de drenagem no desempenho hidrológico de telhados verdes extensivos na cidade de Curitiba – PR [recurso eletrônico] / Bruna Vogt Bär. – Curitiba, 2019.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, 2019.

Orientador: Sergio Fernando Tavares – Coorientador: Heloise Garcia Knapik.

1. Escoamento urbano – Curitiba (PR). 2. Drenagem. 3. Cobertura verde. 4. Telhado verde. I. Universidade Federal do Paraná. II. Tavares, Sergio Fernando. III. Knapik, Heloise Garcia. IV Título.

CDD: 628.2108162

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



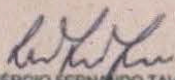


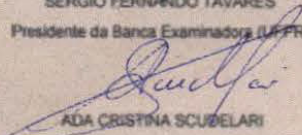
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE  
CONSTRUÇÃO CIVIL - 40001016046P2

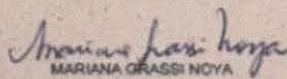
### TERMO DE APROVAÇÃO

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 BRUNA VOGT BAR intitulada: INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CAMADAS DE DRENAGEM NO DESEMPENHO HIDROLÓGICO DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS NA CIDADE DE CURITIBA - PR, após terem inquirido a aluna e realizado 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, 10 de Abril de 2019.

  
SÉRGIO FERNANDO TAVARES  
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

  
ADA CRISTINA SCUBELARI  
Avaliador Externo (UFRN)

  
MARIANA GRASSI NOYA  
Avaliador Externo (PUC-PR)



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a todo apoio oferecido a esta pesquisa. À empresa Ecotelhado, DIPROTEC, HM Rubber, pela disponibilização de materiais para a construção dos protótipos de telhado verde. Muito obrigado a SIMEPAR, por nos ceder um local para instalação de nossos telhados. Ao professor Marcelo Medeiros, do programa PPGECC da UFPR, e seu orientado Jayson, pela disponibilização do material para o concreto da fundação dos protótipos e ajuda no processo de concretagem. À CAPES, pela disponibilização da bolsa de pesquisa.

Ao PPGECC, por esta oportunidade de estudos, e ao PPGERHA, por ter me acolhido de maneira tão receptora e me permitir usufruir do LABEAM. À Luciane Prado, pela extrema paciência dentro do laboratório. Um obrigado muito especial aos colegas do PPGERHA que deixaram os extensos dias no laboratório muito divertidos, tirado minhas dúvidas e deixado as buscas por materiais e reagentes um pouco mais fáceis, o imenso trabalho de vocês em suas pesquisas é uma verdadeira inspiração.

A todas as minhas colegas de mestrado por compartilhar dos sofrimentos, de ideias, sugestões, risadas, e o desejo de um dia ver um ambiente construído mais agradável e sustentável. Também agradeço às alunas de iniciação científica Sofia e Milena, por terem adotado os meus telhadinhos e ajudado no monitoramento deles, e a colega Thaís Lopes, por ter iniciado a construção dos protótipos.

À professora Heloise, por ter emprestado seu imensurável conhecimento na área de recursos hídricos, e ter aceito o desafio de envolver-se em um novo mundo de amostras de água, e ao professor Sergio Tavares, por me dar a oportunidade de trabalhar em uma pesquisa motivadora, pelas inúmeras aulas e conversas, cafés, por sempre instruir meus pensamentos, e ser, inquestionavelmente, o melhor orientador do mundo, muito obrigada.

Gus, por todo apoio e suporte, pelo consolo e paciência, por nunca medir esforços para realizar meus sonhos, e por deixar meus dias mais dourados, sou completamente grata. E por fim, mas definitivamente não por último, obrigada aos meus pais, por serem a rocha mais sólida de toda a minha estrutura, por acreditarem em mim, viverem meus sonhos e sempre me apoiarem com mais do que o possível. Todo meu esforço é por vocês.

## RESUMO

O aumento da preocupação acerca da sustentabilidade tem impulsionado o setor da construção civil a busca de mudanças inovadoras. Políticas pelo mundo têm exigido a adoção de inovações sustentáveis em termos de produtos e processos para encorajar construções mais sustentáveis. Nesse sentido, telhados verdes têm emergido como uma solução capaz de proporcionar uma série de benefícios ambientais. O aumento e incentivo da implantação dessas coberturas faz com que materiais comerciais sejam lançados, entretanto, esses geralmente são projetados buscando apenas o apelo estético desses tipos de cobertura, sendo necessário a busca de materiais que otimizem o desempenho dessas coberturas. Dessa maneira, cinco protótipos de telhado verde com diferentes tipos de camada de drenagem foram monitorados durante um período de 11 meses na cidade de Curitiba – PR, com um total de 44 eventos de chuva analisados, a fim de avaliar a influência da camada de drenagem quanto sua capacidade de retenção pluvial e qualidade das águas de escoamento. Os materiais drenantes utilizados na construção dos telhados verdes foram: (TV1) painel modular, (TV2) sem camada de drenagem, (TV3) argila expandida, (TV4) brita graduada e (TV5) Geocomposto drenante (tapete drenante). Os resultados de taxa de retenção pluvial apresentam um melhor desempenho do telhado com uso de painel modular, com uma taxa de retenção média total de 76,6%. Observou-se uma tendência de similaridade entre os resultados de retenção pluvial e dos parâmetros de qualidade da água obtidos pelo protótipo com uso de argila expandida e pelo protótipo com brita graduada, ambos materiais granulares, o que pode indicar um comportamento característico do tipo de material drenante. Os resultados dos ensaios de qualidade da água apresentaram variação entre cada coleta e amostra de telhado avaliado, mas em geral, os ensaios de fósforo total e ortofosfato apresentaram lixiviação maior destes nutrientes pelos protótipos de telhado verde que pela amostra de água de chuva. Entretanto, o TV2, sem uso de material drenante, apresentou um valor maior que os outros telhados, o que indica uma capacidade de retenção destes nutrientes pelas camadas de drenagem utilizadas. Já para os resultados de nitrogênio total, o protótipo sem camada drenante apresentou um valor de Nitrogênio total menor que os obtidos pelos protótipos com uso de material drenante. Os resultados de nitrogênio amoniacal total indicaram capacidade de retenção deste nutriente pelos telhados verdes. Esta pesquisa também traz como inovação a aplicação da avaliação de fluorescência molecular, como complementação do parâmetro de carbono orgânico dissolvido (COD), possibilitando uma análise qualitativa do tipo de material orgânico presente nas amostras de escoamento. A partir desse, constata-se que, apesar dos altos valores de COD obtidos pelas amostras dos telhados verdes, as mesmas são compostas predominantemente por material de origem húmica, portanto não apresentam um potencial de poluição tão significativo ao meio ambiente. Nenhum comprometimento do desempenho e da estrutura do telhado sem uso de camada de drenagem foi observada, indicando que este tipo de composição pode ser uma opção viável de sistema. Conclui-se que a camada de drenagem tem capacidade de influenciar no desempenho de telhados verdes, tanto de maneira negativa quanto positiva, apresentando potencial de ser projetada para um melhor desempenho do sistema.

**Palavras-chave:** Materiais drenantes. Redução de escoamento. Qualidade dos escoamentos. Coberturas verdes.

## ABSTRACT

The growing concern about sustainability has driven the construction industry to seek innovative change. Policies around the world have required the adoption of sustainable product and process innovations to encourage more sustainable construction. In this sense, green roofs have emerged as a solution capable of providing several environmental benefits. The increase and incentive of the implementation of these coverages causes commercial materials to be released, however, these are usually designed only to seek the aesthetic appeal of these types of coverage, therefore, it is necessary to search for materials that optimize the performance of these coverages. In this way, five green roof prototypes with different types of drainage layer were monitored during a period of 11 months in the city of Curitiba, PR, with a total of 44 rain events analyzed, to evaluate the influence of the drainage layer in their capacity of retention of rainwater and quality of runoff water. The drainage materials used in the construction of the green roofs were: (TV1) modular panel, (TV2) without drainage layer, (TV3) expanded clay, (TV4) graded gravel and (TV5) drainage geocomposite. The results of rain retention rate show a better performance of the roof with a modular panel, with a total average retention rate of 76.6%. A similarity trend was observed between the rain retention results and the water quality parameters obtained by the prototype with the use of expanded clay and the prototype with graded stone, both granular materials, which may indicate a characteristic behavior of the type of material draining. The results of the water quality tests presented variation between each collect and sample of evaluated roof, but in general, the tests of Total Phosphorus and Orthophosphate presented higher leaching of these nutrients by the prototypes of green roof than by the sample of rainwater. However, TV2, without the use of drainage material, presented a higher value than the other roofs, indicating a capacity of retention of these nutrients by the drainage layers used. For the total nitrogen results, the prototype with no draining layer had a lower Total Nitrogen value than those obtained by the prototypes with drainage material. The results of Total Ammoniacal Nitrogen indicated the capacity of retention of this nutrient by the green roofs. This research also brings as innovation the application of molecular fluorescence evaluation, as a complementation of the parameter of Dissolved Organic Carbon (DOC), allowing a qualitative analysis of the type of organic material present in the flow samples. From this, it is observed that, despite the high DOC values obtained by green roof samples, they are predominantly composed of material of humic origin, so they do not present a significant pollution potential to the environment. No compromise of performance and roof structure without drainage layer was observed, indicating that this type of composition may be a viable system option. It is concluded that the drainage layer has the capacity to influence the performance of green roofs, both in a negative and positive way, presenting potential to be designed for a better performance of the system.

**Keywords:** Drainage material. Outflow detention. Outflow quality. Green roofs.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes e diferença de telhados verdes intensivos e extensivos.....	26
Figura 2 – Principais vantagens de telhados verdes .....	29
Figura 3 – Limitações para disseminação do uso de telhados verdes .....	32
Figura 4 – Ilustração de escoamento de telhados verdes com retenção de volume de carga e atraso do pico (linha tracejada) gerado por determinado evento de precipitação (linha preta)..	35
Figura 5 – Processos hidrológicos de telhados verdes .....	35
Figura 6 – Ilustração das definições de carbono tipicamente utilizadas em monitoramentos de águas .....	45
Figura 7 – Ilustração das regiões e picos de uma matriz de excitação-emissão de fluorescência (EEM).....	47
Figura 8 – Protótipos utilizados por Vila et al. (2012) .....	49
Figura 9 – Materiais drenantes utilizados por Savi, Andri e Nardini (2013) .....	49
Figura 10 – Indicação dos materiais testados: 1) Pollytag, 2) Argila expandida leve, 3) Calcedônia, 4) Serpentine, 5) Concreto aerado auto clavado triturado.....	50
Figura 11 – Materiais drenantes utilizados por Gwózdź et al. (2016).....	51
Figura 12 – Ilustração dos protótipos utilizados (a) sistema com camada de drenagem e (b) sem camada de drenagem .....	52
Figura 13 – Materiais drenantes utilizados: A) Casca de óleo de palma, B) Polyfoam, C) Migalhas de pneu.....	53
Figura 14 – Telhados verdes monitorados por Scharf e Zluwa (2017) .....	53
Figura 15 – Sinalização do local de instalações dos protótipos .....	56
Figura 16 – Estação meteorológica automática INMET e telhados instalados .....	56
Figura 17 – Dimensões dos protótipos tipo 1 .....	57
Figura 18 – Dimensões dos protótipos tipo 2 .....	58
Figura 19 – Telhados com geomembrana PEAD instalada.....	59
Figura 20 – Suporte de canos de PVC concretados para recebimento dos protótipos .....	59
Figura 21 – Materiais drenantes utilizados nos protótipos .....	60
Figura 22 – Detalhamento da contenção para material granular e substrato .....	61
Figura 23 – Composição química indicada na etiqueta do substrato Rohrbacher .....	62
Figura 24 – Protótipos com camada de 7 cm de substrato concluída.....	62

Figura 25 – Adaptação da vegetação <i>Axonopus compressus</i> observada nos protótipos de Lopes (2018).....	63
Figura 26 – Protótipos no dia da plantação da camada de vegetação (28/03/2018).....	63
Figura 27 – Recipientes coletores instalados.....	64
Figura 28 – Método de comparação dos resultados de parâmetros de qualidade da água	69
Figura 29 – Comparação visual dos protótipos no dia 28/03 (dia da plantação da vegetação) .....	71
Figura 30 – Comparação do total de chuva precipitados nos meses de abril e maio dos anos de 2012 a 2018.....	71
Figura 31 – Valores de chuva apresentados durante o mês de abril de 2018.....	72
Figura 32 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de abril de 2018 .....	72
Figura 33 – Camadas de vegetações com indícios de estresse hídrico a partir do dia 06/04, com indicação dos retalhos de tapete de grama.....	73
Figura 34 - Valores de chuva apresentados durante o mês de maio de 2018.....	74
Figura 35 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de maio de 2018 .....	74
Figura 36 – Aumento do estresse hídrico na camada vegetal observado a partir do dia 11/05 .....	75
Figura 37 – Melhora visual da saúde da vegetação observado a partir do dia 23/05 .....	75
Figura 38 - Valores de chuva apresentados durante o mês de junho de 2018.....	76
Figura 39 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de junho de 2018 .....	76
Figura 40 - Valores de chuva apresentados durante o mês de julho de 2018.....	77
Figura 41 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de julho de 2018 .....	77
Figura 42 – Degradação da camada vegetal observado a partir de 31/07 .....	78
Figura 43 - Valores de chuva apresentados durante o mês de agosto de 2018.....	78
Figura 44 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de agosto de 2018 .....	79
Figura 45 - Condição da camada vegetal no dia 31/08.....	79

Figura 46 - Valores de chuva apresentados durante o mês de setembro de 2018 .....	80
Figura 47 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de setembro de 2018.....	80
Figura 48 - Condição da camada vegetal no dia 31/08.....	81
Figura 49 - Valores de chuva apresentados durante o mês de outubro de 2018.....	81
Figura 50 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de outubro de 2018.....	82
Figura 51 - Condição da camada vegetal no dia 08/10, com identificação do aparecimento de vegetação espontânea no protótipo TV4.....	82
Figura 52 - Condição da camada vegetal no dia 29/10.....	83
Figura 53 - Comparação do total de chuva precipitados no mês de novembro dos anos de 2012 a 2018 .....	83
Figura 54 - Valores de chuva apresentados durante o mês de novembro de 2018.....	84
Figura 55 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de novembro de 2018 .....	84
Figura 56 - Condição da camada vegetal no dia 27/11.....	85
Figura 57 - Valores de chuva apresentados durante o mês de dezembro de 2018 .....	85
Figura 58 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de dezembro de 2018.....	86
Figura 59 - Valores de chuva apresentados durante o mês de janeiro de 2019.....	86
Figura 60 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de janeiro de 2019 .....	87
Figura 61 - Condição da camada vegetal no dia 13/01.....	87
Figura 62 – Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de fevereiro de 2019.....	88
Figura 63 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de fevereiro de 2019.....	88
Figura 64 - Condição da camada vegetal no dia 12/02.....	89
Figura 65 - Condição da camada vegetal no dia 14/03.....	89
Figura 66 – Ilustração da quantidade de água de entrada e saída dos protótipos na estação outono.....	92



Figura 67 - Ilustração da quantidade de água de entrada e saída dos protótipos TV1, TV2, TV3 e TV4 na estação inverno .....	95
Figura 68 - Ilustração da quantidade de água de entrada e saída do protótipo TV5 na estação inverno .....	96
Figura 69 - Ilustração da quantidade de água de entrada e saída dos protótipos TV1 e TV2 na estação primavera .....	99
Figura 70 - Ilustração da quantidade de água de entrada e saída dos protótipos TV1 e TV2 na estação verão .....	101
Figura 71 - Ilustração da quantidade de água de entrada e saída dos protótipos TV3, TV4 e TV5 na estação verão .....	102
Figura 72 – Coleta das amostras de escoamento do Evento de chuva 9 – coleta dia 20/05/2018 .....	104
Figura 73 - Matriz de excitação-emissão de fluorescência para os TV3, TV4 e TV5 – coleta dia 20/05/2018 .....	106
Figura 74 - Coleta das amostras de escoamento do Evento de chuva 12 – coleta dia 06/06/2018 .....	108
Figura 75 – Comparação dos resultados de nitrogênio total obtidos nas amostras da coleta do dia 06/06/2018 .....	110
Figura 76 - Comparação dos resultados de nitrogênio amoniacal total obtidos nas amostras da coleta do dia 06/06/2018 .....	110
Figura 77 - Comparação dos resultados de fósforo total obtidos nas amostras da coleta do dia 06/06/2018 .....	111
Figura 78 - Comparação dos resultados de ortofosfato obtidos nas amostras da coleta do dia 06/06/2018 .....	111
Figura 79 - Matriz de excitação-emissão de fluorescência – coleta dia 06/06/2018, parte I .....	112
Figura 80 - Matriz de excitação-emissão de fluorescência – coleta dia 06/06/2018, parte II .....	113
Figura 81 - Coleta das amostras de escoamento do Evento de chuva 38 – coleta dia 21/01/2019 .....	115
Figura 82 - Comparação dos valores de pH entre os eventos avaliados .....	116

Figura 83 – Comparação dos valores de cor aparente entre os eventos avaliados .....	117
Figura 84 - Comparação dos valores de turbidez entre os eventos avaliados .....	117
Figura 85 - Comparação dos valores de condutividade elétrica entre os eventos avaliados .....	118
Figura 86 - Comparação dos valores de sólidos totais entre os eventos avaliados .....	118
Figura 87 - Comparação dos valores de nitrogênio total entre os eventos avaliados .....	119
Figura 88 - Comparação dos valores de nitrogênio amoniacal total entre os eventos avaliados .....	120
Figura 89 - Comparação dos valores de ortofosfato entre os eventos avaliados .....	120
Figura 90 – Indicação de opacidade apresentada em alíquotas do ensaio de Fósforo total da coleta do dia 21/01/2019 .....	121
Figura 91 – Coloração de leitura apresentada para os parâmetros de nitrogênio amoniacal total e ortofosfato da coleta do dia 21/01 .....	122
Figura 92 - Comparação dos valores de COD entre os eventos avaliados .....	123
Figura 93 - Matrizes de excitação-emissão de fluorescência – coleta dia 21/01/2019....	124
Figura 94 – Comportamento das raízes nos protótipos TV1 e TV3 .....	133
Figura 95 – Ilustração da comparação dos resultados dos parâmetros de qualidade d’água avaliados .....	142

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Programas internacionalmente eficazes acerca de telhados verdes.....	22
Tabela 2 – Classificação de telhados verdes segundo suas características.....	25
Tabela 3 - Valores de retenção do escoamento de telhados verdes (TV) em estudos nacionais com eventos de chuva naturais .....	36
Tabela 4 – Estudos de retenção de escoamento levantados por Berndtsson (2010).....	38
Tabela 5 - Diretrizes utilizadas para comparação da qualidade das águas escoadas por telhados verdes em trabalhos brasileiros .....	40
Tabela 6 – Componentes drenantes testados nas pesquisas selecionadas .....	48
Tabela 7 – Exemplificação do controle de regas, onde TV equivale a Telhado verde .....	65
Tabela 8 – Exemplificação do tratamento dos dados de escoamento.....	66
Tabela 9 – Parâmetros de análise selecionados, POP e Método de determinação .....	67
Tabela 10 – Parâmetros de análises de leitura automática e equipamento de leitura.....	67
Tabela 11 – Dados de leitura de escoamento para os eventos 1 a 14 .....	90
Tabela 12 - Valores de retenção de escoamento para os eventos de 1 a 14 .....	91
Tabela 13 – Valores da média de retenção de escoamento para o período de outono .....	93
Tabela 14 - Dados de leitura de escoamento para os eventos 15 a 25.....	94
Tabela 15 - Valores de retenção de escoamento para os eventos de 15 a 25 .....	94
Tabela 16 - Valores da média de retenção de escoamento para o período de inverno .....	96
Tabela 17 - Dados de leitura de escoamento para os eventos 26 a 36.....	97
Tabela 18 - Valores de retenção de escoamento para os eventos de 26 a 36 .....	98
Tabela 19 - Valores da média de retenção de escoamento para o período de primavera	100
Tabela 20 - Dados de leitura de escoamento para os eventos 37 a 44.....	100
Tabela 21 – Valores de retenção de escoamento para os eventos de 37 a 44.....	101
Tabela 22 - Valores da média de retenção de escoamento para o período de verão .....	102
Tabela 23 – Valores de média de escoamento total de todo o período de monitoramento .....	103
Tabela 24 – Resultados dos parâmetros de qualidade da água do Evento de chuva 9 – coleta dia 20/05/2018 .....	105



Tabela 25 – Valores dos picos representativos de fluorescência e porcentagem destes valores em relação ao valor total de COD para coleta do dia 20/05/2018 .....	106
Tabela 26 - Resultados dos parâmetros de qualidade da água do Evento de chuva 12 – coleta dia 06/06/2018 .....	108
Tabela 27 - Valores dos picos representativos de fluorescência e porcentagem destes valores em relação ao valor total de COD para coleta do dia 06/06/2018 .....	113
Tabela 28 - Resultados dos parâmetros de qualidade da água do Evento de chuva 38 – coleta dia 01/01/2019 .....	115
Tabela 29 - Valores dos picos representativos de fluorescência e porcentagem destes valores em relação ao valor total de COD para coleta do dia 21/01 .....	125
Tabela 30 – Classificação da destinação de uso para diferentes classes de água doce segundo Resolução CONAMA 357/05 .....	127
Tabela 31 – Legislações e valores base de parâmetros de qualidade da água e comparação com valores apresentados pelos telhados verdes .....	128
Tabela 32 – Classificação dos esgotos não tratados por meio de parâmetros físico-químicos .....	130
Tabela 33 – Comparação dos parâmetros avaliados com classificação de esgotos estipulados por Metcalf e Eddy (2003) .....	131

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
COP	Carbono Orgânico Particulado
COT	Carbono Orgânico Total
COV	Carbono Orgânico Volátil
DHS	Departamento de Hidráulica e Saneamento
EEM	Espectroscopia de fluorescência em matriz de excitação – emissão
EPA	Environmental Protection Agency
EUA	Estados Unidos da América
EU	União Europeia
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Carbono Inorgânico
IF	Fluorescência Molecular
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LABEAM	Laboratório de Engenharia Ambiental Professor Francisco Borsari Netto
LECA	Agregado Leve de Argila Expandida
Munic	Pesquisa de Informações Básicas Municipais

$\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$	Nitrogênio Amoniacal Total
$\text{NO}_2$	Dióxido de Nitrogênio
$\text{N}_T$	Nitrogênio Total
$\text{O}_3$	Ozônio
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PET	Poli tereftalato de etileno
pH	Potencial Hidrogeniônico
$\text{PO}_4^{3-}$	Ortofosfato
POP	Procedimento de Operação Padrão
PR	Paraná
$\text{P}_T$	Fósforo Total
PVC	Poli cloreto de vinila
$\text{S}_{DT}$	Sólidos Dissolvidos Totais
$\text{SO}_2$	Dióxido de Enxofre
$\text{S}_{ST}$	Sólidos Suspensos Totais
$\text{S}_T$	Sólidos Totais
$\text{S}_{TF}$	Sólidos Totais Fixos
$\text{S}_{TV}$	Sólidos Totais Voláteis
TV	Telhado Verde
UFPR	Universidade Federal do Paraná



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
1.1	HIPÓTESE.....	20
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA.....	21
1.3	OBJETIVO.....	21
1.4	JUSTIFICATIVA.....	21
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	23
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>25</b>
2.1	CLASSIFICAÇÃO.....	25
2.2	COMPONENTES.....	26
2.2.1	<b>Vegetação.....</b>	<b>26</b>
2.2.2	<b>Substrato.....</b>	<b>27</b>
2.2.3	<b>Filtro.....</b>	<b>28</b>
2.2.4	<b>Camada de drenagem.....</b>	<b>28</b>
2.2.5	<b>Barreira anti-raízes e impermeabilização.....</b>	<b>28</b>
2.3	BENEFÍCIOS DA IMPLANTAÇÃO DE TELHADOS VERDES.....	29
2.4	LIMITAÇÕES DE USO DE TELHADOS VERDES.....	31
2.5	CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	34
2.6	QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ESCOAMENTO.....	39
2.6.1	<b>Parâmetros de avaliação da qualidade das águas escoadas.....</b>	<b>41</b>
2.7	ESTUDOS REFERENTES À CAMADA DE DRENAGEM.....	47
<b>3</b>	<b>MÉTODOS DE PESQUISA.....</b>	<b>55</b>
3.1	PROTÓTIPOS.....	55
3.1.1	<b>Localização.....</b>	<b>55</b>

<b>3.1.2</b>	<b>Detalhamento dos protótipos .....</b>	<b>57</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Construção e materiais utilizados.....</b>	<b>58</b>
3.2	ACOMPANHAMENTO DA VEGETAÇÃO.....	63
3.3	COLETA DE DADOS E AMOSTRAS DE ESCOAMENTO .....	64
<b>3.3.1</b>	<b>Dados pluviométricos.....</b>	<b>65</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Controle de irrigações.....</b>	<b>65</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Tratamento dos dados.....</b>	<b>65</b>
3.4	ENSAIOS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	66
<b>3.4.1</b>	<b>Tratamento dos dados.....</b>	<b>68</b>
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
4.1	ACOMPANHAMENTO DA VEGETAÇÃO.....	70
4.2	DESEMPENHO DE RETENÇÃO PLUVIAL .....	90
4.3	QUALIDADE DAS ÁGUAS ESCOADAS .....	104
<b>4.3.1</b>	<b>Coleta dia 20/05/2018 .....</b>	<b>104</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Coleta dia 06/06/2018 .....</b>	<b>108</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Coleta dia 21/01/2019 .....</b>	<b>115</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Caracterização dos resultados .....</b>	<b>126</b>
<b>5</b>	<b>ANÁLISE CRÍTICA DOS PARÂMETROS MONITORADOS.....</b>	<b>132</b>
5.1	ACOMPANHAMENTO DA VEGETAÇÃO.....	132
5.2	DESEMPENHO DE RETENÇÃO PLUVIAL .....	135
5.3	QUALIDADE DAS ÁGUAS ESCOADAS .....	137
5.4	ANÁLISE DOS MÉTODOS DE PESQUISA EMPREGADOS.....	144
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>147</b>
6.1	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS .....	151
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>152</b>

<b>APÊNDICE A – CONTROLE MENSAL DO MONITORAMENTO .....</b>	<b>158</b>
<b>APÊNDICE B – CONTROLE DE IRRIGAÇÕES .....</b>	<b>170</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Em 2013, a Pesquisa de Informações Básicas Municipais (Munic), desenvolvida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, acrescentou pela primeira vez em seus registros questões específicas sobre a gestão de riscos e desastres, em virtude dos graves desastres naturais que o país sofreu nos cinco anos antecessores a 2013, principalmente com a grande inundação de 2011, na cidade do Rio de Janeiro.

De acordo com IBGE (2013), um dos fatores determinantes para a ocorrência de inundações é a interferência da permeabilidade da água no solo. Grandes áreas asfaltadas, superfícies cimentadas, ou sistemas de drenagem urbana deficientes são grandes empecilhos ao escoamento superficial da água. Esses fatores, somados às chuvas, podem ocasionar alagamentos ou acúmulos de água localizados, podendo gerar graves consequências para o bem-estar humano.

De acordo com Lamera et al. (2014), as práticas de coberturas tradicionais direcionam as águas pluviais escoadas nas áreas urbanas diretamente para os corpos de água naturais locais. Telhados verdes, por sua vez, são projetados para capturar, reter e utilizar as águas pluviais, através de evaporação, evapotranspiração e reuso dessas águas. Tal técnica reduz e atenua os efeitos das águas escoadas em áreas urbanas. Essa capacidade de redução de escoamento por telhados verdes tem sido amplamente estudada pela comunidade científica nas últimas décadas e é considerada um dos principais benefícios dessas coberturas, entretanto, no geral, poucos estudos têm se voltado para a qualidade dessas águas escoadas. (BERNDTSSON, 2010).

Nesse sentido, algumas pesquisas têm demonstrado evidências de altos índices de nitrogênio e fósforo nas águas de escoamento, devido a lixiviação do substrato e das outras camadas utilizadas por essas coberturas. (VIJAYARAGHAVAN; RAJA, 2014). A elevada concentração de matéria orgânica, nutrientes e contaminantes na camada de substrato ou das membranas utilizadas nos telhados verdes possuem potencial para transformar as águas escoadas em uma nova fonte de poluição de águas de superfície. (OBERNDORFER et al. 2007). Apesar disso, pressupõem-se que passado o período de estabilização do telhado verde, essa concentração de poluentes venha a diminuir, fazendo-se necessário o desenvolvimento de estudos mais aprofundados a respeito do

papel dos telhados verdes no manejo de águas pluviais. (BERARDI; GHAFARIANHOSEINI; GHAFARIANHOSEINI, 2014).

Embora nenhuma legislação ou diretriz trate especificadamente da qualidade das águas escoadas por telhados verdes, a literatura técnica científica tem aplicado vários parâmetros de avaliação em busca de caracterizar-se as águas de escoamento. Savi (2015), por exemplo, observou quantidades maiores de sólidos dissolvidos totais (SDT) escoados por telhados verdes extensivos na cidade de Curitiba – PR, em comparação com as coberturas de fibrocimento e telha cerâmica estudadas. A autora acredita que esse aumento de SDT e a coloração marrom das amostras de águas podem ser influência da utilização de argila expandida como camada de drenagem do sistema, sendo necessário estudos mais aprofundados com outros materiais drenantes para comparação de resultados. Já Karczmarczyk, Baryła e Bus (2014) comparam cinco diferentes materiais para uso na camada de drenagem de telhados verdes e comprovam a capacidade de redução de fósforo lixiviado pela camada de substrato de alguns dos materiais estudados. Por fim, Zaremba, Traver e Wadzuk (2016) testam a possibilidade da ausência da camada de drenagem em telhados verdes. A capacidade de evapotranspiração apresentado pelo sistema sem drenagem foi maior que do sistema com drenagem, apresentou menor taxa de escoamento de águas pluviais e não comprometeu o desempenho do sistema durante o período de experimento.

A partir do exposto acima, observa-se que existe uma controvérsia quanto a necessidade e influência que a camada de drenagem exerce no comportamento hidrológico nos sistemas de telhados verdes, uma vez que alguns estudos apontam a falta de necessidade deste componente no sistema. Nesse contexto, estipula-se que o comportamento hidrológico de coberturas verdes engloba o comportamento de telhados verdes em relação à quantidade e qualidade das águas pluviais que são escoadas/retidas por esses sistemas. (Bär e Tavares, 2018; Bacovis e Nagalli, 2013).

## 1.1 HIPÓTESE

Se a camada de drenagem é efetivamente um componente de significativa influência na capacidade e desempenho de retenção e evapotranspiração de águas pluviais em telhados verdes extensivos, então, a adoção de diferentes tipos de materiais drenantes na composição do sistema resultaria em comportamentos hidrológicos diferentes do mesmo. Nesse caso, esses componentes



poderiam ainda vir a comprometer outras camadas do sistema, como o desenvolvimento da vegetação (morte por estresse hídrico) ou a impermeabilização da cobertura, por exemplo. Além disso, as diferentes composições físicas e químicas desses materiais podem servir de agravante ou de filtro para a lixiviação de nutrientes (advindos da camada de vegetação e substrato) nas águas escoadas pelo sistema.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

A partir exposto pelo item anterior, propõem-se o seguinte problema de pesquisa: Qual a influência que diferentes materiais utilizados na camada de drenagem exercem no desempenho de retenção e qualidade de águas escoadas (desempenho hidrológico) por telhados verdes extensivos para as condições climáticas e hidrométricas da cidade de Curitiba – PR?

## 1.3 OBJETIVO

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a influência de materiais utilizados como camada de drenagem de telhados verdes extensivos acerca do comportamento hidrológico desses sistemas, e comparar a diferença de desempenho apresentado pelos mesmos.

Esta pesquisa apresenta os seguintes objetivos específicos:

- Monitorar a capacidade de retenção pluvial dos telhados e se existe influência do material drenante utilizado neste parâmetro;
- Avaliar a qualidade de amostras de escoamentos dos protótipos de telhado verde e se existe influência do material drenante utilizado neste parâmetro.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

O aumento da preocupação acerca da sustentabilidade impulsiona o setor da construção civil para mudanças inovadoras. Políticas, legislações e regulamentações pelo mundo têm exigido que esse setor adote inovações sustentáveis em termos de produtos e processos para encorajar construções mais sustentáveis. Esta atenção para o setor da construção civil surge do seu percentual de consumo de energia elétrica e aquecimento, que, segundo o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) de 2014, gera 24% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) globais. (BERARDI, 2011; IPCC, 2014). Além disso, as edificações alteram o fluxo de energia e matéria

entre os ecossistemas urbanos, geralmente causando problemas ambientais. Esses problemas podem ser parcialmente mitigados pela alteração dos revestimentos superficiais das edificações. Nesse sentido, telhados podem representar até 32% da superfície horizontal em áreas construídas, e são importantes determinantes do fluxo de energia e águas pluviais que interagem com as edificações. (OBERNDORFER et al., 2007).

Com essa necessidade de se desenvolver novas tecnologias para amenizar os efeitos da urbanização e recuperação do espaço verde, a instalação de telhados verdes tem surgido como uma opção capaz de minimizar o impacto negativo do desenvolvimento urbano, proporcionando inúmeros benefícios econômicos e sociais, além de vantagens ambientais, como a gestão das águas pluviais, diminuição do consumo de energia dos edifícios, melhora da qualidade do ar, atenuação da poluição sonora, vida útil prolongada do telhado, efeito de ilha de calor reduzida e aumento do espaço verde em ambientes urbanos. Como resultado desses efeitos positivos, telhados verdes têm se tornado uma alternativa popular em muitos países. No entanto, o verdadeiro potencial dessas coberturas alcançarem esses benefícios muitas vezes são postos em discussão. (VIJAYARAGHAVAN E JOSHI, 2014). Nesse contexto, os telhados verdes são frequentemente identificados como uma estratégia valiosa para tornar os edifícios em construções mais sustentáveis. (BERARDI; GHAFARIANHOSEINI E GHAFARIANHOSEINI, 2014).

Tabela 1 - Programas internacionalmente eficazes acerca de telhados verdes

<b>Copenhagen, Dinamarca</b>	Copenhagen estabeleceu metas para ser neutra em carbono até 2050 e vê os telhados verdes como uma ferramenta chave para atingir esta meta. Todos os novos telhados com menos de 30 graus de inclinação necessitam ter telhados verdes.
<b>Alemanha</b>	Primeiro país a desenvolver padrões nacionais de telhado verde na década de 1970. Sua implantação recebe o apoio nos níveis nacional, regional e local. Mais de 80 cidades alemãs oferecem programas de incentivo de telhado verde. Cerca de 100 mil hectares (mais de 15% de todo o território alemão) possuem telhados verdes.
<b>Líncia, Áustria</b>	O rápido processo de urbanização no final dos anos 70 levou a uma perda de espaço aberto e problemas de qualidade do ar. As políticas introduzidas na cidade em 1985 levaram à instalação de um número significativo de telhados verdes. Atualmente, esta cidade possui mais de 15% de todos os telhados como telhados verdes.
<b>Nova Iorque, EUA</b>	Na porção sudoeste do Município de Nova Iorque (South Bronx) foram registradas taxas de asma sete vezes maiores que as médias nacionais, em razão da produção local de diesel. A cidade fundou um projeto de demonstração de telhados verdes financiado a baixos juros e empréstimos rotativos para apoiar a política de telhados verdes.
<b>Toronto, Canadá</b>	Apoia a implantação de telhados verdes com orientações técnicas, oficinas, locais de demonstração, auxílios e subvenções. Em 2009, a Câmara Municipal de Toronto tornou a política de telhados verdes obrigatória por lei para todos os empreendimentos com mais de 2.000 m <sup>2</sup> . Antes da referida lei, Toronto tinha cerca de 36 mil m <sup>2</sup> de telhados verdes. Nos poucos anos desde que a lei municipal foi introduzida, mais de 170 mil m <sup>2</sup> de telhados verdes são planejados ou estão em fase de construção.

Fonte: Rangel, Aranha e Silva (2015).

Muitos países e regiões entenderam esses benefícios e começaram a implementar ou até mesmo exigir o uso de telhados verdes em construções. Conseqüentemente, mais e mais coberturas verdes têm sido estabelecidas. (VIJAYARAGHAVAN, 2017). A Tabela 1 Apresenta um levantamento de programas internacionais de incentivo ao uso de telhados verdes.

Com o aumento de medidas indutoras realizadas pelo Poder Público, surge um conseqüente aumento da comercialização de produtos voltados para telhados verde. No entanto, deve-se salientar que o foco dos construtores e comerciantes desses produtos limitou-se a alcançar apenas o benefício de base estética dessas coberturas. Ou seja, os telhados verdes geralmente não são otimizados para alcançar todos os outros benefícios ambientais citados anteriormente. Isso se deve geralmente à falta de pesquisa local sobre diferentes aspectos dessas coberturas, e a introdução prematura de produtos no mercado. (VIJAYARAGHAVAN, 2017).

A partir desse cenário, justifica-se a necessidade na ampliação de conhecimento e desenvolvimento de pesquisas sobre telhados verdes, principalmente em condições locais, uma vez que, devido à grande diversidade de climas, biomas, culturas e meios de produção no país, uma tecnologia que se adapta à uma certa condição e localização geográfica, não necessariamente irá se adaptar a outra localidade. O mesmo vale para sistemas construtivos internacionais, cuja importação de produtos não garante uma boa adaptação para o cenário brasileiro. Assim, é necessário que a população, tanto quanto profissional do setor da construção civil, quanto político, quanto consumidor final dessa cobertura, tenha a disposição uma base científica coesa da funcionalidade, benefícios, limitações, desempenho e manutenção desses sistemas, inclusive para que novas leis possam ser implementadas e cumpridas satisfatoriamente, tanto em um nível de sustentabilidade, quanto em um nível de satisfação de usuários.

## 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este primeiro Capítulo apresenta uma contextualização desta pesquisa e seu âmbito acerca de telhados verdes e a busca do setor da construção civil por tecnologias construtivas mais sustentáveis. Além disso, aborda-se a justificativa para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa, seus objetivos e o problema selecionado.

Conhecimentos básicos sobre telhados verdes, como classificação, componentes, benefícios e limitações do uso desses sistemas são apresentados no Capítulo 2, além de

conhecimentos mais aprofundados sobre a capacidade de retenção de águas pluviais e a qualidade das águas escoadas por telhados verdes, que conta com análises de levantamento de outros estudos na mesma área de pesquisa. Por fim, apresentam-se estudos específicos da funcionalidade e desempenho de camadas drenantes para telhados verdes, com o intuito de obter-se uma base de entendimento sobre outras pesquisas nessa área de estudo, que se mostram escassas até o momento.

No Capítulo 3 são abordados os métodos selecionados para o desenvolvimento desta pesquisa, apresentando um detalhamento dos protótipos construídos, métodos de coleta dos dados monitorados e tratamento dos mesmos.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos por este trabalho, dividido entre acompanhamento da camada de vegetação dos protótipos de telhado verde, desempenho de retenção pluvial dos protótipos e avaliação da qualidade das águas de escoamento através de ensaios laboratoriais.

O capítulo 5 traz uma análise crítica e discussão dos parâmetros monitorados e dados obtidos, seguido do Capítulo 6, que fornece as considerações finais deste trabalho, assim como algumas sugestões para futuras pesquisas científicas desta área acadêmica.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Abordam-se neste Capítulo conceitos básicos relacionados aos sistemas de telhados verdes, como sua classificação, componentes, benefícios e limitações de sua disseminação de uso, sendo esses conceitos necessários para obter-se uma familiaridade com esta tecnologia construtiva. Além disso, levanta-se um referencial teórico de trabalhos científicos que abordam o comportamento hidrológico de telhados verdes. Por fim, apresenta-se um levantamento de estudos referentes diretamente à camada de drenagem de telhados verdes. Esse levantamento de trabalhos se faz importante para este estudo, pois serve de base para a construção da evidência científica que esta pesquisa busca alcançar.

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO

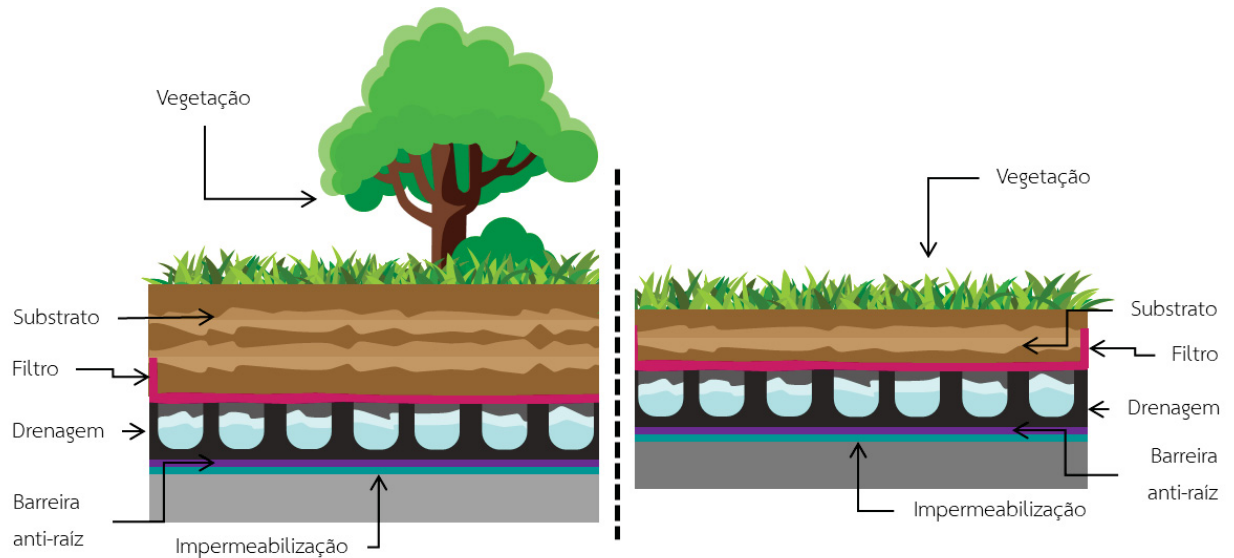
Telhados verdes são geralmente diferenciados entre sistema intensivo ou extensivo. Telhados intensivos podem ser considerados como verdadeiros jardins, podendo ser habitados, e com uma grande variedade de possíveis vegetações para plantio; possuem peso elevado e necessidade de manutenção. Telhados extensivos utilizam menos quantidade de substrato, comparando com telhados intensivos, possuem uma restrição maior quanto à diversidade de vegetação, não são feitos para serem habitados, apresentam um peso leve e praticamente nenhuma necessidade de manutenção. (RITCHIE, 2009). As principais diferenças dos dois sistemas são comparadas na Tabela 2, e ilustrada na Figura 1.

Tabela 2 – Classificação de telhados verdes segundo suas características

<b>Principais Características</b>	<b>Extensivos</b>	<b>Intensivo</b>
<b>Altura da camada de substrato</b>	Abaixo de 20 cm	Acima de 20 cm
<b>Acessibilidade</b>	Inacessível	Acessível (uso para recreação)
<b>Peso</b>	60 – 150 Kg/m <sup>2</sup>	Acima de 300 kg/m <sup>2</sup>
<b>Diversidade de plantas</b>	Baixa	Alta
<b>Construção</b>	Moderadamente fácil	Tecnicamente complexo
<b>Irrigação</b>	Pouca necessidade	Necessidade de sistema de drenagem e irrigação
<b>Manutenção</b>	Simple	Complicada
<b>Custo</b>	Baixo	Alto

Fonte: Berardi; Ghaffarianhoseini e Ghaffarianhoseini (2014).

Figura 1 – Componentes e diferença de telhados verdes intensivos e extensivos



Fonte: Autoria própria (2019), com base em Vijayaraghavan (2017).

Segundo Vijayaraghavan (2017), existe ainda a classificação de telhados verdes em semi-intensivos, que misturam um pouco das características dos dois sistemas. Com uma camada de substrato intermediária, possibilita-se uma maior variedade de opções de vegetações a serem plantadas, comparando com telhados extensivos, e requer-se menos manutenção, comparando com telhados intensivos.

## 2.2 COMPONENTES

Segundo Vijayaraghavan (2017), telhados verdes são projetados e estruturados como uma alternativa tecnológica construtiva com potencial de amenizar os efeitos negativos da urbanização, e, dependendo das condições locais, podem ser compostos por diversas camadas, como ilustrado na Figura 1.

### 2.2.1 Vegetação

De acordo com Vijayaraghavan e Joshi (2014), a camada superior de telhados verdes é constituída pela camada de vegetação, cujo desenvolvimento e saúde determina o sucesso do sistema, entretanto, telhados verdes não são o ambiente ideal para sua plantação. A disponibilidade de água é um fator limitante para o desenvolvimento da vegetação em telhados verdes, e varia drasticamente em períodos entre chuvas. A camada de substrato também apresenta restrições para a vegetação, uma vez que, a profundidade e peso do meio de cultivo variam de acordo com a



capacidade máxima de peso suportada pela edificação. Além disso, o substrato deve conter o mínimo de nutrientes possíveis, a fim de evitar o surgimento indesejável de ervas daninhas, e a contaminação das águas escoadas.

As seguintes características são consideradas favoráveis para a vegetação em telhados extensivos: capacidade de suportar períodos de seca; sobreviver com o mínimo de nutrientes possíveis; apresentar uma boa cobertura do substrato; necessitar de pouca manutenção; oferecer rápida multiplicação; apresentar raízes curtas e não agressivas e características de fitorremediação<sup>1</sup>. A seleção da vegetação a ser utilizada também deve levar em consideração as condições de clima local e o impacto da vegetação no desempenho do sistema. (VIJAYARAGHAVAN, 2017).

### **2.2.2 Substrato**

A camada de substrato exerce uma influência direta no crescimento da vegetação e na performance de telhados verdes. Várias das características atribuídas a esses sistemas são diretamente relacionados com as propriedades do substrato, incluindo a influência na qualidade da água escoada, redução do pico de escoamento, melhora térmica e acústica. Entretanto, as condições extremas que prevalecem nas coberturas verdes demandam que o substrato apresente propriedades únicas. Por consequência, não é prático esperar que um material possua todas as características requeridas para constituir de substrato para telhados verdes, assim, é de prática geral misturar vários componentes de diferentes características em diferentes proporções para construção do substrato. Em locais onde produtos comerciais não estão disponíveis, clientes geralmente usam substrato localmente disponível, incluindo compostos de solos para jardinagem/plantação em pote. (VIJAYARAGHAVAN, 2017). A camada de substrato deve ser capaz de acomodar um estoque denso de raiz, apresentar todos os requisitos básicos de propriedades físicas, químicas e biológicas para o crescimento da vegetação. É necessário ser estável, capaz de absorver a infiltração de água para os benefícios das plantas e possibilitar que apenas o excesso de água lixivie para a camada de drenagem. Além disso, deve ser capaz de conter um volume adequado de ar para o tipo de vegetação utilizada, mesmo quando em condição de saturação. (FLL, 2002).

---

<sup>1</sup> Utilização de plantas para a extração/amenização de compostos poluentes de solos. (VASCONCELLOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012).

### **2.2.3 Filtro**

De acordo com Vijayaraghavan (2017), a principal função da camada de filtro é separar o substrato da camada de drenagem, evitando que pequenas partículas como resíduo de plantas ou finos de solo passem para a camada de drenagem ou para fora do sistema. Geralmente constituem-se de membranas geotêxtis de poliéster ou de polipropileno.

### **2.2.4 Camada de drenagem**

Segundo Townshend (2007), as principais funções da camada de drenagem é escoar o excesso de água o mais rápido possível, para evitar saturação prolongada do sistema (uma vez que a saturação prolongada pode causar falência e podridão na vegetação) e proteger a camada de impermeabilização. Se a camada de drenagem é inadequada, problemas na impermeabilização podem ocorrer devido ao contato direto da impermeabilização com a água e solo úmido. A camada de drenagem também ajuda na aeração do substrato, promovendo fluxo de ar interno.

Existem três tipos de componentes drenantes para telhados verdes: materiais granulares, tapetes porosos, e painéis modulares. Materiais granulares apresentam espaços de ar entre seus grãos, facilitando o escoamento. Exemplos desses materiais incluem argila expandida de peso leve, xisto expandido, tijolo esmagado, cascalho grosso e brita. Tapetes porosos são feitos de diferentes tipos de materiais, incluindo materiais reciclados, e funcionam como uma esponja, absorvendo a água da estrutura. Há o perigo desses materiais absorverem umidade excessiva do substrato ou tornarem-se leves de mais quando secos. Por fim, painéis modulares são comercializados em uma grande variedade de formas e tamanhos, alguns incluem a habilidade de reservar água oferecendo umidade adicional à vegetação em períodos de seca. (TOWNSHEND, 2007).

Se o substrato for adequado, telhados inclinados de 3° a até 10° são capazes de realizar a drenagem da água naturalmente, sem a necessidade de uma camada drenante. Para inclinações maiores que 10° é aconselhável incluir uma contenção que retenha água no sistema, uma vez que a drenagem do telhado pode vir a acontecer de maneira muito rápida. (TOWNSHEND, 2007).

### **2.2.5 Barreira anti-raízes e impermeabilização**

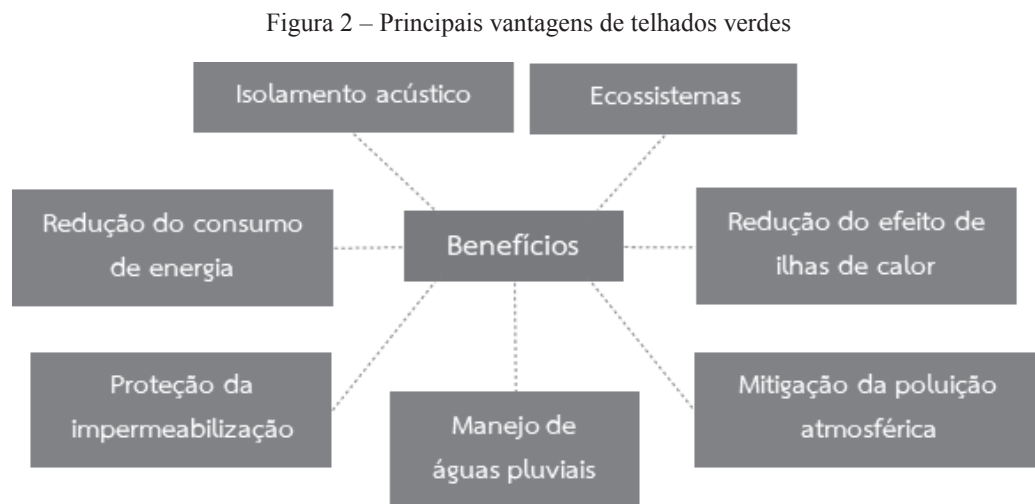
A barreira anti-raízes é obrigatória para telhados verdes intensivos, e opcional para telhados verdes extensivos. Seu propósito é proteger a estrutura do telhado das raízes da vegetação. Alguns

sistemas disponíveis comercialmente incluem desde folhas de plástico duro a lençóis de metal (usualmente cobre). (VIJAYARAGHAVAN, 2017).

Segundo Townshend (2007) mesmo que a camada impermeável não seja um componente do sistema de telhado verde, é indiscutivelmente um pré-requisito durante sua instalação para a prevenção de vazamentos. Usualmente assume-se, através da percepção do cliente, que o vazamento de uma única gota é considerado como fracasso da cobertura verde. Devido a umidade do solo e a camada de drenagem, a quantidade de água presente no sistema é alta, e em caso de vazamento, todas as camadas do telhado precisam ser removidas para localização da goteira. Há vários tipos de impermeabilizantes no mercado, incluindo de aplicação líquida, membranas, folhas betuminosas, e membranas termoplásticas.

### 2.3 BENEFÍCIOS DA IMPLANTAÇÃO DE TELHADOS VERDES

Inúmeros artigos científicos buscam comprovar e avaliar os benefícios gerados pelo uso e construção de telhados verdes em edificações. Neste tópico, abordam-se os benefícios mais difundidos pela comunidade científica até o momento (Figura 2).



Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com dados levantados, as águas retidas por telhados verdes apresentaram uma taxa de evaporação em torno de 60 a 79% da precipitação anual, resultando em uma taxa de escoamento de 40 a 21%. Já telhados com superfícies betuminosas apresentam uma taxa de escoamento de 100%. Em ambientes urbanos, quanto mais áreas impermeabilizadas, maior a

dificuldade de drenagem das águas pluviais, e maior a probabilidade dessas águas sobrecarregarem o sistema de drenagem urbano. Ao ocorrer a sobrecarga, as águas inundadas são levadas sem tratamento às águas de superfície. Assim, a capacidade de retenção de telhados verdes é uma alternativa que pode vir a melhorar casos de inundações, muito frequente em várias cidades do Brasil. (KÖHLER et al., 2002).

De acordo com La Roche e Berardi (2014), telhados verdes têm sido implementados como um recurso de redução de gastos energéticos em edificações, entretanto, o potencial de aquecimento e resfriamento do sistema depende diretamente das condições climáticas locais e das características da edificação, podendo inclusive, aumentar as cargas térmicas da edificação caso não seja bem projetado, comparando com coberturas tradicionais. Santamouris et al. (2007) apresentam uma análise da economia de energia através do cálculo da carga térmica de resfriamento e aquecimento para o verão e inverno tanto para toda a edificação como para apenas o último andar, na cidade de Atenas - Grécia. A análise da performance energética apresenta uma redução significativa na carga de resfriamento durante o verão. Esta redução variou para todo o prédio em uma taxa entre 6 a 49% e para o último andar de 18 a 87%. Além disso, a influência do sistema de telhado verde na carga de aquecimento da edificação foi considerada insignificante, sendo considerado como uma ótima vantagem do sistema, uma vez que qualquer interferência no entorno da edificação para a redução de carga de resfriamento, geralmente leva a um aumento da carga de aquecimento.

De acordo com Kolokotsa, Santamouris e Zerefos (2013), ilhas de calor são fenômenos resultantes de mudança climática devido ao acréscimo da temperatura em centros urbanos. Dentre as várias técnicas de mitigação dessas ilhas estudadas, telhados verdes e telhados frios<sup>2</sup> são as opções de tecnologia mais promissoras, uma vez que suas contribuições à edificação também englobam uma redução do consumo de energia. O potencial de mitigação de calor de coberturas frias observado para o período de verão, é de aproximadamente 178 kW h/m<sup>2</sup>, 162 kW h/m<sup>2</sup> e 112 kW h/m<sup>2</sup> para as simulações referentes às cidades de Creta, Roma e Londres, respectivamente. Já para o telhado verde, apresentaram-se valores de 147 kW h/m<sup>2</sup>, 128 kW h/m<sup>2</sup>, e 70 kW h/m<sup>2</sup>. Conclui-se que ambas coberturas têm potencial de contribuição para melhora climática das ilhas

---

<sup>2</sup>Telhados com revestimento claros. (KOLOKOTSA; SANTAMOURIS; ZEREFOS, 2013)

de calor urbana, entretanto ainda é necessário maior estudo quanto a influência do envelhecimento de materiais, a fim de maximizar a mitigação de calor realizada pelos sistemas.

De acordo com Berardi, Ghaffarianhoseini e Ghaffarianhoseini (2014), considera-se que telhados verdes intensivos são capazes de redução da poluição atmosférica, uma vez que a utilização de plantas em coberturas repõe uma parcela da vegetação desmatada em função da construção da edificação. Speak et al. (2012) quantificam a efetividade de captação de partículas poluentes menores que  $10\mu\text{m}$  por quatro tipos de vegetação utilizadas em telhado verde, no Reino Unido. Os resultados obtidos apresentaram capacidade de retenção de poluição de todas as espécies avaliadas, concluindo que telhados verdes têm capacidade de atuar como filtros passivos de matéria poluente, entretanto, não na mesma proporção de remoção obtida pela plantação de árvores.

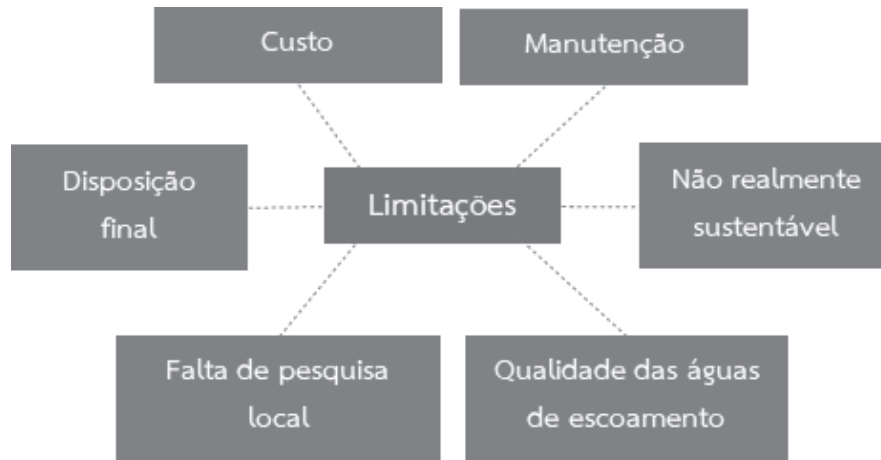
Yang, Kang e Choi (2012) realizam uma série de medições em uma câmara semi anecóica usando sistemas de telhado verde com 1200 mm de altura. Os parâmetros de estudo incluíram área, profundidade, posição do sistema e vegetação utilizada. Os resultados obtidos mostram que telhados verdes são possíveis de reduzir o nível de pressão sonora, entretanto, futuros estudos direcionados ao efeito da vegetação e da umidade contida no substrato são necessários para maior conhecimento de desempenho do sistema.

Outros benefícios encontrados na literatura científica no uso de telhados verdes incluem os ecossistemas gerados por coberturas verdes possibilitam o estabelecimento de habitats e biodiversidades naturais, não possíveis em coberturas tradicionais, e a proteção física da membrana impermeabilizante dos raios UV e das extremidades de temperatura, estendendo a vida útil do componente em até mais de 20 anos. (OBERNDORFER et al., 2007).

## 2.4 LIMITAÇÕES DE USO DE TELHADOS VERDES

A cobertura verde tem sofrido algumas limitações, de uma perspectiva pública ou política, quanto a sua disseminação de uso, principalmente em países em desenvolvimento. A Figura 3 ilustra os principais fatores limitantes do uso de telhados verdes. (VIJAYARAGHAVAN, 2017).

Figura 3 – Limitações para disseminação do uso de telhados verdes



Fonte: Adaptado de Vijayaraghavan (2017).

Segundo Bianchini e Hewage (2012), o custo da instalação de telhados verdes varia de acordo com a tipologia do sistema, condições do local, mão de obra e materiais, entretanto, no geral, requerem um elevado investimento inicial. Carter e Keeler (2008) estudam dados coletados de um telhado verde extensivo experimental desenvolvido para uma análise de custo x benefício para o ciclo de vida do mesmo em uma bacia hidrográfica urbana em Geórgia - EUA. Os resultados dessa análise são comparados com sistemas de cobertura tradicional (cobertura betuminosa sobre laje de concreto). O valor presente líquido (VPL) desse tipo de telhado geralmente varia em torno de 10% a 14% mais caros que sistemas tradicionais. Uma redução de 20% na construção de telhados verdes tornaria esse sistema mais barato que sistemas tradicionais. Considerando os aspectos sociais positivos e a natureza relativamente nova da prática, incentivos encorajando o uso dessa prática em bacias altamente urbanizadas são fortemente recomendados. Já para Niu et al. (2010), através do tempo de vida do telhado verde (40 anos), o VPL é em torno de 30 a 40% menor que em telhados convencionais (sem incluir custo de manutenção do telhado verde).

Para Nagase, Dunnett e Choi (2013), a manutenção do controle de ervas daninhas indesejadas em telhados verdes é uma das tarefas que mais consomem tempo. Alguns estudos têm sido feitos quanto a fenologia de ervas daninhas e não é claro como o projeto de plantio afeta a colonização de ervas daninhas em telhados verdes. Falta de evidência científica na manutenção de telhados verdes pode resultar em uma seleção não apropriada de seleção de vegetação e levar a um custo de manutenção elevado. Segundo Zhang et al. (2012), uma vez que telhados verdes são adotados, manutenção regular é necessária, entretanto, manutenção é um comprometimento de



longo prazo que continua exigindo custos regulares. A redução do custo da manutenção é importante para a disseminação do uso de telhados verdes.

Bianchini e Hewage (2012) avaliam os benefícios ambientais de telhados verdes comparando a emissão de NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrogênio), SO<sub>2</sub> (Dióxido de enxofre), O<sub>3</sub> (Ozônio) e PM<sub>10</sub><sup>3</sup> emitidas pelos processos de manufatura de componentes utilizados pelos sistemas verdes, como polímeros, com a capacidade de remoção de poluição de telhados verdes em Okanagan – Canadá. A análise aponta que telhados verdes são produtos sustentáveis a longo tempo, levando no geral, de 13 a 32 anos para que a poluição emitida pela produção do polímero seja balanceada pela retenção de poluição do telhado. Os autores consideram que há mais vantagens que desvantagens na construção de telhados verdes em relação a redução da poluição atmosférica, entretanto, o processo de produção de polímeros gera mais que apenas poluição atmosférica ao meio ambiente. A análise dos autores conclui que embora ainda benéfico o uso desse sistema, é essencial a exploração de materiais capazes de substituir os polímeros usados no sistema de telhado verde.

Blank et al. (2013) conduzem um estudo bibliográfico de quantificação da taxa de publicação de literatura científica disponível no Web of Science referente a telhados verdes, e concluíram que dos 31 países participantes destas publicações, EUA e UE conduzem 66% das pesquisas, conseqüentemente sendo estas voltadas para continentes com ecossistemas predominantemente temperados. Segundo Vijayaraghavan (2017), como resultado dessa limitação de pesquisas locais em países em desenvolvimento, tanto fabricantes quanto políticos são leigos quanto a sustentabilidade dos componentes para sua localização geográfica. Componentes de telhado verde importados geralmente levam a um alto custo de instalação ou possíveis falhas, devido a problemas de incompatibilização do sistema.

Quanto à riscos estruturais, segundo Vijayaraghavan (2017), embora há poucos casos relatados de edificações colapsadas, uma análise cuidadosa, e a seleção adequada de componentes são necessárias para a prevenção de problemas estruturais na edificação.

O maior desafio quanto à disposição final de telhados verdes é a falta de estudos e acessibilidade de informações referente a fase de descarte do sistema. Peri et al. (2012) realizam uma análise do custo e benefício de vida de telhados verdes, em fase de descarte para cidade de

---

<sup>3</sup> Segundo os autores, é uma partícula de poluição atmosférica de diâmetro inferior a 10 micrômetros (µm).

Palermo - Itália. Segundo Peri et al. (2012), o descarte de telhados verdes constitui no desmonte de suas camadas e destinação particular para cada uma delas, e que o descarte apropriado de cada componente resulta em um custo de aproximadamente 4,6% do custo total, baseado em fornecedores italianos, entretanto, há falta de informações referentes a esses valores para outras localidades.

Telhados verdes têm emergido como estratégia prática para melhora da qualidade ambiental de centros urbanos, entretanto, o impacto da cobertura verde na qualidade de águas pluviais permanece um tópico de preocupação para planejadores urbanos e legisladores. (VIJAYARAGHAVAN, JOSHI e BALASUBRAMANIAN, 2012). Diversos autores têm observado a presença de metais pesados e outros contaminantes nas águas escoadas por telhados verdes, em alguns casos, até mesmo em graus de poluição. A degradação da qualidade dessas águas poderia ser resultado de más escolhas de fertilizantes, substratos e vegetações utilizadas no sistema, afinal, a capacidade de fitorremediação<sup>4</sup> nunca foi um critério de escolha para os componentes de telhados verdes. Para considerar-se telhados verdes como recursos tecnológicos ambientalmente benignos e ainda atender as expectativas de clientes, a correta seleção de componentes para o sistema deve ser uma prioridade. (VIJAYARAGHAVAN e RAJA, 2014).

## 2.5 CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

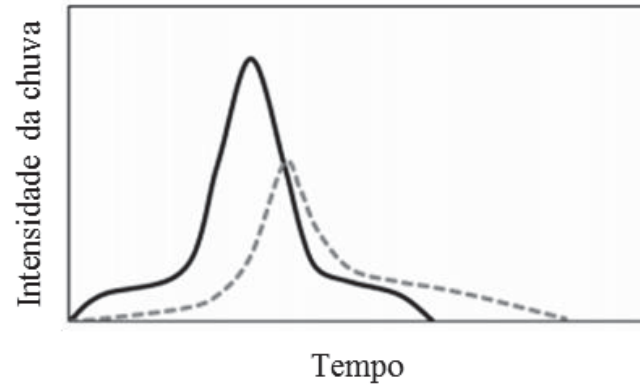
Como apresentado anteriormente, uma das principais características e benefícios atribuídos ao uso de telhados verdes é a sua capacidade de retenção de águas pluviais, e conseqüente manejo e alívio de carga pluvial em drenagens urbanas.

Segundo Berndtsson (2010), o telhado verde armazena a água pluvial que adentra seu sistema e atrasa o pico do escoamento (Figura 4), comparando com coberturas tradicionais. Isso acontece devido a retenção de volume de água pelas camadas do telhado verde. A água retida é evaporada ou utilizada pelas plantas para seu processo de fotossíntese. A combinação desses dois processos é chamada de evapotranspiração, e é este fenômeno que explica a redução do volume de água escoada por telhados verdes. Os processos hidrológicos de telhados verdes são ilustrados na Figura 5.

---

<sup>4</sup> Utilização de plantas para a extração/amenização de compostos poluentes existentes no solo. (VASCONCELLOS; PAGLIUSO e SOTOMAIOR, 2012).

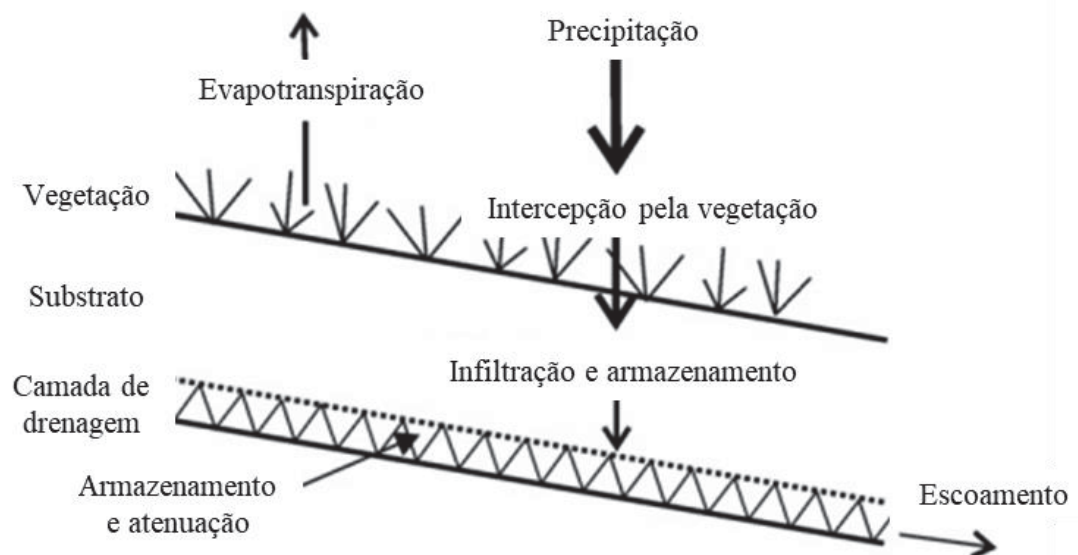
Figura 4 – Ilustração de escoamento de telhados verdes com retenção de volume de carga e atraso do pico (linha tracejada) gerado por determinado evento de precipitação (linha preta)



Fonte: Adaptado de Berndtsson (2010).

Para Berndtsson (2010), uma série de fatores influenciam na capacidade de retenção do telhado verde, como número de camadas e tipo de material utilizado, inclinação, idade do sistema, período de seca, clima e características da precipitação.

Figura 5 – Processos hidrológicos de telhados verdes



Fonte: Adaptado de Stovin, Vesuviano e Kasmin (2012).

A familiarização com trabalhos nacionais na mesma linha de pesquisa se faz necessário para se obter uma base do conhecimento levantado por colegas da área. Além disso, conhecer como outros estudos de monitoramento foram conduzidos, construídos e seus desempenhos amplia a visão das possibilidades de trabalho que podem ser realizadas. Nesse âmbito, Bär e Tavares (2017)

realizam uma revisão sistemática de trabalhos nacionais referentes ao comportamento hidrológico de telhados verdes, com o objetivo de levantar-se o estado da arte desta área de estudo em um cenário brasileiro. A Tabela 3 apresenta os resultados referentes ao material de pesquisas experimentais conduzidas em situações de eventos de chuvas naturais.

Tabela 3 - Valores de retenção do escoamento de telhados verdes (TV) em estudos nacionais com eventos de chuva naturais

<b>Autores</b>	<b>i</b>	<b>Tempo de monitoramento</b>	<b>Distinção do telhado</b>	<b>Valor de retenção do escoamento</b>	<b>Local do experimento</b>
<b>Castro e Goldenfum (2010)</b>	0° e 15°	mai./set. 2008 – 8 eventos	TV horizontal com vegetação TV inclinado com vegetação	63% <sup>3</sup> 25% <sup>3</sup>	Porto Alegre - RS
<b>Ohnuma, Halasz e Mendiondo (2011)</b>	3%	2007 set. 2006/ mar. – 7 eventos	Telhado verde	48%	São Carlos - SP
<b>Baldessar (2012)</b>	2%	nov. 2011/ fev. 2012	Telhado verde	69,30%	Curitiba - PR
<b>Tassi et al. (2013)</b>	1%	nov. 2010/ out. 2011 – 43 eventos	Telhado verde	62%	Santa Maria - RS
<b>Jobim (2013)</b>	1%	out. 2012/ fev. 2013 - 35 eventos	Alveolar simples com argila expandida Alveolar simples sem a.e. Alveolar grelhado com a.e. Alveolar grelhado sem a.e. Reciclável com a.e. Reciclável sem a.e. Hexagonal com a.e. Hexagonal sem a.e. Modular com galocha com a.e. Modular com galocha sem a.e.	61% 59% 61% 59% 21,7% 25,7% 79,8% 60,7% 88,1% 82,8%	Santa Maria - RS
<b>Araújo et al. (2013), e Araújo et al. (2014)</b>	15,7°	mai./jun. 2012	Telhado verde	46,4%	Londrina - PR
<b>Miller (2014)</b>	3%	dez. 2013/ mar. 2014	Telhado verde 1 Telhado verde 2 Telhado verde 3 Telhado verde 4 Telhado verde 5	58,5% 47,3% 51,8% 41,9% 39,0%	Curitiba - PR

<b>Autores</b>	<b>i</b>	<b>Tempo de monitoramento</b>	<b>Distinção do telhado</b>	<b>Valor de retenção do escoamento</b>	<b>Local do experimento</b>
<b>Savi (2015)</b>	3%	jun. 2014/ jan. 2015	TV com Bulbine TV com Trapoeraba TV com Grama amendoim TV com Sedum TV com Dinheiro em Penca	94% 77% 84% 88% 63%	Curitiba - PR
<b>Mendonça (2015)</b>	3%	jan./fev. 2015 – 10 eventos	TV com Bloco TEVA	25,54%	João Pessoa - PB
<b>Ferreira (2015)</b>	n.i.	dez. 2014/ jan. 2015 – 5 eventos	Telhado verde	81,7%	Campo Mourão - PR
<b>Vacari (2015)</b>	4%	jan./abr. 2015 – 19 eventos	TV de herbácea TV de consórcio TV de gramínea	61% 59% 46%	Cuiabá - MT
<b>Martins e Pinto (2016)</b>	1 a 2%	nov. 2015 – 7 eventos	TV garrafa PET-solo-leiva TV brita-solo-leiva TV argila expandida-solo-leiva	65% 86,59% 80,22%	Santa Maria - RS
<b>Pessoa (2016)</b>	1°	fev.2015/ abr. 2016 – 51 eventos	Telhado verde Telado de controle	57% 17%	Santa Maria - RS
<b>Klein (2017)</b>	2%	jun. 2016/ jan. 2017 – 35 eventos	Telhado convencional Telhado verde modular baixo Telhado verde modular alto Telhado verde contínuo	8% 76% 84% 65%	Florianó polis - SC

Fonte: Adaptado de Bär e Tavares (2017).

A partir dos dados apresentados pela Tabela 3 observa-se que estudos referentes a capacidade de retenção de águas pluviais de telhados verdes são uma linha de pesquisa extremamente nova em cenário nacional, com início de trabalhos acadêmicos datados a partir de 2010, observa-se também, que a maioria dos trabalhos apresentados são localizados na região sul do país. Embora o tipo de monitoramento seja semelhante entre os trabalhos, ou seja, apresentam um período de monitoramento em protótipos de telhados verdes expostos a condições climáticas e eventos de chuvas naturais, a composição dos sistemas varia para cada estudo, assim como a quantidade e características dos eventos estudados, o que torna inviável uma comparação direta dos resultados levantados, mas fornecem uma noção de como estes telhados tem se adaptado em territórios brasileiro. No geral, todos os resultados levantados obtiveram algum grau de atenuação de escoamento pluvial pelas coberturas verdes, o que corrobora com estudos internacionais, que já

consideraram esta capacidade de redução como uma das principais vantagens atribuídas ao uso de telhados verdes.

Já Berndtsson (2010) realiza uma revisão literária de artigos publicados em meios com reconhecimento internacional, onde aborda-se o papel de telhados verdes na drenagem urbana, considerando o potencial hidrológico destas coberturas (Tabela 4).

Tabela 4 – Estudos de retenção de escoamento levantados por Berndtsson (2010)

<b>Autores</b>	<b>% de precipitação retido (durante todo o período de estudo)</b>	<b>Intervalo de precipitação retido nos eventos estudados (%)</b>	<b>Duração do período de estudo</b>
<b>Bengtsson et al. (2005)</b>	46	-	17 meses
<b>VanWoert et al. (2005)</b>	60,6	-	15 meses
<b>DeNardo et al. (2005)</b>	45	19 - 98	2 meses
<b>Moran et al. (2005)</b>	63 (telhado 1)	-	18 meses
	55 (telhado 2)	-	15 meses
<b>Carter and Rasmussen (2006)</b>	78	39 - 100	13 meses
<b>Monterusso et al. (2004)</b>	49	-	4 eventos de precipitação
<b>Bliss et al. (2009)</b>	-	5 - 70	6 meses

Fonte: Adaptado de Berndtsson (2010).

A Tabela 4 chama a atenção para como os dados de porcentual de redução de escoamento pluvial podem ser apresentados de diferentes maneiras, uma vez que não há uma padronização para o tratamento dos dados obtidos durante o período de monitoramento. Em qualquer caso, os dados levantados também apresentam capacidade de retenção de escoamento pluvial por coberturas verdes.

Por fim, Mentens, Raes e Hermy (2006) apresentam um levantamento de estudos alemães realizados entre os anos de 1987 a 2003 e concluem que a redução anual do escoamento de águas pluviais realizados por telhados verdes intensivos apresenta valores entre 56 a 85%. Já telhados verdes extensivos apresentaram taxa de redução de 27 a 81%.

A partir dos dados referenciado nesta seção, torna-se perceptível a capacidade de redução de escoamento de telhados verdes, uma vez que todos os estudos levantados apresentam algum grau de melhora desta condição. Observa-se que os valores de taxa de redução de escoamento apresentados nas Tabelas 3 e 4, em geral, encontram-se dentro das taxas estimadas pelo estudo de Mentens, Raes e Hermy (2006). Alguns valores como de Savi (2015) ainda se sobressaem, apresentando um valor de 94% de redução de escoamento, o que indica que a composição e



condições as quais os telhados são submetidos tem total influência com sua capacidade de retenção de escoamento, e que para as condições climáticas da cidade de Curitiba, estudos de otimização poderiam ser conduzidos em busca de taxas de escoamento semelhantes a apresentada.

Além das condições climáticas e a composição construtiva dos sistemas de cobertura, a eficiência de retenção dos telhados verdes também é relacionada com a altura da camada de substrato utilizada, o grau de umidade do sistema, tamanho do evento de precipitação e a distribuição da intensidade de chuva durante o evento. Também pode depender da idade do telhado, cobertura da vegetação, taxa de evapotranspiração da vegetação, e inclinação. Por fim, identifica-se vários tipos de abordagem de estudo referente a capacidade de redução de escoamento por telhados verdes, o que, somando-se as particularidades de cada sistema e situação estudada, torna difícil a comparação exata dos resultados. (BERNDTSSON, 2010; BÄR e TAVARES, 2017).

## 2.6 QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ESCOAMENTO

A qualidade de qualquer água é determinada pela comparação da qualidade da água da fonte com sua qualidade após sua exposição a contaminantes durante seu movimento em solos ou superfícies construídas. A água da chuva é geralmente considerada como não poluente, mas pode conter características ácidas e quantidades substanciais de nitrato. Também pode conter traços de outros poluentes, como metais pesados e pesticidas, dependendo das fontes de poluição local e ventos predominantes. (BERNDTSSON, 2010).

Os contaminantes mais comuns do escoamento urbano de águas pluviais são metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, pesticidas, sólidos suspensos e microrganismos patogênicos. Já os poluentes estudados em telhados verdes são geralmente algumas formas de fósforo, nitrogênio e metais pesados. Alguns autores comparam as concentrações de poluição em água de entrada (chuva) e água de saída (escoamento). Nestes casos, a redução da poluição significa que as concentrações de saída são menores que as concentrações das águas pluviais que adentram na cobertura. Também se considera o telhado como fonte de poluição, caso seus valores de concentração de escoamento sejam maiores que das águas pluviais. Os principais fatores influentes

observados em artigos científicos referentes a qualidade de escoamento são: concentração de fósforo, nitrogênio, metais pesados, pH e efeito do primeiro escoamento<sup>5</sup>. (BERNDTSSON, 2010).

Segundo Whittinghill et al. (2016), altas concentrações de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo em águas de escoamento podem levar a eutrofização de corpos de águas de superfície, que pode levar ao aumento da produção de algas e hipóxia (diminuição das taxas de oxigênio) devido à grande quantidade de matéria orgânica decomposta, reduzindo a qualidade da bacia hidrográfica em relação ao habitat de peixes, atividades de recreação e potabilidade da água.

Na revisão sistemática de trabalhos brasileiros de Bär e Tavares (2017), apresenta-se uma série de trabalhos que realizam análises para determinação da qualidade das águas escoadas por telhados verdes. Como nenhuma legislação brasileira (ou internacional) trata especificadamente de águas pluviais escoadas por coberturas verdes, torna-se necessário buscar diretrizes alternativas para comparação da qualidade dessas águas. Observou-se que os trabalhos selecionados utilizam bases semelhantes de normas e legislações para essa comparação. Um levantamento das diretrizes utilizadas é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Diretrizes utilizadas para comparação da qualidade das águas escoadas por telhados verdes em trabalhos brasileiros

<b>Diretriz</b>	<b>Disposição</b>
<b>ABNT NBR 13969/1997</b>	Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação
<b>ABNT NBR 15527/2007</b>	Água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos
<b>Embrapa 167</b>	Qualidade de água para fins de irrigação (conceitos básicos e práticos)
<b>EPA (environmental protection agency) 1992</b>	Guia para reuso de águas (guidelines for water reuse)
<b>Portaria do ministério da saúde nº 2.914/2011</b>	Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade
<b>Resolução 128/06 RS</b>	Dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no estado do Rio Grande do Sul
<b>Resoluções nº 357 Conama</b>	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências
<b>Resolução nº 400 Conama</b>	Institui a câmara técnica recursal de infrações ambientais, define sua finalidade, composição e competência

Fonte: Bär e Tavares (2017).

<sup>5</sup> Segundo os autores, o primeiro escoamento é mais poluído por fazer uma lavagem da superfície de cobertura.

Através das análises da qualidade das águas escoadas por protótipos de telhados verdes com diferentes camadas de vegetações na cidade de Curitiba – PR realizadas por Savi (2015), conclui-se que apesar de existir variação nos resultados dependendo da camada de vegetação utilizada no sistema, os índices de nitrogênio total, fósforo total e coloração das amostras avaliadas não possuíam padrões de aceitação para a resolução do Conama n°. 375/2005 (disposição apresentada na Tabela 5), e a portaria MS n°. 518/2004, por causa das elevadas concentrações de nutrientes lixiviadas pelo sistema nas águas de escoamento. Os telhados verdes também apresentaram quantidades maiores de SDT, em comparação com as coberturas de fibrocimento e telha cerâmica avaliadas. Acredita-se que esse acréscimo de SDT pode ser proveniente em parte pelo substrato, e em parte pela camada de argila expandida utilizada como material drenante do sistema, o que também explicaria a coloração marrom das amostras de águas escoadas pelo sistema.

### **2.6.1 Parâmetros de avaliação da qualidade das águas escoadas**

Neste item, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os parâmetros de avaliação da qualidade das águas selecionados que serão executados nesta pesquisa.

#### *2.6.1.1 Potencial hidrogeniônico (pH)*

O pH exerce influência em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos de tratamento das águas. Apresenta efeito direto sobre ecossistemas aquáticos naturais e efeito indireto na contribuição para precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados e solubilidade de nutrientes. (PIVELI e KATO, 2005).

#### *2.6.1.2 Cor aparente*

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, devido a presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Dentre os coloides orgânicos pode-se mencionar os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Há também compostos inorgânicos capazes de possuir as propriedades e provocar os efeitos de matéria em estado coloidal. Os principais são os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo. Na determinação da cor, a turbidez da amostra causa interferência, absorvendo também parte da radiação

eletromagnética. Esta coloração é dita aparente pois é como o ser humano a vê, mas é, na verdade, em parte resultado da reflexão e dispersão da luz nas partículas em suspensão. (PIVELI e KATO, 2005).

#### *2.6.1.3 Turbidez*

É o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido a presença de sólidos em suspensão. Nas águas naturais, a presença da turbidez provoca a redução de intensidade dos raios luminosos que penetram no corpo d'água, influenciando decisivamente nas características do ecossistema presente. Quando sedimentadas, estas partículas formam bancos de lodo onde a digestão anaeróbia leva à formação de gases metano e gás carbônico, principalmente, além de nitrogênio gasoso e do gás sulfídrico, este malcheiroso, com odor característico, de ovo deteriorado. A turbidez também é um parâmetro que indica a qualidade estética das águas para abastecimento público. (PIVELI e KATO, 2005).

#### *2.6.1.4 Condutividade elétrica*

A condutividade elétrica está associada à presença de íons dissolvidos presentes na água. Esses íons, por sua vez, são partículas eletricamente carregadas. Portanto, considera-se que a condutividade elétrica é a capacidade d'água conduzir corrente elétrica. Esse parâmetro está relacionado à presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Em geral, considera-se que níveis superiores a 100µS/cm indicam ambientes impactados. (SCHIEL, MASCARENHAS, VALEIRAS e SANTOS, 2003)

#### *2.6.1.5 Nitrogênio total e nitrogênio amoniacal total*

O Nitrogênio pode ser encontrado no meio aquático nas seguintes formas: nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal (amônia), nitrato e nitrito. Diversas são as fontes geradoras de nitrogênio em águas, incluindo a atmosfera, em função de diversos mecanismos: (i) o de fixação biológica desempenhada por bactérias e algas, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; (ii) o de a fixação química, reação que depende da presença de luz, e que concorre para as presenças de amônia e nitratos nas águas; (iii) o das lavagens da atmosfera poluída pelas águas pluviais, que concorrem para as presenças de partículas contendo nitrogênio orgânico, bem como

para a dissolução de amônia e nitratos. O escoamento das águas pluviais em solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. (PIVELI e KATO, 2005).

Os compostos de nitrogênio são nutrientes essenciais para processos biológicos. São tidos como macronutrientes pois, depois do carbono, o nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas. Quando descarregados nas águas naturais conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio tornando-o mais fértil e possibilitam maior crescimento dos seres vivos que os utilizam, especialmente as algas, o que é chamado de eutrofização. O controle da eutrofização, através da redução do aporte de nitrogênio, é comprometido pela multiplicidade de fontes deste nutriente, algumas muito difíceis de serem controladas como a fixação do nitrogênio atmosférico, por parte de alguns gêneros de algas. Por isso, deve-se investir preferencialmente no controle das fontes de fósforo. (PIVELI e KATO, 2005).

De acordo com Piveli e Kato (2005), a idade de um foco de poluição de nitrogênio total pode ser associada com a forma de nitrogênio que este foco apresenta, ou seja, se uma amostra de água de um rio demonstrar predominância das formas reduzidas de nitrogênio (nitrogênio orgânico e amoniacal) significa que o foco de poluição se encontra próximo ao local da coleta. Contudo, se prevalecer sua forma oxidada (nitrito e nitrato), significa que a fonte de poluição se encontra distante. Já nas zonas de autodepuração natural em rios, nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas.

#### *2.6.1.6 Fósforo e Ortofosfato*

Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais, por conta da aplicação de fertilizante no solo. Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macro nutrientes, por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Ainda por ser nutriente para processos biológicos, o excesso de fósforo em esgotos sanitários e efluentes industriais, por outro lado, conduz a processos de eutrofização

das águas naturais. Quando se atinge nível hipertrófico, além do crescimento desordenado e explosivo de algas, aparecem plantas aquáticas superiores (macrófitas), prejudicando os usos múltiplos que se possam fazer daquela água, além de se constituir em habitat adequado aos planorbídeos (caramujo hospedeiro intermediário do verme causador da esquistossomose). O fósforo constitui-se, portanto, em importante parâmetro de classificação das águas naturais, participando também na composição de índices de qualidade de águas. Já o ortofosfato apresenta-se como uma forma inorgânica do fósforo, diretamente apropriada para uso de vegetações, atuando como fertilizante ao ser lançado em corpos hídricos. (PIVELI e KATO, 2005).

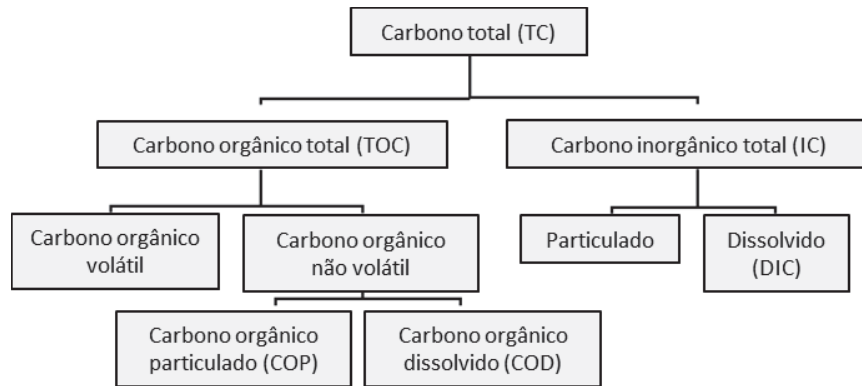
#### *2.6.1.7 Sólidos totais*

Sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis). As determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). (PIVELI e KATO, 2005).

#### *2.6.1.8 Carbono orgânico dissolvido (COD) e origem de matéria orgânica*

Conforme apresentado na Figura 6, o parâmetro carbono total (TC) pode ser dividido em duas ramificações principais: o carbono orgânico total (TOC) e carbono inorgânico total (TIC), este ainda sendo subdividido em particulado e dissolvido. O parâmetro de carbono orgânico total (TOC), que inclui todos os átomos de carbono com ligação covalente em moléculas orgânicas, ainda é subdividido entre carbono orgânico volátil e não volátil. Entre a parcela de carbono orgânico volátil, este pode ser apresentado em fração particulada (POC), ou dissolvida (COD). Dependendo do método adotado no procedimento experimental, há diferentes formas de análise de cada fração de carbono. (APHA, 1998 *apud* KNAPIK, 2009; KNAPIK, 2014).

Figura 6 – Ilustração das definições de carbono tipicamente utilizadas em monitoramentos de águas



Fonte: Adaptado de Knapik (2014).

A avaliação de parâmetros de carbono fornece valores quantitativos de matéria orgânica presente em uma determinada amostra. Entretanto, amostras com o mesmo valor de concentração de matéria orgânica podem apresentar características completamente distintas entre si. Assim, existem situações em que é necessário um maior conhecimento sobre as fontes e características da matéria orgânica presente na amostra. Para esses casos, a espectroscopia na região do ultravioleta visível e a espectroscopia de emissão de fluorescência apresentam-se como alternativas relevantes para levantamento de características qualitativas da matéria orgânica a ser avaliada. (Thomas et al., 1999 *apud* KNAPIK, 2009).

Divide-se a matéria orgânica natural (MON) em duas categorias:

- (i) Matéria orgânica lábil: passível de degradação, originada pela fração da matéria orgânica que pode ser ativamente utilizada e transformada por organismos vivos. Constituída de compostos bioquímicos bem definidos, como polissacarídeos, proteínas, peptídeos e lipídeos;
- (ii) Substâncias húmicas (matéria orgânica refratária): formada por compostos estáveis, ou seja, já decompostos, e apresenta resistência a degradação microbiana. (Zumstein e Buffle (1989), *apud* KNAPIK, 2009; BEM et al., 2013).

Já a matéria orgânica refratária é subdividida em duas classes, diferenciando-se pela sua estrutura química:

Matéria Orgânica Refratária Pedogênica (MORP): caracterizada por compostos aromáticos, geralmente de origem em solos;

Matéria Orgânica Refratária Aquogênica (MORA): caracterizada por compostos alifáticos, com origem em biotas aquáticas. (KNAPIK, 2014; BEM et al., 2013)

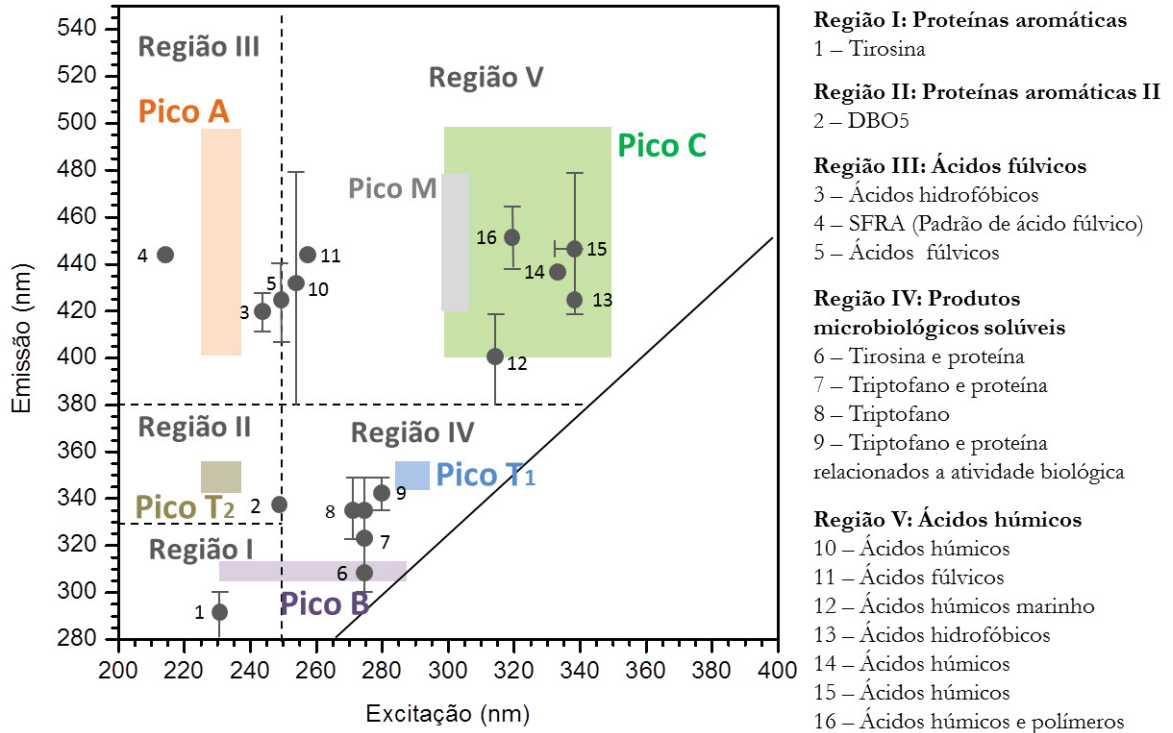
Os ácidos húmicos representam a fração reativa mais estável da matéria orgânica humificada, assim, o conteúdo referente a cada fração da matéria orgânica é um indicativo da qualidade do húmus do solo. Nesse contexto, as técnicas espectroscópicas permitem observar mudanças na conformação estrutural dos grupamentos funcionais da matéria orgânica. (CANELLAS et al., 2001).

#### 2.6.1.9 *Fluorescência Molecular (IF)*

Um dos objetivos de se utilizar o ensaio de emissão de fluorescência como complemento de outros parâmetros de qualidade de água é a possibilidade de identificar a origem da matéria orgânica. (KNAPIK; FERNANDES e AZEVEDO, 2014). A Figura 7 ilustra a representação esquemática da divisão da área de uma matriz de excitação-emissão de fluorescência (EEM), dividida entre cinco regiões do espectro. A figura também ilustra a indicação dos Picos A, B, C, T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, representativos de cada área do espectro, propostas por Coble (1996), onde os Pico A ( $\lambda_{ex}=230\text{ nm}/\lambda_{em}=400\text{-}500\text{ nm}$ ) e Pico C ( $\lambda_{ex}=300\text{-}500\text{ nm}/\lambda_{em}=400\text{-}500\text{ nm}$ ) representam valores quantitativos de material orgânico de origem húmica. O Pico B ( $\lambda_{ex}=230\text{-}275\text{ nm}/\lambda_{em}=310\text{ nm}$ ) caracteriza matéria orgânica composta por tirosina. Os Pico T<sub>1</sub> ( $\lambda_{ex}=290\text{ nm}/\lambda_{em}=350\text{ nm}$ ) e Pico T<sub>2</sub> ( $\lambda_{ex}=230\text{ nm}/\lambda_{em}=350\text{ nm}$ ) caracterizam matéria orgânica composta por triptofano, já o Pico M distingue ácidos húmicos marinhos. (KNAPIK, 2014). Além dos valores de pico, a escala de cores apresentada pelo espectro de excitação-emissão de fluorescência (EEM) indica a intensidade normalizada dos picos de fluorescência do EEM, onde o azul representa a menor intensidade e o vermelho a maior. (KNAPIK, 2014).



Figura 7 – Ilustração das regiões e picos de uma matriz de excitação-emissão de fluorescência (EEM)



Fonte: Knapik, Fernandes e Azevedo (2014).

## 2.7 ESTUDOS REFERENTES À CAMADA DE DRENAGEM

Com o intuito de obter-se um entendimento do atual estado da arte de pesquisas voltadas especificadamente para o estudo da funcionalidade e desempenho da camada de drenagem de telhados verdes, selecionou-se artigos com abordagens experimentais, procurados através da plataforma CAPES, voltados tanto para as propriedades hidráulicas, qualidade das águas escoadas, quanto na capacidade de isolamento térmico proporcionado por este componente do sistema. Observa-se que, apesar da frequência e quantidade de artigos científicos publicados acerca de telhados verdes nos últimos anos, apenas oito enquadram-se na seleção para esta revisão, indicando uma falta de estudos voltados diretamente para este componente do sistema. A Tabela 6 sumariza os componentes drenantes testados pelos artigos levantados.

Tabela 6 – Componentes drenantes testados nas pesquisas selecionadas

<b>Autor</b>	<b>Componente testado</b>
<b>Vila et al. (2012)</b>	Pozolana, migalhas de pneus Ø 2 a 7 mm, Ø 2 a 3,5 mm e Ø 0,8 a 2,5 mm
<b>Savi, Andri e Nardini (2013)</b>	Tecido de retenção, painel modular, membrana filtrante geotêxtil, sem camada drenante
<b>Karczmarczyk, Baryła e Bus (2014)</b>	Pollytag, LECA (agregado leve de argila expandida), calcedônia, serpentinite, concreto aerado auto clavado triturado
<b>Malcolm et al. (2014)</b>	Telhado verde (TV)
	TV com camada de retenção de água (espuma de poliuretano reciclado com argila e fertilizante de liberação lenta),
	TV com camada de drenagem (anéis de polietileno reciclado)
	TV com camada de retenção de água e camada drenante
	Telhado convencional coberto com cascalho (controle)
<b>Gwóźdz et al. (2016)</b>	Tijolo triturado, Chalzedonit, LECA fino e grosso, granito triturado, travertino
<b>Zaremba, Traver e Wadzuk (2016)</b>	Painel modular, sem camada drenante
<b>Asman et al. (2017)</b>	Migalhas de pneu, palm oil shell, polyfoam, sem camada drenante
<b>Scharf e Zluwa (2017)</b>	Painel modular h = 2cm
	Argila naturalmente queimada h = 5cm
	Tijolo triturado h = 5cm
	Argila expandida h = 5cm
	Sem camada drenante
	Perlita h = 10cm
	Perlita h = 15cm

Fonte: Autoria própria (2019).

Em Vila et al. (2012), os autores testam a possibilidade de uso de migalhas de pneus como camada drenante em sistemas de telhados verdes. A pesquisa é conduzida através de uma abordagem experimental, com testes da camada de drenagem em protótipos de telhados verdes (Figura 8) em Lleida - Espanha. Os seguintes parâmetros foram avaliados: temperatura superficial da bandeja seca, temperatura superficial da bandeja úmida (após irrigação), capacidade de retenção de água pelo sistema e o desenvolvimento da vegetação. As bandejas que utilizaram as migalhas de pneus como camada drenante apresentaram uma temperatura média de 1 a 3°C maior que as bandejas com pozolana. Nenhuma das vegetações apresentou sintomas de doença por contaminação dos pneus reciclados. Quanto à capacidade de retenção de escoamento, as bandejas com camada drenante de pneu reciclado apresentaram uma leve melhora de desempenho, entre 3 a 12%.

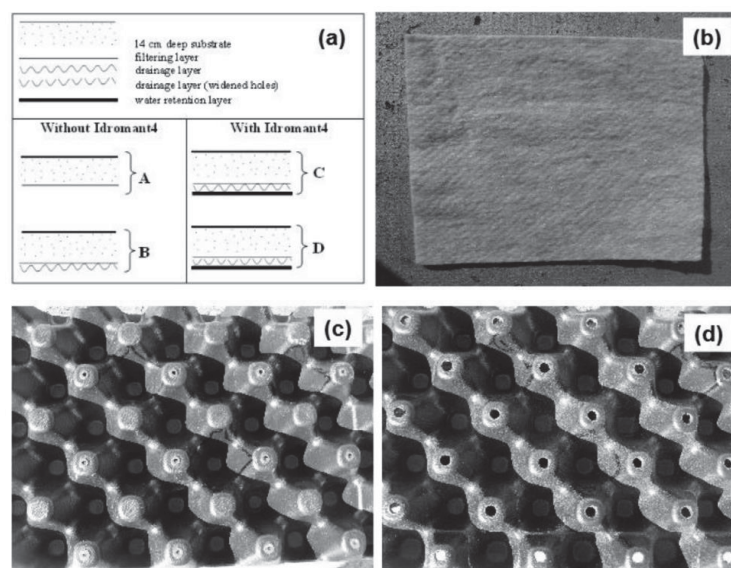
Figura 8 – Protótipos utilizados por Vila et al. (2012)



Fonte: Vila et al. (2012).

Savi, Andri e Nardini (2013) investigam a capacidade que a camada de drenagem efetivamente apresenta para a camada de vegetação, ajudando-a a sobreviver por longos períodos de seca. Dezesesseis camadas de testes foram avaliadas em Trieste - Itália, com quatro diferentes tipos de materiais drenantes utilizadas: tecido de retenção, painel plástico perfilado e membrana filtrante geotêxtil (Figura 9). Alguns módulos também não contiveram camada de drenagem, sendo utilizado apenas a camada de substrato em seu lugar. Os resultados obtidos mostram um efeito positivo do painel plástico de retenção de água para a sobrevivência da vegetação, e indicam que mudanças nas camadas dos sistemas podem modificar significativamente a quantidade de água disponível em telhados verdes.

Figura 9 – Materiais drenantes utilizados por Savi, Andri e Nardini (2013)



Fonte: Savi, Andri e Nardini (2013).

De acordo com Karczmarczyk, Baryła e Bus (2014), poucas pesquisas têm sido realizadas referentes a otimização da camada de drenagem de telhados verdes quanto a suas propriedades hidráulicas e qualidade das águas escoadas. Assim, os autores realizam testes laboratoriais de coluna comparando cinco agregados reagentes a fósforo para uso na camada de drenagem de telhados verdes em Basel, Suécia: Pollytag<sup>6</sup>, argila expandida leve, calcedônia, serpentinite e concreto aerado auto clavado triturado (Figura 10). Através da análise de parâmetros físicos, composição granulométrica, absorção de água, densidade aparente, e porosidade, determinou-se o material com melhor desempenho.

Figura 10 – Indicação dos materiais testados: 1) Pollytag, 2) Argila expandida leve, 3) Calcedônia, 4) Serpentinite, 5) Concreto aerado auto clavado triturado



Fonte: Karczmarczyk, Baryla e Bus (2014).

Estudos preliminares mostraram que três dos materiais estudados não são reagentes a fósforo, entretanto, a eficiência de remoção de fósforo pelo concreto aerado auto clavado triturado foi confirmado, confirmando a hipótese de que a implementação de materiais reagentes a fósforo na camada de drenagem pode reduzir os efeitos negativos gerados pelo substrato na qualidade das águas escoadas pelo sistema. (KARCZMARCZYK; BARYLA; BUS, 2014).

Em Malcolm et al. (2014), os autores avaliam cinco diferentes composições de telhado na primeira fase de experimento de sua pesquisa em Virginia - EUA: telhado verde, telhado verde com camada de retenção de água (espuma de poliuretano reciclado com argila e fertilizante de liberação lenta), telhado verde com camada de drenagem (anéis de polietileno reciclado, que fornecem espaço de drenagem abaixo da camada de substrato), telhado verde com camada de retenção de água e camada de drenagem, e um telhado convencional coberto com cascalho (telhado de controle). A porcentagem de retenção de escoamento pelos protótipos de telhado verde foi de 45 a 99% (média de 80%), comparando com o telhado de controle, e foram necessárias

<sup>6</sup> Segundo os autores, o agregado de peso leve Pollytag é um produto comercial fabricado com cinzas volantes gerados por uma central termoelétrica.



precipitações de no mínimo 10 mm para gerar escoamento de todos os telhados verdes. A camada de retenção de água cujo único objetivo seria de aumentar a porcentagem de retenção de escoamento não apresentou desempenho significativo. Já a camada de drenagem testada, projetada para facilitar o escoamento de água retida, não apresentou aumento significativo no volume escoado, indicando que o uso dessas duas camadas pode ser desnecessário para as condições locais de onde o estudo foi conduzido.

Gwózdź et al. (2016) conduziram em Varsóvia – Polônia, uma avaliação da durabilidade à ciclos de congelamento e descongelamento de materiais granulares drenantes para uso em telhados verdes, quanto a sua capacidade hidráulica. Essa característica se faz importante para locais de clima frio, o que não é o caso das condições climáticas no Brasil. Os materiais estudados foram submetidos a 30 e 70 ciclos de congelamento. Os resultados obtidos indicam que a condutividade hidráulica dos agregados diminuiu conforme aumentou-se o número de ciclos de congelamentos submetidos, indicando que a capacidade de aguentar ciclos de congelamento pode tornar-se um indicativo de uso para camada drenante. Seis diferentes tipos de materiais drenantes foram avaliados: tijolo triturado, Chalzedonit, LECA (agregado leve de argila expandida) fino e grosso, granito triturado e travertino (Figura 11). Dentre os agregados avaliados, travertino apresentou a maior durabilidade a ciclos de congelamento, enquanto o tijolo triturado apresentou o menor desempenho.

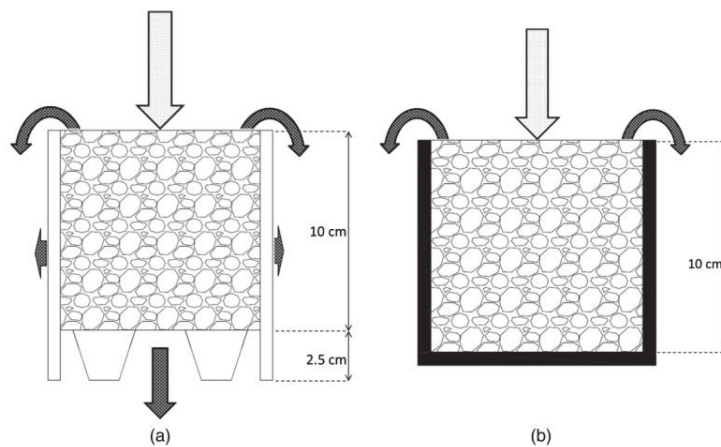
Figura 11 – Materiais drenantes utilizados por Gwózdź et al. (2016)



Fonte: Adaptado de Gwózdź et al. (2016).

Zaremba, Traver e Wadzuk (2016) comparam o desempenho hidráulico de retenção de escoamento e potencial de evapotranspiração de dois protótipos de telhado verde (Figura 12) em Filadélfia – EUA: um composto com camada de drenagem, e um sem camada de drenagem. O sistema sem drenagem apresentou uma taxa de evapotranspiração de 66% e 88% do total precipitado entre os meses de abril e novembro para os anos 2013 e 2014, respectivamente. Já o sistema com drenagem apresentou valores de evapotranspiração entre 62% e 56%. Conclui-se que o material drenante influencia na quantidade de água disponível para evapotranspiração; mais água retida no sistema sem drenagem significa mais potencial de evapotranspiração. Ainda, o sistema sem drenagem foi capaz de reter um valor máximo de 35 mm de precipitação (sem apresentar escoamento), enquanto o sistema com drenagem reteve um valor máximo de 13,5 mm. Em geral, houve menos escoamento de águas pluviais pelo sistema sem drenagem que pelo sistema com drenagem, e os autores não observaram nenhum comprometimento do desempenho do sistema pela falta da camada de drenagem, durante o período de experimento.

Figura 12 – Ilustração dos protótipos utilizados (a) sistema com camada de drenagem e (b) sem camada de drenagem

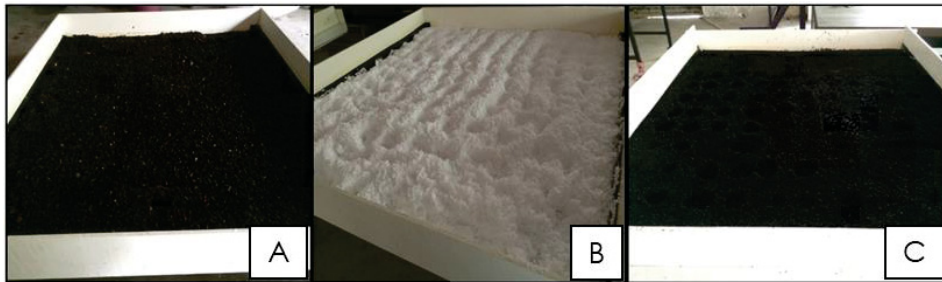


Fonte: Zaremba, Traver e Wadzuk (2016).

Asman et al. (2017) apresenta os resultados de uma investigação de redução de escoamento usando 0, 2 e 6% de inclinação para três diferentes tipos de camada de drenagem em telhados verdes em Kota Kinabalu - Malásia. Quatro camadas de teste foram construídas, três utilizando materiais reciclados e uma sem a camada de drenagem, para controle. Os materiais utilizados foram migalhas de pneu, casca de óleo de palma e polyfoam (Figura 13). Os autores concluíram que as migalhas de pneu são um material adequado para uso na camada de drenagem, levando em consideração sua capacidade de retenção de escoamento e seu baixo peso. O segundo material

testado com melhor desempenho foi polyfoam. Também é sugerido que a inclinação utilizada seja de 6%, uma vez que uma inclinação mais elevada resultaria em um escoamento mais rápido, e um consequente alívio no peso do sistema.

Figura 13 – Materiais drenantes utilizados: A) Casca de óleo de palma, B) Polyfoam, C) Migalhas de pneu



Fonte: Asman et al. (2017).

Scharf e Zluwa (2017) avaliam o desempenho de isolamento térmico de sete diferentes composições de telhado verde em Viena – Áustria (Figura 14), com variação na altura das camadas, componentes utilizados e construção das camadas por um período de 15 meses. Os autores concluem que existem processos dinâmicos que ocorrem dentro do sistema, dependentes tanto dos materiais utilizados nas camadas quanto em suas alturas. Além disso, supõem-se que o material mais influente na temperatura do envelope é a camada drenante, uma vez que os protótipos com melhor desempenho térmico foram os dois configurados com as maiores camadas de perlita como agregado drenante.

Figura 14 – Telhados verdes monitorados por Scharf e Zluwa (2017)



Fonte: Scharf e Zluwa (2017).

Através do levantamento bibliográfico apresentado, observa-se que estudos referentes a camada de drenagem atualmente ainda são raros, portanto, o desempenho e finalidade deste componente ainda não é completamente compreendido pela comunidade científica.

Percebe-se também, que os trabalhos apresentam resultados controversos: Zarembra, Traver e Wadiuk (2016) observam um melhor desempenho de sistemas sem camada drenante. Já Malcolm et al. (2014) observam uma performance não satisfatória dos protótipos com uso da camada de drenagem, indicando uma possível falta de necessidade deste componente. Essa lacuna de conhecimento e a controvérsia entre os poucos já realizados ilustra a evidente necessidade de estudos mais aprofundados nesta linha de pesquisa.



### **3 MÉTODOS DE PESQUISA**

Com o intuito de proporcionar um conhecimento mais profundo acerca do desempenho e influência da camada de drenagem em relação à qualidade e retenção das águas escoadas por telhados verdes, classifica-se o objetivo desta pesquisa como explicativa. Entretanto, esta também possui um caráter exploratório, uma vez que o efetivo desempenho hidrológico e funcionalidade das camadas de drenagem dessas coberturas ainda não é totalmente compreendido pela comunidade científica.

Com base nos procedimentos técnicos, esta pesquisa é delineada como experimental, uma vez que consiste na avaliação de cinco protótipos de telhado verde extensivo de composição material similar (camadas de impermeabilização, anti-raíz, substrato e vegetação iguais) e diferente composição da camada de drenagem (variável de controle). Por fim, classifica-se esta pesquisa como fixa, uma vez que, sendo um experimento, pré-especificações sobre o que e como será feito devem ser planejadas antes da execução dos mesmos, entretanto, esta também apresenta características de pesquisa flexível, referentes ao processo de seleção dos ensaios de qualidade da água que serão adotados, e às condições de coleta de cada evento, uma vez que estes são dependentes de condições climáticas alheias a capacidade de controle, e não seguem um plano rígido de planejamento de coletas. Portanto, esta pesquisa apresenta uma análise majoritária quantitativa com presença de algumas análises qualitativas.

#### **3.1 PROTÓTIPOS**

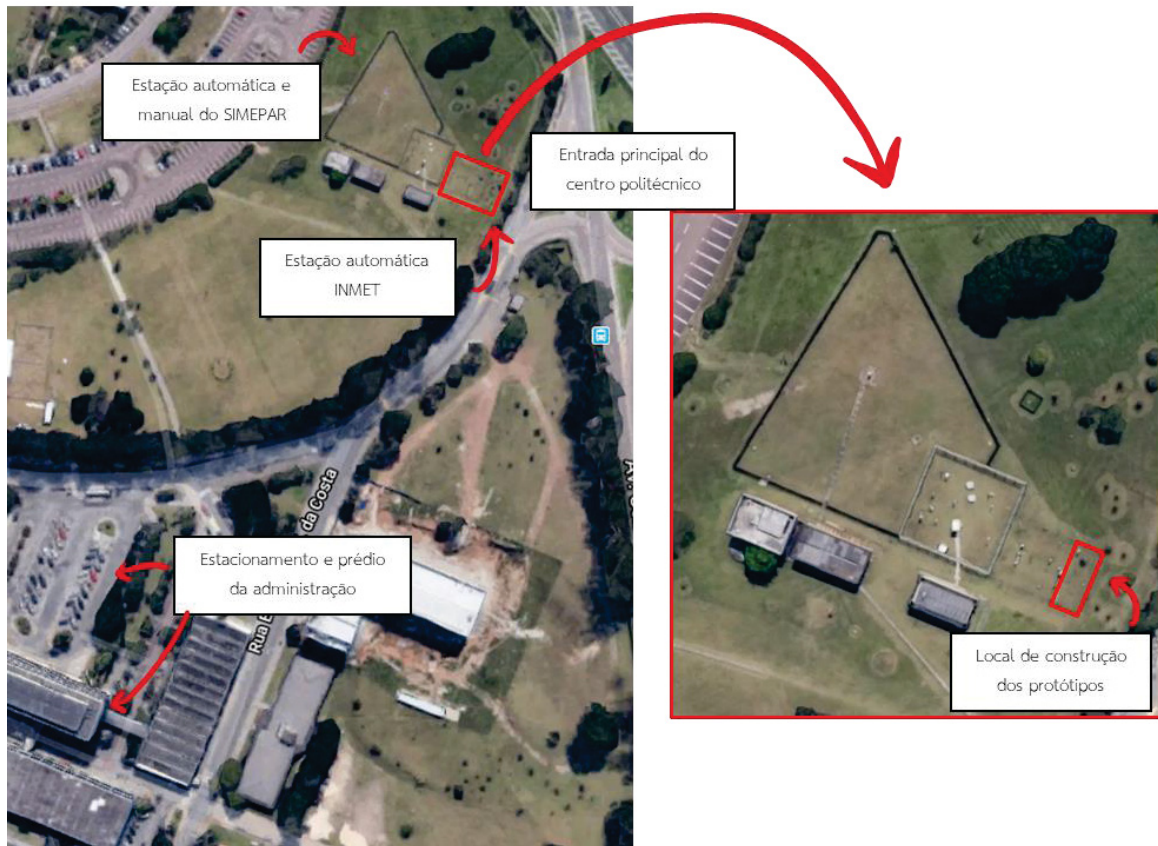
Para a execução desta pesquisa, optou-se pela utilização de camas de testes em um ambiente natural, onde a única variável do sistema construtivo dos protótipos de telhados verdes é a camada de drenagem, a fim de avaliar o comportamento deste componente no sistema. A construção dos protótipos foi delimitada pelo espaço disponível no local de sua instalação, e também pela disposição de materiais e verbas da pesquisa. Os detalhes construtivos dos protótipos são apresentados nos itens 3.3.1, 3.3.2 e 3.3.3.

##### **3.1.1 Localização**

Os protótipos de telhado verde encontram-se dentro das instalações da estação meteorológica automática do INMET, localizado no centro politécnico da UFPR, na cidade de

Curitiba – PR, conforme ilustrado nas Figuras 15 e 16. Para acesso aos telhados é necessária chave para abertura do portão, portanto, os mesmos encontram-se protegidos de intervenção indesejáveis de terceiros.

Figura 15 – Sinalização do local de instalações dos protótipos



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 16 – Estação meteorológica automática INMET e telhados instalados



Fonte: Autoria própria (2019).

### 3.1.2 Detalhamento dos protótipos

Para desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizados dois tipos de estruturas, com diferentes dimensões para a construção dos protótipos de telhado verde, em virtude da disponibilidade de recursos e materiais para a construção das camas de teste. Duas das cinco caixas foram construídas no início de 2017, juntamente com a construção dos protótipos utilizados na pesquisa de Lopes (2018). Esses protótipos e suas dimensões são ilustrados na Figura 17.

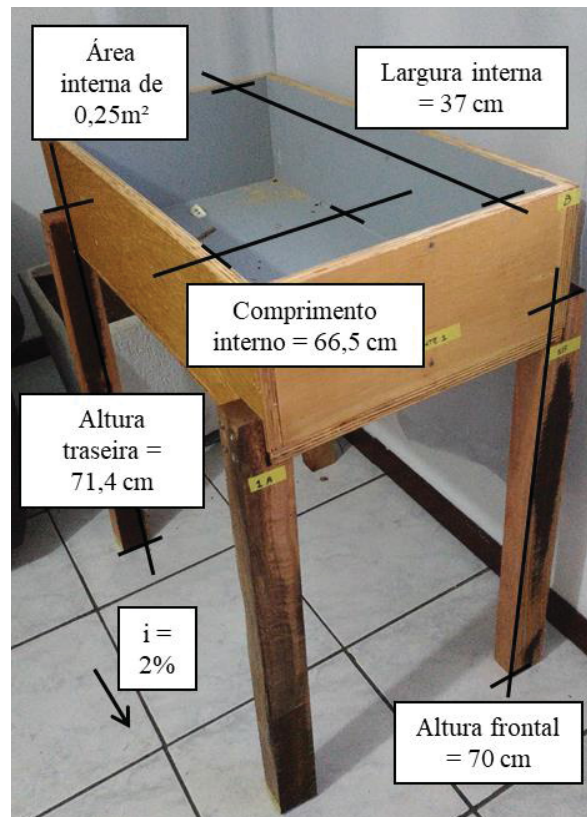
Figura 17 – Dimensões dos protótipos tipo 1



Fonte: Autoria própria (2019).

Os outros três protótipos foram construídos entre dezembro de 2017 e março de 2018. Para a construção destes telhados, reutilizou-se duas caixas de madeira disponibilizadas pela UFPR, que foram adaptadas em camas de testes. Esses protótipos e suas dimensões são ilustrados na Figura 18.

Figura 18 – Dimensões dos protótipos tipo 2



Fonte: Autoria própria (2019).

### 3.1.3 Construção e materiais utilizados

Ambos protótipos receberam o mesmo tratamento e composição material durante sua construção. Para camada de impermeabilização foi utilizado a borracha líquida Impertech. Após execução da camada impermeabilizante, cobriu-se a superfície com geomembrana PEAD (Polietileno de Alta Densidade). Uma vez que esta geomembrana era muito rígida e não permitia movimento suficiente para realizar as dobras, foi necessário fazer a sobreposição de duas camadas de geomembrana, uma em cada direção da caixa (Figura 19). Para maior segurança, ainda se utilizou fita impermeabilizante nas junções das geomembranas, também indicado na Figura 19.



Figura 19 – Telhados com geomembrana PEAD instalada



Fonte: Autoria própria (201).

Para garantir a inclinação correta dos protótipos, antes da instalação dos mesmos no local de monitoramento, foi necessário providenciar um correto nivelamento de suporte para os telhados, uma vez que o terreno apresenta inclinações. Para isso, utilizou-se canos de PVC (Poli cloreto de vinila) que foram instalados e nivelados em posição para receber as pernas dos protótipos, e posteriormente concretados, conforme indicado na Figura 20.

Figura 20 – Suporte de canos de PVC concretados para recebimento dos protótipos



Fonte: Autoria própria (2019).

Após aplicação da camada anti-raíz, realizou-se as camadas de drenagem e filtro. Cada protótipo apresenta uma camada de drenagem diferente, conforme indicado na Figura 21.

Figura 21 – Materiais drenantes utilizados nos protótipos



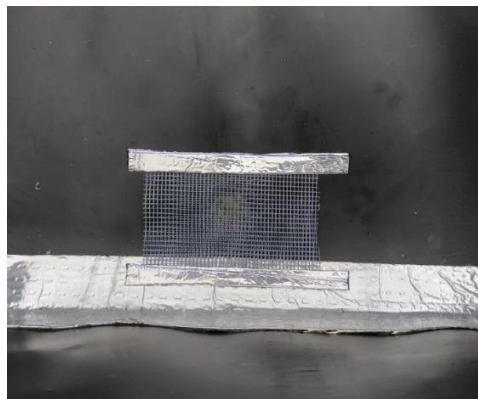
Fonte: Autoria própria (2019).

A seleção dos materiais drenantes para serem utilizados nos protótipos foi baseada em outros estudos científicos e disponibilidade dos mesmos, aproveitando-se a doação de materiais, como o painel modular e o Geocomposto drenante. Além disso, o intuito foi selecionar a maior variedade possível de materiais, deste modo, conseguiu-se estabelecer no mínimo um tipo de cada material drenante indicado pela literatura (painel modular, material granular ou tapete poroso). A escolha da argila expandida se deve ao fato desta já ter sido utilizada nos protótipos monitorados por Savi (2015), onde levantou-se a possibilidade deste material ter contribuído de maneira negativa para a qualidade das águas de escoamento. Já a brita foi utilizada por ser disponibilizada pelo programa PPGECC, com base no estudo de Karczmarczyk; Baryla e Bus (2014), onde os

autores testam diferentes tipos de materiais drenantes e sua capacidade de remoção de fósforo das águas de escoamento. A escolha de construir um protótipo sem camada de drenagem deve-se aos trabalhos realizados por Malcolm et al. (2014), e Zaremba, Traver e Wadzuk (2016), apresentados no item 2.6 da revisão bibliográfica, onde os autores observaram um melhor desempenho dos protótipos testados sem camada de drenagem. Além disso, este protótipo também servirá de base de controle para a medição da influência que as camadas drenantes dos outros protótipos apresentaram sob a qualidade dos escoamentos.

Nos protótipos TV2, TV3 e TV4, que apresentam ausência de camada de drenagem, e material drenante granular, respectivamente, utilizou-se uma tela mosquiteiro em poliéster dobrada e fixada com fita impermeabilizante, conforme indicado na Figura 22, para os protótipos TV3 e TV4 também foi utilizada uma manta geotêxtil não tecida para separação entre a camada de drenagem e substrato. Antes da instalação da tela, conferiu-se se esta possibilitava o devido escoamento das águas retidas e a contenção do substrato (no caso do Telhado Verde 2).

Figura 22 – Detalhamento da contenção para material granular e substrato



Fonte: Autoria própria (2019).

Após camada de drenagem e filtro, preencheu-se os protótipos com 7cm de substrato (Figura 24). Utilizou-se o substrato para plantas Rohrbacher, cujo composto orgânico contém cascas de pinus, vermiculita e calcário, conforme indicado na Figura 23. Esta altura da camada e tipo de substrato foi escolhido por já estar sendo utilizado nos protótipos de Lopes (2018), e que até o momento de instalação dos telhados, apresentava um bom desempenho junto à combinação com a vegetação *Axonopus compressus*.

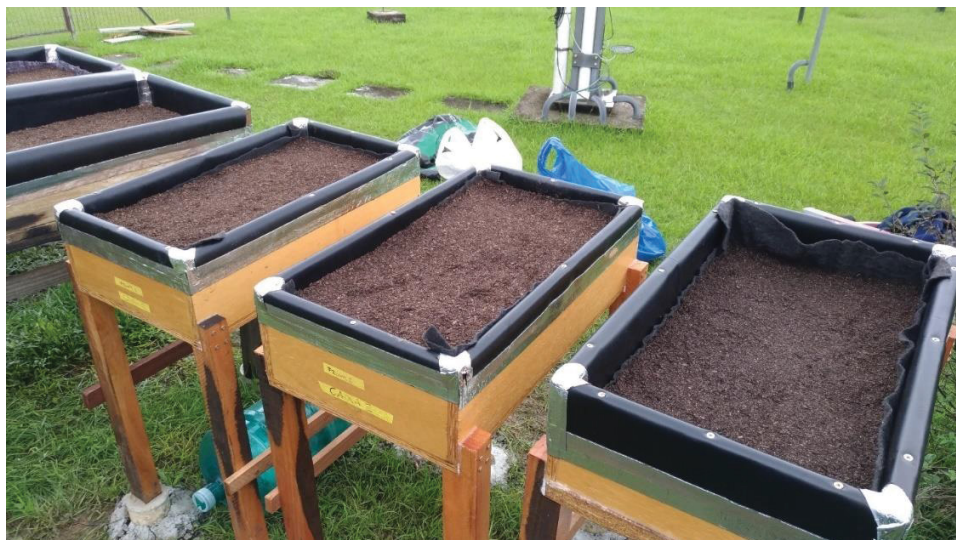


Figura 23 – Composição química indicada na etiqueta do substrato Rohrbacher



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 24 – Protótipos com camada de 7 cm de substrato concluída

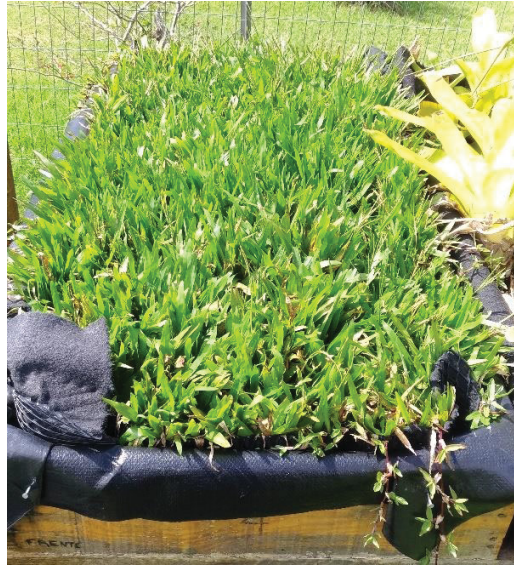


Fonte: Autoria própria (2019).

A camada de vegetação é composta de tapetes de grama *Axonopus compressus* (popularmente chamada de São Carlos) e foi plantada no dia 28 de março de 2017, dando, portanto, início ao período de monitoramento do desenvolvimento da vegetação, e do comportamento hidrológico dos telhados. A escolha desta vegetação se deve ao fato desta composição de grama e substrato utilizado também ter sido avaliado no monitoramento de Lopes (2018), e apresentar o melhor desenvolvimento da vegetação (Figura 25) até o momento da instalação dos telhados verdes desta pesquisa.



Figura 25 – Adaptação da vegetação *Axonopus compressus* observada nos protótipos de Lopes (2018)



Fonte: Autorial própria (2019).

Figura 26 – Protótipos no dia da plantação da camada de vegetação (28/03/2018)



Fonte: Autorial própria (2019).

### 3.2 ACOMPANHAMENTO DA VEGETAÇÃO

Como apresentado no item 2.2.1 da revisão bibliográfica, o desenvolvimento e saúde da camada de vegetação é um indicador do sucesso do telhado verde, portanto, o controle do desenvolvimento da vegetação será realizado através da comparação visual da condição inicial da camada de vegetação (Figura 26), com a aparência da vegetação ao longo do período de

monitoramento. O intuito deste controle é assegurar a saúde da vegetação e como ela responde ao sistema de cobertura e às condições climáticas em que está sendo submetido.

### 3.3 COLETA DE DADOS E AMOSTRAS DE ESCOAMENTO

Para medição da retenção do escoamento realizado pelos protótipos, encaixou-se um galão graduado com tampa às mangueiras instaladas nos protótipos. Assim, todo o escoamento realizado pelas caixas é direcionado para os coletores, conforme indicado na Figura 27.

Figura 27 – Recipientes coletores instalados



Fonte: Autoria própria (2019).

Uma vez que o terreno em que os coletores são apoiados não é nivelado, utiliza-se o auxílio de um nível bolha para a realização das leituras. Uma vez que o recipiente se encontra nivelado, a leitura de escoamento é realizada. Após eventos de precipitação, realiza-se visita aos protótipos e mede-se o volume de escoamento em cada coletor. Para coleta de amostras de escoamento, utilizadas para avaliação da qualidade da água, primeiramente homogeneiza-se toda a água presente no balde coletor. Cada coletor tem um número de indicação correspondente ao número de identificação do telhado, a fim de minimizar as chances de contaminação das amostras.

Para a coleta de amostras de escoamento dos telhados verdes, que são levadas ao laboratório para realização dos parâmetros de qualidade da água, são utilizadas garrafas PET (Poli tereftalato de etileno) higienizadas com lavagem ácida a quente (ácido clorídrico 5%, conforme indicado em

APHA, 1998). Já para a coleta de água da chuva serão utilizadas caixas plásticas higienizadas e cobertas com tela plástica para evitar possíveis contaminações da amostra. O processo de coletas apresenta uma certa flexibilidade no método desta pesquisa, uma vez que esta é totalmente dependente das condições climáticas e de eventos de chuva, além da disponibilidade do laboratório, não podendo, assim, ser definidas por intervalos de tempo fixos, e sim das condições dos eventos de chuva ocorridos.

### 3.3.1 Dados pluviométricos

Para a coleta dos dados de chuva, não foi necessário a construção de um pluviômetro, uma vez que a coleta das informações meteorológicas do INMET é realizada no exato local de construção dos protótipos. Portanto, a coleta desses dados é realizada pelas informações dispostas a cada hora no site do INMET.

### 3.3.2 Controle de irrigações

Ao notar-se um declínio da saúde da vegetação, decidiu-se começar a irrigar-se os telhados, a fim de evitar a perda e falecimento da cobertura vegetal. Cada vez que os telhados são regados, anota-se o volume de água utilizado em cada protótipo, dia e horário, conforme indicado em Tabela 7. O volume escoado pelas irrigações é contabilizado como a água de saída dos sistemas, juntamente com as águas pluviais escoadas.

Tabela 7 – Exemplificação do controle de regas, onde TV equivale a Telhado verde

Dia	Volume de irrigação (L)					Horário Gmt -3	Horário UTC
	TV 1	TV 2	TV 3	TV 4	TV 5		
1							
(...)							
6	1	1	1	1	1	13:00	16:00
7	2	2	2	2	2	11:00	14:00

Fonte: Autoria própria (2018).

### 3.3.3 Tratamento dos dados

À cada visita realizada aos protótipos, realiza-se a análise visual da saúde da vegetação e inspeção dos recipientes de coleta, a fim de verificar se houve escoamento pelos telhados. Simultaneamente a essa etapa, realiza-se o controle climático e de chuva, através dos dados on-line fornecidos pelo INMET.

Em eventos de chuva, soma-se o valor precipitado desde a última leitura de escoamento realizada. Uma vez que os dados de chuva são apresentados em mm (ou seja, um mm de precipitação equivale à um litro por m<sup>2</sup>), e os protótipos não possuem área interior de 1m<sup>2</sup>, é necessário fazer a conversão da quantidade de chuva medida pelo INMET para a quantidade de chuva que efetivamente ocorreu na área dos protótipos, conforme indicado em Tabela 8.

Tabela 8 – Exemplificação do tratamento dos dados de escoamento

<b>Evento 1: 28/mar até 31/mar</b>					
<b>Chuva total precipitada:</b>			<b>61,40</b>	<b>mm</b>	
<b>Telhado Verde</b>	<b>Área do telhado (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Chuva no protótipo (L)</b>	<b>Quantidade escoada (L)</b>	<b>Porcentagem de escoamento (%)</b>	<b>Porcentagem de retenção (%)</b>
<b>1</b>	0,5	30,70	15	48,9	51,1
<b>2</b>	0,5	30,70	19	61,9	38,1
<b>3</b>	0,25	15,11	9,5	62,9	37,1
<b>4</b>	0,25	15,11	11	72,8	27,2
<b>5</b>	0,25	15,11	9	59,6	40,4

Fonte: Autoria própria (2018).

Após essa conversão, compara-se o volume de chuva precipitado em cada telhado (100%) com o volume de escoamento lido em cada protótipo (% de escoamento). O percentual de retenção é obtido pela subtração da porcentagem de chuva total (100%) e do percentual de escoamento.

### 3.4 ENSAIOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os ensaios de qualidade da água escoada foram realizados em parceria com o Laboratório de Engenharia Ambiental Professor Francisco Borsari Netto (LABEAM), vinculado ao Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS) da UFPR.

A seleção dos parâmetros de qualidade da água a serem realizados fornecem uma certa flexibilidade ao método desta pesquisa, uma vez que, apesar destes serem selecionados com base em levantamento dos ensaios comumente realizados em outras pesquisas similares a esta, essa também depende da possibilidade de execução destes, tanto em questão de recursos quanto de gestão de tempo. Além disso, esses parâmetros foram selecionados visando obter-se uma caracterização das águas escoadas pelos protótipos, uma vez que esta parte da pesquisa apresenta



um caráter exploratório, ou seja, a base científica ainda não apresenta um conhecimento construído sobre este assunto de pesquisa, que é altamente suscetível ao clima e condições locais, além da composição material utilizada. Os métodos selecionados para a realização dos parâmetros de qualidade da água a partir de Procedimentos de Operação Padrão (POP) utilizados dentro do LABEAM são apresentados na Tabela 9. Já a Tabela 10 indica os parâmetros que são obtidos através de medições por sensores/sondas eletrônicas, ou comparador visual.

Tabela 9 – Parâmetros de análise selecionados, POP e Método de determinação

Parâmetro de análise	POP (procedimento de operação padrão)	Método para determinação	Faixa de quantificação do método
Nitrogênio total ( $N_T$ )	POP 10	Método da digestão por persulfato de potássio	Leituras até 2,9 mg/L
Nitrogênio amoniacal total ( $NH_3 + NH_4^+$ )	POP 9	Método do fenato / Azul de indofenol	Entre 0,01 e 2 mg/L
Fósforo total ( $P_T$ )	POP 13	Método da digestão alcalina e método do ácido ascórbico	concentrações < 1,5 mg/L
Ortofosfato ( $PO_4^{3-}$ )	POP 12	Método do ácido ascórbico	concentrações < 1,5 mg/L
Sólidos totais ( $S_T$ )	POP 05	Método Gravimétrico	< 200 mg de resíduo
Carbono orgânico dissolvido (COD)	POP 04	Combustão à alta temperatura	TC: < 25000 mg/L IC: < 30000 mg/L
UV-vis	POP 06	Espectrofotômetro	-
Fluorescência Molecular (IF)	POP 18	Espectrofluorímetro	-

Fonte: Autoria própria com base no Manual POPs LABEAM (2018).

Tabela 10 – Parâmetros de análises de leitura automática e equipamento de leitura

Parâmetro de análise	Equipamento de leitura
pH	pHmetro digital
Turbidez	Aparelho turbidímetro
Condutividade elétrica	Equipamento de sonda
Cor aparente	Comparador visual

Fonte: Autoria própria (2018).

Além da avaliação das amostras de escoamento dos protótipos, objetiva-se fazer a avaliação também da água da chuva do evento de coleta, para fins de comparação dos resultados.

A parte da amostra separada para execução dos parâmetros de Nitrogênio total, Fósforo total, Sólidos totais, pH, Turbidez, Condutividade elétrica e Cor aparente são mantidos em

refrigeração nos frascos de coleta previamente higienizados e descontaminados com ácido clorídrico 5% quente.

A parte da amostra separada para a execução dos parâmetros de Nitrogênio amoniacal total, Ortofosfato, Carbono Dissolvido Total e Espectroscopia de Excitação-Emissão de Fluorescência e no Ultravioleta-visível são previamente filtrados utilizando-se membrana de acetato de celulose de 0,45µm pré-lavada com água ultrapura, e mantidos em frascos previamente lavados com ácido. As amostras reservadas para o parâmetro de Carbono Dissolvido Total são preservadas com solução 0,5% do volume da amostra com ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>2</sub> P.A. Para as análises de carbono orgânico dissolvido, fluorescência e ultravioleta visível as amostras foram mantidas em refrigeração em frascos de vidro previamente higienizados e calcinados a temperatura de 500° por 2 horas para eliminação de traços de matéria orgânica (APHA, 1998; LABEAM, 2018). Para o restante dos parâmetros, a fração filtrada da amostra é conservada em refrigeração sem conservantes.

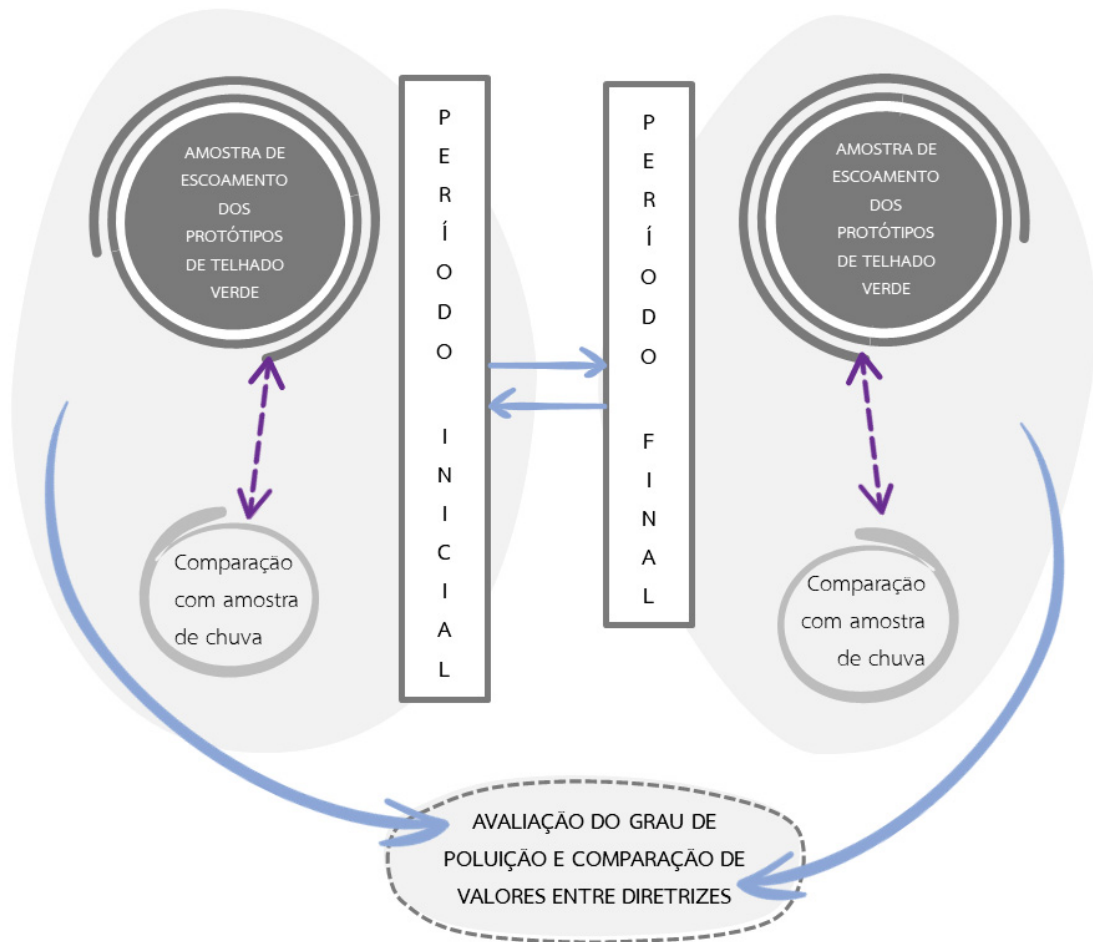
### **3.4.1 Tratamento dos dados**

A partir dos dados obtidos com as análises laboratoriais dos parâmetros de qualidade da água selecionados, busca-se levantar uma caracterização das amostras das águas escoadas pelos telhados verdes monitorados, em dois diferentes períodos do monitoramento:

1. Caracterização em período inicial da adaptação dos protótipos (primeira metade do período de monitoramento), e comparação dos parâmetros com resultados da análise da água de chuva;
2. Caracterização em período final da adaptação dos protótipos, e comparação dos parâmetros com resultados da análise da água de chuva.

O intuito de se avaliar a qualidade dos escoamentos nestes dois períodos é o de possibilitar a comparação dos resultados entre diferentes momentos da idade dos protótipos. Também almeja-se avaliar se essas águas poderiam tornar-se novas fontes de poluição para águas de superfícies, caso aplicadas em maiores escalas dentro de uma bacia hidrográfica, em consequência de elevados valores de nitrogênio e fósforo, principalmente.

Figura 28 – Método de comparação dos resultados de parâmetros de qualidade da água



Fonte: A autoria própria (2019).

Além disso, também será realizado a comparação dos valores dos parâmetros obtidos com as diretrizes usualmente utilizadas para comparação da qualidade das águas escoadas por telhados verdes em trabalhos brasileiros, apresentadas na Tabela 5, no item 2.6 da revisão bibliográfica. Nenhuma legislação ou normativa trata especificadamente sobre a qualidade de escoamentos gerados por telhados verdes, portanto, essa comparação é apenas de intuito acadêmico, a fim de caracterizar os valores obtidos. A Figura 28 (acima) ilustra o as comparações dos resultados de qualidade da água que esta pesquisa busca realizar.

## 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se os resultados do acompanhamento da vegetação dos protótipos de telhado verde construídos para este experimento, da redução de escoamento pluvial e das análises de qualidade das águas obtidos durante monitoramento realizado até o final de fevereiro de 2019.

### 4.1 ACOMPANHAMENTO DA VEGETAÇÃO

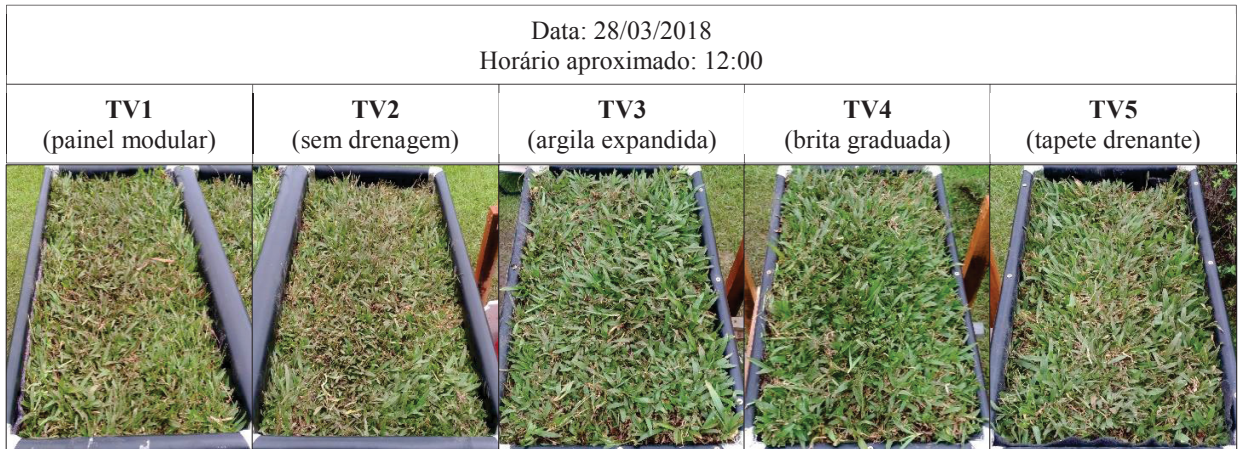
Este acompanhamento se faz necessário uma vez que, conforme indicado no item 2.2.1 do capítulo 2, o desenvolvimento e saúde da camada de vegetação determina o sucesso do sistema. Além disso, a condição da vegetação apresenta uma influência direta nos resultados de capacidade de retenção pluvial e da qualidade das águas escoadas. Ademais, este item do trabalho também visa apresentar as intempéries climáticas pelas quais os protótipos foram submetidos durante o período de monitoramento.

Para camada de vegetação dos protótipos de telhado verde desta pesquisa, foi utilizado a grama São Carlos (*Axonopus compressus*), como apresentado no item 3.1.3 do capítulo 3. De acordo com Maciel et al. (2016), esse tipo de grama é comumente utilizado no Sul do Brasil, onde normalmente apresentam boa tolerância ao frio. Segundo Gurgel (2003) este tipo de grama não possui boa capacidade de suportar tráfego intenso. Suas folhas são geralmente mais largas, conferindo uma alta capacidade de se desenvolver bem em áreas sombreadas, onde a largura das folhas compensa a deficiência de luz com uma maior área foliar, e, portanto, uma maior capacidade de realizar fotossíntese.

O acompanhamento da camada de vegetação dos protótipos de telhado verde foi realizada através da comparação visual da aparência inicial da folhagem no momento de sua plantação, com sua aparência durante o desenvolvimento, conforme apresentado anteriormente no item 3.1.3 do Capítulo 3. O processo de construções dos protótipos foi encerrado no dia 28 de março de 2018 às 12:00 (horário GMT-3), com a instalação da última camada componente dos sistemas: a camada de vegetação. Neste momento, deu-se início ao período de monitoramento dos mesmos. A Figura 29 apresenta a camada de vegetação no dia de sua instalação.



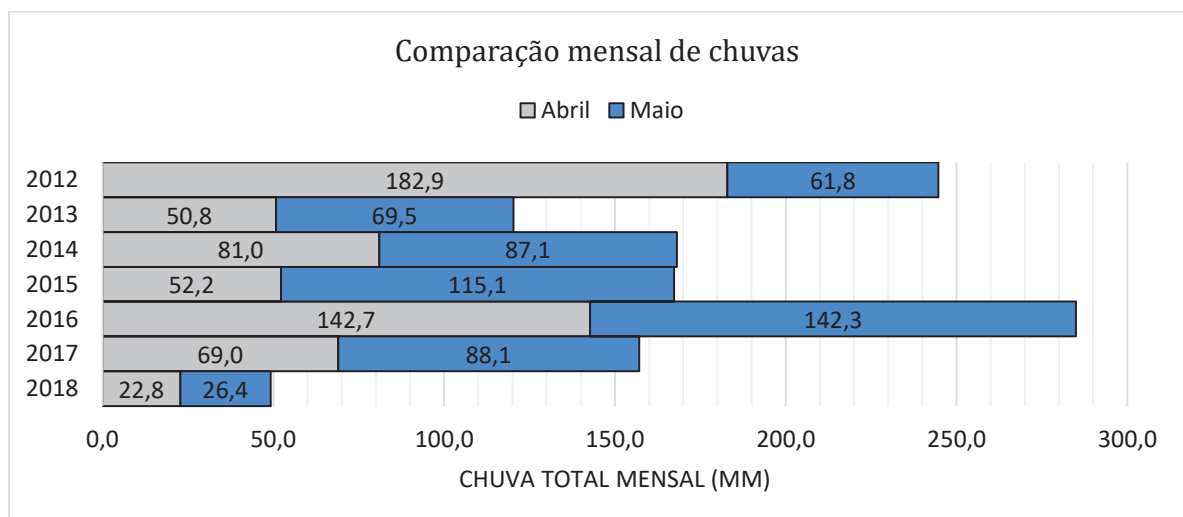
Figura 29 – Comparação visual dos protótipos no dia 28/03 (dia da plantação da vegetação)



Fonte: Autoria própria (2019).

Após a plantação da grama, ocorreu um primeiro evento de chuva entre os dias 28 de março a 02 de abril, onde o total precipitado foi equivalente a 61,40 mm, conforme dados disponibilizados pelo site do INMET. Após esse primeiro evento de chuva, entrou-se em um período atípico de estiagem, durante todo o mês de abril e maio de 2018. O gráfico da Figura 30 apresenta uma comparação do total mensal precipitado nos meses de abril e maio durante os anos de 2012 a 2018, ilustrando a atipicidade do período, com índices de chuva bastante inferior, em comparação com os anos anteriores.

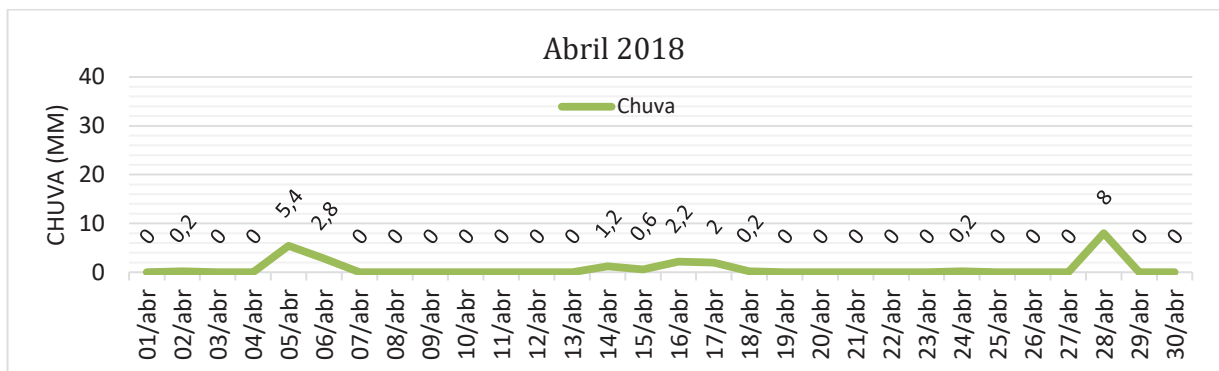
Figura 30 – Comparação do total de chuva precipitados nos meses de abril e maio dos anos de 2012 a 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

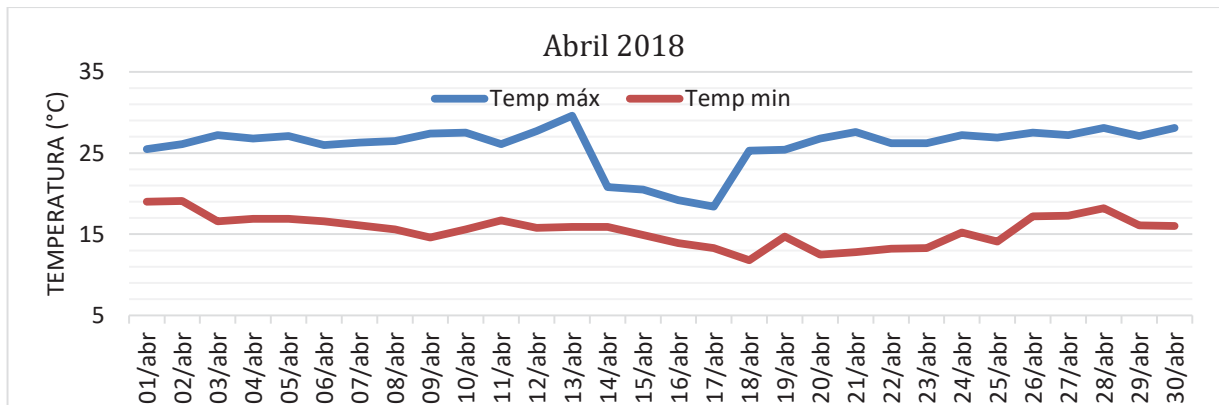
A Figura 31 ilustra o comportamento pluvial durante o mês de abril. Além do baixo índice de chuva, esse mês também apresentou taxas de temperatura elevada, chegando até 30°C entre os dias 12 e 13, conforme indicado na Figura 32. Os gráficos com comparação de temperatura máxima e mínima são apresentados com o intuito de ilustrar as condições climáticas e de radiação solar as quais os protótipos de telhado verde foram submetidos durante o período de monitoramento.

Figura 31 – Valores de chuva apresentados durante o mês de abril de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

Figura 32 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de abril de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

Essa combinação de fatores levou a vegetação de todos os protótipos de telhado verde à um estresse hídrico, observado a partir do dia 06 de maio, conforme indicado na Figura 33, onde é possível observar pontos de grama seca, caracterizado pela coloração esbranquiçada.

Figura 33 – Camadas de vegetações com indícios de estresse hídrico a partir do dia 06/04, com indicação dos retalhos de tapete de grama



Fonte: Autorial própria (2019).

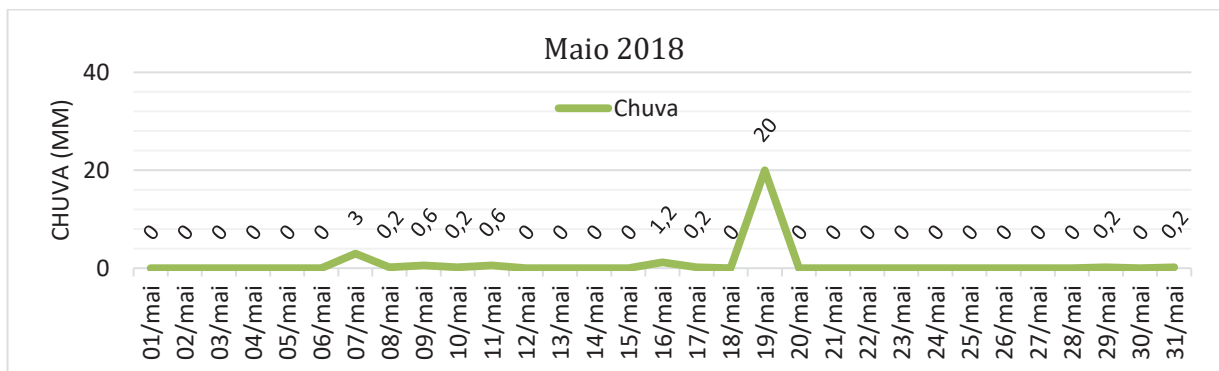
Observa-se que o protótipo TV1 apresentou uma melhor tolerância a esse estresse hídrico inicial, de provável consequência pelo uso de painel modular como camada drenante, que proporciona uma reserva de água pluvial a ser disponibilizada posteriormente para uso da vegetação. Além disso, observou-se que os locais onde foi necessário instalar retalhos do tapete de grama para cobertura total da superfície foram os pontos da vegetação que mais apresentaram sinais de degradação.

O intuito desta pesquisa era o de interferir o menos possível nos protótipos durante o período de monitoramento, para que se obtivesse uma boa compreensão de como a vegetação se estabeleceria nos protótipos, e da capacidade de retenção pluvial que os protótipos apresentariam em diversas intempéries, em condições naturais o mais real possível. Entretanto, em virtude do período de seca ocorrido logo após o plantio da vegetação, optou-se por realizar irrigações nos protótipos, a fim de preservação da vegetação. As irrigações foram realizadas através de água encanada, disponibilizada no exterior das instalações do INMET, dentro do campus politécnico da UFPR. Cada irrigação teve seu volume medido e contabilizado como entrada de água nos protótipos, entretanto, tomou-se cuidado para que não fosse realizado irrigações nos protótipos próximo aos dias em que seriam realizadas coletas dos escoamentos para realização dos ensaios em laboratório, para que esta água de irrigação não acarretasse em eventuais contaminações na qualidade dos escoamentos.

Os protótipos continuaram sendo tratados com eventuais regas por todo o mês de abril, que apresentou leves garoas do dia 14 ao dia 18, mantendo a vegetação em condição semelhante à apresentada na Figura 33 pelo restante do mês.

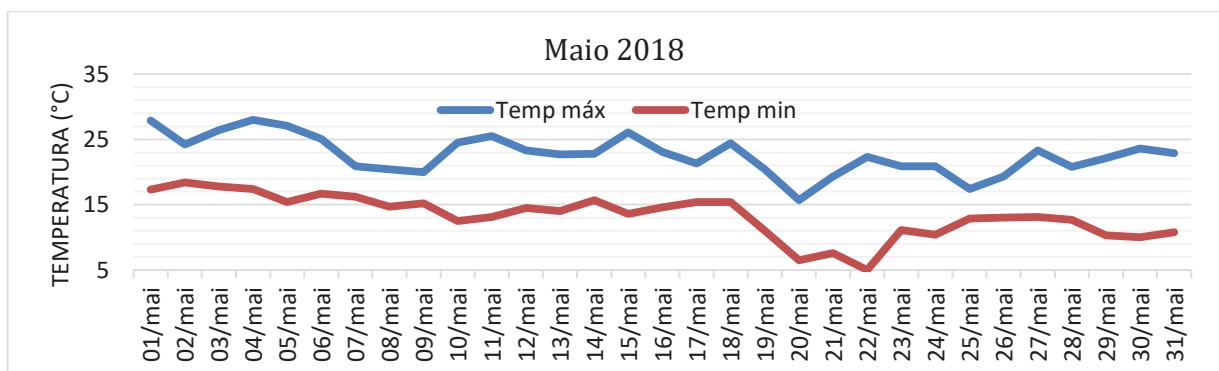
A partir do mês de maio, a previsão climatológica divulgada pelo INMET e outras fontes meteorológicas apresentava alta probabilidade de chuva (em torno de 80%) diariamente, o que não ocorreu, continuando-se em um período de seca, conforme ilustrado na Figura 34. O mês de maio também apresentou valores mais amenos de temperatura, comparado com o mês de abril, conforme indicado Figura 35.

Figura 34 - Valores de chuva apresentados durante o mês de maio de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

Figura 35 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de maio de 2018



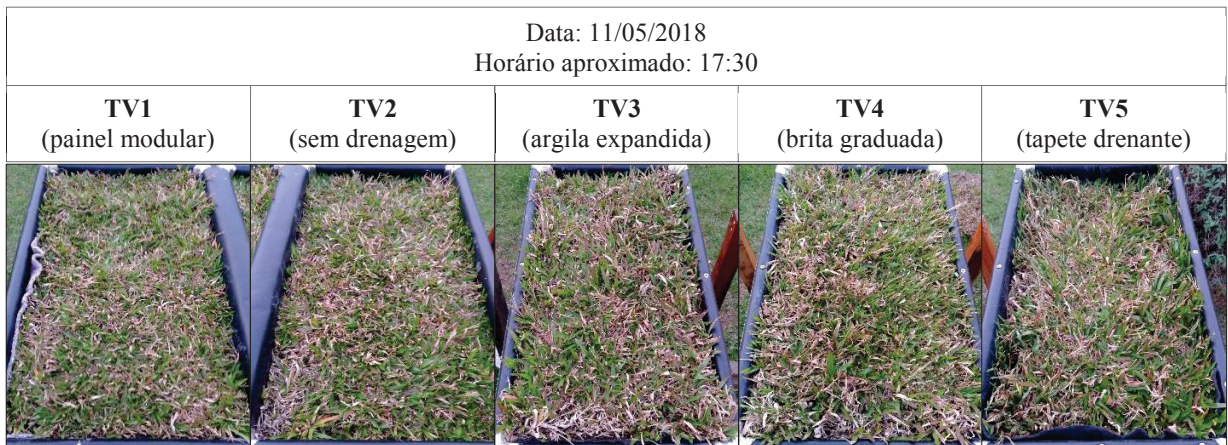
Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

Com a intensão de não intervir nos resultados monitorados nos protótipos de telhado verde, e a previsão indicando chuva diariamente, a quantidade de irrigações realizadas nos protótipos foi



diminuída, o que os levou a vegetação a um estresse hídrico visualmente maior observado em todos os protótipos de telhado verde, a partir do dia 11/05, conforme ilustrado na Figura 36, uma vez que os telhados apresentaram maiores pontos de vegetação esbranquiçada e seca que anteriormente.

Figura 36 – Aumento do estresse hídrico na camada vegetal observado a partir do dia 11/05



Fonte: Autoria própria (2019).

Após o evento de chuva ocorrido no dia 19/05, onde foi precipitado um volume de 20 mm, houve uma leve melhora na vegetação dos protótipos, que é indicado pela substituição da vegetação, posteriormente seca e esbranquiçada (Figura 36), por uma vegetação mais espessa de coloração verde ou marrom (Figura 37).

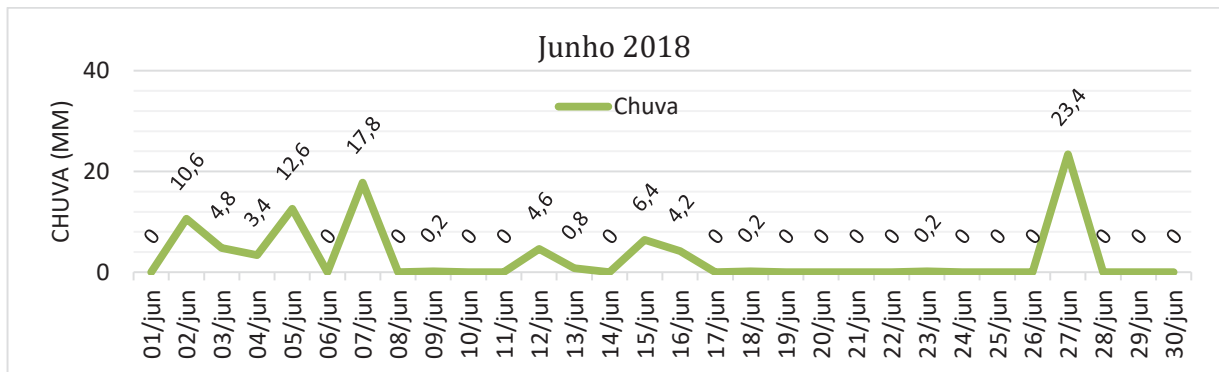
Figura 37 – Melhora visual da saúde da vegetação observado a partir do dia 23/05



Fonte: Autoria própria (2019).

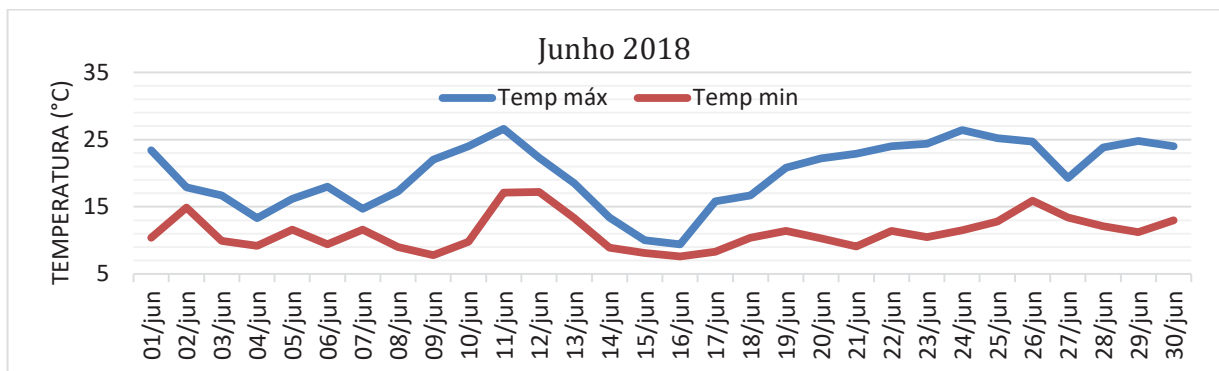
O restante do mês de maio continuou sem apresentar eventos de chuva significativos. Já no mês de junho, a quantidade de chuva precipitada aumenta na primeira metade do mês (Figura 38). Com o início da estação de inverno, também são apresentadas temperaturas mais amenas (Figura 39).

Figura 38 - Valores de chuva apresentados durante o mês de junho de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

Figura 39 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de junho de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

Com eventos de chuva mais frequentes e temperaturas mais baixas, não foram realizadas irrigações durante o mês de junho, com as vegetações se mantendo estáveis até metade de julho.

O mês de julho foi o mês de maior seca durante o período de monitoramento, com um total de chuva mensal de 4,2 mm, e temperaturas similares ao mês de junho, conforme apresentado nas Figura 40 e Figura 41. Entretanto, durante este período decidiu-se não realizar irrigações nos



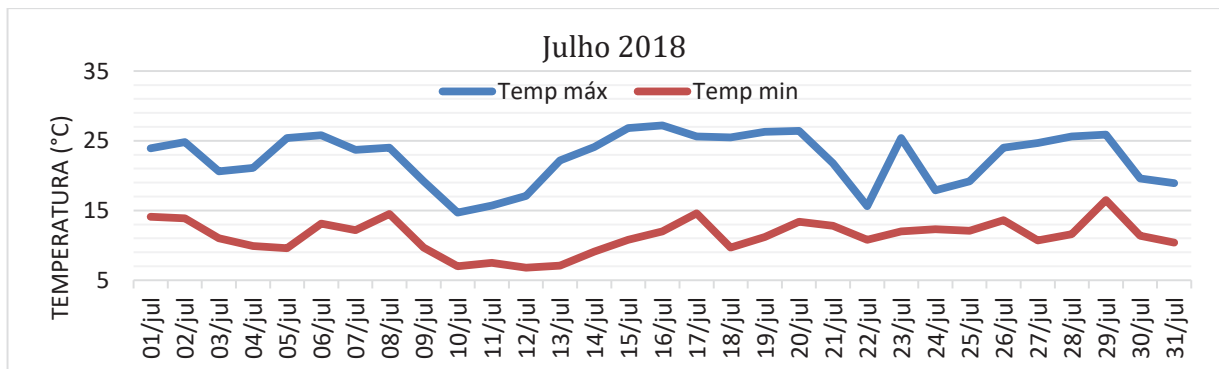
protótipos para observação de como a vegetação iria se adaptar, uma vez que a camada de vegetação já estava mais estabilizada no sistema.

Figura 40 - Valores de chuva apresentados durante o mês de julho de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

Figura 41 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de julho de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

Como resultado, as vegetações começam a apresentar uma degradação visual mais intensa em todos os protótipos de telhado verde a partir do final do mês, tendo praticamente toda a área folicular ficado seca e com coloração esbranquiçada e marrom, principalmente do protótipo TV4, conforme indicado na Figura 42.

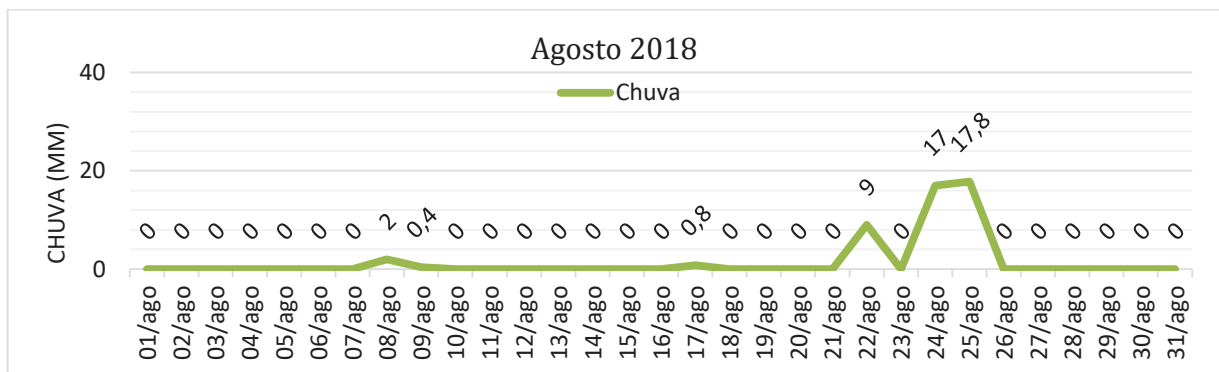
Figura 42 – Degradação da camada vegetal observado a partir de 31/07



Fonte: Autoria própria (2019).

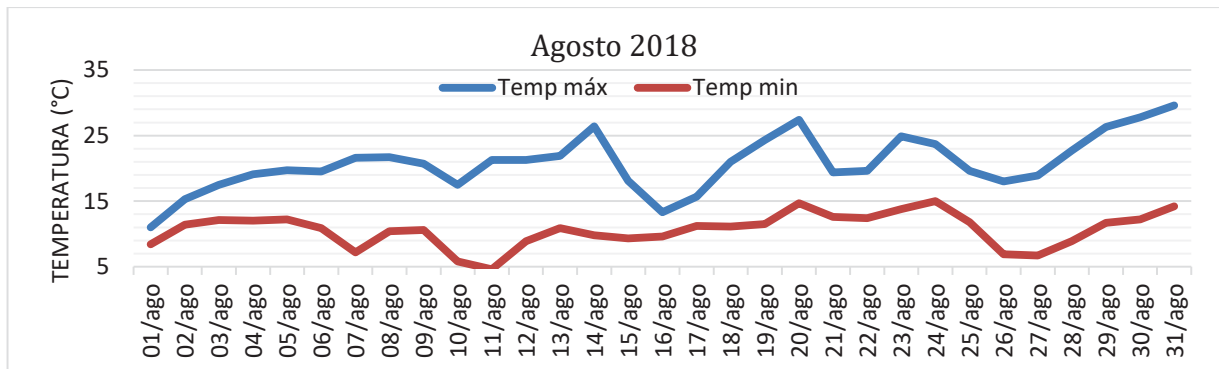
Durante o mês de agosto um total de 49,6 mm foi precipitado, dividido entre algumas chuvas de leve intensidade (até 4 mm/dia) no início do mês, e duas chuvas de 17 e 17,8 mm nos dias 24 e 25, respectivamente, como ilustrado na Figura 43. As temperaturas permaneceram amenas, característica da estação, conforme ilustrado na Figura 44. Entretanto, as vegetações continuaram apresentando sintomas de estresse hídrico, principalmente no protótipo TV4, cuja camada vegetal teve toda a sua cobertura seca com coloração marrom (Figura 42). As vegetações se mantiveram na mesma condição apresentada pela Figura 42 até as chuvas dos dias 21 a 25.

Figura 43 - Valores de chuva apresentados durante o mês de agosto de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

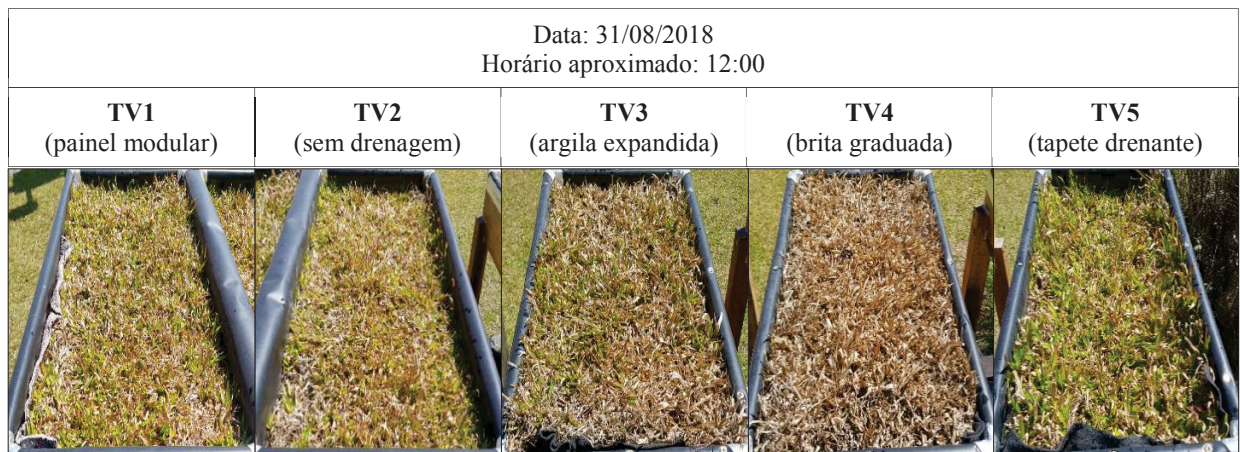
Figura 44 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de agosto de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

Após os eventos de chuva no final do mês, os protótipos TV1, TV2, TV3 e TV5 apresentaram sinais de recuperação da vegetação, voltando a coloração verde em maiores áreas. Entretanto, a vegetação do protótipo TV4 continuou apresentando sinais de degradação, passando da coloração marrom e folhas levemente secas (Figura 42), para uma vegetação esbranquiçada e quebradiça, conforme indicado na Figura 45.

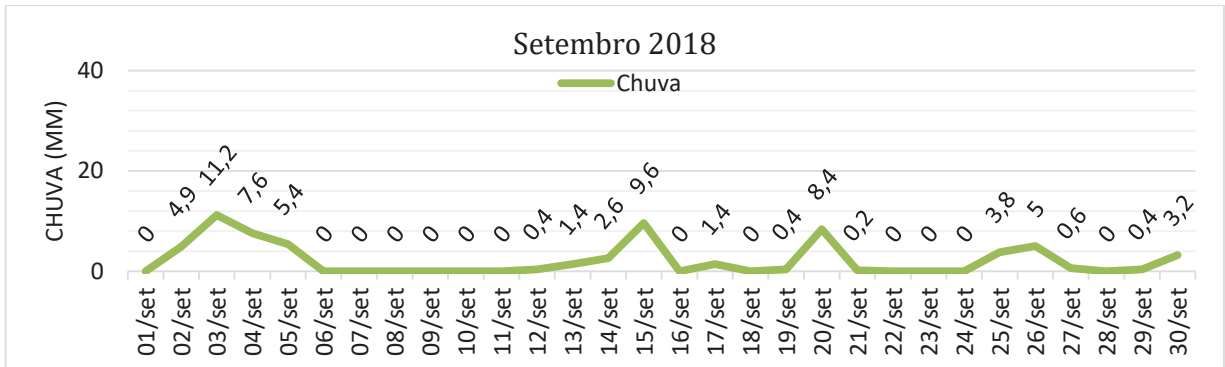
Figura 45 - Condição da camada vegetal no dia 31/08



Fonte: Autoria própria (2019).

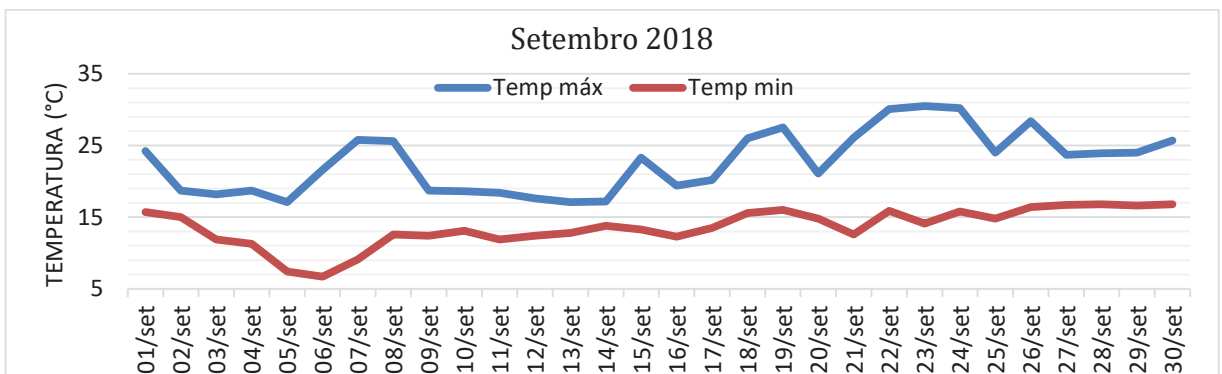
O mês de setembro apresentou um total precipitado de 43,8 mm, dividido entre várias chuvas de intensidade baixa e moderada ao longo do mês, sendo a maior intensidade de precipitação entre os dias 02 a 05, com 11,2 mm e 7,6 mm nos dias 3 e 4, respectivamente (Figura 46). Já a temperatura começa a aumentar após a segunda metade do mês, com o início da estação da primavera, no dia 23 de setembro (Figura 47).

Figura 46 - Valores de chuva apresentados durante o mês de setembro de 2018



Fonte: Aatoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

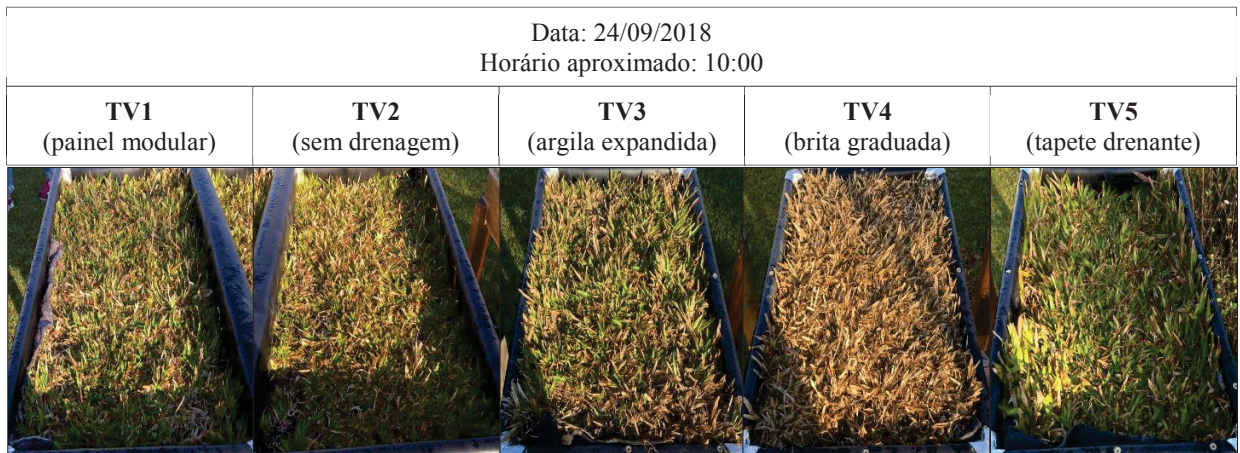
Figura 47 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de setembro de 2018



Fonte: Aatoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

Durante a primeira metade do mês, as vegetações se mantiveram na mesma condição anterior, conforme apresentado na Figura 45. A partir do dia 24/09 observou-se uma melhora da saúde das camadas vegetais, principalmente no protótipo TV4, onde a vegetação que estava anteriormente quebradiça e esbranquiçada, voltou para uma textura mais espessa e de coloração marrom, conforme apresentado na Figura 48.

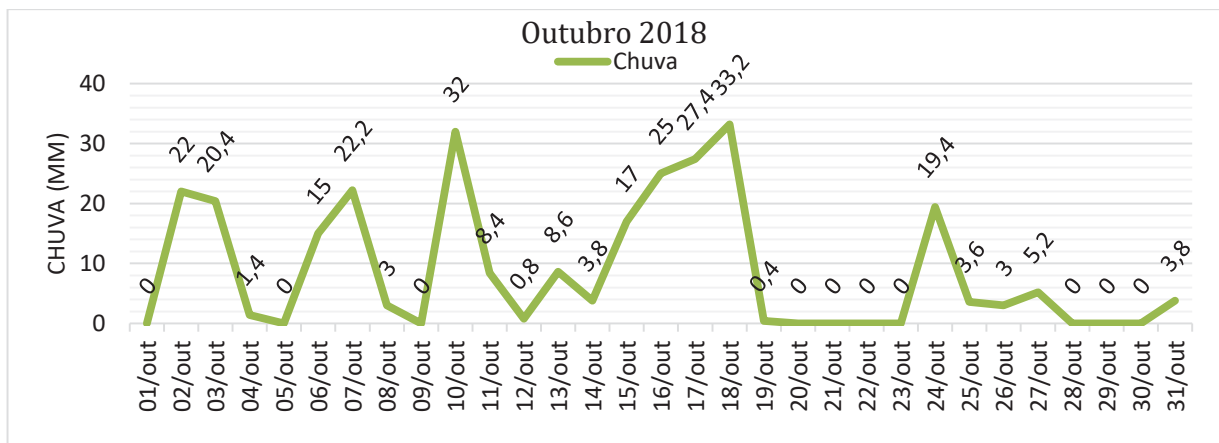
Figura 48 - Condição da camada vegetal no dia 31/08



Fonte: Autoria própria (2019).

O mês de outubro apresentou um volume total de precipitação de 220 mm, com várias chuvas de intensidade alta e moderada durante o mês, sendo o período de 10 a 19 de outubro o mais intenso, com chuvas diárias e valores precipitados de 17 mm, 25 mm, 27,4 mm e 33,2 mm dos dias 15 a 18, respectivamente (Figura 49). A temperatura apresentou bastante variação, tendo vários picos mais quentes e frios durante o mês (Figura 50).

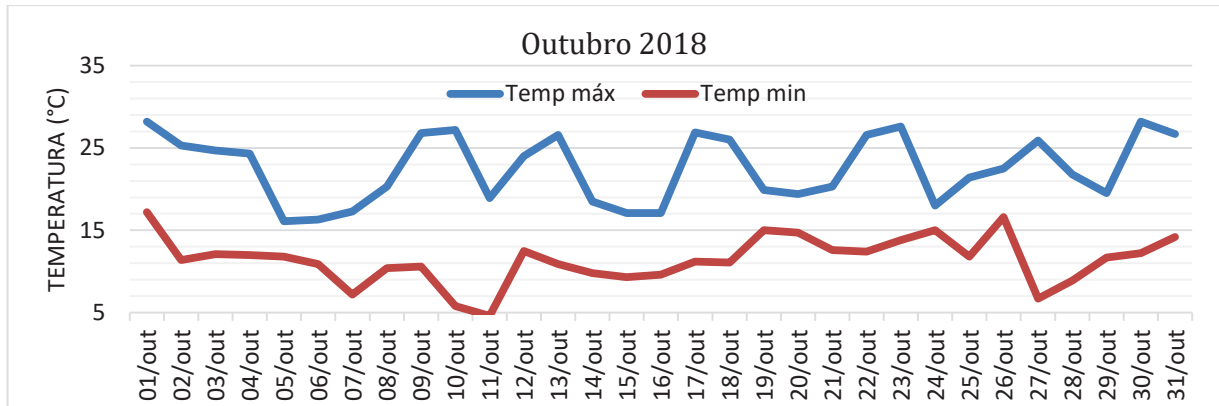
Figura 49 - Valores de chuva apresentados durante o mês de outubro de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).



Figura 50 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de outubro de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

Com o aumento da entrada de água nos protótipos e períodos com temperaturas mais amenas as vegetações dos protótipos começaram a apresentar uma recuperação da sua condição, observada pelo aumento de vegetação verde, inclusive com o surgimento de brotos de grama no protótipo TV4, conforme indicado na Figura 51.

Figura 51 - Condição da camada vegetal no dia 08/10, com identificação do aparecimento de vegetação espontânea no protótipo TV4

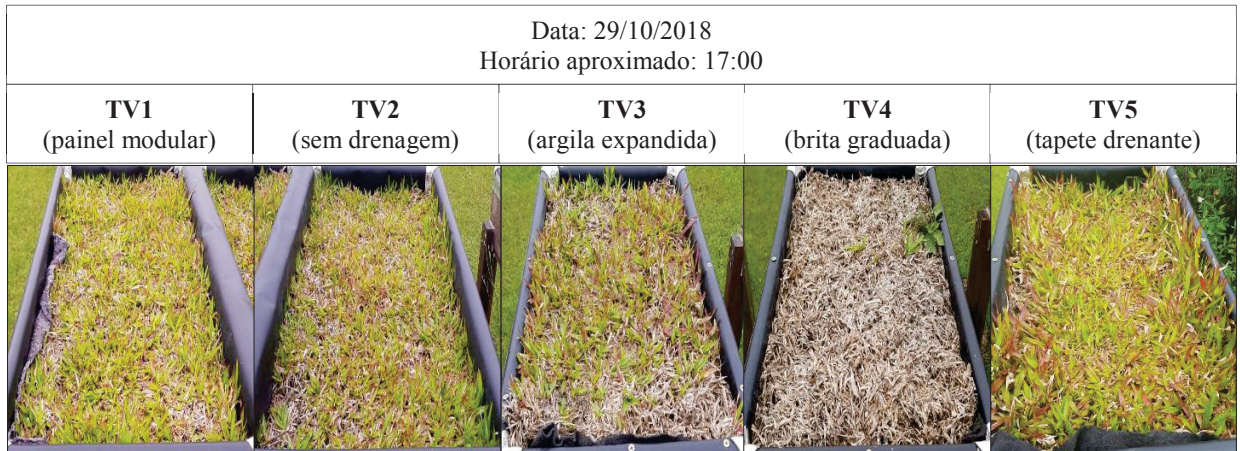


Fonte: Autoria própria (2019).

Também se observa o surgimento de uma vegetação diferente da grama plantada no protótipo TV4. A partir do dia 29/10 a vegetação espontânea do protótipo TV4 começa a se tornar mais evidente, conforme apresentado na Figura 52.



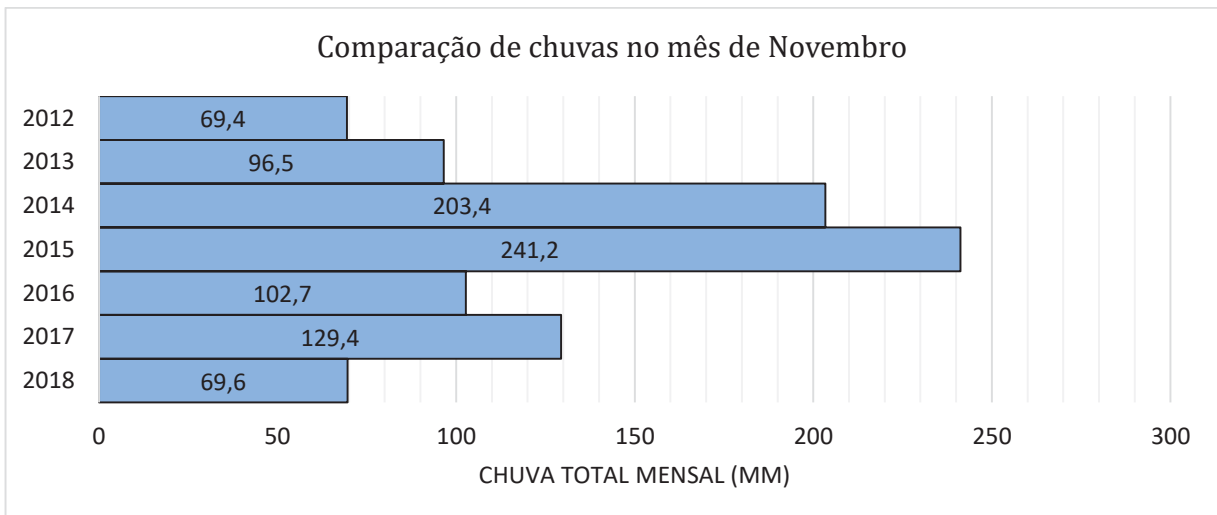
Figura 52 - Condição da camada vegetal no dia 29/10



Fonte: Autoria própria (2019).

No mês de novembro, novamente ocorreu um período atípico de seca, com um total precipitado de 69,6 mm, valor abaixo dos últimos cinco anos anteriores, conforme ilustrado na Figura 53.

Figura 53 - Comparação do total de chuva precipitados no mês de novembro dos anos de 2012 a 2018

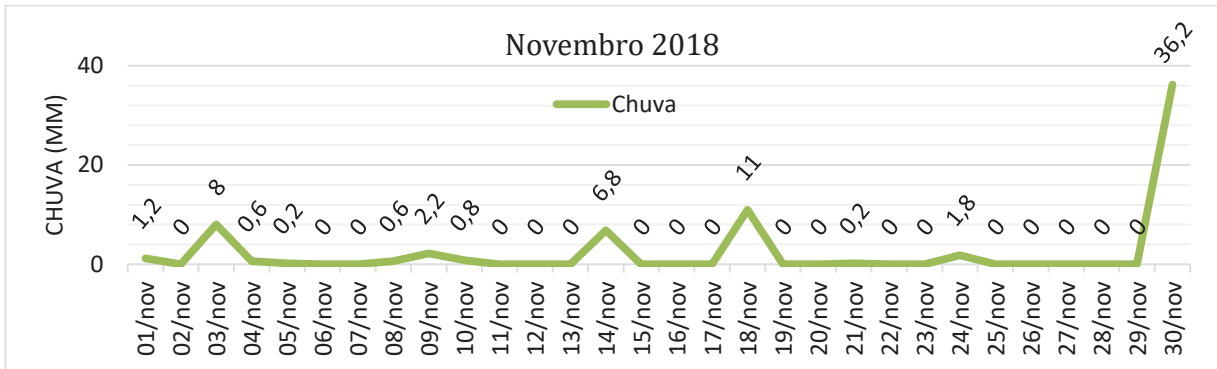


Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

O mês apresentou, em geral, algumas chuvas de baixa intensidade e pouca frequência, e uma chuva forte com volume total precipitado de 36,2 mm durante o dia 30/11, como ilustrado na Figura 54. Já as temperaturas começam a subir, como apresentado na Figura 55, chegando a picos de temperatura máxima no valor de 31,2°C no dia 14 de novembro. As temperaturas mínimas

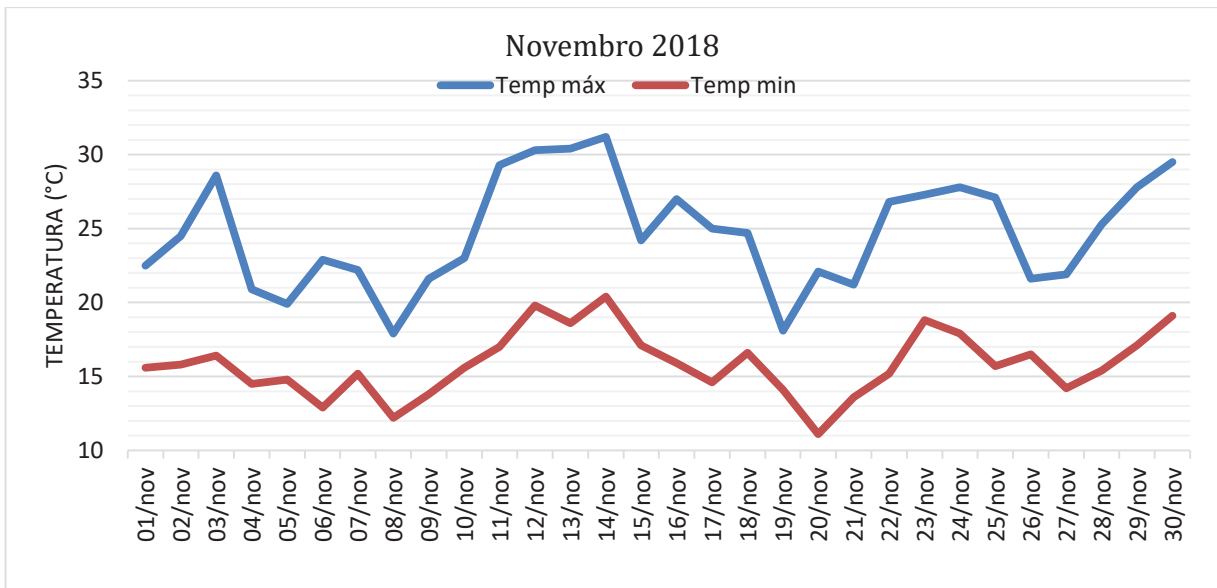
também começam a apresentar valores mais elevados, em comparação com os meses anteriores de inverno e primavera.

Figura 54 - Valores de chuva apresentados durante o mês de novembro de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

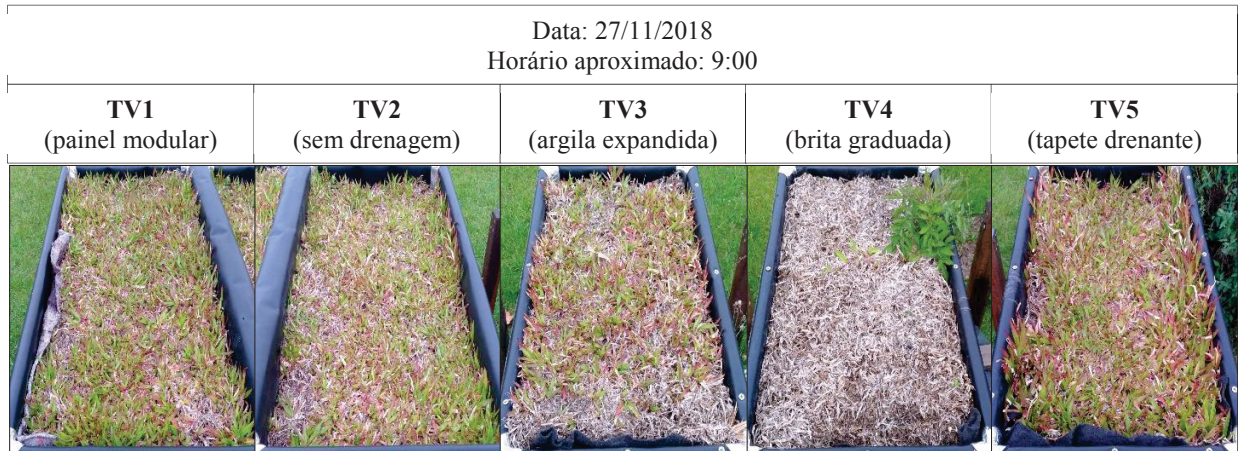
Figura 55 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de novembro de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

A vegetação se manteve estável a seu estado anteriormente apresentado na Figura 52 até aproximadamente metade do mês de novembro. A partir do dia 27 observou-se que todos os protótipos começaram a apresentar algum grau de vegetação mais esbranquiçada e seca que anteriormente, com maior intensidade no protótipo TV3, conforme indicado na Figura 56, consequência do período de estiagem e temperaturas elevadas apresentado durante o mês.

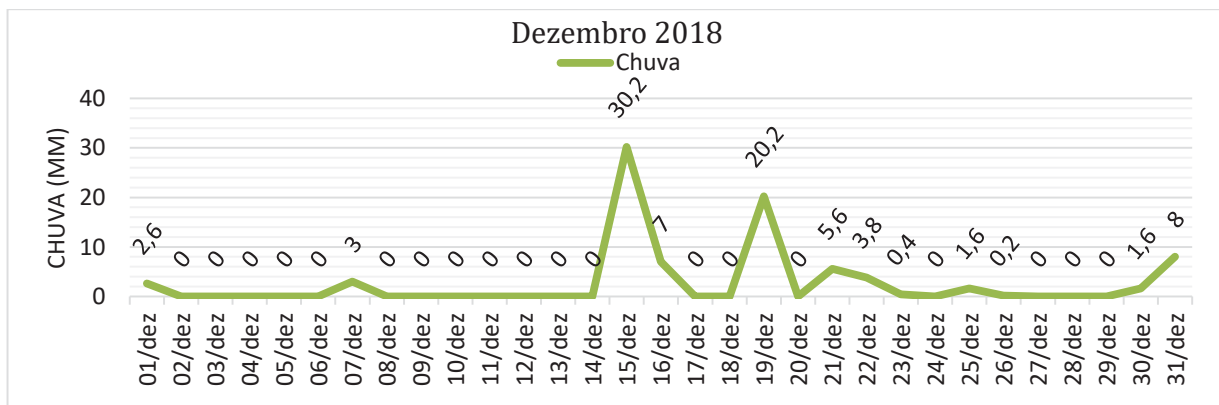
Figura 56 - Condição da camada vegetal no dia 27/11



Fonte: Autoria própria (2019).

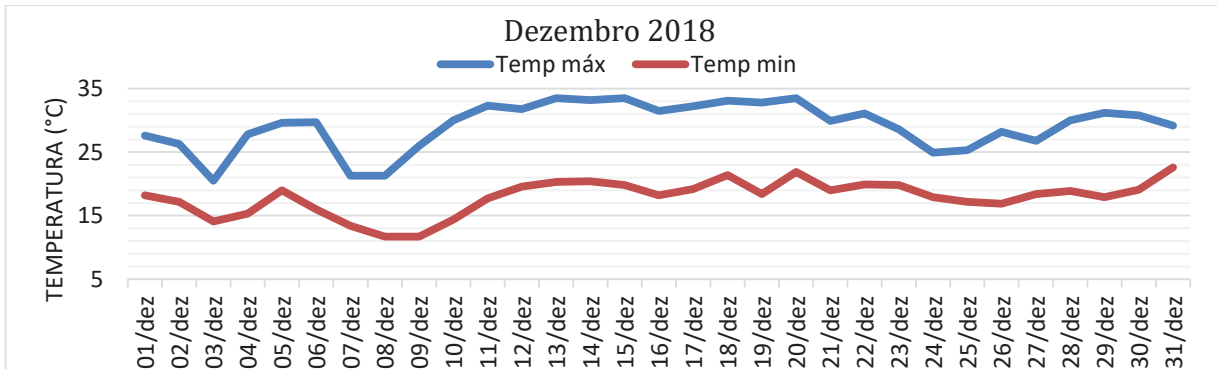
O monitoramento foi interrompido a partir do dia 15/12, onde as vegetações se encontravam em mesmo estado anteriormente apresentado na Figura 56, e retomado a partir do dia 13 de janeiro de 2019. Durante esse período, na segunda metade do mês de dezembro houveram algumas chuvas de intensidade forte, como nos dias 15 e 19, com valor precipitado de 30,2 mm e 20,2 mm, respectivamente. No restante dessa quinzena, algumas chuvas de baixa intensidade ocorreram em intervalos frequentes (Figura 57). O mês de dezembro também apresentou temperaturas elevadas, com os maiores valores de temperatura máxima obtidos durante todo o período de monitoramento dos protótipos, conforme ilustrado na Figura 58.

Figura 57 - Valores de chuva apresentados durante o mês de dezembro de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

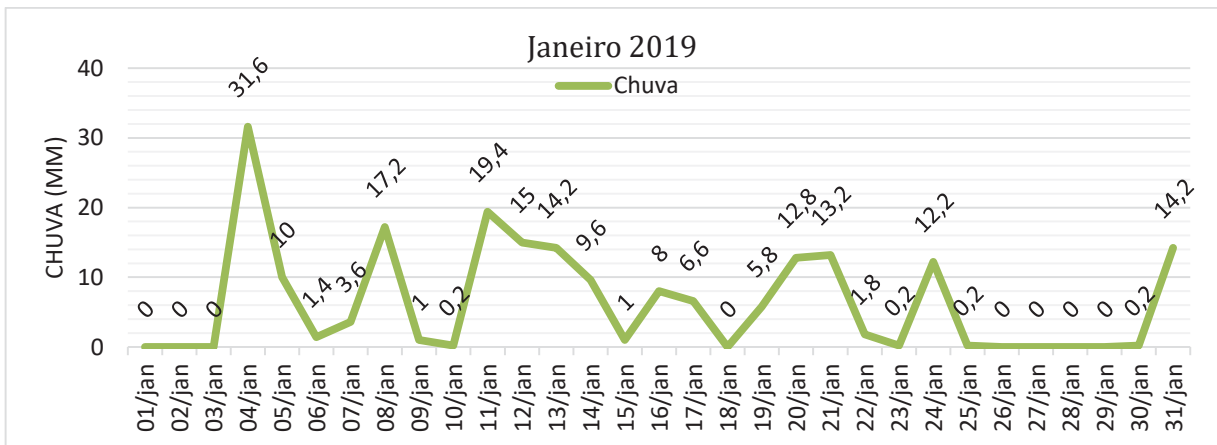
Figura 58 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de dezembro de 2018



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

Durante o início de janeiro de 2019, ocorreram chuvas diárias entre 4 a 12 de janeiro, sendo o maior valor precipitado no dia 4 de janeiro, com um volume de 31,6 mm de chuva. A partir do dia 13 de janeiro, o monitoramento dos protótipos de telhado verde foi retomado. Após o dia 10 houveram três eventos de chuva de valor moderado, nos dias 11, 12 e 13, com valores de precipitação de 19,4 mm, 15 mm e 14,2 mm, respectivamente (Figura 59). Já as temperaturas máximas e mínimas apresentaram valores constantemente elevados (Figura 60), característico da estação de verão.

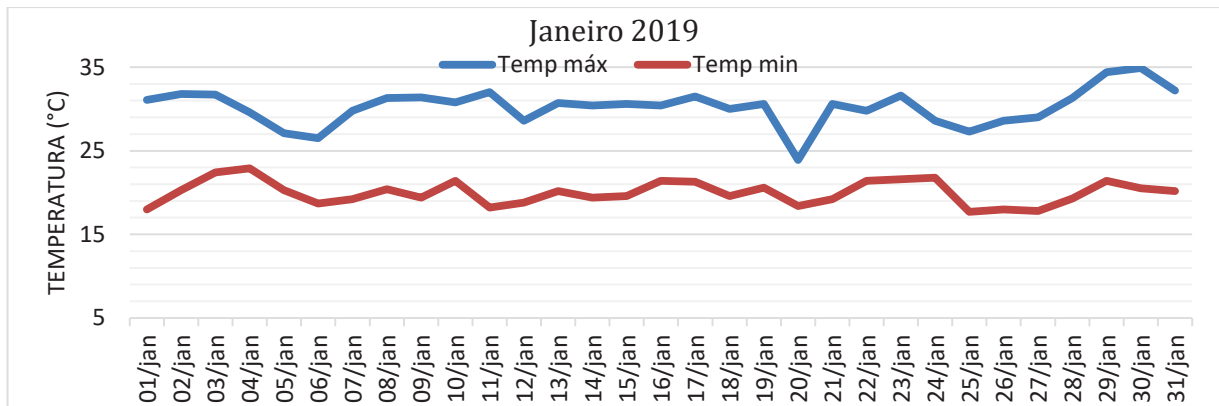
Figura 59 - Valores de chuva apresentados durante o mês de janeiro de 2019



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).



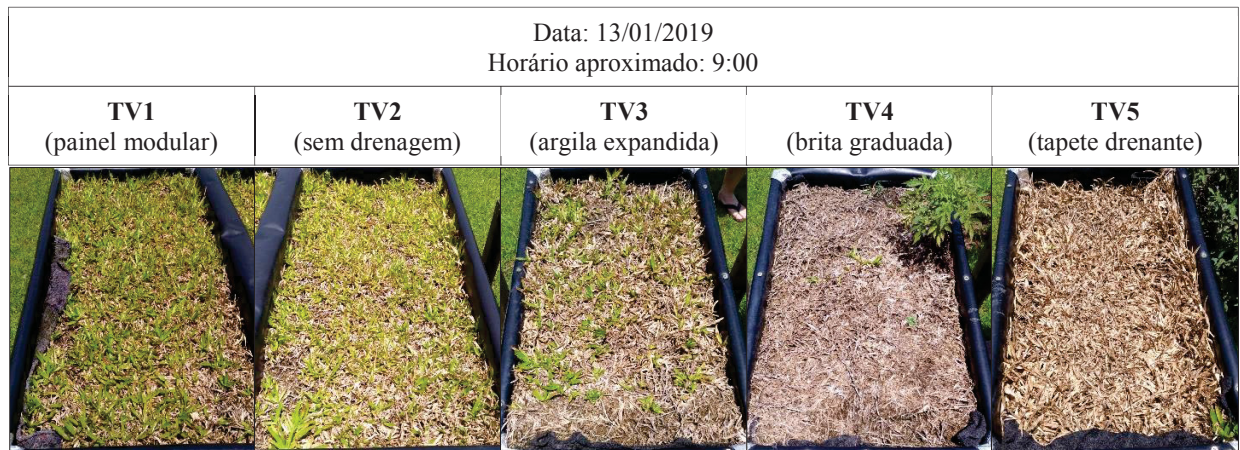
Figura 60 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de janeiro de 2019



Fonte: Autoria Própria com base dos dados históricos do INMET (2019).

As vegetações dos protótipos TV1 e TV2 continuavam similares a sua condição anterior, apresentada na Figura 56. O protótipo TV3 apresentou vegetação mais seca e esbranquiçada em algumas áreas maiores que anteriormente. A grama do protótipo TV4 continuou em situação semelhante a anterior, com alguns pontos de grama rebrotando, com a vegetação espontânea mais desenvolvida. Já a vegetação do protótipo do TV5 apresentou alto grau de degradação, com sua cobertura praticamente total tendo ficado esbranquiçada e seca, conforme indicado na Figura 61.

Figura 61 - Condição da camada vegetal no dia 13/01



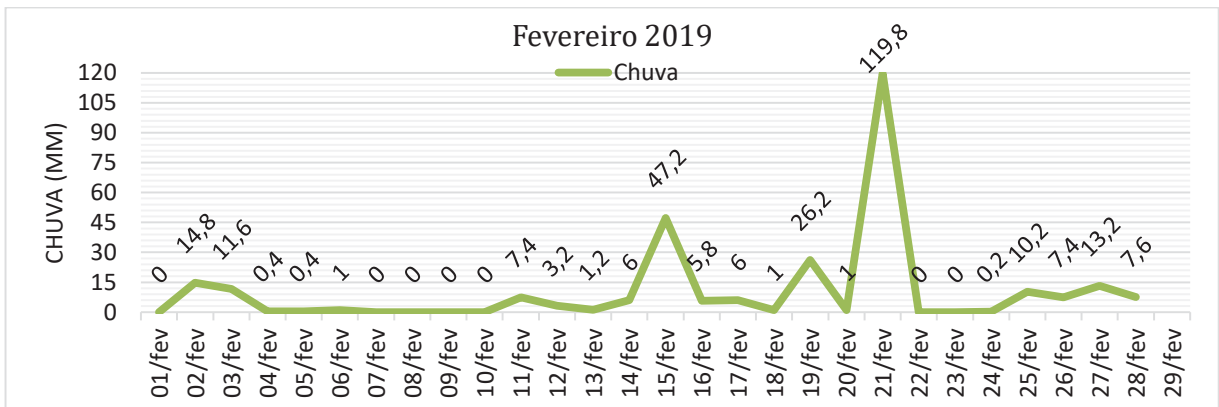
Fonte: Autoria própria (2019).

O restante do mês de janeiro continuou com chuvas de baixa intensidade quase diárias, com exceção entre os dias 26 a 29, onde não houve chuva. As vegetações dos protótipos TV1, TV2, TV3 e TV4 continuaram em situação semelhante a anterior (Figura 61), com a vegetação invasora do protótipo TV4 continuando a se desenvolver. Já no protótipo TV5, observa-se o aparecimento

de broto de uma nova espécie de vegetação, diferente da grama plantada na camada de vegetação, do mesmo jeito que aconteceu com o protótipo TV4.

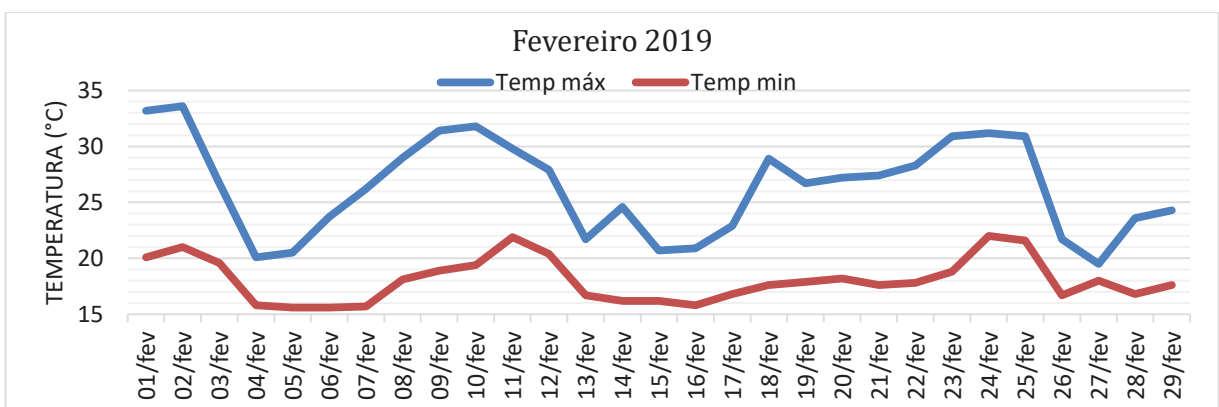
No mês de fevereiro chuvas de intensidade baixa e moderada ocorreram em intervalos frequentes, com uma chuva de valor intenso durante o dia 15 de fevereiro, com um volume total de 47,2 mm, e no dia 22 de fevereiro, com um total precipitado de 119,8 mm. Na metade do mês as vegetações se encontravam em situação semelhante a anteriormente apresentada, com maior desenvolvimento das vegetações espontâneas nos protótipos TV4 e TV5, conforme indicado na Figura 64.

Figura 62 – Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de fevereiro de 2019



Fonte: Autoria própria (2019).

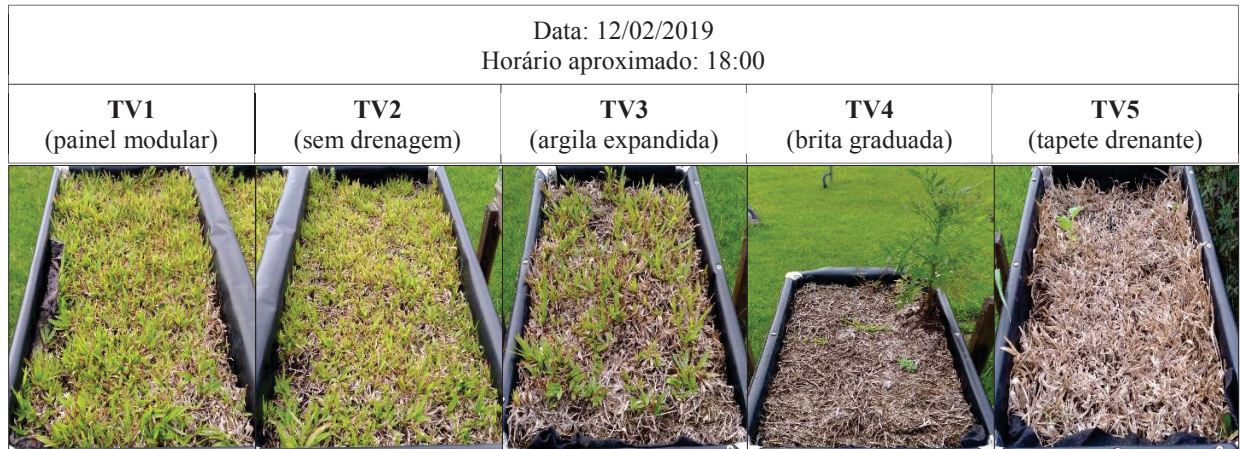
Figura 63 - Valores de temperatura máxima e mínima apresentados durante o mês de fevereiro de 2019



Fonte: Autoria própria (2019).



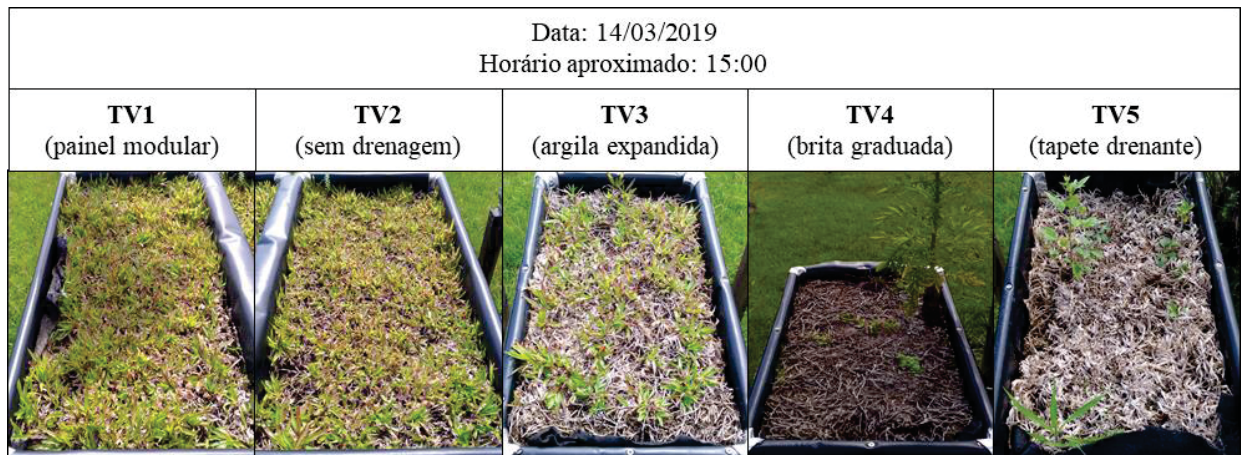
Figura 64 - Condição da camada vegetal no dia 12/02



Fonte: Autoria própria (2019).

As vegetações se mantiveram em estado similar ao apresentado na Figura 64 até aproximadamente metade do mês de março, com crescimento acentuado das vegetações espontâneas nos protótipos TV4 e TV5, conforme indicado na Figura 65.

Figura 65 - Condição da camada vegetal no dia 14/03



Fonte: Autoria própria (2019).

#### 4.2 DESEMPENHO DE RETENÇÃO PLUVIAL

O monitoramento de retenção pluvial dos protótipos de telhado verde teve início junto com o monitoramento de desenvolvimento da vegetação, no dia 28 de março de 2018. No total, 11 meses foram monitorados, divididos entre 44 eventos de chuva. Para fins de comparação, os resultados serão apresentados por estação climática.

A primeira estação climática monitorada foi o outono de 2018, que segundo INMET, teve início no dia 20 de março de 2018. Os eventos monitorados dentro desta estação englobam do evento 1 ao 15, entre o dia 28/03 até 21/06. Os valores de leitura de escoamento medidos nos protótipos de telhado verde, juntamente com os dados de data e horário de leitura, entre os eventos 1 a 15 são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Dados de leitura de escoamento para os eventos 1 a 14

Nº evento	Volume escoado (L)					Data leitura	Horário de leitura aproximado
	TV 1	TV 2	TV 3	TV 4	TV 5		
1	15	19	9,5	11	9	02/abr	08:15
2	0	0	0	0	0	06/abr	13:10
3	0	1,9	0,5	2,5	1,2	14/abr	11:30
4	0	0	0	0	0	20/abr	08:55
5	0	0	0	0	0	30/abr	08:15
6	0	0	0	0	0	09/mai	10:55
7	0	0	0	0	0	11/mai	17:20
8	0	0	0	0	0	17/mai	11:50
9	*	*	3	3,5	2	20/mai	14:30
10	0	0	0	0	0	29/mai	09:30
11	6	6	2,4	2,5	1,4	03/jun	16:15
12	6,5	7	3,1	2,5	3,1	06/jun	12:30
13	8,5	8,5	4	4,3	4	08/jun	18:20
14	4,3	5,1	1,5	1,5	1,8	21/jun	09:40

\* problema com a mangueira de escoamento dos protótipos, impedindo a leitura de escoamento

Fonte: Autoria própria (2019).

Conforme apresentado no item 3.3.3 do capítulo 3 a partir dos dados de chuva disponibilizados pelo INMET e da contabilização do volume de água utilizado para irrigação dos protótipos, calcula-se o valor de entrada de água total em cada telhado. Esse valor junto com os valores medidos de total de escoamento em cada protótipo gera o valor de porcentagem de retenção

de escoamento, apresentado na Tabela 12. As tabelas com os dados climáticos horários de todo o período de monitoramento são encontradas no Apêndice A. Já o Apêndice B apresenta as informações de irrigação realizadas nos telhados.

Tabela 12 - Valores de retenção de escoamento para os eventos de 1 a 14

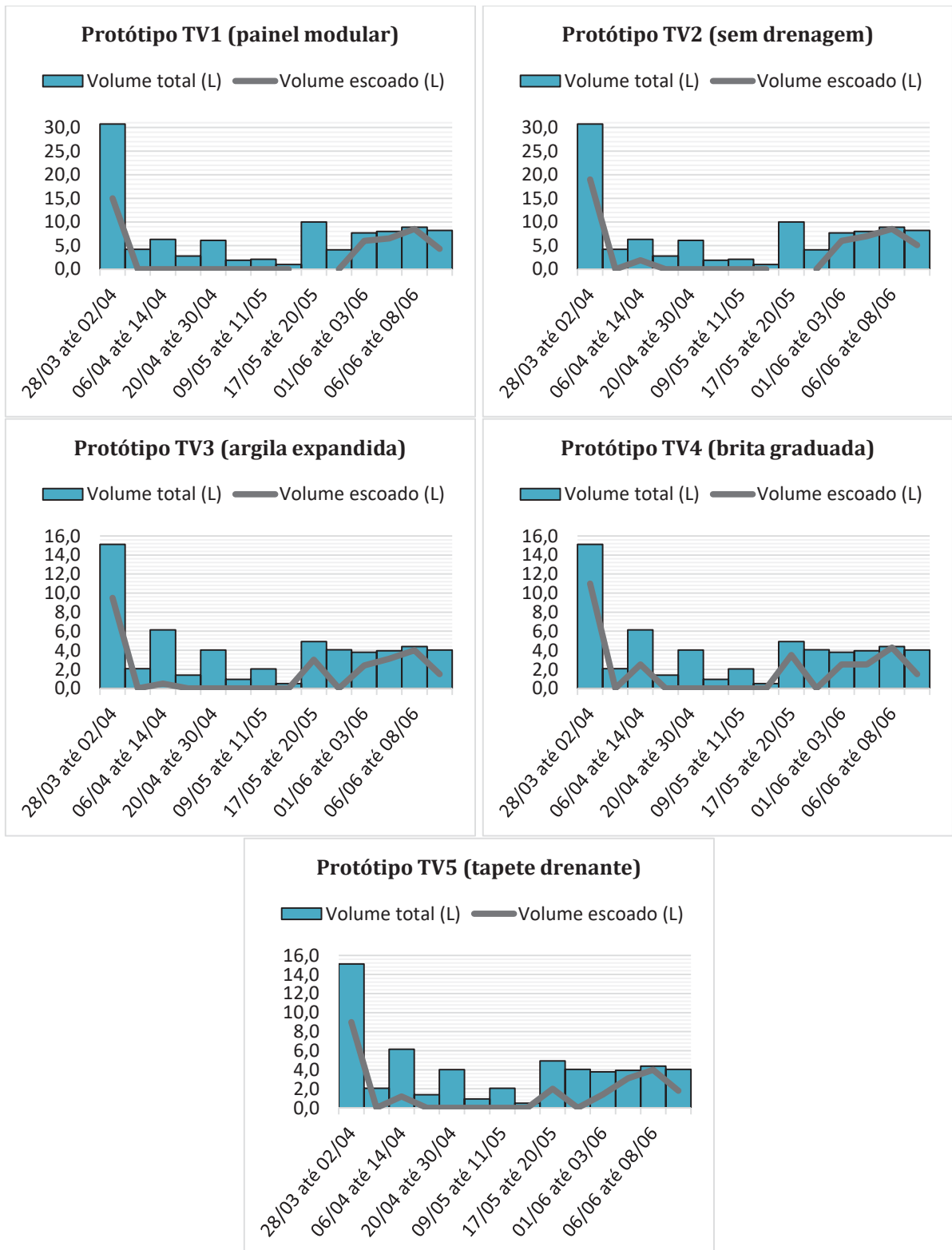
Nº evento	Período do evento	Dias no período	Chuva INMET (L)	Volume de irrigação (L)	Volume Total em TV1 e T2 (L)	Volume Total em TV1, 2 e 3 (L)	Retenção do escoamento (%)				
							TV 1	TV 2	TV 3	TV 4	TV 5
1	28/03 até 02/04	5	61,4	0,0	30,7	15,1	51,1	38,1	37,1	27,2	40,4
2	02/04 até 06/04	4	8,4	0,0	4,2	2,1	100	100	100	100	100
3	06/04 até 14/04	8	0,6	6,0	6,3	6,1	100	69,8	91,9	59,3	80,5
4	14/04 até 20/04	6	5,6	0,0	2,8	1,4	100	100	100	100	100
5	20/04 até 30/04	10	8,2	2,0	6,1	4,0	100	100	100	100	100
6	30/04 até 09/05	9	3,8	0,0	1,9	0,9	100	100	100	100	100
7	09/05 até 11/05	2	0,2	2,0	2,1	2,0	100	100	100	100	100
8	11/05 até 17/05	6	2,0	0,0	1,0	0,5	100	100	100	100	100
9	17/05 até 20/05	2	20,0	0,0	10,0	4,9	*	*	39,1	28,9	59,4
10	20/05 até 29/05	3	0,2	4,0	4,1	4,0	100	100	100	100	100
11	01/06 até 03/06	2	15,4	0,0	7,7	3,8	22,1	22,1	36,7	34,0	63,1
12	03/06 até 06/06	3	16,0	0,0	8,0	3,9	18,8	12,5	21,3	36,5	21,3
13	06/06 até 08/06	2	17,8	0,0	8,9	4,4	4,5	4,5	8,7	1,8	8,7
14	08/06 até 21/06	13	16,4	0,0	8,2	4,0	47,6	37,8	62,8	62,8	55,4

\*problema com a mangueira de escoamento dos protótipos, impedindo a leitura de escoamento

Fonte: Autoria própria (2019).

A quantidade de volume total de entrada (água de chuva mais irrigação), e o volume de saída de escoamento de cada protótipo de telhado verde, para o período de 28/03 até 21/06 de 2018 é ilustrado na Figura 66.

Figura 66 – Ilustração da quantidade de água de entrada e saída dos protótipos na estação outono



Fonte: Autoria própria (2019)

O volume de retenção média apresentado pelos protótipos de telhado verde para o período da estação de outono é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores da média de retenção de escoamento para o período de outono

<b>Média do escoamento (%)</b>				
<b>TV 1 (painel modular)</b>	<b>TV 2 (sem drenagem)</b>	<b>TV 3 (argila expandida)</b>	<b>TV 4 (brita graduada)</b>	<b>TV 5 (tapete drenante)</b>
72,6	68,1	71,3	67,9	73,5

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir dos dados obtidos durante a estação de outono, observa-se que em eventos com pouco índice de precipitação, ou com eventos de chuva com intervalos longos entre si, os protótipos apresentaram uma boa capacidade de redução pluvial, uma vez que 7 dos 14 eventos monitorado nesta estação apresentaram taxa de porcentagem de retenção pluvial de 100%, para volumes de chuva menores que 10 mm. Atenta-se para a diferença de resultados de retenção de escoamento obtidos entre os eventos 12 e 14, que apesar de apresentarem uma quantidade total de chuva similar (16 e 16,4 mm/m<sup>2</sup>, respectivamente), o intervalo do evento foi diferente (3 e 13 dias), resultando em uma diferença na porcentagem de retenção de escoamento entre os eventos. Essa diferença é explicada pelo fato de que o evento 14 ter um maior intervalo entre chuvas para o telhado realizar o processo de evapotranspiração, resultando em uma retenção de escoamento bastante superior que o evento 13, que teve seu volume de chuva precipitado em apenas 3 dias. Em geral, a comparação das médias de retenção pluvial total para este primeiro período de monitoramento não apresenta uma diferença de valores significativa entre os protótipos de telhado verde.

A estação de inverno teve início no dia 22 de junho de 2018, segundo dados do INMET. Os eventos monitorados dentro dessa estação englobam do evento 15 ao 24. Os valores das leituras de escoamento apresentados pelos protótipos de telhado verde, junto com as datas e horário das leituras são apresentados na Tabela 14. Já os dados de duração dos eventos, quantidade de dias, total de chuva de entrada em cada telhado e os valores em porcentagem de redução de escoamento para cada protótipo são apresentados na Tabela 15.

Tabela 14 - Dados de leitura de escoamento para os eventos 15 a 25

Nº evento	Volume escoado (L)					Data leitura	Horário de leitura aproximado
	TV 1	TV 2	TV 3	TV 4	TV 5		
15	6,0	8,0	4,0	3,5	3,8	07/jul	11:05
16	0,0	0,5	2,0	2,0	2,0	31/jul	15:10
17	0,0	0,0	2,5	2,0	1,5	09/ago	07:50
18	0,0	1,0	2,5	2,0	2,0	23/ago	12:55
19	8,0	13,0	6,5	6,0	7,0	27/ago	08:40
20	0,0	0,0	2,0	0,5	0,5	31/ago	12:50
21	0,3	1,5	0,3	0,3	0,0	03/set	07:30
22	7,0	8,5	3,0	3,0	2,5	11/set	07:45
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13/set	08:35
24	0,5	1,5	0,5	1,0	0,0	17/set	07:35
25	0,5	1,0	0,0	0,5	0,0	24/set	07:30

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 15 - Valores de retenção de escoamento para os eventos de 15 a 25

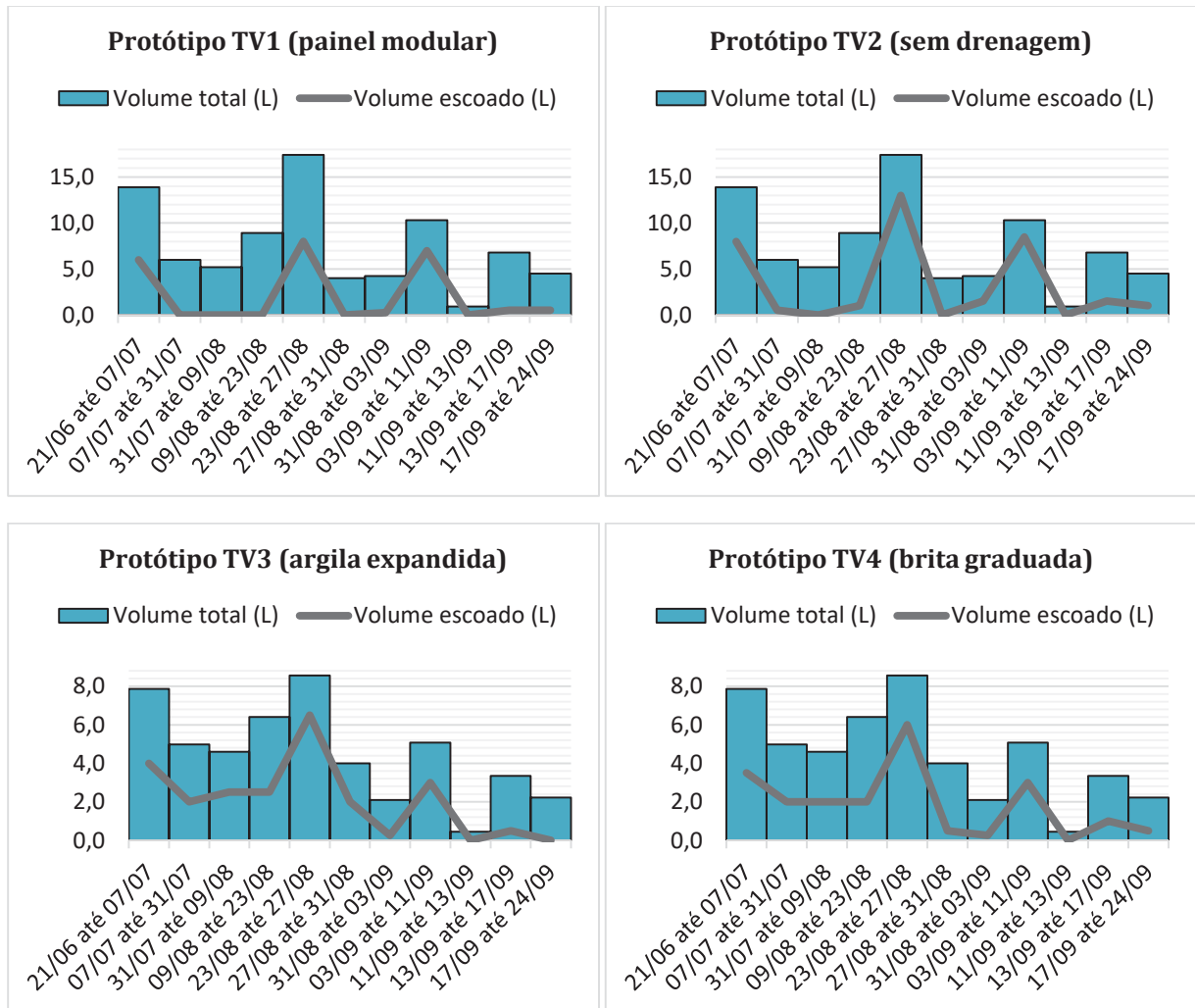
Nº evento	Período do evento	Dias no período	Chuva INMET (L)	Volume de irrigação (L)	Volume Total em TV1 e T2 (L)	Volume Total em TV1, 2 e 3 (L)	Retenção do escoamento (%)				
							TV 1	TV 2	TV 3	TV 4	TV 5
15	21/06 até 07/07	16	23,8	2,0	13,9	7,9	56,8	42,4	49,1	55,5	51,6
16	07/07 até 31/07	24	4	4,0	6,0	5,0	100	91,7	59,9	59,9	59,9
17	31/07 até 09/08	9	2,4	4,0	5,2	4,6	100	100	45,5	56,4	67,3
18	09/08 até 23/08	14	9,8	4,0	8,9	6,4	100	88,8	61,0	68,8	68,8
19	23/08 até 27/08	4	34,8	0,0	17,4	8,6	54,0	25,3	24,1	29,9	18,3
20	27/08 até 31/08	4	0	4,0	4,0	4,0	100	100	50,0	87,5	87,5
21	31/08 até 03/09	3	8,5	0,0	4,3	2,1	94,1	64,7	88,0	88,0	100
22	03/09 até 11/09	8	20,6	0,0	10,3	5,1	32,0	17,5	40,8	40,8	50,7
23	11/09 até 13/09	2	1,8	0,0	0,9	0,4	100	100	100	100	100
24	13/09 até 17/09	4	13,6	0,0	6,8	3,3	92,6	77,9	85,1	70,1	100
25	17/09 até 24/09	7	9	0,0	4,5	2,2	88,9	77,8	100,0	77,4	100

Fonte: Autoria própria (2019).



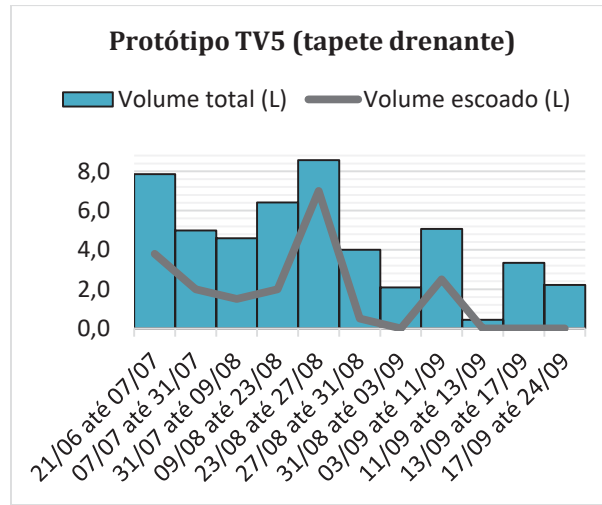
A quantidade de volume total de entrada (água de chuva mais irrigação), e o volume de saída de escoamento de cada protótipo de telhado verde, para o período de 21/06 até 24/09 de 2018 são ilustrados nas Figura 67 e Figura 68.

Figura 67 - Ilustração da quantidade de água de entrada e saída dos protótipos TV1, TV2, TV3 e TV4 na estação inverno



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 68 - Ilustração da quantidade de água de entrada e saída do protótipo TV5 na estação inverno



Fonte: Autoria própria (2019).

O volume de retenção média apresentado pelos protótipos de telhado verde para o período da estação de inverno é apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 - Valores da média de retenção de escoamento para o período de inverno

Média do escoamento (%)				
TV 1 (painel modular)	TV 2 (sem drenagem)	TV 3 (argila expandida)	TV 4 (brita graduada)	TV 5 (tapete drenante)
83,5	71,5	64,0	66,8	73,1

Fonte: Autoria própria (2019).

Como as irrigações são realizadas com um volume que entra de maneira abrupta na área dos telhados, em uma intensidade que geralmente não ocorre nos eventos de chuva natural, o escoamento também tende a ocorrer de uma maneira mais rápida, uma vez que o sistema não tem tempo de absorver e se recuperar da entrada de água. Esses casos podem ser observados nos eventos 16 e 27, que, embora apresente um índice baixo de chuva, as irrigações geraram escoamento, deixando a taxa em porcentagem de retenção pluvial um pouco mais baixa que o observado no restante dos eventos. Em geral, a média desta estação foi a que apresentou maior diferença de porcentagem de retenção de escoamento entre os protótipos de telhado verde, com o protótipo TV1 apresentando a maior taxa de redução pluvial (83,5%), cerca de quase 20% maior que a taxa do protótipo de TV3, com um valor de retenção média de 64%.

A estação da primavera teve início no dia 23 de setembro de 2018, segundo dados do INMET. Os eventos englobados por esta estação vão do número 26 ao 36. Os valores das leituras de escoamento apresentados pelos protótipos de telhado verde, junto com as datas e horário das leituras são apresentados na Tabela 17. Já os dados de duração dos eventos, quantidade de dias, total de chuva de entrada em cada telhado e os valores em porcentagem de redução de escoamento para cada protótipo são apresentados na Tabela 18.

Tabela 17 - Dados de leitura de escoamento para os eventos 26 a 36

Nº evento	Volume escoado (L)					Data leitura	Horário leitura aproximado
	TV 1	TV 2	TV 3	TV 4	TV 5		
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	01/out	07:20
27	18,0	20,0	14,0	14,5	12,0	08/out	09:00
28	18,5	20,5	10,0	8,0	6,5	15/out	07:25
29	18,5	20,0	18,0	18,0	19,0	22/out	08:30
30	8,5	10,0	4,0	4,0	3,0	29/out	17:10
31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	08/nov	09:50
32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12/nov	07:20
33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19/nov	07:20
34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22/nov	11:40
35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28/nov	07:15
36	4,5	8,5	6,0	4,5	4,5	15/dez	14:00

Fonte: Autoria própria (2019).

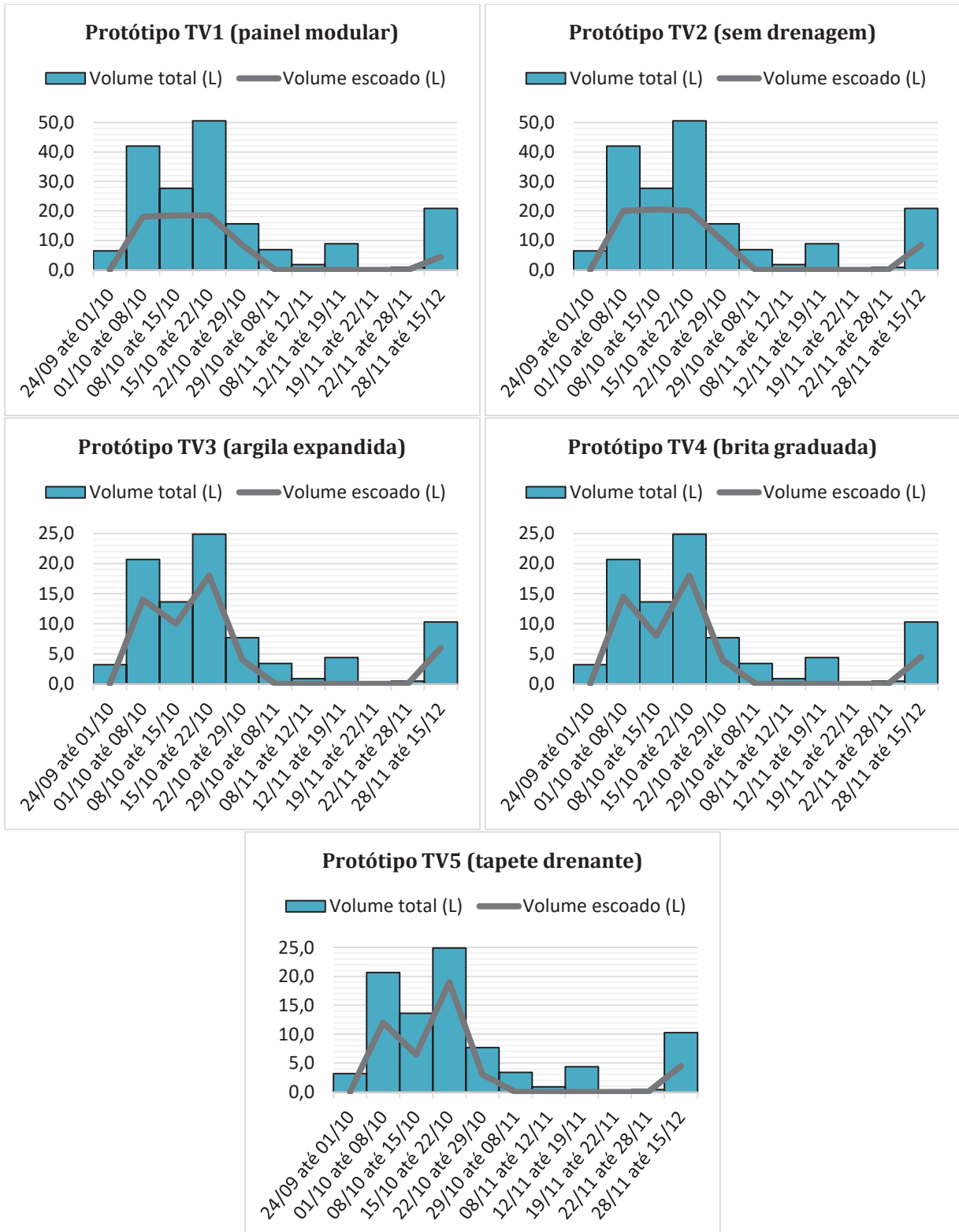
Tabela 18 - Valores de retenção de escoamento para os eventos de 26 a 36

Nº evento	Período do evento	Dias no período	Chuva INMET (L)	Volume de irrigação (L)	Volume Total em TV1 e T2 (L)	Volume Total em TV1, 2 e 3 (L)	Retenção do escoamento (%)				
							TV 1	TV 2	TV 3	TV 4	TV 5
26	24/09 até 01/10	7	13,0	0,0	6,5	3,2	100	100	100	100	100
27	01/10 até 08/10	7	84	0,0	42,0	20,7	57,1	52,4	32,3	29,9	42,0
28	08/10 até 15/10	7	55,4	0,0	27,7	13,6	33,2	26,0	26,7	41,3	52,3
29	15/10 até 22/10	7	101,2	0,0	50,6	24,9	63,4	60,5	27,7	27,7	23,7
30	22/10 até 29/10	7	31,2	0,0	15,6	7,7	45,5	35,9	47,9	47,9	60,9
31	29/10 até 08/11	7	13,8	0,0	6,9	3,4	100	100	100	100	100
32	08/11 até 12/11	4	3,6	0,0	1,8	0,9	100	100	100	100	100
33	12/11 até 19/11	7	17,8	0,0	8,9	4,4	100	100	100	100	100
34	19/11 até 22/11	3	0,2	0,0	0,1	0,0	100	100	100	100	100
35	22/11 até 28/11	6	1,8	0,0	0,9	0,4	100	100	100	100	100
36	28/11 até 15/12	17	41,8	0,0	20,9	10,3	78,5	59,3	41,7	56,3	56,3

Fonte: Autoria própria (2019).

A quantidade de volume total de entrada (água de chuva mais irrigação), e o volume de saída de escoamento de cada protótipo de telhado verde, para o período de 21/06 até 24/09 de 2018 é ilustrado na Figura 69.

Figura 69 - Ilustração da quantidade de água de entrada e saída dos protótipos TV1 e TV2 na estação primavera



Fonte: Autoria própria (2019).

O volume de retenção média apresentado pelos protótipos de telhado verde para o período da estação de primavera é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Valores da média de retenção de escoamento para o período de primavera

Média do escoamento (%)				
TV 1 (painel modular)	TV 2 (sem drenagem)	TV 3 (argila expandida)	TV 4 (brita graduada)	TV 5 (tapete drenante)
79,8	75,8	70,6	73,0	75,9

Fonte: Autoria própria (2019).

O monitoramento realizado durante a primavera apresentou uma média de retenção pluvial semelhante entre os protótipos de telhado verde, com menor valor apresentado pelo protótipo TV3. Durante este período, os telhados apresentaram uma boa capacidade de retenção de volumes pluviométricos de intensidade moderada (entre 5 e 25mm), como no caso dos eventos 26, 31 e 33, cujos volumes de chuva foram maiores que 10 mm, e ainda assim, totalmente retidos pelos protótipos.

A estação de verão teve início no dia 21 de dezembro de 2018, segundo dados do INMET. Os eventos englobados por esta estação vão do número 37 ao 44. Os valores das leituras de escoamento apresentados pelos protótipos de telhado verde, junto com as datas e horário das leituras são apresentados na Tabela 20. Já os dados de duração dos eventos, quantidade de dias, total de chuva de entrada em cada telhado e os valores em porcentagem de redução de escoamento para cada protótipo são apresentados na Tabela 21.

Tabela 20 - Dados de leitura de escoamento para os eventos 37 a 44

Nº evento	Volume escoado (L)					Data leitura	Horário de leitura aproximado
	TV 1	TV 2	TV 3	TV 4	TV 5		
37	8,5	12,0	2,0	4,0	1,5	18/jan	13:30
38	9,5	5,5	4,0	4,5	3,0	21/jan	07:20
39	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	29/jan	17:00
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	01/fev	10:15
41	1,5	5,0	4,0	4,0	1,5	12/fev	17:40
42	17	18	12	12,5	10	18/fev	17:50
43	> 22L	> 22L	> 22L	> 22L	> 22L	22/fev	12:30
44	3	4,5	*	*	*	28/fev	8:20

\*problema na conexão das mangueiras, impedindo a leitura do escoamento

Fonte: Autoria própria (2019).



Tabela 21 – Valores de retenção de escoamento para os eventos de 37 a 44

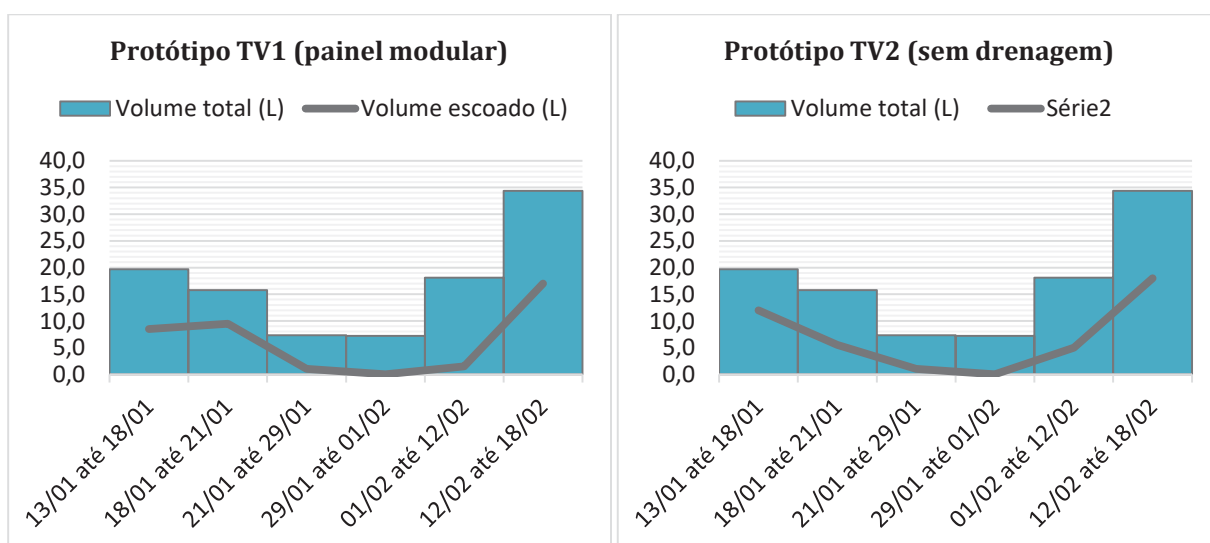
Nº evento	Período do evento	Quantidade de dias no período	Chuva INMET (L)	Volume de irrigação (L)	Volume Total em TV1 e T2 (L)	Volume Total em TV1, 2 e 3 (L)	Retenção do escoamento (%)				
							TV 1	TV 2	TV 3	TV 4	TV 5
37	13/01 até 18/01	5	39,4	0,0	19,7	9,7	56,9	39,1	79,4	58,7	84,5
38	18/01 até 21/01	3	31,6	0,0	15,8	7,8	39,9	65,2	48,6	42,1	61,4
39	21/01 até 29/01	8	14,6	0,0	7,3	3,6	86,3	86,3	86,1	86,1	86,1
40	29/01 até 01/02	3	14,4	0,0	7,2	3,5	100	100	100	100	100
41	01/02 até 12/02	11	36,2	0,0	18,1	8,9	91,7	72,4	55,1	55,1	83,2
42	12/02 até 18/02	6	68,8	0,0	34,4	16,93	50,58	47,67	29,13	26,18	40,94
43	18/02 até 22/02	4	148	0,0	74	36,42	-	-	-	-	-
44	22/02 até 27/02	5	17,8	0,0	8,9	4,38	66,29	49,44	*	*	*

\* Desprendimento das mangueiras impedindo a correta leitura do escoamento para os protótipos TV3, TV4 e TV5.

Fonte: Autoria própria (2019).

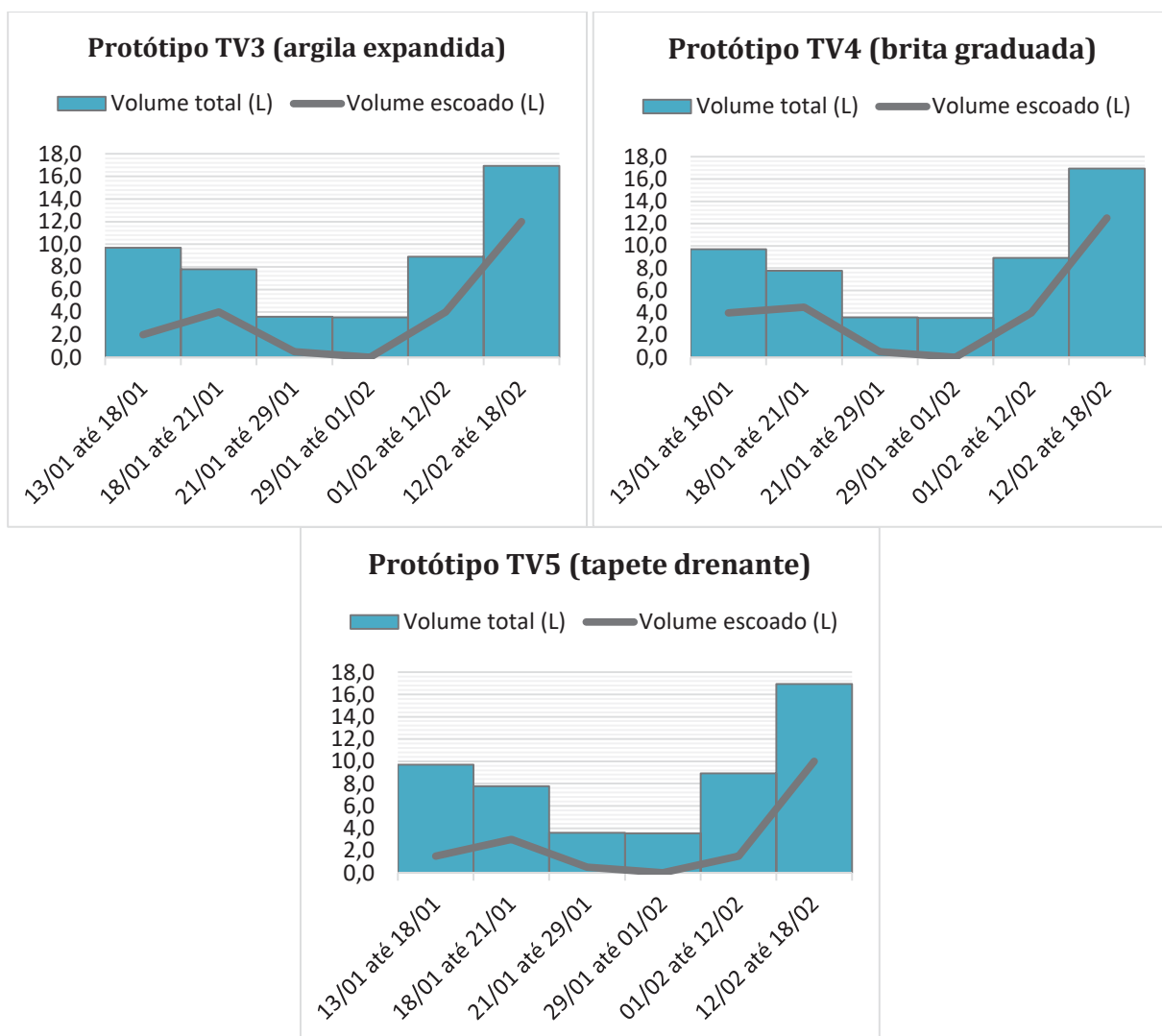
A quantidade de volume total de entrada (água de chuva mais irrigação), e o volume de saída de escoamento de cada protótipo de telhado verde, para o período de 21/06 até 24/09 de 2018 são ilustrados nas Figura 70 e Figura 71.

Figura 70 - Ilustração da quantidade de água de entrada e saída dos protótipos TV1 e TV2 na estação verão



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 71 - Ilustração da quantidade de água de entrada e saída dos protótipos TV3, TV4 e TV5 na estação verão



Fonte: Autoria própria (2019).

O volume de retenção média apresentado pelos protótipos de telhado verde para o período da estação de verão é apresentado na Tabela 22.

Tabela 22 - Valores da média de retenção de escoamento para o período de verão

Média do escoamento (%)				
TV 1 (painel modular)	TV 2 (sem drenagem)	TV 3 (argila expandida)	TV 4 (brita graduada)	TV 5 (tapete drenante)
68,2	63,7	64	59	73,7

Fonte: Autoria própria (2019).

Observa-se uma diminuição do valor de taxa de retenção pluvial para todos os protótipos nesta estação climática, de provável consequência do aumento da taxa de chuva e diminuição do intervalo entre eventos. Novamente, é observado uma diferença de valores de retenção de escoamento nos eventos 39 e 40, mesmo com um volume de chuva semelhante, em função da diferença de intervalo de tempo em que houve chuva. Atenta-se ao Evento 43 do monitoramento, que engloba um evento de chuva com precipitação total de 119,8 mm, resultando em um transbordamento de todos os baldes coletores, ou seja, mais de 22 L de escoamento foram gerados para este evento (capacidade máxima dos baldes coletores). Já para o evento 44, ao realizar-se a leitura dos escoamentos, foi observado que as mangueiras de escoamento apresentavam mal encaixe nos protótipos, gerando a possibilidade de nem todo o escoamento gerado ter sido coletado, e portanto, os dados de leitura dos protótipos de telhado verde TV3, Tv4 e TV5 foram desconsiderados.

A média de porcentagem de retenção pluvial obtida para cada protótipo de telhado verde, considerando-se o período total de monitoramento é apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 – Valores de média de escoamento total de todo o período de monitoramento

<b>Média do escoamento total (%)</b>				
<b>TV 1 (painel modular)</b>	<b>TV 2 (sem drenagem)</b>	<b>TV 3 (argila expandida)</b>	<b>TV 4 (brita graduada)</b>	<b>TV 5 (tapete drenante)</b>
76,6	70,3	68,1	67,7	74,0

Fonte: Autoria própria (2019).

A melhor taxa de retenção média de escoamento, considerando-se todos os 44 eventos monitorados é apresentado pelo protótipo de telhado verde TV1, seguido do TV5. Os valores obtidos para o TV3 e TV4 são praticamente iguais, levemente inferiores ao valor obtido para o TV2.

### 4.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS ESCOADAS

A apresentação dos resultados de qualidade das águas escoadas são divididos entre as datas dos eventos de coleta, e são apresentados nos itens 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3. Já no item 4.3.4, utiliza-se alguns valores de referência de normativas e legislações que tratem de efluentes ou corpos d'água, a fim de caracterizar os valores obtidos nos parâmetros de qualidade da água.

#### 4.3.1 Coleta dia 20/05/2018

Dois litros e meio de amostra de escoamento foram coletados dos protótipos de telhados verdes TV3, TV4 e TV5 (Figura 72), no dia 20 de maio de 2018, resultante do Evento de chuva 9, que engloba dos dias de 17 a 20 de maio de 2018. Devido a desconexão das mangueiras de escoamento dos protótipos TV1 e TV2, não foi possível realizar coleta de amostra de escoamento dos mesmos. A amostra de água de chuva coletada também apresentou volume insuficiente para a realização dos parâmetros de avaliação, devido a problemas com os coletores de água de chuva.

Figura 72 – Coleta das amostras de escoamento do Evento de chuva 9 – coleta dia 20/05/2018



Fonte: Autoria própria (2019).

Também não foi possível realizar as séries de Fósforo e Nitrogênio, devido a uma indisponibilidade do reagente utilizado nos métodos de determinação para estes parâmetros. Os ensaios de parâmetro de qualidade da água realizados e seus resultados são apresentados na Tabela 24. Já a Figura 73 apresenta os resultados de espectros de excitação-emissão fluorescência (EEM), para os protótipos TV3, TV4 e TV5.

Tabela 24 – Resultados dos parâmetros de qualidade da água do Evento de chuva 9 – coleta dia 20/05/2018

Parâmetros de avaliação	TV 3 (argila expandida)	TV 4 (brita)	TV 5 (tapete drenante)
pH	5,7 (temperatura de 15,3°C)	5,7 (temp. 15,6°C)	6 (temp. 16°C)
Cor aparente (uH)	100	125	150
Turbidez (NTU)	8,66	6,57	6,45
Condutividade elétrica (µS/cm)	108*	115,2	171,2
Sólidos totais - S <sub>T</sub> (g)	131,33	138	191
Carbono orgânico dissolvido - COD (mg. L <sup>-1</sup> )	24,87	23,99	35,48

\* Média estipulada pelos valores apresentados na sonda, uma vez que, nas duas tentativas de leitura realizadas, o equipamento indicou leitura não estabilizada.

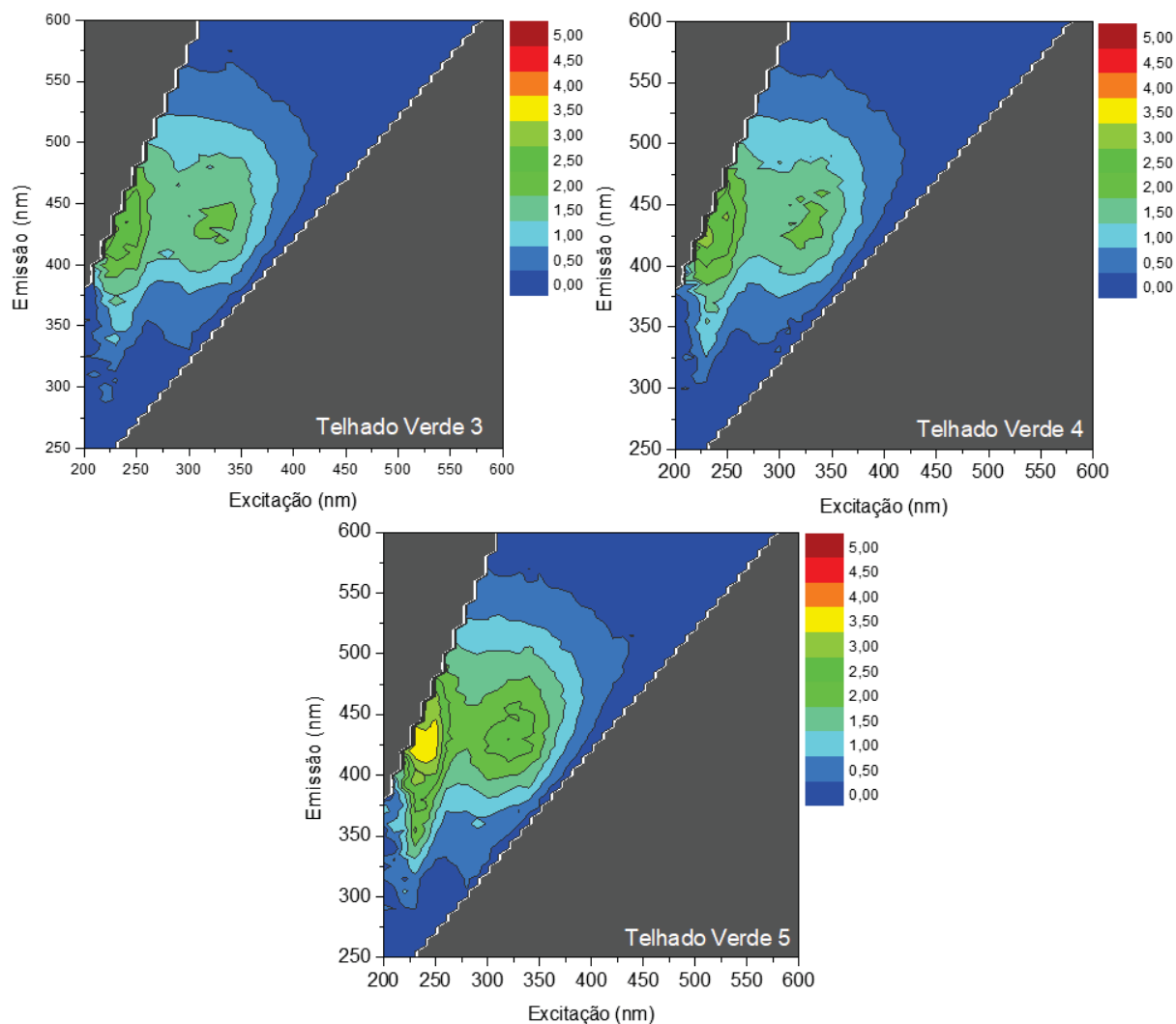
Fonte: Autoria própria (2019).

Observa-se que as três amostras apresentaram valores de pH ainda em meio base, entretanto, por falta de amostra de chuva, não é possível comparar se estas águas de escoamento apresentaram alguma influência pela passagem dentro do sistema dos telhados verdes. Quanto ao valor de turbidez, o TV3 apresenta o maior valor das três amostras, indicando uma provável influência da camada de argila expandida neste parâmetro. Quanto a condutividade elétrica, as três amostras apresentam valores maiores que 100µS/cm, o que, conforme citado no item 2.6.1.4 do Capítulo 2, indica um ambiente impactado, percebe-se ainda, que o TV 5 apresentou um valor significativamente maior, comparado aos outros 2 protótipos.

Quanto aos resultados das séries de sólidos, atenta-se o fato do TV3, com uso de argila expandida, ter apresentado valores de sólidos totais menores que os outros dois telhados, e além disso, o TV5, com uso de tapete drenante, que supostamente deveria servir como um filtro de partículas, apresentou um valor consideravelmente maior de sólidos totais que os outros dois telhados.

Quanto aos resultados de fluorescência molecular, as matrizes de excitação-emissão de fluorescência obtidas para as amostras de escoamento são apresentadas na Figura 73. Já os valores dos picos A, B, C, T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub> obtidos para cada amostra são apresentados na Tabela 25. Como apresentado no item 2.6.1.9 do Capítulo 2, a escala de cores da legenda varia de azul a vermelho, onde o azul representa a menor intensidade de matéria orgânica presente na amostra, e o vermelho representa a maior intensidade.

Figura 73 - Matriz de excitação-emissão de fluorescência para os TV3, TV4 e TV5 – coleta dia 20/05/2018



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 25 – Valores dos picos representativos de fluorescência e porcentagem destes valores em relação ao valor total de COD para coleta do dia 20/05/2018

Protótipo	Pico A	Pico B	Pico C	Pico T <sub>1</sub>	Pico T <sub>2</sub>	COD (mg. L <sup>-1</sup> )	% Pico A	% Pico B	% Pico C	% Pico T <sub>1</sub>	% Pico T <sub>2</sub>
TV3 (argila expandida)	3,1	0,88	2,39	0,68	1,32	24,87	12,5	3,5	9,6	2,7	5,3
TV4 (brita)	3,53	0,55	2,29	0,68	1,62	23,99	14,7	2,3	9,5	2,8	6,8
TV5 (tapete drenante)	3,83	1,14	3,04	0,98	2,65	35,48	10,8	3,2	8,6	2,8	7,5

Fonte: Autoria própria (2019).



As matrizes de excitação-emissão de fluorescência (EEM) obtidas para as amostras dos protótipos TV3 e TV4 apresentaram grau de intensidade e área de ocupação no espectro bastante similares entre si, com o TV4 apresentando picos de maior intensidade que o TV3. Esse resultado corrobora com os valores de COD obtidos para as amostras, de valor praticamente iguais. Os Picos A e C das duas amostras apresentaram os maiores valores de matéria orgânica da amostra, com porcentagem de 12,5% e 9,6%, em relação ao valor total da matéria orgânica, indicando uma predominância de material orgânico de origem húmica nas amostras. A segunda maior porção da amostra encontra-se nos valores dos picos T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, indicadores da quantidade da amostra composta por triptofano. A menor parcela das amostras encontra-se no pico B, indicando presença de tirosina.

Já o TV5 apresentou maior intensidade da coloração na região III da matriz, caracterizada por ácidos fúlvicos, corroborando com o resultado obtido de COD, cujo valor foi o mais elevado das amostras avaliadas. A predominância da amostra encontra-se nos picos A e C, representando respectivamente 10,5% e 8,6% do valor total de matéria orgânica. Atenta-se ao fato do valor obtido pelo pico C ser o maior das três amostras de telhado avaliada, indicando que o material húmico é dividido quase igualmente entre as regiões III e V da matriz. A segunda maior porção da amostra encontra-se nos picos T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, cujos valores obtidos também são maiores em comparação com os protótipos TV3 e TV4, indicando uma maior concentração de triptofano presente nessa amostra.

#### 4.3.2 Coleta dia 06/06/2018

Quatro litros de escoamento de cada protótipo mais amostra de água da chuva foram coletados no dia 06 de junho de 2018, resultado do evento de chuva 12, que engloba o período de tempo entre os dias 03 a 06 de junho de 2018 (Figura 74).

Figura 74 - Coleta das amostras de escoamento do Evento de chuva 12 – coleta dia 06/06/2018



Fonte: Autoria própria (2019).

Os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos de avaliação realizados são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Resultados dos parâmetros de qualidade da água do Evento de chuva 12 – coleta dia 06/06/2018

Parâmetros de avaliação	TV 1 (painel modular)	TV 2 (sem drenagem)	TV 3 (argila expandida)	TV 4 (brita)	TV 5 (tapete drenante)	Chuva
pH	6,6 (temperatura de 15,2°C)	6,8 (temp. 14,9°C)	6,7 (temp. 14,9°C)	6,6 (temp. 14,7°C)	6,9 (temp. 14,8°C)	6,3 (temp. 15,8°C)
Cor aparente (uH)	50	75	50	50	125	0
Turbidez (NTU)	2,98	7,15	4,28	3,41	4,58	1,7
Condutividade elétrica (µS/cm)	208,9	188	153	156,8	226	17,3
Sólidos totais - S <sub>T</sub> (g)	223,66	212	159,33	154,33	289	10,50
Fósforo total (mg. L <sup>-1</sup> )	1,78	2,76	1,26	1,25	2,4	0

Parâmetros de avaliação	TV 1 (painel modular)	TV 2 (sem drenagem)	TV 3 (argila expandida)	TV 4 (brita)	TV 5 (tapete drenante)	Chuva
Ortofosfato (mg. L <sup>-1</sup> )	1,37	1,66	1,08	1,11	1,44	<LD <sup>7</sup>
Nitrogênio total (mg. L <sup>-1</sup> )	1,23	1,16	1,39	1,24	50,40	1,15
Nitrogênio amoniacal total (mg. L <sup>-1</sup> )	0,04	0,03	0,06	0,02	11,74	0,19
Carbono orgânico dissolvido - COD (mg. L <sup>-1</sup> )	37,76	47,71	31,51	35,60	90,60	3,483

Fonte: Autoria própria (2019).

O valor de pH obtido para a amostra de água da chuva apresentou um valor levemente mais ácido, em comparação com as amostras dos escoamentos dos protótipos de telhado verde, indicando uma possível capacidade de neutralização da água da chuva pelos sistemas estudados. Em relação a cor aparente, os telhados apresentaram uma variação de cor semelhante, com exceção do TV5, que apresentou a maior quantidade de coloração na amostra. Quanto a turbidez, o TV2 (sem camada de drenagem) apresentou o maior valor de concentração. O menor valor de condutividade elétrica foi apresentado pelo TV3 (argila expandida), entretanto, todos os telhados apresentaram valores maiores a 100  $\mu$ S/cm, indicando um ambiente impactado.

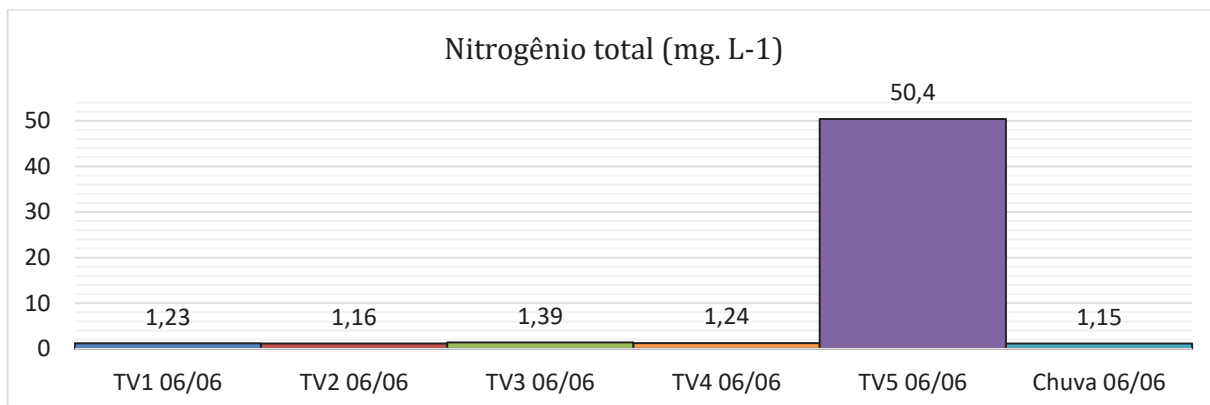
Os maiores valores obtidos de sólidos totais foram apresentados pelos protótipos TV2 e TV5. Novamente, o TV5 apresentou o maior valor de sólidos totais, corroborando com os resultados obtidos da coleta do dia 20 de maio. Os valores de fósforo total obtidos mostraram uma lixiviação deste nutriente em todos os telhados estudados, apresentando maior concentração no TV2, o que indica que a camada de drenagem dos outros sistemas ajudou a reter um pouco deste nutriente no sistema, principalmente no TV1, com uso de painel modular, que apresentou o menor valor de concentração. Os valores de ortofosfato obtidos corroboraram com os valores de fósforo total, com a diferença de que o menor valor apresentado deste parâmetro foi do TV3, com uso de argila expandida.

Quanto aos valores de nitrogênio total (Figura 75), entre as amostras avaliadas dos escoamentos dos telhados verdes, o menor valor de concentração obtido foi do TV2, praticamente igual ao valor de amostra de água da chuva. Isso indica que todos os materiais drenantes utilizados

<sup>7</sup> Valor abaixo do Limite de Detecção do ensaio.

apresentaram lixiviação deste nutriente para as águas de escoamento. Atenta-se para o valor de concentração apresentado pelo TV5 (50,40 mg.L<sup>-1</sup>), muito maior que dos outros telhados.

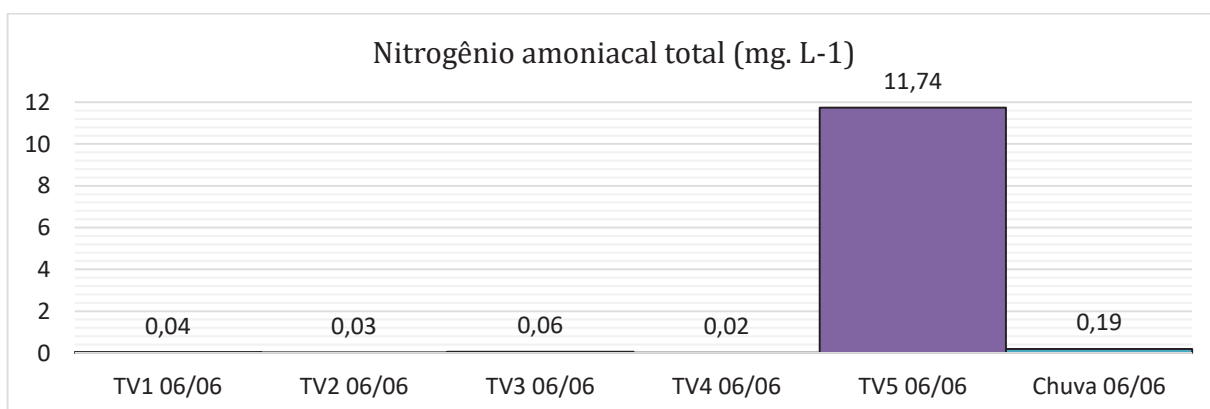
Figura 75 – Comparação dos resultados de nitrogênio total obtidos nas amostras da coleta do dia 06/06/2018



Fonte: Autoria própria (2019).

Já para os valores de nitrogênio amoniacal total (Figura 76), a amostra de água de chuva apresentou a concentração mais elevada de todas as amostras avaliadas (com exceção do TV5), o que indica que os protótipos TV1, TV2, TV3 e TV4 foram capazes de reter este nutriente. Atenta-se novamente ao valor de concentração obtido pelo TV5, significativamente maior que das outras amostras, e o único que apresentou valor de concentração maior que o da água da chuva.

Figura 76 - Comparação dos resultados de nitrogênio amoniacal total obtidos nas amostras da coleta do dia 06/06/2018

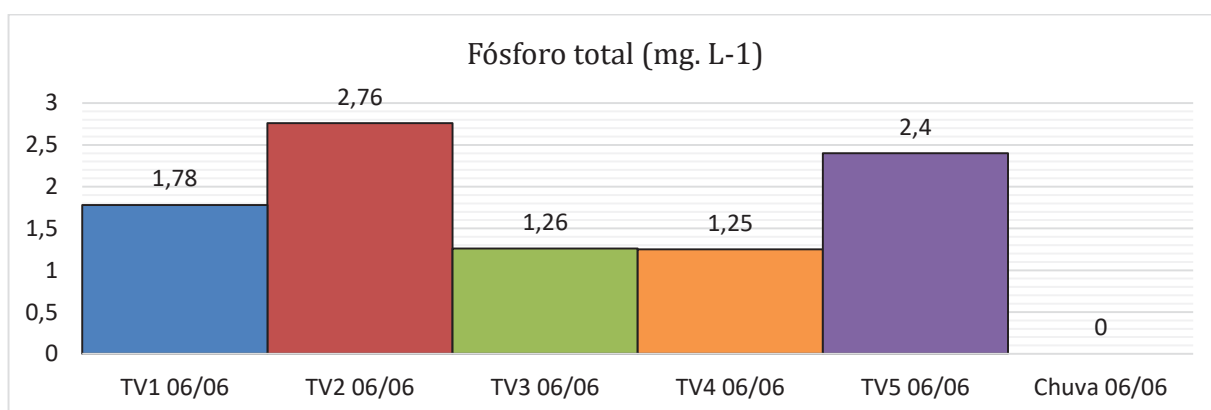


Fonte: Autoria própria (2019).

Em geral, observa-se que, embora houve lixiviação de fósforo em todos os telhados, conforme ilustrado na Figura 77, os materiais drenantes utilizados ajudaram a conter uma quantidade significativa da lixiviação deste nutriente nos escoamentos (com menor potencial de

retenção apresentado pelo TV5), o que é indicado pelo valor de concentração obtido no sistema sem camada de drenagem (TV2) ser mais elevado que o valor de fósforo total obtido para o restante dos protótipos. Atenta-se para os valores obtidos pelos protótipos TV3 e TV4 serem praticamente iguais, o que pode indicar uma característica do tipo de camada drenante, uma vez que ambos os protótipos são constituídos de material granular (argila e brita) em sua camada de drenagem.

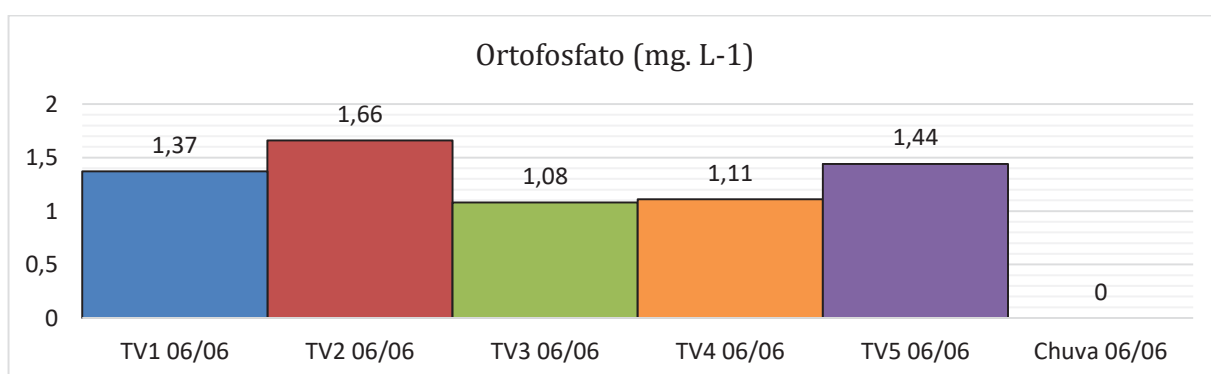
Figura 77 - Comparação dos resultados de fósforo total obtidos nas amostras da coleta do dia 06/06/2018



Fonte: Autoria própria (2019).

O resultado obtido para o parâmetro de ortofosfato (Figura 78) seguiu o mesmo comportamento do parâmetro de fósforo total, entretanto, com um potencial de retenção de ortofosfato menos acentuado que o observado pelo parâmetro de fósforo total.

Figura 78 - Comparação dos resultados de ortofosfato obtidos nas amostras da coleta do dia 06/06/2018

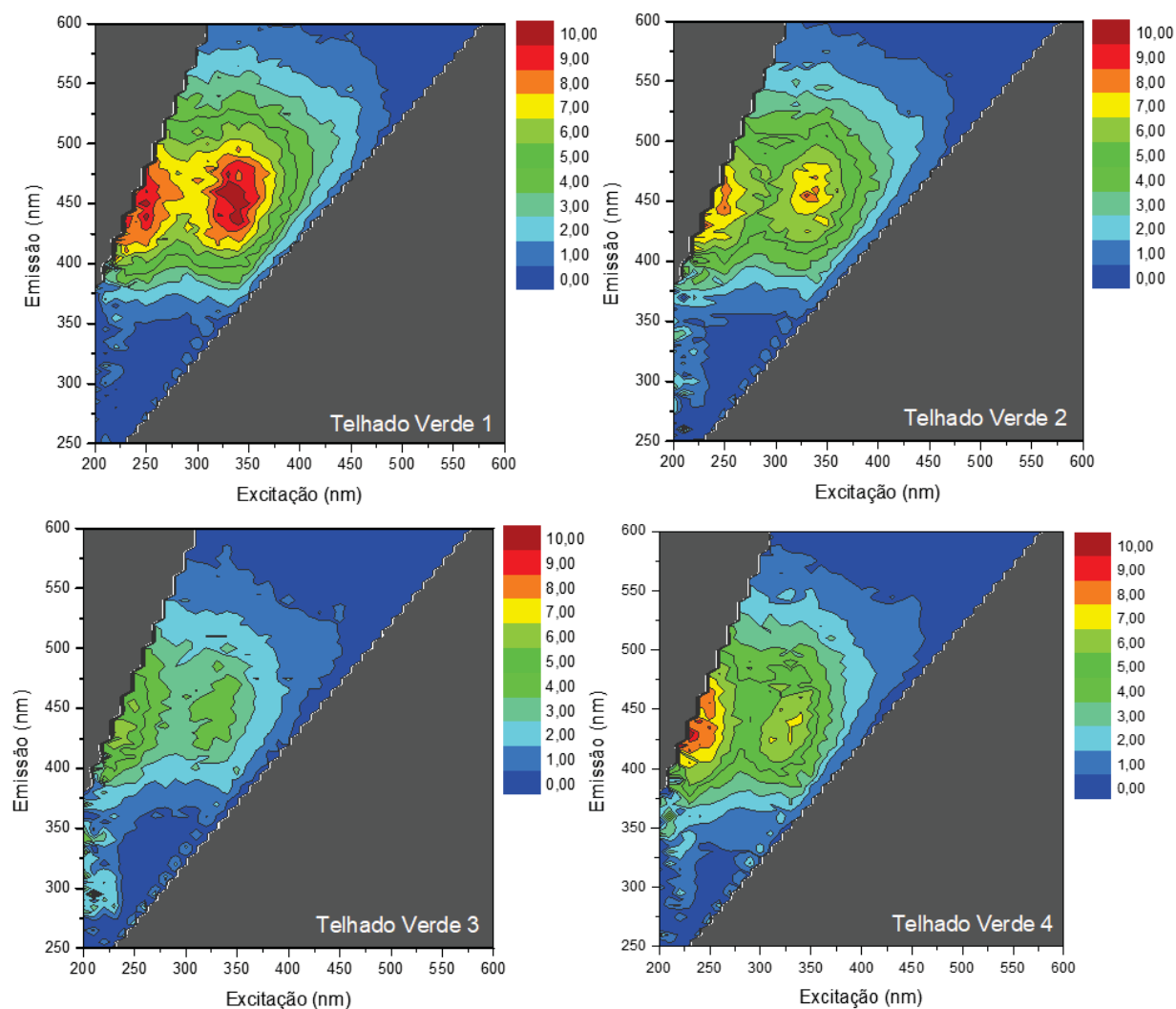


Fonte: Autoria própria (2019).

Os valores de COD obtidos para os TV3, TV4 e TV5 apresentaram valores maiores que os obtidos na avaliação da coleta do dia 20/05, principalmente para o TV5, que apresentou uma concentração mais que duas vezes maior que a concentração obtida anteriormente. As matrizes de

excitação-emissão de fluorescência obtidas para as amostras avaliadas são apresentadas nas Figura 79 e Figura 80. Já os valores dos picos A, B, C, T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub> obtidos para cada amostra, juntamente com os valores de COD são apresentados na Tabela 27.

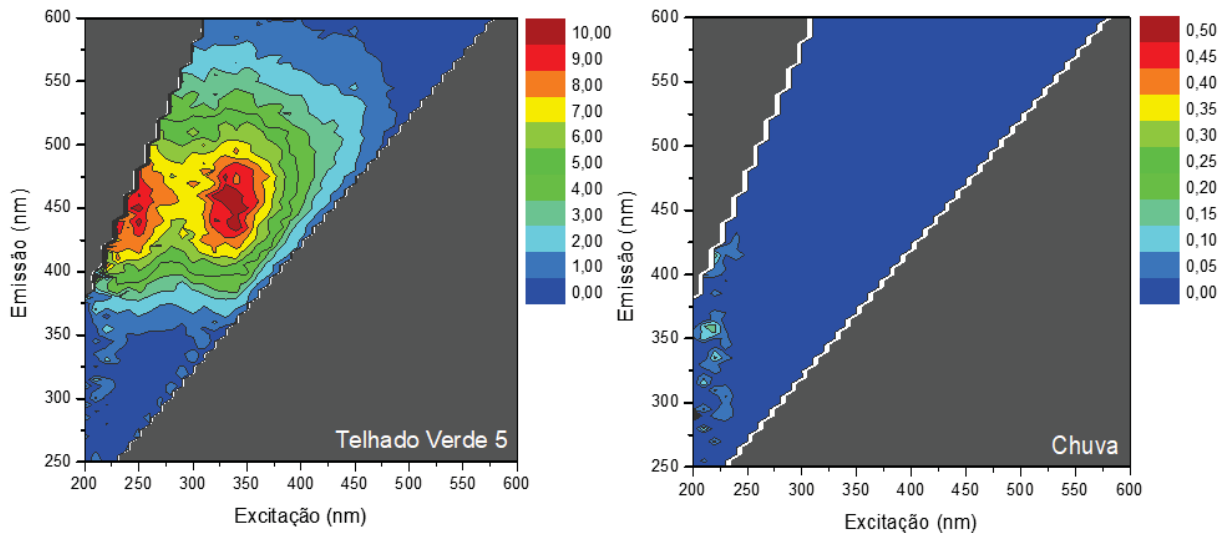
Figura 79 - Matriz de excitação-emissão de fluorescência – coleta dia 06/06/2018, parte I



Fonte: Autoria própria (2019).



Figura 80 - Matriz de excitação-emissão de fluorescência – coleta dia 06/06/2018, parte II



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 27 - Valores dos picos representativos de fluorescência e porcentagem destes valores em relação ao valor total de COD para coleta do dia 06/06/2018

Protótipo	Pico A	Pico B	Pico C	Pico T <sub>1</sub>	Pico T <sub>2</sub>	COD (mg. L <sup>-1</sup> )	% Pico A	% Pico B	% Pico C	% Pico T <sub>1</sub>	% Pico T <sub>2</sub>
TV1 (painel modular)	3,27	0,59	2,88	0,54	0,87	37,76	8,7	1,6	7,6	1,4	2,3
TV2 (sem drenagem)	4,93	1,71	3,78	0,7	1,11	47,71	10,3	3,6	7,9	1,5	2,3
TV3 (argila expandida)	4,09	0,75	3,01	0,74	1,07	31,51	13,0	2,4	9,6	2,3	3,4
TV4 (brita)	4,24	1,03	3,08	0,73	1,39	35,6	11,9	2,9	8,7	2,1	3,9
TV5 (tapete drenante)	5,6	1,35	5,39	1,59	2,2	90,6	6,2	1,5	5,9	1,8	2,4
Chuva	0,16	0,41	0,05	0,09	0,16	3,48	4,6	11,8	1,4	2,6	4,6

Fonte: Autoria própria (2019).

Observa-se que, embora o protótipo TV3 tenha apresentado o menor valor de COD entre as amostras dos protótipos de telhado verde, o TV1 apresentou a matriz de excitação-emissão de fluorescência (EEM) com menor intensidade de coloração em sua escala, cuja predominância da amostra encontra-se nos picos A e C, representando 8,7% e 7,6% do valor total de matéria orgânica, indicando que a amostra é composta, majoritariamente por ácidos fúlvicos e húmicos. A segunda maior composição da amostra é advinda de triptofano, conforme indicado nos picos T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>.

O protótipo TV2 apresentou a matriz com segunda maior intensidade de matéria orgânica, abaixo apenas do TV5, corroborando com o resultado obtido de COD. A predominância da amostra

é composta de matéria orgânica de origem húmica, ilustrada pelos picos A e C, com representatividade de 10,3% e 7,9% do total da matéria orgânica. Atenta-se que esta amostra apresenta o maior valor obtido pelo pico B entre as amostras avaliadas, e é igual ao valor obtido pela soma dos picos T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, indicando maior presença de tirosina que no restante das amostras.

Os protótipos TV3 e TV4 novamente apresentaram EEM similares entre si, corroborando com os valores de COD obtidos, comportamento também observado nos resultados de fluorescência molecular da coleta do dia 20/05. Os valores e matrizes obtidos nesta avaliação também apresentam resultados similares aos resultados obtidos para a coleta anterior. Atenta-se ao valor do pico B obtido para o TV4, que apresentou um valor mais elevado que o TV3, indicando uma presença de tirosina maior que o apresentado pelo TV3.

Já a EEM obtida pelo TV5 apresentou as maiores intensidades de coloração de escala, e em maiores regiões do espectro, corroborando com valor de COD obtido. Embora o valor de todos os picos tenha sido mais elevado em comparação com os outros telhados, a maior parte da amostra é composta por ácidos fúlvicos e húmicos, dividida quase igualmente entre os Picos A e C, que representam 6,2% e 5,9% do valor total da matéria orgânica presente na amostra.

Por fim, atenta-se para a diferença de escala utilizada para a EMM da amostra de água de chuva, com valores significativamente menores que os apresentados pelos telhados verdes, corroborando com o valor de COD obtido. Para a amostra de água de chuva, a maior porção da matéria orgânica é composta por tirosina, ilustrado pelo pico B, representando 11,8% do total de matéria orgânica.

### 4.3.3 Coleta dia 21/01/2019

Aproximadamente dois litros e meio de amostras de escoamento foram coletados dos protótipos de telhado verde e amostra de água de chuva (Figura 81) no dia 21 de janeiro de 2019, resultante do Evento de chuva 38, que engloba dos dias 18 a 21 de janeiro de 2019.

Figura 81 - Coleta das amostras de escoamento do Evento de chuva 38 – coleta dia 21/01/2019



Fonte: Autoria própria (2019).

Os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos de avaliação realizados são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Resultados dos parâmetros de qualidade da água do Evento de chuva 38 – coleta dia 01/01/2019

Parâmetros de avaliação	TV 1 (painel modular)	TV 2 (sem drenagem)	TV 3 (argila expandida)	TV 4 (brita)	TV 5 (tapete drenante)	Chuva
pH	5,92 (temperatura de 27,8°C)	5,88 (temp. 27,7°C)	6,26 (temp. 27,8°C)	6,28 (temp. 29,7°C)	5,81 (temp. 27,9°C)	6,78 (temp. 27,3°C)
Cor aparente (uH)	1250	1000	200	200	1125	2,5
Turbidez (NTU)	2,1	2,24	2,74	3,65	3,63	0,73
Condutividade elétrica (µS/cm)	91,42	85,67	50,05	63,33	133,3	5,63
Sólidos totais - ST (g)	440,33	337,67	136,33	193,67	513	3,75
Ortofosfato (mg. L-1)	0,69	0,82	0,48	0,28	1,49	<LD <sup>8</sup>

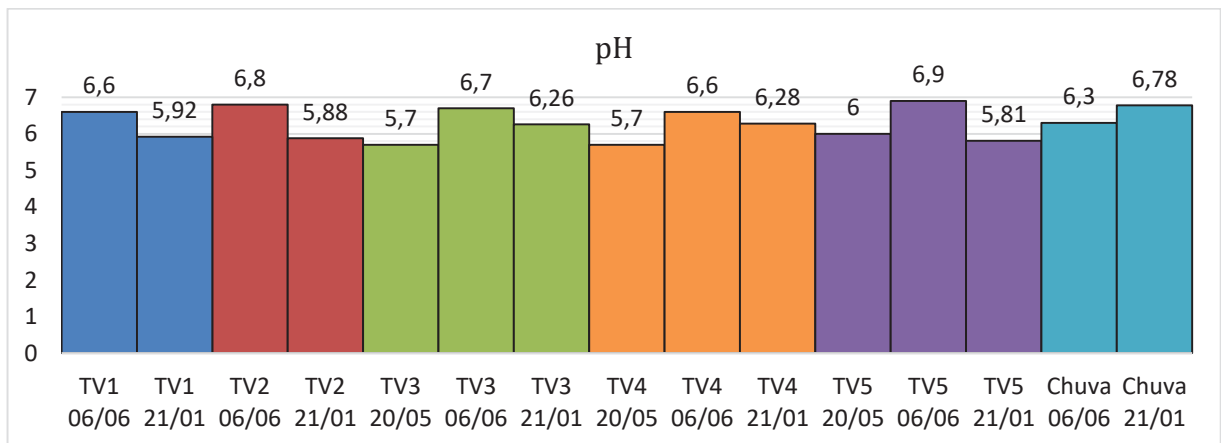
<sup>8</sup> Valor abaixo do Limite de Detecção do ensaio.

Parâmetros de avaliação	TV 1 (painel modular)	TV 2 (sem drenagem)	TV 3 (argila expandida)	TV 4 (brita)	TV 5 (tapete drenante)	Chuva
Nitrogênio total (mg. L-1)	3,10	2,56	2,18	9,46	6,38	0,47
Nitrogênio amoniacal total (mg. L-1)	0,03	<LD	0,02	2,95	2,64	0,29
Carbono orgânico dissolvido - COD (mg. L-1)	152,88	131,68	37,78	55	159,24	3,43

Fonte: Autoria própria (2019).

O valor de pH obtido para a amostra de água da chuva apresentou um valor levemente mais base, em comparação com as amostras dos escoamentos dos protótipos de telhado verde, apresentando comportamento oposto ao observado nos resultados da coleta de 21/06/2018. A comparação dos valores de pH obtidos para amostras de todos os eventos estudados é ilustrada na Figura 82.

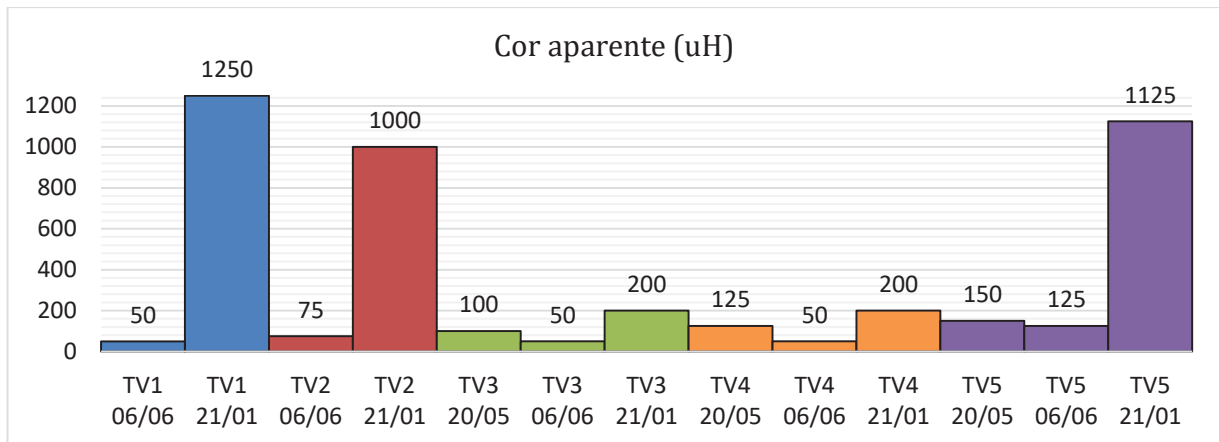
Figura 82 - Comparação dos valores de pH entre os eventos avaliados



Fonte: Autoria própria (2019).

Em relação a cor aparente, as amostras apresentaram um grau de coloração significativamente maior que a coleta realizada em maio e junho de 2018, chegando em um valor até 25 vezes maior no caso do TV1. A Figura 83 compara a coloração das amostras coletadas nos três eventos estudados.

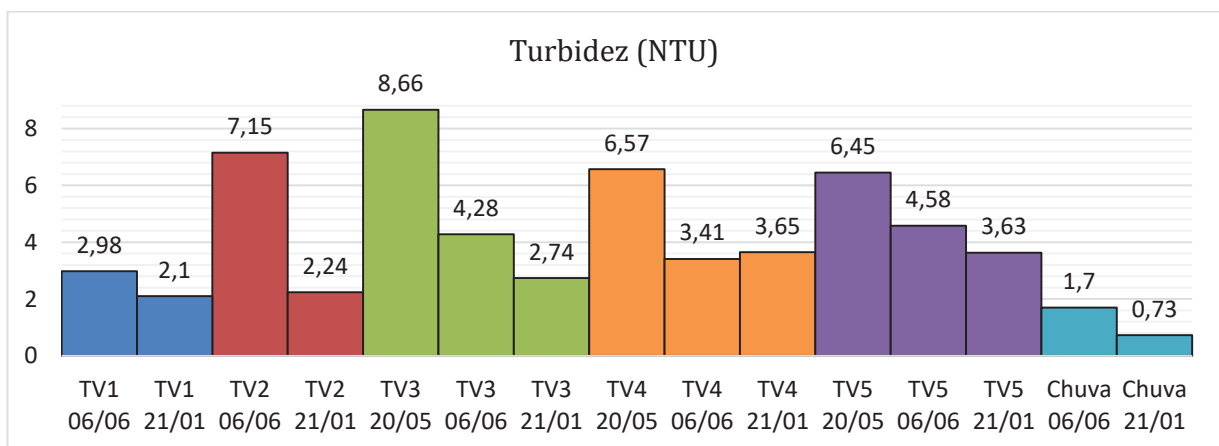
Figura 83 – Comparação dos valores de cor aparente entre os eventos avaliados



Fonte: Autoria própria (2019).

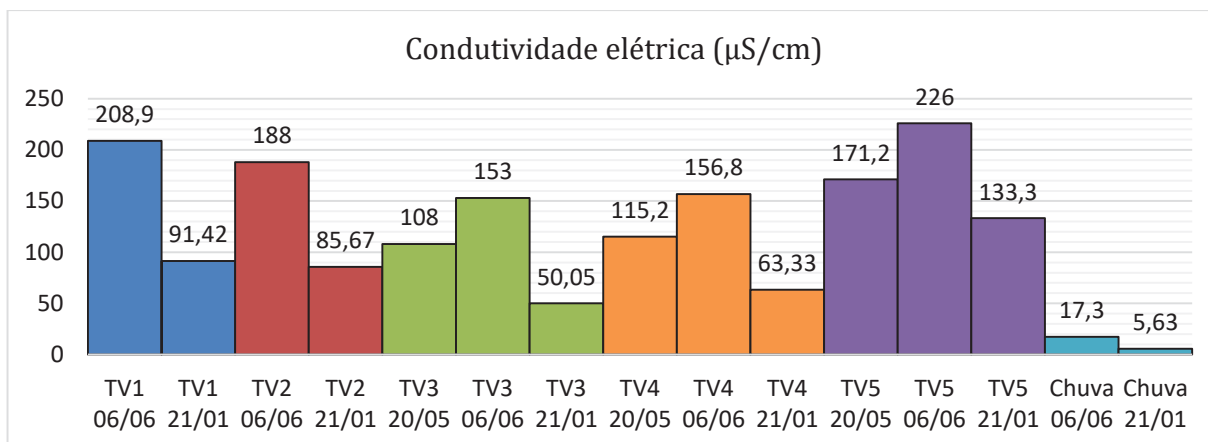
Quanto a turbidez, o único protótipo que apresentou um valor maior que o valor obtido nos ensaios em junho foi o TV4, com um valor de 3,65 NTU. Quanto aos valores de condutividade elétrica, todos os protótipos apresentaram diminuição dos valores de concentração, em comparação com os ensaios realizados em junho. O menor valor de condutividade elétrica continua sendo apresentado pelo TV3 (argila expandida). Neste evento, o único telhado que apresentou valores maiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  foi o TV5, o que indica um ambiente impactado. A comparação dos valores de turbidez obtidos para as amostras dos diferentes ensaios realizados é ilustrada na Figura 84, já os valores de condutividade são apresentados na Figura 85.

Figura 84 - Comparação dos valores de turbidez entre os eventos avaliados



Fonte: Autoria própria (2019).

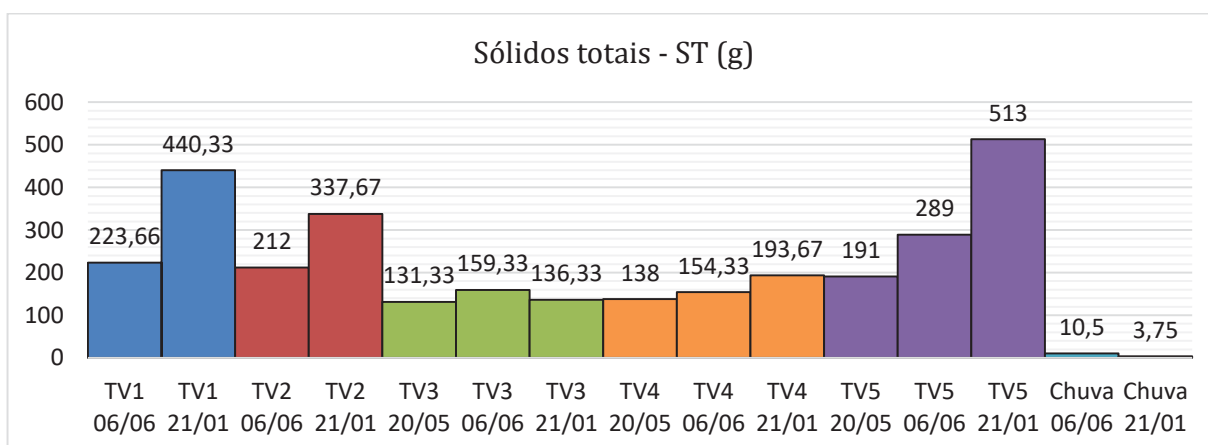
Figura 85 - Comparação dos valores de condutividade elétrica entre os eventos avaliados



Fonte: Autoria própria (2019).

O único protótipo que apresentou valor de sólidos totais inferior que o valor obtido das amostras de junho foi o TV3, com uma leve melhora na quantidade de partículas sólidas liberadas pelo sistema. No caso do TV4, este aumento de sólidos totais não foi tão elevado, entretanto, nos casos dos TV1, TV2 e TV3 esses valores apresentaram um aumento significativo na quantidade de partículas sólidas presentes nas amostras, chegando em um valor quase 2 vezes maior, no caso do TV1. O maior valor de sólidos obtidos ainda foi apresentado pelo TV5. A comparação dos valores de sólidos totais obtidos para as amostras dos diferentes eventos estudados é ilustrada na Figura 86.

Figura 86 - Comparação dos valores de sólidos totais entre os eventos avaliados



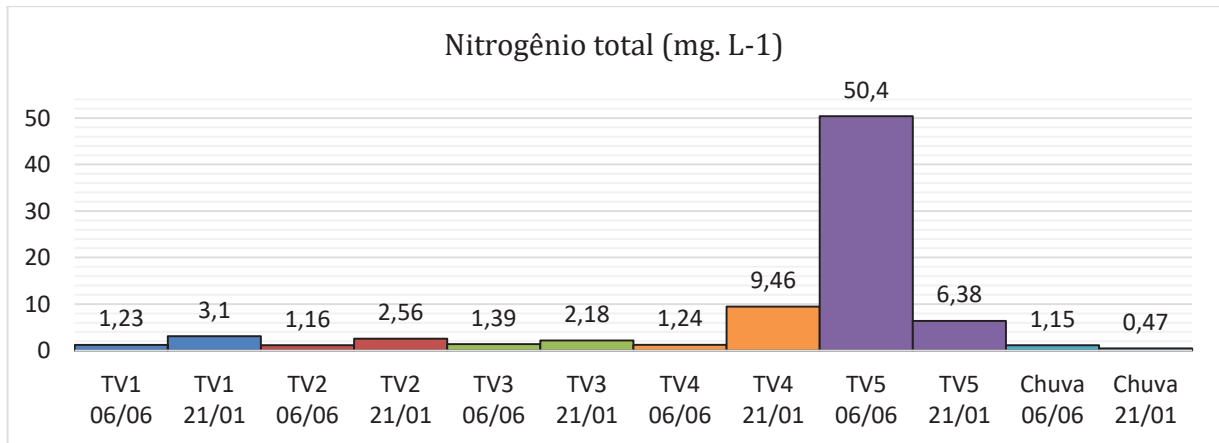
Fonte: Autoria própria (2019).

Quanto aos valores de nitrogênio total, todos os protótipos de telhado verde apresentaram um valor de concentração maior que o valor apresentado pela amostra de chuva. O TV3 foi o único



protótipo que apresentou um valor de nitrogênio total levemente inferior ao valor apresentado pelo TV2 (sistema sem drenagem), o que indica que para o restante dos protótipos, houve lixiviação deste componente pelo o sistema. Atenta-se para os valores de nitrogênio total obtidos para os protótipos TV4 e TV5. No caso do TV4, o valor obtido neste ensaio é quase 8 vezes maior que o valor obtido anteriormente. Esse valor pode ser resultado da decomposição da vegetação, aumentando a quantidade de liberação deste nutriente no sistema. Já o caso do TV5 é o único valor obtido que apresentou uma concentração menor nesta avaliação em comparação com a avaliação anterior. A comparação dos valores de nitrogênio total obtidos para as amostras dos diferentes eventos estudados é apresentada na Figura 87.

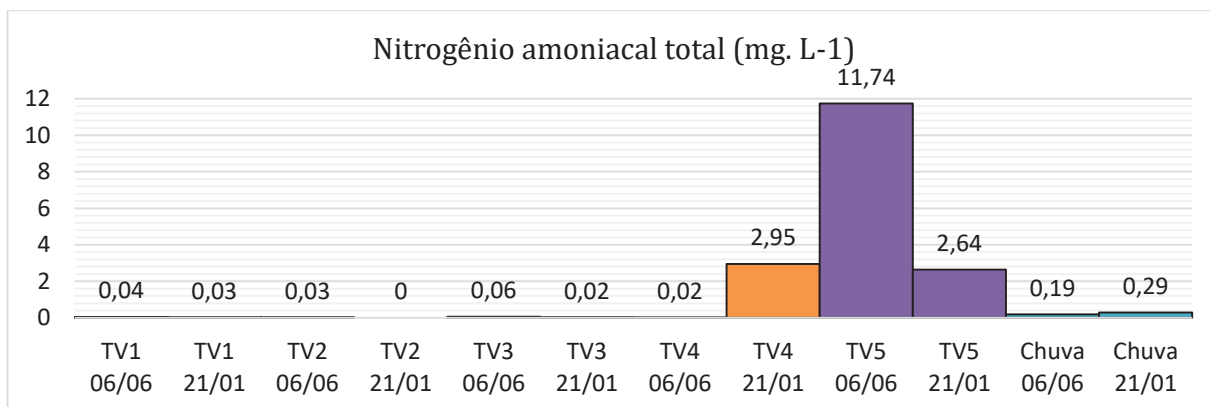
Figura 87 - Comparação dos valores de nitrogênio total entre os eventos avaliados



Fonte: Autoria própria (2019).

Quanto aos valores de nitrogênio amoniacal total, desta vez apenas os valores obtidos pelos protótipos TV1, TV2 e TV3 apresentaram um valor de concentração menor que o valor obtido para a amostra de chuva, o que indica que estes sistemas ainda apresentam capacidade de retenção deste nutriente. Já os protótipos TV4 e TV5 apresentaram liberação deste componente, sendo o maior valor apresentado pelo TV4. A comparação dos valores de nitrogênio amoniacal total obtidos para as amostras dos diferentes eventos estudados é apresentada na Figura 88.

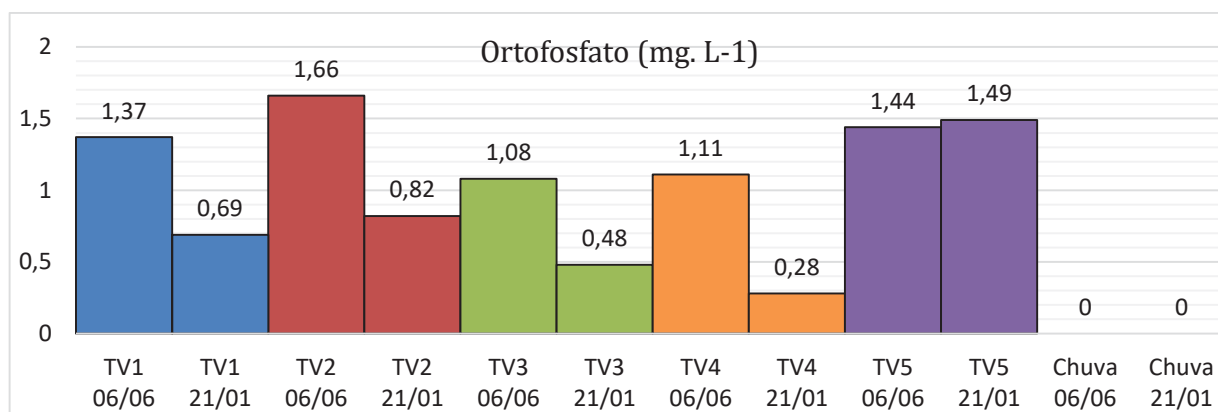
Figura 88 - Comparação dos valores de nitrogênio amoniacal total entre os eventos avaliados



Fonte: Autoria própria (2019).

O único protótipo que apresentou um valor de ortofosfato maior que o obtido pelos ensaios realizados em junho foi o TV5. Todos os outros quatro protótipos apresentaram uma redução significativa no valor deste nutriente. Neste caso, o TV2 (sem camada de drenagem) apresentou uma quantidade de ortofosfato maior que os protótipos TV1, TV3 e TV4, o que indica que as camadas drenantes destes sistemas foram capazes de reter este componente, corroborando com os resultados obtidos nos ensaios de junho. A comparação dos valores de ortofosfato obtidos para as amostras dos diferentes eventos estudados é apresentada na Figura 89.

Figura 89 - Comparação dos valores de ortofosfato entre os eventos avaliados

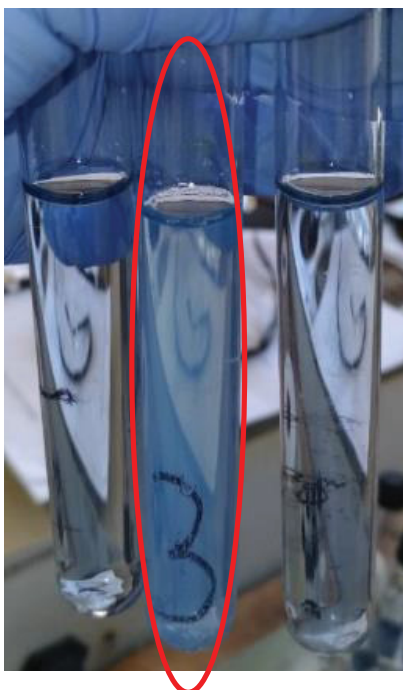


Fonte: Autoria própria (2019).

Realizaram-se duas tentativas de avaliação do parâmetro de Fósforo Total, entretanto, nas duas situações, algumas das triplicatas das amostras apresentaram uma aparência turva e opaca, conforme apresentado na Figura 90. Essas triplicatas apresentaram valores de leitura de espectroscopia no ultravioleta visível (UV VIS) muito superior às alíquotas que não haviam

apresentado essa característica. Na primeira tentativa de ensaio, levantou-se a possibilidade de contaminação das amostras pelos materiais e vidrarias utilizados, entretanto, para o segundo ensaio, todo o material a ser utilizado foi previamente separado e descontaminado em ácido clorídrico 5% quente, ainda assim, as amostras continuaram apresentando o mesmo comportamento. Portanto, supõem-se que essas interferências foram resultado de algum composto presente nas amostras. Dessa maneira, não foi possível determinar os valores de Fósforo total para as amostras coletadas no dia 21/01/2019.

Figura 90 – Indicação de opacidade apresentada em alíquotas do ensaio de Fósforo total da coleta do dia 21/01/2019



Fonte: Autoria própria (2019).

Embora as leituras de espectroscopia visível (UV VIS) dos parâmetros de ortofosfato e nitrogênio total tenham apresentado valores coesos entre si, atenta-se para o fato de que, uma vez que esses ensaios são realizados com porções da amostra filtradas, mas que não passam por nenhum processo de digestão, portanto, as alíquotas dos protótipos de telhado verde apresentaram coloração natural elevada, conforme apresentado na Figura 81.

Essa coloração da amostra apresentou interferência durante o processo de ensaios desses parâmetros, uma vez que esses métodos colorimétricos foram desenvolvidos para amostras que não apresentam coloração tão elevada, devendo obter uma coloração azul ao final do ensaio. Como as

colorações obtidas durante os ensaios não apresentaram a mesma coloração de detecção a qual o método indica, os resultados obtidos apresentam um certo grau de incerteza, entretanto, esses ainda podem ser utilizados como uma indicação da quantidade de ortofosfato e nitrogênio total presente nas amostras. A Figura 91 apresenta a coloração de leitura obtida para os ensaios de nitrogênio total e ortofosfato.

Figura 91 – Coloração de leitura apresentada para os parâmetros de nitrogênio amoniacal total e ortofosfato da coleta do dia 21/01



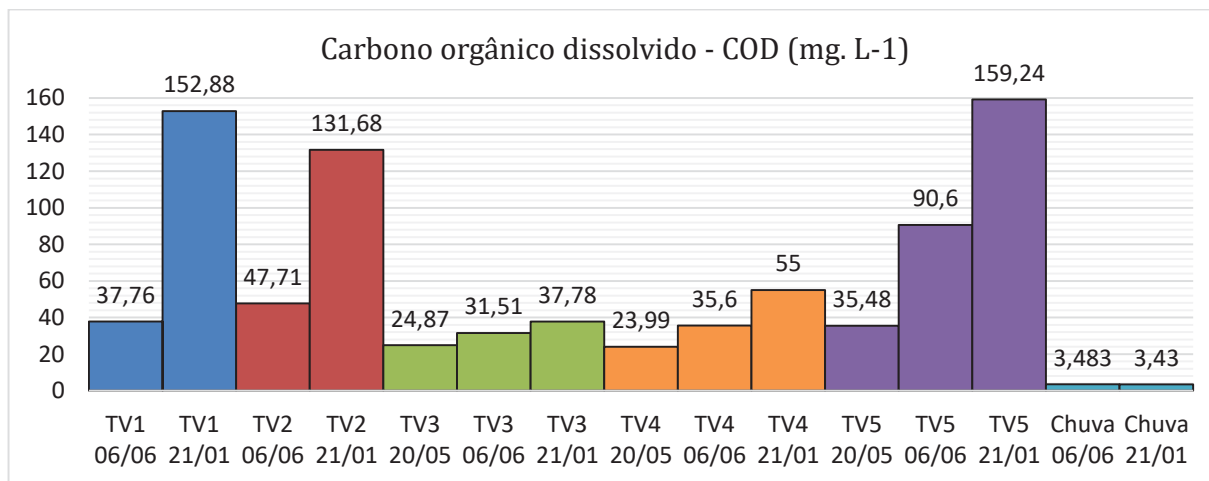
Fonte: Autoria própria (2019).

Segundo o método Standard 4500-NH<sub>3</sub> F, para a interferência de turbidez na avaliação do parâmetro de nitrogênio amoniacal total, deve-se destilar ou filtrar a amostra após análise. Já para a análise de fósforo total, o Standard 4500-P E indica que águas de coloração natural geralmente não interferem no comprimento de onda utilizado para leituras de espectroscopia visível (UV VIS), entretanto, para águas com coloração ou turbidez elevada, deve-se preparar um branco adicionando todos os reagentes utilizados no método, com exceção do ácido ascórbico e tartarato de antimônio e potássio. A absorvância desse branco deve ser absorvida de cada amostra. (APHA, 1998). Dessa maneira, indica-se que futuras análises desses parâmetros atendam a essas especificações recomendadas.

Quanto aos valores de COD obtidos, todos os protótipos apresentaram concentração maior que os resultados obtidos em junho, no caso do TV3, esse aumento não foi tão significativo, apresentando valor similar a coleta anterior, enquanto que o TV4 apresentou um aumento médio desse valor. Já para os outros protótipos, os valores de COD tiveram uma taxa de concentração bastante elevado, chegando a um valor 4 vezes maior que o valor anterior, para o caso do TV1. Novamente o TV5 apresenta o maior valor de COD obtido. A comparação dos valores de carbono

orgânico dissolvido obtidos para as amostras dos diferentes eventos estudados é apresentada na Figura 92.

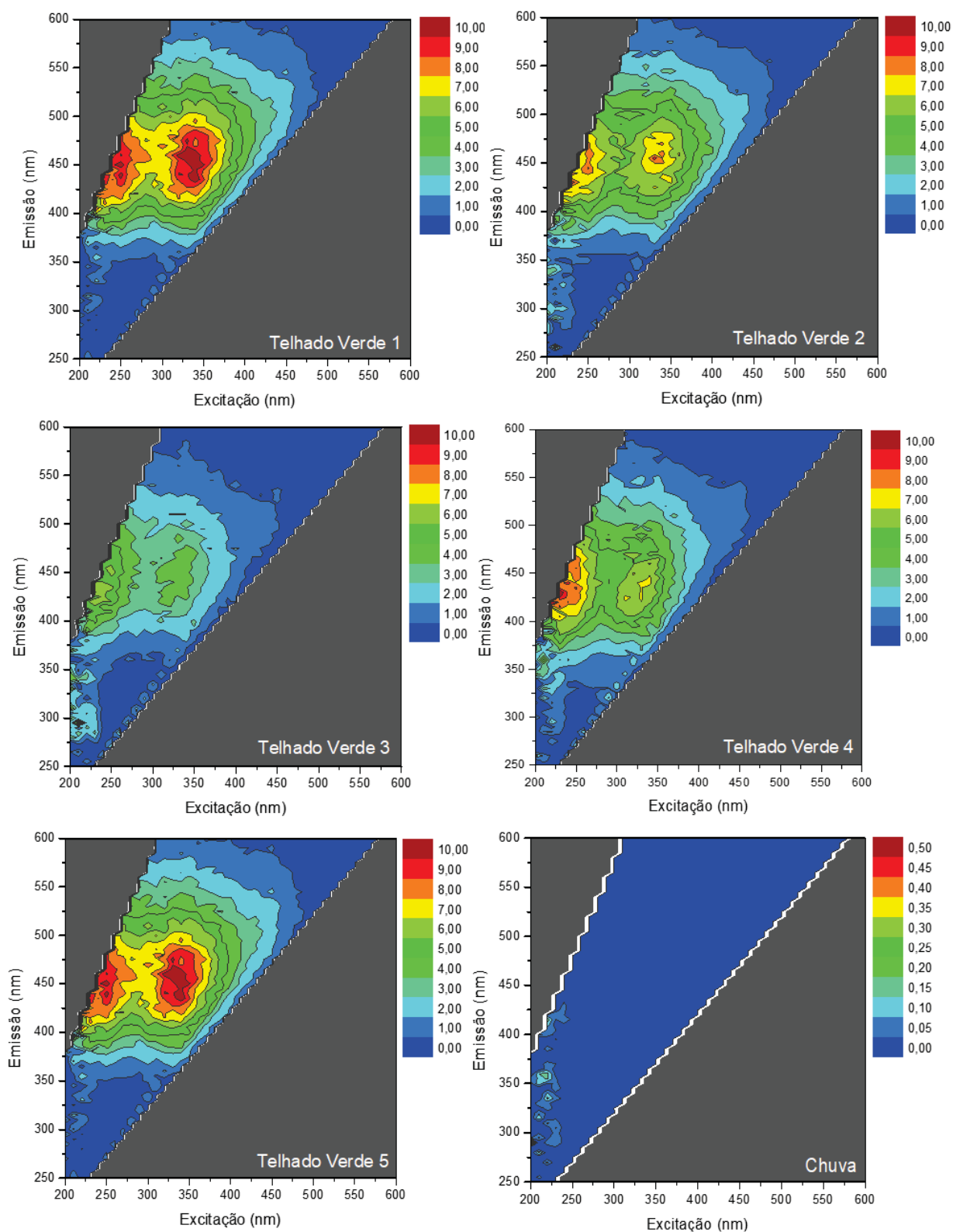
Figura 92 - Comparação dos valores de COD entre os eventos avaliados



Fonte: Autoria própria (2019).

As matrizes de excitação-emissão de fluorescência obtidas para as amostras avaliadas é apresentada na Figura 93. Atenta-se para a escala utilizada nas matrizes dos protótipos de telhado verde, com o dobro de intensidade utilizada para a coleta do dia 06/06/2018. Já os valores dos picos A, B, C, T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub> obtidos para cada amostra são apresentados na Tabela 29.

Figura 93 - Matrizes de excitação-emissão de fluorescência – coleta dia 21/01/2019



Fonte: Autoria própria (2019).



Tabela 29 - Valores dos picos representativos de fluorescência e porcentagem destes valores em relação ao valor total de COD para coleta do dia 21/01

Protótipo	Pico A	Pico B	Pico C	Pico T <sub>1</sub>	Pico T <sub>2</sub>	COD (mg. L <sup>-1</sup> )	% Pico A	% Pico B	% Pico C	% Pico T <sub>1</sub>	% Pico T <sub>2</sub>
TV1 (painel modular)	10,78	1,49	9,93	1,43	1,87	152,88	7,1	1,0	6,5	0,9	1,2
TV2 (sem drenagem)	9,68	2,91	9,42	0,98	1,4	131,68	7,4	2,2	7,2	0,7	1,1
TV3 (argila expandida)	7,1	3,28	4,89	0,82	2,34	37,78	18,8	8,7	12,9	2,2	6,2
TV4 (brita)	13,26	3,04	7,33	1,8	1,64	55	24,1	5,5	13,3	3,3	3,0
TV5 (tapete drenante)	10,85	1,36	11,42	1,11	1,67	159,24	6,8	0,9	7,2	0,7	1,0
Chuva	0,18	0,11	0,03	0,03	0,07	3,43	5,2	3,2	0,9	0,9	2,0

Fonte: Autoria própria (2019).

As amostras de escoamento coletadas dos protótipos TV1 e TV5 apresentaram uma matriz de excitação-emissão de fluorescência semelhantes entre si, com uma intensidade de coloração levemente superior para o TV1, indicando maior grau de matéria orgânica presente no escoamento. Esses resultados corroboram com os valores de COD obtidos para os dois telhados, que também apresentaram valores próximos entre si. Em relação a origem da matéria orgânica, ambas as amostras são compostas predominantemente por material de origem húmica, entretanto, o TV1 apresenta predominância de ácidos fúlvicos, com 7,1% da representatividade total da amostra. Já o TV5 apresenta predominância de ácidos húmicos, com 7,2% da representatividade total da amostra.

Embora o protótipo TV2 também ter apresentado valor de COD elevado, próximo aos valores obtidos para o TV1 e TV5, a EMM desta amostra apresentou intensidade de escala de coloração significativamente inferior que dos protótipos TV1 e TV5. A predominância da matéria orgânica é de origem húmica, com valores de ácidos fúlvicos e húmicos quase iguais entre si, com representatividade de 7,4% e 7,2% do total da matéria orgânica, respectivamente.

O protótipo TV3 (argila expandida) foi a amostra que apresentou EMM com menor grau de indicação de matéria orgânica, corroborando com os resultados de COD obtidos. Entretanto, em comparação com os outros telhados desta coleta, este foi o protótipo que apresentou maior valor de pico B (tirosina) e pico T<sub>2</sub> (triptofano) na composição da matéria orgânica da amostra. Ainda assim, a matéria orgânica é composta predominantemente por material húmico, com um valor de

representatividade de 18,8% do valor do pico A, em relação ao valor total de matéria orgânica, e 12,9% do pico B.

A EMM obtida pela amostra do TV4 apresenta intensidade de coloração moderados, principalmente na região III da matriz, caracterizada por ácidos fúlvicos. Essa amostra apresenta o maior valor do pico A obtido para esta coleta, com representatividade de 24,1% do total da matéria orgânica, indicando predominância ácidos fúlvicos, seguido pelo pico C, com representatividade de 13,3%. Observa-se que a quantidade de tirosina presente na amostra (pico B) é similar ao apresentado pelo TV3 e TV2, com valores maiores que o apresentado pelos TV1 e TV5.

Por fim, atenta-se para a diferença de escala utilizada para a EMM da amostra de água de chuva, com valores significativamente menores que os apresentados pelos telhados verdes, e praticamente igual ao valor obtido na coleta do dia 06/06/2018, corroborando com o valor de COD obtido. Entretanto, diferentemente da amostra anterior, a maior porção desta amostra é caracterizada por matéria orgânica húmica (picos A e C), próxima da quantidade de tirosina (pico B) apresentada.

#### **4.3.4 Caracterização dos resultados**

Embora nenhuma legislação ou normativa ainda trate especificadamente de parâmetros de qualidade de águas escoadas por telhados verdes, algumas foram selecionadas como valores base para fim de comparação e caracterização dos valores obtidos nos ensaios de qualidade de água das amostras dos protótipos de telhado verde. Entre as legislações e normativas selecionadas para comparação de valores, encontram-se a Portaria N °518/04 MS, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. A Resolução CONAMA 357/05 classifica corpos de água segundo a qualidade requerida para seus usos preponderantes, incluindo a possibilidade de uso destas águas para irrigação. Os parâmetros de uso para as classes de águas doces estipulada pela Resolução CONAMA 357/05 é apresentada na Tabela 30. Já a NBR 15.527:2007 trata dos requisitos para aproveitamento da água da chuva escoadas por coberturas para fins não potáveis. A NBR 13.969:1997 trata das unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. E por fim, a Resolução CONSEMA n°128/2006 RS dispõem sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos poluidores e domésticos que

lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. A Tabela 31 apresenta as legislações utilizadas e os valores dos parâmetros avaliados e compara com os valores obtidos para os protótipos de telhado verde.

Tabela 30 – Classificação da destinação de uso para diferentes classes de água doce segundo Resolução CONAMA 357/05

<b>Destinação de uso para águas doces</b>	
<b>Classe</b>	<b>Destinação das águas</b>
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;</li> <li>- Proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>- Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;</li> <li>- Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e</li> <li>- Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.</li> </ul>
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;</li> <li>- Proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>- Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;</li> <li>- Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e</li> <li>- Aquicultura e à atividade de pesca.</li> </ul>
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;</li> <li>- Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;</li> <li>- Pesca amadora;</li> <li>- Recreação de contato secundário; e</li> <li>- Dessedentação de animais.</li> </ul>

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 31 – Legislações e valores base de parâmetros de qualidade da água e comparação com valores apresentados pelos telhados verdes

Legislações	Parâmetro	pH	Turbidez (NUT ou uT)	Sólidos Totais (mg. L <sup>-1</sup> )	Coloração (uC ou Uh)	Nitrogênio Total (mg. L <sup>-1</sup> )	Nitrogênio Amomiacal (mg. L <sup>-1</sup> )	Fósforo Total (mg. L <sup>-1</sup> )
	Portaria N 0518/04 MS	6 a 9,5	5	*	15	*	*	*
	Resolução CONAMA 357/05 - Classe 1 para águas doces	6 a 9	40	500	Cor natural 75	1,27	3,7 mg/L N <sub>3</sub> para pH ≤ 7,5	0,025 (em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias)
	Resolução CONAMA 357/05 - Classe 2 para águas doces	6 a 9	100	500	75		3,7 mg/L N <sub>3</sub> para pH ≤ 7,5	0,050
	Resolução CONAMA 357/05 - Classe 3 para águas doces	6 a 9	100	500	75	*	13,3 mg/L N <sub>3</sub> para pH ≤ 7,5	0,075
	NBR 15.527:2007	6 a 8	< 2 uT para usos menos restritivos < 5 uT	*	Cor aparente < 15 uH	*	*	*
	NBR 13.969:1997	6 a 9	*	*	*	*	< 5 mg. L <sup>-1</sup>	*
	Resolução CONSEMA n°128/2006 RS	6 a 9	*	*	*	*	*	3 mg. L <sup>-1</sup> para 1000 < vazão < 2000 2 mg. L <sup>-1</sup> para 2000 < vazão < 10000 1 mg. L <sup>-1</sup> para vazão > 10000
Coleta 21/05	TV3 (argila expandida)	5,7	8,66	131,33	100	-	-	-
	TV4 (brita graduada)	5,7	6,57	138	125	-	-	-
	TV5 (paimel drenante)	6	6,45	191	150	-	-	-
	TV1 (paimel modular)	6,6	2,98	223,66	50	1,23	0,04	1,78
	TV2 (sem drenagem)	6,8	7,15	212	75	1,16	0,03	2,76
Coleta 06/06	TV3 (argila expandida)	6,7	4,28	159,33	50	1,39	0,06	1,26
	TV4 (brita graduada)	6,6	3,41	154,33	50	1,24	0,02	1,25
	TV5 (paimel drenante)	6,9	4,58	289	125	50,4	11,74	2,4
	TV1 (paimel modular)	5,92	2,1	440,33	1250	3,1	0,03	-
	TV2 (sem drenagem)	5,88	2,24	337,67	1000	2,56	0	-
Coleta 21/01	TV3 (argila expandida)	6,26	2,74	136,66	200	2,18	0,02	-
	TV4 (brita graduada)	6,28	3,65	193,67	200	9,46	2,95	-
	TV5 (paimel drenante)	5,81	3,63	513	1125	6,38	2,64	-

\*valores não estipulados pela legislação

Fonte: Autoria própria (2019).

Em relação ao parâmetro de pH, todas as legislações de comparação apresentam praticamente a mesma faixa de valores, onde apenas o TV5 da coleta do dia 20/05 atende aos valores de pH estipulados. Para a coleta do dia 06/06 todas as amostras atendem ao requisito de pH. Já para a coleta do dia 21/01 apenas os protótipos TV3 e TV4 atendem ao parâmetro de pH.

Quanto ao parâmetro de turbidez, a Portaria n° 518/04 MS solicita um valor máximo de 5 uT, enquanto a NBR 15.527:2007 estipula um valor máximo de 5 uT para usos menos restritivo do reaproveitamento das águas de coberturas e um valor máximo de 2 uT para usos mais restritivos<sup>9</sup>. Nenhuma amostra analisada apresentou valores de turbidez abaixo de 2 uT, não enquadrando-se para usos mais restritivos, como uso em irrigações, conforme padrões estipulados pela NBR 15.527:2007. Para as amostras coletadas no dia 20/05, nenhuma leitura de turbidez se enquadra abaixo do valor de 5 NTU. Entretanto, para a coleta do dia 06/06, apenas o protótipo TV2 apresenta um valor de turbidez acima de 5 NTU. Todos os valores de turbidez obtidos para as amostras coletadas no dia 21/01 também se encontram abaixo do valor limite de 5 NTU. Já a Resolução Conama 357/05 estipula valores de turbidez máxima de 40 NTU para a classe 1, e 100 NTU para as classes 2 e 3 de água doce, neste caso, todas as amostras avaliadas encontram-se abaixo destes valores.

A Resolução CONAMA 357/05 estipula valor limite de Sólidos totais de 500 mg.L<sup>-1</sup> para todas as classes de água doce. Nesse limite, a única amostra que não atende esse valor é a do TV5 para coleta do dia 21/01. Todas as outras amostras avaliadas encontram-se abaixo do limite estipulado.

Em relação ao parâmetro de coloração, nenhuma amostra atende ao valor estipulado pela Portaria n° 518/04 MS. Quanto a Resolução 357/05, apenas as amostras dos protótipos TV1, TV2, TV3 e TV4 da coleta do dia 06/06 ficam abaixo do valor estipulado, com todas as outras amostras avaliadas extrapolando o limite indicado. Quanto a NBR 15.527:2007, nenhuma amostra atende ao parâmetro de coloração estipulado.

Quanto ao parâmetro de Nitrogênio total, a Portaria N °518/04 MS estipula um valor máximo de 1,27 mg. L<sup>-1</sup>, neste valor, os protótipos TV1, TV2 e TV4 da coleta do dia 06/06

---

<sup>9</sup> Usos mais restritivos, no caso, associam-se ao reaproveitamento de água de chuva para irrigação de gramados e plantas ornamentais, e menos restritivos para descarga em bacias sanitárias, limpeza de veículos, calçadas e afins.

apresentam valores abaixo do estipulado. Para a coleta do dia 21/01 nenhuma amostra atendeu a este parâmetro.

Em relação ao parâmetro de Nitrogênio amoniacal total, com exceção da amostra do protótipo TV5, da coleta do dia 06/06, todas as amostras se encontram abaixo do valor estipulado pela Resolução CONAMA 357/05 - classe 1 e 2, para a classe 3, todas as amostras atendem ao parâmetro estipulado. Quanto ao valor estipulado pela NBR 13.969:1997, todas as amostras com exceção do TV5 da coleta do dia 06/06 atendem ao parâmetro.

Quanto ao parâmetro de Fósforo total, nenhuma amostra atende aos parâmetros estipulados pela Resolução 357/05. Para a Resolução CONSEMA n°128/2006 RS todas as amostras avaliadas atendem ao valor máximo estipulado de 3 mg. L<sup>-1</sup> para 1000 < vazão < 2000. Para o limite de 2 mg. L<sup>-1</sup> para 2000 < vazão < 10000, os protótipos TV1, TV3 e TV4 da coleta do dia 06/06 atendem ao valor estipulado. Nenhuma amostra atende ao limite de 1 mg. L<sup>-1</sup> para vazão > 10000.

A Tabela 32 apresenta uma classificação de efluentes de esgoto não tratados por meio de parâmetros de Carbono orgânico total (COT), fósforo total e sólidos totais (ST), conforme estipulado por Metcalf e Eddy (2003). Embora os escoamentos de telhado verde também não sejam considerados como efluente de esgoto, esses valores servem de base de comparação para caracterização dos parâmetros obtidos.

Tabela 32 – Classificação dos esgotos não tratados por meio de parâmetros físico-químicos

Parâmetro de avaliação	Forte	Médio	Fraco
COT (mg.L <sup>-1</sup> )	290	160	80
Fósforo Total (mg.L <sup>-1</sup> )	15	08	04
Sólidos totais (ST)	1200	720	350

Fonte: Metcalf, Eddy (2003).

Conforme apresentado no item 2.6.1.8 do capítulo de revisão bibliográfica, o parâmetro de Carbono orgânico dissolvido (COD) é uma fração do parâmetro de Carbono orgânico total (COT). Entretanto, para fins de comparação e caracterização dos resultados obtidos, serão utilizados os valores de COD como comparação dos valores de COT estipulados. A Tabela 33 apresenta a comparação dos valores de classificação de esgotos com os valores obtidos para as amostras de telhado verde.



Tabela 33 – Comparação dos parâmetros avaliados com classificação de esgotos estipulados por Metcalf e Eddy (2003)

Coleta	Protótipo	Parâmetros de avaliação		
		COD (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo Total (mg.L <sup>-1</sup> )	Sólidos totais (ST)
20/05/2018	TV3	24,87 - FRACO	-	131,33 - FRACO
	TV4	23,99 - FRACO	-	138 - FRACO
	TV5	35,48 - FRACO	-	191 - FRACO
06/06/2018	TV1	37,76 - FRACO	1,78 - FRACO	223,66 - FRACO
	TV2	47,71 - FRACO	2,76 - FRACO	212 - FRACO
	TV3	31,51 - FRACO	1,26 - FRACO	159,33 - FRACO
	TV4	35,60 - FRACO	1,25 - FRACO	154,33 - FRACO
	TV5	90,60 - MÉDIO	2,4 - FRACO	289 - FRACO
21/01/2018	TV1	152,88 - MÉDIO	-	440,33 - FRACO
	TV2	131,68 - MÉDIO	-	337,67 - FRACO
	TV3	37,78 - FRACO	-	136,33 - FRACO
	TV4	55 - FRACO	-	193,67 - FRACO
	TV5	159,24 - MÉDIO	-	513 - FRACO

Fonte: Autoria própria (2019).

Observa-se, em comparação com valores quantitativos dos parâmetros de Carbono orgânico total, Fósforo total e Sólidos totais estipulados por Metcalf e Eddy (2003), a maioria dos parâmetros encontra-se dentro da faixa de valores estipulados em intensidade fraca de concentração, com exceção dos valores de carbono apresentado pelo TV5 da coleta 06/06, e TV1, TV2 e TV5 da coleta do dia 21/01. Entretanto, atenta-se que a comparação foi realizada utilizando valores de COD, ou seja, uma parcela do valor de COT.

## 5 ANÁLISE CRÍTICA DOS PARÂMETROS MONITORADOS

As análises críticas e ponderações em consideração aos resultados monitorados obtidos são apresentados neste capítulo, após a apresentação de todos os resultados obtidos no capítulo anterior.

### 5.1 ACOMPANHAMENTO DA VEGETAÇÃO

De modo geral, os protótipos de telhado verde TV1 e TV2 manifestaram uma situação mais constante da camada de vegetação durante o período de monitoramento. Entretanto, esse resultado pode ter sofrido interferência do tamanho da área de plantio, uma vez que os protótipos foram construídos em dois tamanhos diferentes, conforme apresentado no item 3.3.1 do Capítulo 3. Outro aspecto importante relacionado a adaptação e desenvolvimento da vegetação em telhados verdes é a camada de substrato utilizada, sendo necessário a busca por substratos que ofereçam uma união apropriada para a vegetação que será utilizada, o que não foi o foco desta pesquisa. Além disso, a quantidade de substrato disponível no sistema também influencia no desenvolvimento e adaptação da vegetação. Através da construção e monitoramento dos protótipos de telhado verde desta pesquisa, sugere-se o uso de camadas de substrato maiores que 7 cm (altura utilizada) a fim de proporcionar uma maior oferta de nutrientes necessários para a saúde da camada de vegetação.

Em relação ao tipo de material drenante, o uso de painel modular no protótipo TV1 se mostrou com o melhor potencial para adaptação da vegetação, seguido do TV2, sem camada de drenagem, o que indica que a ausência de material drenante no protótipo TV2 não apresentou nenhuma influência negativa na adaptação e desempenho da camada de vegetação. O protótipo TV4, com uso de brita graduada como material drenante apresentou o pior desempenho de desenvolvimento da camada vegetal, o que pode ser um possível indicativo de uma deficiência no sistema.

Embora a temperatura média de Curitiba seja uma das mais amenas do Brasil, através do monitoramento apresentado, é evidente que a maior preocupação acerca da vegetação utilizada em telhados verdes é que apresente uma boa resistência a temperaturas e radiações solares elevadas, e altos períodos de seca, o que não é o caso da grama São Carlos utilizada. Além disso, as raízes da vegetação apresentaram comportamento bastante agressivo nos protótipos, perfurando e ultrapassando a membrana de filtro, invadindo o espaço da camada de drenagem, conforme

ilustrado na Figura 94. No processo de desmonte dos protótipos de telhado verde utilizados por Lopes (2018), observou-se que o protótipo que utilizava da vegetação de grama São Carlos apresentou uma presença de raízes que ocupava praticamente toda a camada de substrato, tendo fundido estas duas camadas de tal maneira que não era possível separar o substrato da vegetação. Esta situação não ocorreu com os outros tipos de vegetação utilizados nos outros protótipos da autora. Assim, com base nas informações coletadas, considera-se inadequado o uso da grama São Carlos em telhados verdes, sendo preferível o uso de vegetações que, além de se adaptarem às condições climáticas locais, possuam raízes menos agressivas.

Figura 94 – Comportamento das raízes nos protótipos TV1 e TV3



Fonte: Autoria própria (2019).

Em relação ao resultado de adaptação da vegetação apresentado pelo protótipo TV4, cuja vegetação apresentou sinais de estresse hídrico elevados desde a metade do período de monitoramento, levanta-se a possibilidade de este ser resultado de uma pouca capacidade de absorvidade da brita graduada utilizada como material drenante. Neste caso, embora haja uma retenção pluvial, e um atraso do escoamento realizado pelo sistema, a camada de drenagem não necessariamente apresenta um estoque de umidade para disponibilizar as raízes da vegetação, o que pode ter levado a um estresse hídrico mais elevado. Essa condição não se repete no protótipo de telhado TV3, uma vez que a argila expandida apresenta uma porosidade elevada, capaz de reter escoamento em sua composição, podendo oferecer umidade as raízes da vegetação por mais tempo.

Apesar de o protótipo de telhado verde TV2 não possuir camada de drenagem, ainda assim apresentou uma saúde da vegetação melhor que o TV4 durante o período de monitoramento. Como indicado no item 2.2.4 do capítulo 2, uma das principais funções da camada de drenagem dentro dos sistemas de telhados verdes é escoar o excesso de água o mais rápido possível. O uso da brita graduada no protótipo TV4 pode ter levado a água de entrada no sistema a escoar mais rapidamente que a água de entrada no protótipo TV2, em função da força gravitacional exercida pela camada de drenagem. Essa situação também pode ser observada em um momento de irrigação, durante os dias 17/05 a 20/05 de 2018, onde estava sendo realizado concerto nas mangueiras de escoamento dos protótipos. Mesmo com volumes de irrigação maiores nos protótipos TV1, TV2, tanto esses dois protótipos quanto o TV5 demoravam mais tempo para apresentar um início de escoamento pelos telhados que os protótipos TV3 e TV4. Esse fenômeno pode explicar a melhor adaptação da camada de vegetação do protótipo TV2, em comparação com o protótipo TV4. Mais uma vez, atenta-se para o fato da melhor condição de saúde da vegetação apresentada pelos protótipos TV1 e TV2 pode ter influência da maior área apresentada por estes.

A mesma premissa apresentada para o TV2 pode ser aplicada ao TV5, uma vez que o tapete drenante apresenta uma condição mais semelhante ao protótipo sem camada de drenagem que aos protótipos com uso de material granular, uma vez que este material não apresenta uma altura elevada ou mesmo espaços de ar que possam gerar um escoamento mais rápido. Entretanto, a partir de janeiro de 2019, a vegetação do protótipo TV5 começou a apresentar a mesma condição de degradação apresentada pelo TV4, inclusive com o surgimento da mesma vegetação espontânea apresentada pelo TV4.

Segundo Caron, Graças e Castro (2015), os compostos da matéria orgânica húmica (ácidos húmicos e fúlvicos) apresentam propriedades capazes de estimular a síntese de hormônios vegetais, favorecendo a germinação, florescimento e crescimento da parte aérea. Dessa maneira, levanta-se a possibilidade do índice elevado de degradação da camada de vegetação dos protótipos TV4 e TV5 (e seu consequente aumento de matéria orgânica no sistema) estar associada com o surgimento das ervas daninhas, uma vez que, para os dois casos observados, esta vegetação espontânea começou a brotar nos telhados após a degradação praticamente total da camada de vegetação dos protótipos.

## 5.2 DESEMPENHO DE RETENÇÃO PLUVIAL

As taxas de retenção de escoamento pluvial obtidas para os eventos avaliados encontram-se dentro da margem de retenção de escoamento de telhados verdes estipulada por Mentens, Raes e Hermy (2006) para telhados verdes extensivos (27 a 81%), apresentada no item 2.5 do Capítulo 2, indicando uma corroboração com os resultados encontrados na literatura.

Como apresentado anteriormente no item 2.5 do capítulo de revisão bibliográfica, o fenômeno de evapotranspiração é o principal responsável pela capacidade de retenção pluvial apresentada por telhados verdes, ou seja, quanto maior a taxa de evapotranspiração, melhor o desempenho de retenção pluvial do sistema. Nesse contexto, estudos como Nascimento (2015) observa que o módulo experimental de telhado marrom (uso apenas da camada de substrato, sem vegetação) apresentou maior potencial de retenção de escoamento, devido a um verão excepcionalmente seco, o que expôs o sistema a condições de evaporação direta (diferentemente dos telhados com vegetação, que sombrearam o substrato), influenciando o potencial de retenção do protótipo. (BÄR; TAVARES, 2017). Savi (2015) também conclui que a retenção de escoamento pluvial elevada obtida para as vegetações do tipo suculenta está relacionado com o pouco fechamento do solo pelas folhas, gerando uma taxa maior de evaporação do sistema.

A partir do exposto, atenta-se que os valores de retenção pluvial mais elevado apresentados pelos protótipos TV2 e TV5 podem ser relacionados a uma possível capacidade de secagem mais rápida destes sistemas, em comparação com os protótipos TV4 e TV3. Ou seja, apesar dos protótipos TV2 e TV5 provavelmente atrasarem mais o início do escoamento pluvial, uma vez que sua camada de drenagem não exerce a mesma pressão gravitacional que as camadas de drenagem



dos protótipos TV3 e TV4, seus sistemas possivelmente realizam o processo de evaporação de maneira mais rápida, por sua camada de drenagem não apresentar umidade e sombreamento interno, como no caso dos TV3 e TV4. Ao apresentar essa capacidade de secar o sistema mais rapidamente, ocorre um conseqüente aumento da capacidade de retenção pluvial, uma vez que o sistema se encontra mais apto a reter as águas pluviais que adentram seus sistemas. Ainda, o protótipo TV5 possui em seu tapete drenante uma capacidade de absorção que não é apresentada pelo TV2, que não possui camada de drenagem. Essa diferença de composição pode ser responsável pelo melhor desempenho de retenção pluvial apresentado pelo TV5, em comparação com o TV2.

Através dos resultados de média de retenção pluvial para cada estação monitorada, observa-se que a alta taxa de retenção pluvial total apresentada pelo protótipo TV1 é resultado principalmente da retenção obtida para a estação de inverno. Ou seja, nas estações onde houve pouca incidência de chuva, principalmente durante o mês de julho e agosto, com índices baixíssimos de chuva, foi onde o protótipo TV1 apresentou maior índice de retenção pluvial, uma vez que, como o protótipo encontrava-se em condição seca na maioria dos eventos de chuva, grande parte da precipitação foi armazenada nos painéis modulares, aumentando a taxa de retenção. Entretanto, para a estação de verão, onde os eventos de chuva começaram a apresentar menores intervalos de tempo entre si, e maior volume precipitado, a capacidade de retenção pluvial do protótipo TV1 cai, apresentando taxa de retenção menor que o protótipo TV5. Isso é justificado pelo fato de o telhado ainda possuir umidade retida em seu sistema, e, portanto, não apresentar o mesmo desempenho de retenção pluvial que em períodos onde o sistema tem mais tempo de utilizar as águas armazenadas.

Assim, é necessário considerar-se esse tipo de informação no projeto de telhados verdes. A cidade de Curitiba é caracterizada por altas taxas de precipitação, que apresentou atípicos momentos de seca e baixa intensidade de chuva durante o período de monitoramento. Em condições em que o local a ser implementado os telhados sofra com altos índices de precipitação, e, principalmente, com baixos intervalos entre os períodos, é provável que o uso de painéis modulares não apresente resultados de retenção tão elevados quanto os obtidos por esta pesquisa, sendo talvez, mais apropriado o uso de camadas drenantes do tipo do protótipo TV5, ou até mesmo sem camada de drenagem. Outra opção é o uso de telhados marrons, uma vez que, a taxa de evaporação do substrato provavelmente irá apresentar taxas maiores que as taxas de



evapotranspiração dos telhados verdes, além disso, com os telhados marrons, não ter-se-ia a situação de adaptação e manutenção da vegetação. Telhados marrons também tendem a apresentar qualidade superior nos parâmetros de sólidos totais, fósforo total, nitrogênio, nitrato, turbidez e DBO, comparando com telhados verdes. Isso é resultado da menor concentração de matéria orgânica (vegetação) em decomposição nesses sistemas. (BÄR, TAVARES; 2017).

A situação ocupacional e de desenvolvimento de países Europeus e de primeiro mundo levou ao uso de telhados verdes, que começou a ser empregado justamente pela falta de espaços verdes nas cidades e moradias, servindo de recurso para contenção deste problema. Além disso, a falta de território tem levado a esses países a buscar em telhados verdes alternativas para locais de plantio de alimentos para consumo. Entretanto, essa falta de espaço verde não é um problema característico do Brasil. Dessa maneira, existe a possibilidade de coberturas verdes não necessariamente serem a melhor solução para a retenção de águas pluviais a ser empregada no país, com a possibilidade de melhores resultados de retenção da carga urbana pluvial serem alcançados pelo uso de telhados marrons, por exemplo, ou lajes impermeabilizadas com o uso de materiais porosos para absorção de águas. Entretanto, telhados verdes também apresentam uma série de outros benefícios ambientais, como apresentado no item 2.3 da revisão bibliográfica, como isolamento acústico, redução do efeito de ilhas de calor local, isolamento térmico da edificação e consequente redução do consumo de energia. Esses benefícios citados, entre outros, podem tornar o uso de telhados verdes mais vantajoso que outros tipos de cobertura, entretanto, deve-se avaliar o tipo de benefício que se espera da cobertura a ser construída. Além disso, maiores estudos precisam ser realizados no Brasil, comparando os benefícios oferecidos por diferentes tipos de cobertura, e os seus desempenhos em condições locais brasileiras.

### 5.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS ESCOADAS

Em geral, os valores de pH se mostraram entre faixa de valores de 5 a 7. Dessa maneira, algumas das amostras avaliadas apresentaram valores abaixo da faixa de pH mínima de 6, estipulada pela maioria das legislações e normas utilizadas para comparação dos valores. Atenta-se ao fato de que os valores de pH apresentaram comportamentos opostos nas coletas do dia 06/06 e 21/01, uma vez que na coleta do dia 06 as amostras de escoamento se encontravam em valor levemente mais base em comparação com o valor da água da chuva. Já para o dia 21 os valores dos telhados se encontraram em meio mais ácido em comparação com a água da chuva. Uma vez que

o pH depende da temperatura, a variação climática entre as duas estações onde as coletas foram realizadas podem ter influenciado essa diferença do parâmetro de pH.

Todos os protótipos de telhado verde apresentaram aumento de valores de cor aparente durante o monitoramento, principalmente dos protótipos TV1, TV2 e TV5. Os valores obtidos para os protótipos TV3 e TV4 são praticamente iguais, o que pode significar uma tendência de filtragem da coloração pelo uso de materiais granulares na camada de drenagem. Atenta-se também, ao fato de que poucos eventos de chuva ocorreram nos dias antecessores a coleta do dia 06/06, já os dias anteriores a coleta em 21/01 apresentaram eventos de chuva recorrentes. Ainda assim, a coloração obtida para o evento do dia 21/01 foi significativamente maior que a da coleta anterior.

Conforme apresentado no item 2.6.1.2 do capítulo de Revisão Bibliográfica, a cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, devido a presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Dentre os coloides orgânicos pode-se mencionar os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Assim, observa-se que o aumento de matéria orgânica nos protótipos, proveniente principalmente de matéria húmica, pode ser um dos principais motivos para o aumento da coloração dos escoamentos dos telhados. Atenta-se também que o aumento do parâmetro de cor aparente teve uma relação direta com o aumento dos valores de carbono orgânico dissolvido das amostras, corroborando essa hipótese.

Quanto aos valores de turbidez e condutividade elétrica, em todos os protótipos houve uma diminuição destes índices durante o monitoramento, com exceção do protótipo TV4. Como apresentado anteriormente no item 2.6.1.3 do capítulo de revisão bibliográfica, o parâmetro de turbidez está associado a estética da qualidade da água, e valores elevados desse parâmetro levam a redução da intensidade dos raios luminosos que penetram no corpo d'água. Atenta-se ao fato de que, apesar da presença elevada de COD em todas as amostras, esse aumento de matéria orgânica não teve uma influência negativa no parâmetro de turbidez. Todas as amostras dos protótipos coletadas também não apresentaram odores fortes ou desagradáveis, corroborando com os resultados obtidos. No caso do parâmetro de condutividade elétrica, esses valores indicam uma diminuição da descarga de partículas eletricamente carregadas. Novamente observa-se uma similaridade entre os valores obtidos para os protótipos TV3 e TV4.

Em relação aos valores de sólidos totais, com exceção do protótipo TV3 (que apresentou resultados similares nos três eventos de estudo), todos os outros protótipos tenderam a aumentar a liberação de partículas sólidas no escoamento. Em relação aos resultados do protótipo TV4, uma vez que o aumento apresentado do valor de sólido total não foi bastante elevado, pode associar-se este à decomposição da camada de vegetação com um aumento da liberação de partículas sólidas. Entretanto, para os casos dos protótipos TV1, TV2 e TV5, cujos valores apresentaram um aumento significativo do parâmetro de sólido total, levanta-se a possibilidade desse resultado ser consequência de uma deterioração da camada de filtro (no caso do TV1) ou do tapete drenante (no caso do TV5), além da predominância das raízes da vegetação na camada de substrato. Para o protótipo TV2 (sem camada de drenagem) o aumento da quantidade de sólidos presente na amostra não foi tão elevado quanto para os protótipos TV1 e TV5, sendo provavelmente originado do assentamento natural que ocorre da camada de sólidos e da união desta camada com as raízes da vegetação. Também foi observado a mesma correlação entre os valores de cor natural e COD com os valores de ST e COD. Ou seja, os valores obtidos de Sólidos totais tenderam a aumentar de maneira similar ao aumento dos valores de COD das amostras.

Em relação ao parâmetro de nitrogênio total, a única amostra que apresentou um valor ligeiramente menor que o obtido pelo protótipo TV2 (sem camada de drenagem) foi o protótipo TV3 na coleta do dia 21/01. Todas as outras amostras de nitrogênio total avaliadas apresentaram valor superior, tanto da amostra de água de chuva, quanto da amostra do protótipo TV2. Dessa maneira, classificam-se os protótipos de telhado verde monitorados como fonte de poluição de nitrogênio total. O ciclo do nitrogênio está altamente ligado a decomposição de matéria orgânica, portanto, o aumento dos valores de COD apresentados pelas amostras de telhado verde pode estar relacionado ao aumento do nitrogênio total. Além disso, a saúde da camada de vegetação também se correlaciona com esse nutriente, como observado nos valores obtidos para os protótipos TV4 e TV5 na coleta do dia 21/01, uma vez que estes protótipos apresentaram os valores mais elevados de nitrogênio total, e também são os protótipos cuja camada de vegetação se encontra em estado mais deteriorado. Para os valores elevados de nitrogênio total obtido pelo protótipo TV5 na coleta do dia 06/06, levanta-se a possibilidade de uma contaminação deste parâmetro na amostra. Essa possível contaminação pode ter ocorrido em laboratório, entretanto, o tapete drenante utilizado como camada de drenagem do protótipo TV5 é uma sobra do material utilizado na construção dos protótipos de Lopes (2018). Esse pedaço de tapete drenante foi armazenado ao ar livre, em contato

com o solo, durante todo o ano de 2017, embaixo dos protótipos de telhado verde. Sendo assim, também é possível que durante esse tempo este material drenante tenha absorvido algum composto de nitrogênio, e que os resultados da coleta do dia 06/06 sejam consequência da lavagem desse componente, uma vez que, até o momento dessa coleta, não havia ocorrido grandes volumes de escoamento pelos telhados verdes.

Para o parâmetro de nitrogênio amoniacal total, os valores obtidos foram praticamente inexistentes para os protótipos TV1, TV2 e TV3 em ambas avaliações realizadas, indicando uma filtragem deste nutriente pelos protótipos, provavelmente realizada pela camada de vegetação dos sistemas. Já para os protótipos TV4 e TV5, cuja camada de vegetação apresentou maior grau de decomposição durante o monitoramento, os valores de nitrogênio amoniacal total foram maiores que os obtidos pelo protótipo TV2 (sem camada de drenagem) e da água da chuva para coleta do dia 21/01, indicando uma liberação deste componente pelos sistemas. O baixo valor de nitrogênio amoniacal indica que existe pouco nutriente em fase de decomposição ativa (onde consome-se maior quantidade de oxigênio dissolvido nas águas), e indica que a quantidade de nitrogênio total presente nas amostras é provavelmente composta por sua forma oxidada (nitrito e nitrato). Atenta-se ao fato do parâmetro de nitrogênio total ter atendido a Resolução 357/05 - Classe 1 para águas doces (com exceção da amostra de TV5 coletada em 06/06), entretanto, para o parâmetro de nitrogênio total, apenas as amostras dos protótipos TV1, TV2 e TV4 da coleta do dia 06/06 atenderam ao valor estipulado na resolução, todas as outras amostras avaliadas extrapolaram ao valor limite.

Os resultados obtidos para o parâmetro de fósforo total apresentam que todos os protótipos de telhado verde avaliados servem de fonte de contaminação para este nutriente, entretanto, em função do resultado apresentado pelo protótipo TV2, também observa-se que as camadas de drenagem utilizadas nos protótipos TV1, TV3, TV4 e TV5 foram capazes de absorver um valor considerável deste nutriente, principalmente pelos protótipos TV3 e TV4, que apresentaram resultados praticamente iguais. Os resultados obtidos do parâmetro de ortofosfato seguem o mesmo comportamento apresentado pelo parâmetro de fósforo total. Entretanto, os valores lixiviados na coleta do dia 21/01 apresentaram valores de concentração bastante inferiores ao apresentado na coleta do dia 06/06 (com exceção do TV5, que apresentou um valor levemente superior a coleta anterior).

Como indicado no item 3.1.3 do capítulo de Métodos de pesquisa, o substrato utilizado nos protótipos de telhado verde apresenta em sua composição superfosfato triplo, que é um fertilizante altamente concentrado em fósforo. Além disso, é muito provável que os tapetes de grama instalados nos telhados tenham recebido algum tratamento com fertilizante durante seu processo de fabricação. Assim, é possível que essa diminuição da concentração da lixiviação de ortofosfato seja resultado da lavagem do substrato, realizada pelos eventos de chuva que ocorreram durante o período de monitoramento. Além disso, o ortofosfato é uma forma do fósforo que atua como fertilizante para o uso da vegetação, assim, é possível que na primeira avaliação deste parâmetro, a vegetação ainda não tivesse precisado absorver muito deste nutriente para sua manutenção, e que na segunda avaliação realizada este componente já tivesse sido mais retido para uso na vegetação.

Atenta-se para o valor obtido pelo TV4 da coleta do dia 21/01, significativamente inferior ao apresentado pelos outros protótipos. Esse resultado vai ao encontro do resultado obtido por Karczmarczyk, Baryła e Bus (2014), conforme apresentado anteriormente no item 2.7 do capítulo de revisão bibliográfica, onde os autores testam cinco agregados reagentes a fósforo para uso na camada de drenagem de telhados verdes e comprovam a eficiência de remoção de fósforo pelo concreto aerado auto clavado triturado.

Como apresentado no item 2.6.1.6 do capítulo 2, o fósforo é um macronutriente, que, ao ser lançado em excesso em corpos de água, juntamente do nitrogênio, é responsável pelo processo de eutrofização. Portanto, busca-se lixiviar o mínimo possível desses nutrientes pelas águas de escoamento de telhados verdes. Nesse contexto, o parâmetro de fósforo tem se mostrado mais receptivo a alternativas dentro do sistema que consigam diminuir sua lixiviação, em comparação do parâmetro de nitrogênio, cuja presença em diferentes formas dificulta sua remoção. Além da camada de drenagem, também se sugere o uso de substratos que por si só já não contenham taxas tão elevadas de fósforo em sua composição quanto a do substrato utilizado, diminuindo sua concentração de lixiviação.

A Figura 95 sumariza a comparação dos resultados obtidos dos parâmetros de monitoramento avaliados por esta pesquisa.

Figura 95 – Ilustração da comparação dos resultados dos parâmetros de qualidade d'água avaliados

TV1 (painel modular)	TV2 (sem drenagem)	TV3 (argila expandida)	TV4 (brita graduada)	TV5 (tapete drenante)
Melhor desempenho da vegetação	Desempenho da vegetação similar a TV1	Degradação média da vegetação no fim do monitoramento	Alto grau de degradação da vegetação na metade do monitoramento	Alto grau de degradação da vegetação no fim do monitoramento
Taxa de retenção média pluvial: 76,6%	Taxa de retenção média pluvial: 70,3%	Taxa de retenção média pluvial: 68,1%	Taxa de retenção média pluvial: 67,7%	Taxa de retenção média pluvial: 74%
Maior cor aparente	Cor aparente elevada	Cor aparente média	Cor aparente média	Cor aparente elevada
Tendência de diminuição do valor de turbidez	Tendência de diminuição do valor de turbidez	Tendência de diminuição do valor de turbidez	Tendência de diminuição do valor de turbidez	Tendência de diminuição do valor de turbidez
Tendência de diminuição do valor de turbidez próximo a 100 $\mu\text{S/cm}$	Tendência de diminuição do valor de turbidez próximo a 100 $\mu\text{S/cm}$	Tendência de diminuição do valor de turbidez abaixo a 100 $\mu\text{S/cm}$	Tendência de diminuição do valor de turbidez abaixo a 100 $\mu\text{S/cm}$	Tendência de diminuição do valor de turbidez mas ainda acima de 100 $\mu\text{S/cm}$
Aumento elevado de ST	Aumento médio de ST	Constância dos valores de ST	Aumento baixo de ST	Aumento elevado de ST
Lixiviação de NT	NT igual amostra de chuva	Lixiviação de NT	Lixiviação de NT	Lixiviação de NT
Retenção de $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$	Retenção de $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$	Retenção de $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$	Lixiviação de $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ na segunda coleta avaliada	Lixiviação de $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ em todas coletas avaliadas
Retenção de $\text{P}_T^*$	Lixiviação de $\text{P}_T^{**}$	Retenção de $\text{P}_T^*$	Retenção de $\text{P}_T^*$	Retenção de $\text{P}_T^*$
Retenção de $\text{PO}_4^{3-*}$	Lixiviação de $\text{PO}_4^{3-**}$	Retenção de $\text{PO}_4^{3-*}$	Retenção de $\text{PO}_4^{3-*}$	Lixiviação de $\text{PO}_4^{3-*}$ na 2ª coleta avaliada
COD elevado	COD elevado	COD médio	COD médio	COD elevado

\*Retenção de nutriente considerada pela camada de drenagem, apresentando valores menores que o obtido para o TV2, entretanto, ainda existe lixiviação, em comparação com a amostra de água da chuva

\*\*Lixiviação de nutriente em comparação com os valores da amostra de água de chuva

Fonte: Autoria própria (2019).



Como indicado anteriormente no item 2.6.1.8 do capítulo de revisão bibliográfica, o parâmetro de carbono orgânico dissolvido (COD) é uma análise quantitativa da matéria orgânica presente em uma determinada amostra. A partir dos valores obtidos, observou-se um aumento significativo de matéria orgânica presente nas amostras de escoamento dos protótipos de telhado verde, cuja concentração apresentou valores cada vez maiores durante o período de monitoramento, com exceção unicamente do protótipo TV3, cujos valores de COD permaneceram semelhantes entre as amostras avaliadas das diferentes coletas.

Já a partir das matrizes de excitação-emissão (EEM) obtidas pela avaliação do parâmetro de fluorescência molecular, é obtido uma avaliação qualitativa da matéria orgânica, servindo de material complementar para os resultados de carbono orgânico. Esse parâmetro de avaliação indicou a origem da matéria orgânica composta das amostras dos telhados verdes é composta quase em sua totalidade por material de origem húmica, advinda da camada de substrato e da decomposição do material vegetal presente nos protótipos de telhado verde.

Conforme indicado no item 2.6.1.8 do capítulo de revisão bibliográfica, a parte refratária de origem pedogênica representa a fração reativa mais estável da matéria orgânica, formada por compostos estáveis, apresenta resistência a degradação microbiana, e serve de indicação da qualidade do humus do solo. Ou seja, esses compostos apresentam uma degradação lenta, podendo levar meses ou até mesmo anos para a sua decomposição. Nesse contexto, apesar dos valores elevados de COD obtidos para as amostras de telhado verde, a partir da avaliação qualitativa proporcionada pelos ensaios de fluorescência, observa-se que as amostras de telhado verde são compostas praticamente por matéria orgânica húmica. Ou seja, o impacto ambiental gerado pela descarga desses escoamentos no meio ambiente não resultaria em um impacto ambiental tão elevado ou rápido, não sendo uma fonte de poluição tão severa ao meio ambiente.

Atenta-se para o fato de que nenhum outro estudo conhecido pelos autores utiliza ensaios de fluorescência molecular para a análise da qualidade das águas de escoamento de telhados verdes. A aplicação dessa técnica possibilitou identificar o arraste do material pedogênico do substrato para o restante do sistema. Dessa maneira, o monitoramento desse parâmetro se apresenta potencialmente como uma medida de análise qualitativa da retenção/liberação do substrato e a evolução da adaptação do sistema ao longo da vida útil dos telhados.

#### 5.4 ANÁLISE DOS MÉTODOS DE PESQUISA EMPREGADOS

Em relação aos métodos de pesquisa empregados para a realização deste trabalho, algumas considerações em base na experiência adquirida durante a construção e monitoramento dos protótipos de telhado verde são levantadas, a fim de compartilhar-se algumas indicações que possam servir de apoio a futuros trabalhos nesta linha de pesquisa.

Para este trabalho foram utilizadas mangueiras destinadas para uso em jardins para direcionar o escoamento gerado dos protótipos de telhado verde aos baldes de armazenamento e leitura, conforme indicado no item 3.3 do capítulo Métodos de pesquisa. Essas mangueiras começaram a apresentar rachaduras ao longo do monitoramento, além disso, apesar do material apresentar alguma flexibilidade, essas dificultavam a retirada e encaixe dos baldes coletores. Assim sendo, indica-se o uso de materiais mais flexíveis e resistentes para o direcionamento dos escoamentos. Nesse contexto, os baldes utilizados para armazenamento e leitura dos escoamentos foram graduados manualmente, a partir da marcação de cada meio litro de água acrescentado no recipiente. Existem baldes com graduação feita em fábrica, entretanto, devido ao seu custo elevado, não foram adquiridos para esta pesquisa, contudo, sugere-se o uso de leitores de vazão que apresentem grau de incerteza menor que o método utilizado. O uso de baldes com tampas adaptadas para o encaixe das mangueiras impediu a possível interferência de chuva e animais dentro do receptor de escoamento. As tampas também ajudam a manter o escoamento retido sem tanto risco de evaporação rápida (influenciando nos resultados de escoamento pluvial) em dias de muita radiação solar e temperaturas elevadas, e, portanto, são considerados como um bom artifício para armazenamento do escoamento.

Ainda em relação a construção dos protótipos, descartes de caixas de compensado foram adaptadas para a construção dos mesmos, por questões de custo, entretanto, ao fim do monitoramento essas caixas já estavam apresentando sinais de deterioração, como descamação da camada superficial do compensado, uma vez que este tipo de material não é apropriado para aguentar as intemperes as quais foram submetidos. Nesse sentido, madeiras maciças e até caixas plásticas ou de vidro são mais apropriadas para uso em monitoramentos mais longos. Por fim, chama-se a atenção ao cuidado necessário para o processo de impermeabilização em telhados verdes. Acabamentos como quinas e saída de escoamento requerem grande atenção e cuidado

durante a sua construção. Além disso, sugere-se que a barreira anti-raízes seja instalada com a menor quantidade de cortes e remendos possíveis, a fim de evitar problemas na impermeabilização.

Pesquisas anteriores no PPGECC nesta linha de pesquisa, como Savi (2015), Miller (2014), e Baldessar (2012) controlam a quantidade de chuva precipitada através do uso de um pluviômetro. Tal controle não foi feito nesta pesquisa, uma vez que os protótipos foram construídos dentro da estação meteorológica do INMET, conforme indicado no item 3.1.1 do capítulo 3. Entretanto, durante os meses de junho, julho e agosto de 2018 alguns dados da estação não foram coletados, devido a algum problema da estação. Essa ausência de dados é observada nas tabelas de junho, julho e agosto do Apêndice A. Apesar de que essa seja uma situação incomum e que não ocorra frequentemente, para outras pesquisas pode ser interessante aderir a outras formas de controle pluvial, complementarmente aos dados do INMET, por medidas de segurança de dados.

Em relação ao monitoramento de desenvolvimento da vegetação, sugere-se o implemento de medidas mais padronizadas para avaliação deste dado. Primeiramente, indica-se a adoção de um método para fotografia das vegetações, cujo posicionamento e resultado seja sempre igual. A partir desses resultados, seria possível adotar outros métodos de avaliação da camada de vegetação, como uma porcentagem da área folicular que apresenta sinais de estresse hídrico, ou quantidade de área de substrato aparente, gerando não apenas dados qualitativos baseados em observações, mas também dados quantitativos.

Apesar do tratamento dos dados empregados por esta pesquisa possibilitarem uma certa comparação dos resultados obtidos em áreas de protótipos diferentes, é inegável a possibilidade de que esta diferença na área dos sistemas tenha interferido nos resultados obtidos. Assim, sugere-se o uso de uma única área padronizada para a construção dos protótipos. Além disso, em função da vegetação, também se recomenda que os protótipos apresentem área mínima interna de 0,5 m<sup>2</sup>. Embora esta pesquisa faça uso de métodos experimentais, a falta de repetibilidade das camas de teste confere características de estudo de caso aos resultados obtidos, uma vez que os mesmos não podem ser comparados ou servir de base para interpretações estatísticas ou testes verificação da força da evidência nos dados levantados. Dessa maneira, sugere-se que uma repetibilidade de no mínimo três camas de teste para cada protótipo de telhado verde sejam aderidas para a obtenção de resultados científicos mais relevantes.

Quantos aos parâmetros de qualidade da água, a principal dúvida no planejamento dos testes a serem realizados foi a de qual parâmetros utilizar para a avaliação da qualidade dos escoamentos, uma vez que não se tem conhecimento de nenhum material que indique ou sirva de referência da qualidade que esse tipo de escoamento deva apresentar. Além disso, a literatura bibliográfica apresenta uma extensa variação dos dados avaliados por outras pesquisas nesta linha de pesquisa. Ademais, como apresentado no item 4.3.3 do capítulo anterior, dependendo da coloração da amostra coletada de escoamento, essa influenciará nos resultados dos ensaios colorimétricos, portanto, é necessário a busca, ou até mesmo adaptação de ensaios voltados para amostras que apresentem grau de coloração elevada.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diferentes composições de camadas de drenagem analisadas apresentaram variadas influências nos comportamentos de adaptação e desenvolvimento da vegetação, retenção de capacidade pluvial e na qualidade dos escoamentos pluviais gerados pelos protótipos de telhado verde monitorados:

Os protótipos de telhado verde TV1 (uso de painel modular) e TV2 (sem camada de drenagem) apresentaram uma condição mais estável da camada vegetal, em comparação com os outros protótipos, entretanto este resultado pode ter sido influenciado pela área dos protótipos, sendo estes dois maiores que as outras três camas de teste. Ainda assim, mesmo a vegetação apresentando um desenvolvimento mais estável nesses dois protótipos, essas ainda apresentam sinais de estresse hídrico desde o início do seu plantio, caracterizado visualmente por áreas da vegetação seca e quebradiças, e uma falta de desenvolvimento da área folicular da vegetação. Portanto, não é indicada a repetição da mesma combinação de substrato e vegetação utilizada, uma vez que esta união não apresentou um desempenho satisfatório, uma vez que a grama São Carlos (*Axonopus compressus*) utilizada não apresenta uma boa adaptação às condições climáticas apresentada pela cidade de Curitiba. Além disso, sugere-se o uso de camadas de substrato maiores que a utilizada (mínimo de 10 cm de altura), proporcionando um ambiente mais adequado a receber vegetações.

Quanto a capacidade de retenção pluvial, o protótipo com uso de painel modular (TV1) apresentou o melhor índice de porcentagem de retenção média de escoamento, ao comparar-se todos os eventos de chuva monitorados. Essa capacidade de retenção está associada à sua capacidade de armazenar água pluvial em sua camada de drenagem, que é liberada posteriormente para manutenção da vegetação. Essa característica do material drenante utilizado pelo protótipo TV1 é o principal responsável tanto pelo índice elevado de taxa de retenção média pluvial obtido (76,6%), quanto pela manutenção da camada de vegetação do protótipo TV1, que apresentou uma condição constante do estado da saúde de sua vegetação, conforme indicado no parágrafo anterior. Esta capacidade de retenção pluvial aliada à sua capacidade de disponibilizar água para a vegetação por um período mais longo de tempo torna este sistema uma alternativa interessante para ser considerada na implementação de telhados verdes.

Contudo, a partir dos resultados de média de retenção pluvial obtidos para cada estação climática monitorada, observa-se que o valor da taxa de retenção pluvial elevado apresentado pelo protótipo TV1 é consequente dos meses com baixo índice pluvial e intervalos maiores entre os eventos de chuva, dando assim, mais tempo para o telhado se recuperar da entrada de água, gerando um consequente aumento da retenção pluvial. Entretanto, ao analisar o resultado da média de retenção de escoamento obtida para o verão, que engloba eventos de chuva com volumes de precipitação elevados e com intervalos curtos entre os eventos de chuva, a taxa de retenção pluvial do protótipo TV1 cai para 68,2%, abaixo do valor obtido para o TV5 (73,7%), com uso de tapete drenante. Embora a cidade de Curitiba seja caracterizada por apresentar um alto índice de chuvas durante o ano, o período de monitoramento foi englobado por vários períodos atípicos de estiagem ou índices pluviais significativamente inferiores que aos anos anteriores, o que influencia na avaliação do comportamento de retenção pluvial desta pesquisa, podendo esta não apresentar um desempenho característico para a cidade, devido a atipicidade climática do ano de 2018.

O segundo melhor índice de retenção pluvial foi apresentado pelo TV5, com uso de tapete drenante, com valor médio de retenção de escoamento próximo ao obtido para o TV1. Entretanto, no final do período deste monitoramento, a vegetação do protótipo TV5 apresentava altos sinais de degradação e estresse hídrico, o que não ocorreu no protótipo TV1. Os protótipos TV3 e TV4, ambos com uso de material granular, apresentaram valores de retenção pluvial praticamente iguais. Esse resultado pode indicar uma possível tendência de taxa de redução para sistemas que utilizem materiais granulares como componente drenante. O protótipo TV2 apresentou o terceiro melhor índice de retenção pluvial, ao considerar-se a média para o período total de monitoramento. Esse resultado, aliado ao seu desempenho de desenvolvimento da vegetação torna este tipo de sistema uma possível alternativa construtiva na região de estudo. Observa-se que a taxa elevada de retenção pluvial apresentada pelos protótipos TV2 e TV5 é resultado de uma provável capacidade da evaporação mais rápida desses sistemas, em comparação com os TV3 e TV4. Esse resultado vai ao encontro de outras pesquisas na mesma área de estudo, como em Savi (2015) e Nascimento (2015).

Nenhuma legislação ou normativa trata especificadamente da qualidade de águas escoadas por telhados verdes, entretanto, algumas legislações foram selecionadas para uso de valores base de comparação e caracterização dos valores obtidos pelos protótipos de telhado verde.



De modo geral, a coloração das amostras apresentou uma correlação com os valores de carbono orgânico dissolvido, indicando que a coloração é proveniente principalmente da matéria orgânica presente na amostra. A maioria das amostras avaliadas não atendem aos parâmetros de coloração estipulados pela Resolução 357/05 para as três classes de águas doces. Nenhuma amostra atende aos valores estipulados pela Portaria N° 518/04 MS, e NBR 15.527:2007.

Os protótipos TV3 e TV4 apresentam uma liberação de partículas sólidas mais constante durante o período de monitoramento, e com resultados similares entre si, com exceção do resultado da amostra do protótipo TV4 coletado em 21/01/2019, cuja degradação da camada de vegetação causou um aumento nas partículas sólidas liberadas pelo sistema, em comparação com o TV3. Os protótipos TV1 e TV5 apresentaram um grau de liberação de partículas sólidas similares entre si, cuja tendência apresentou considerável aumento entre as coletas. Observa-se uma possível correlação entre os valores obtidos de COD e ST das amostras de telhado verde analisadas, podendo justificar o aumento de partículas sólidas apresentadas durante o monitoramento. De todas as amostras avaliadas, apenas o valor de ST obtido pelo TV5 na coleta do dia 21/01 não atendeu aos valores estipulados pela Resolução CONAMA 357/05 para todas as classes de água doce.

As amostras dos protótipos de telhado verde serviram de fonte de poluição para os parâmetros de fósforo total e ortofosfato. Entretanto, todos os materiais drenantes utilizados apresentaram capacidade de retenção destes nutrientes, em comparação com os resultados obtidos para o TV2 (sem camada de drenagem). Também foram observados valores menores de concentração de ortofosfato para a coleta do dia 21/01/2019, em comparação com a coleta anterior. Nenhuma amostra avaliada atende aos valores limites de fósforo total, para nenhuma das classes de água doce estipulada pela Resolução CONAMA 357/05. Já os valores estipulados pela Resolução CONSEMA n°128/2006 RS apresenta limites de fósforo total que as amostras de telhado verde conseguem atender.

Para o parâmetro de nitrogênio total, em geral, os telhados serviram de fonte poluidora, com maior concentração de liberação de nutrientes apresentado pela coleta do dia 21/01/2019, em comparação com a coleta anterior. Já para o parâmetro de nitrogênio amoniacal total, os protótipos de telhado verde apresentaram retenção deste nutriente para as coletas onde a camada de vegetação não se apresentava com um grau de degradação elevado. Com exceção do protótipo TV5 que apresentou lixiviação desse nutriente nas duas coletas avaliadas. Quanto ao valor de nitrogênio

total estipulado pela Resolução CONAMA 357/05 – Classe 1 de águas doces, apenas três das dez amostras avaliadas encontram-se abaixo do valor limite. A amostra do TV5 para a coleta do dia 06/06 é a única que atende a classe 3 de águas doces pela Resolução CONAMA 357/05 para o parâmetro de nitrogênio amoniacal total. Todas as outras amostras avaliadas apresentam valor dentro do limite estipulado para a Classe 1 de águas doces. O mesmo padrão ocorre para o limite de nitrogênio amoniacal total estipulado pela NBR 13.969:1997.

Os valores de carbono orgânico total (COD) apresentaram uma tendência de aumento da concentração deste parâmetro, com exceção do TV3, cujos valores mantiveram-se constantes. Os valores obtidos apresentaram altas concentrações de COD, chegando a uma concentração de nível médio, segundo a caracterização de esgoto não tratado proposta por Metcalf e Eddy (2003). Entretanto, os resultados de fluorescência molecular indicam que as amostras dos telhados são compostas predominantemente por matéria húmica, oferecendo um baixo potencial de impacto de poluição ao meio ambiente. Além disso, a vazão de escoamento liberada pelos telhados verdes também é menor, em função da sua capacidade de retenção pluvial, contrabalanceando a lixiviação dos parâmetros de qualidade da água com concentração elevada. Outra medida de contenção que pode ser complementarmente utilizada é a destinação deste efluente a áreas de jardinagem e afins (com maior camada de solo), servindo de fertilizante, como destinação de uso secundário desses efluentes, ao invés de direcionar esse escoamento para a rede pluvial urbana.

A aplicação da técnica de análise de fluorescência molecular possibilitou identificar o arraste do material pedogênico do substrato para o restante do sistema, se apresentando potencialmente como uma medida de análise qualitativa da retenção/liberação do substrato e a evolução da adaptação do sistema ao longo da vida útil dos telhados.

A partir da comparação dos resultados obtidos com valores base estipulados por legislações e normativas, observa-se que os parâmetros de qualidade da água de maior interesse avaliados são os parâmetros de coloração, nitrogênio total e fósforo total. Entretanto, os escoamentos gerados pelos telhados verdes não apresentaram potencial de fonte de poluição capaz de gerar uma degradação ambiental extrema ou significativa. Além disso, uma vez que as camadas de drenagem avaliadas apresentaram potencial de reter alguns dos parâmetros avaliados, sugere-se a busca pela otimização dos sistemas construtivos de telhados verdes capazes de gerar uma lixiviação com valores de concentração menos elevados dos parâmetros de interesse. Portanto, atenta-se a

necessidade de estudos com a avaliação de outros parâmetros de qualidade das águas de escoamento, a fim de obter-se uma caracterização mais abrangente desses efluentes, além do estudo de outros materiais drenantes e seu potencial de melhorar o desempenho dos telhados verdes.

Por fim, não se observou nenhum comprometimento do sistema sem camada de drenagem, tanto em referência aos parâmetros de monitoramento avaliados por esta pesquisa, quanto a qualquer problema físico que pudesse acontecer com o sistema pela falta de camada de escoamento, como problemas relacionados a camada de impermeabilização, obstrução das mangueiras de escoamento ou transporte do substrato para fora do sistema concluindo-se que este tipo de composição pode ser uma alternativa construtiva viável deste tipo de sistema na região de estudo. Esses resultados vão ao encontro dos resultados obtidos por Zaremba, Traver e Wadzuk (2016), Savi, Andri e Nardini (2013), Asman et al. (2017) e Scharf e Zluwa (2017).

## 6.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

- a) Repetição do experimento com maior repetibilidade de camas de teste;
- b) Avaliação de outros componentes drenantes;
- c) Buscar otimizar o sistema com um substrato e vegetação mais apropriada;
- d) Monitorar a capacidade de retardo do início e pico de escoamento de telhados verdes;
- e) Pesquisa de métodos colorimétricos mais apropriados para amostras avaliação de parâmetros de nitrogênio e fosforo para amostras com coloração elevada;
- f) Avaliação de mais parâmetros de qualidade da água, como metais pesados, outras formas de nitrogênio e fósforo e coliformes fecais;
- g) Testar diferentes misturas de concreto triturado e britas e sua capacidade de remoção de nutrientes nas águas de escoamento;
- h) Monitoramento experimental de telhados marrons e comparação com telhados verdes;
- i) Continuação do monitoramento de matéria orgânica dos protótipos de telhado verde, a fim de acompanhar o desenvolvimento e qualidade dos sistemas ao longo de sua vida útil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. Washington: APHA. 1998.

ASMAN, A. S. N.; DULLAH, Salinah; AYOG, J. L.; MIRASA, A. K.; DJAMILA, H. The hydrological performance of lightweight green roofs made from recycled waste materials as the drainage layer. **MATEC Web of Conferences**, [S.I.], v.103, p. 1 – 6, jan. 2017.

BACOVIS, Tiago Martins; NAGALLI, André. Avaliação do desempenho hidrológico de protótipo de telhado verde extensivo. *Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.*, Curitiba, v. 11, Supl. 1, p. S35-S42, 2013. <http://doi.org/10.7213/academica.10.S01.A>

BALDESSAR, Silvia Maria Nogueira. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BÄR, Bruna Vogt; TAVARES, Sergio Fernando. Estado da arte do comportamento hidrológico de telhados verdes no brasil: uma revisão sistemática. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 4, dez. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650106>>.

BEM, Carla; KNAPIK, Heloise; FERNANDES, Cristovão; BRAGA, M; AZEVEDO, Júlio. Características da Matéria Orgânica: Estudo Comparativo de Padrões de Espectrometria de Fluorescência e UV-Vis de Rio e Lago em Bacias Urbanizadas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.18. p. 135-147, jan/mar. 2013.

BERARDI, Umberto. Sustainability Assessment in the Construction Sector: Rating Systems and Rated Buildings. **Sustainable Development**, [S.I.], v. 20, p. 411 – 424, jul. 2011.

BERARDI, Umberto; GHAFARIANHOSEINI, AmirHosein; GHAFARIANHOSEINI, Ali. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied Energy**, [S.I.], v. 115, p. 411 – 428, fev. 2014.

BERNDTSSON, J. C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*. [S.I.], v. 36, p. 351 – 360, abril, 2010.

BIANCHINI, Fabricio; HEWAGE, Kasun. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. **Building and Environment**. [S.I.], v. 48, p. 57 – 65, fev. 2012. Disponível em: < <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.019>>.

BLANK, Lior; VASL, Amiel; LEVY, Shay; GRANT, Gary; KADAS, Gyongyver; DAFNI, Amots; BLAUSTEIN, Leon. Directions in green roof research: A bibliometric study. **Building and**

**Environment.** [S.I.], v. 66, p. 23 – 28, ago. 2013. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.017>>.

CANELLAS, Luciano Pasqualoto; SANTOS, Gabriel de Araújo; RUMJANEK, Victor Marcos; MORAES, Anselmo Alpande; GURIDI, Fernando. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, dez. 2001

CARON, Vanessa Cristina; GRAÇAS, Jonathas Pereira; CASTRO, Roberto de Camargo. Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos. Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca, 46 p. (Série Produtor Rural, nº 58). 2015.

CARTER, Timothy; KEELER, Andrew. Life-cycle cost–benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management.* [S.I.], v. 87, p. 350 – 363, maio 2008. Disponível em: < <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.024>>.

FLL FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG  
LANDSCHAFTSBAU E.V.. **Guidelines for planning execution and upkeep of Green roof sites.** 2 ed. Bonn: FLL, 2002. p. 95.

GURGEL, Roberto Guerra Amaral. Principais espécies e variedades de grama. In: I SIGRA – Simpósio sobre gramados, 2003, Botucatu. **Anais...** São Paulo: UNESP, 2003.

GWÓZDŹ, Karolina. Influence of cyclic freezing and thawing on the hydraulic conductivity of selected aggregates used in the construction of green roofs. **Journal of Ecological Engineering.** [S.I.], v. 17, n. 4, p. 50 – 56, set. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Perfil dos Municípios Brasileiros 2013.**

IPCC. **Climate Change 2014:** Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, p. 155, Geneva, Switzerland, 2014.

KARCZMARCZYK, A.; BARYLA, A.; BUS, A. Effect of P-Reactive Drainage Aggregates on Green Roof Runoff Quality. **Water.** [S.I.], v. 6, p. 2575 – 2589, ago. 2014.

KNAPK, Heloise Garcia. **Reflexões sobre Monitoramento, Modelagem e Calibração na Gestão de Recursos Hídricos:** Estudo de caso da Qualidade da Água da Bacia do Alto Iguaçu. 2009. 197 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

KNAPK, Heloise Garcia. Organic matter characterization and modeling in polluted rivers for water quality planning and management. 2014. 281 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

KNAPK, Heloise Garcia; FERNANDES, C. V. S.; AZEVEDO, J. C. R. Aplicabilidade de técnicas de espectroscopia e da concentração de carbono orgânico dissolvido na caracterização da matéria orgânica em rios urbanos. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 19, n.4, p. 214 – 225, out/dez. 2014.

KÖHLER, Manfred; SCHMIDT, Marco; GRIMME, Friedrich Wilhelm; LAAR, Michael; PAIVA, Vera Lúcia de Assunção; TAVARES, Sergio. Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics – far beyond the aesthetics. **Environmental management and health**, [S.I.], v. 13, n. 10, p. 382 – 391, 2002.

KOLOKOTSA, D.; SANTAMOURIS, M.; ZEREFOS, S.C. Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in European climates for office buildings under free floating conditions. **Solar Energy**. [S.I.], v. 95, p. 118 – 130, set. 2013. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.solener.2013.06.001>>.

LAMERA, C; BECCIU, G.; RULLI, M.C.; ROSSO, R. Green roofs effects on the urban water cycle components. *Procedia Engineering*. [S.I.], v. 70, p. 988 – 997. 2014.

LA ROCHE, Pablo; BERARDI, Umberto. Comfort and energy savings with active green roofs. **Energy and Buildings**. [S.I.], v. 82, p. 492 – 504, out. 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.055>>.

LOPES, T. V. **Influência de espécies herbáceas no escoamento pluvial e temperaturas superficiais em protótipos de telhados verdes na cidade de Curitiba**. 2018. f.141 Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

MACIEL, C. D. G; OLIVEIRA, C. N. M.; SILVA, A. A. P.; KARPINSKI, R. A. K., HELVIG, E. O.; MATIAS, J. P. levantamento fitossociológico de plantas daninhas em grama-sempre-verde em diferentes épocas do ano. **Planta daninha**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 691-700. Dec. 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582016000400691&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582016000400691&lng=en&nrm=iso)>

MALCOLM, Elizabeth G.; REESE, Margaret L.; SCHAUS, Maynard H.; OZMON, Ivy M.; TRAN, Lan M. Measurements of nutrients and mercury in green roof and gravel roof runoff. **Ecological Engineering**. [S.I.], v. 73, p. 705 – 712, dez. 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.030>>.

MENTENS, Jeroen; RAES, Dirk; HERMY, Martin. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*. [S.I.], v. 77, n. 3, p. 217 – 226, ago. 2006. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>>.

METCALF, L; EDDY, H. **Wastewater engineering: treatment disposal reuse**. Revisão de George Tchobanoglous e Franklin Burton. 3. Ed. New York: McGraw-Hill, 2003.



MILLER, Ana Priscilla Romero Rodrigues. **Análise do comportamento de substrato para retenção de água pluvial para coberturas verdes extensivas em Curitiba – PR**. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

NAGASE, Ayako; DUNNETT, Nigel; CHOI, Min-Sung. Investigation of weed phenology in an establishing semi-extensive green roof. **Ecological Engineering**. [S.I.], v. 58, p. 156 – 164, set. 2013. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.06.007>>.

NIU, Hao; CLARK, Corrie; ZHOU, Jiti; ADRIAENS, Peter. Scaling of Economic Benefits from Green Roof Implementation in Washington, DC. **Environ. Sci. Technol.** [S.I.], v. 44, n. 11, p. 4302 – 4308, maio 2012.

OBERNDORFER, Erica; LUNDHOLM, Jeremy; BASS, Brad; COFFMAN, Reid R.; DOSHI, Hitesh; DUNNETT, Nigel; GAFFIN, Stuart; KÖHLER, Manfred; LIU, Karen K.Y; ROWE, Bradley. Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. **BioScience**. [S.I.], v. 57, n. 10, p. 823 – 833, nov. 2007.

PERI, Giorgia; TRAVERSO, Marzia; FINKBEINER, Matthias; RIZZO, Gianfranco. The cost of green roofs disposal in a life cycle perspective: Covering the gap. **Energy**. [S.I.], v. 48, p. 406 – 414, dez. 2012. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.045>>.

PIVELI, Roque Passos; KATO, M. T. **Qualidade da água e poluição**: aspectos físico-químicos. São Paulo: ABES 2005.

RANGEL, A. C. L. da Costa; ARANHA, K. C.; SILVA, M. C. B. C. Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade. Desenvolvimento e meio ambiente. [S.I.], v. 35, p. 397-409, dez. 2015.

RITCHIE, Adam. Introduction. In: RITCHIE, Adam; THOMAS, Randall. **Sustainable urban design**, an environmental approach. [S.I.], 2 ed. 2009.

SANTAMOURIS, M.; PAVLOU, M.; DOUKAS, P.; MIHALAKAKOU, G.; SYNNEFA, A.; HATZIBIROU, A.; PATARGIAS, P. Investigating and analyzing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. **Energy**. [S.I.], v. 32, p. 1781 – 1788, set. 2007. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.energy.2006.11.011>>.

SAVI, Adriane Cordoni. **Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais no seu desempenho na cidade de Curitiba**. 2015. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SAVI, Tadeja; ANDRI, Sergio; NARDINI, Andrea. Impact of different green roof layering on plant water status and drought survival. **Ecological Engineering**. [S.I.], v. 57, p. 118 – 196, Abril, 2013.

SCHARF, Bernhard; ZLUWA, Irene. Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems. **Energy and Buildings**. [S.I.], v. 151, p. 564 – 573, jun. 2017.

SCHIEL, Dietrich; MASCARENHAS, Sérgio; VALEIRAS, Nora & SANTOS, Sílvia A. M. (Orgs.). **O estudo de bacias hidrográficas** – uma estratégia para educação ambiental. São Carlos: RIMA, 2003.

SPEAK, A.F.; ROTHWELL, J.J.; LINDLEY, S.J.; SMITH, C.L. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*. [S.I.], v. 61, p. 283 – 293, dez. 2012. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.043>>.

STOVIN, Virginia; VESUVIANO, Gianni; KASMIN, Hartini. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. **Journal of Hydrology**. [S.I.], v. ?, p. 148 – 161, jan. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.022>>.

TOWNSHEND, Derek. Study on Green Roof Application In Hong Kong Final Report. **Architectural services department**. 115 p. 2007.

VASCONCELLOS, M. C.; PAGLIUSO, Débora; SOTOMAIOR, Vanessa S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. **Estudos de Biologia: Ambiente e Diversidade**, [S.I.], v. 34, p. 261 – 267, jul. /dez. 2012.

VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.I.] v. 57, p. 740 – 752, maio. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>>.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M. Can green roof act as a sink for contaminants? A methodological study to evaluate runoff quality from green roofs. **Environmental Pollution**. [S.I.], v. 194, p. 121 – 129, ago. 2014.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M.; BALASUBRAMANIAN, R. A field study to evaluate runoff quality from green roofs. **Water research**. [S.I.], v. 46, p. 1337 – 1345, mar. 2012. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.050>>.

VIJAYARAGHAVAN, K.; RAJA, Franklin D. Design and development of green roof substrate to improve runoff water quality: Plant growth experiments and adsorption. **Water Research**, [S.I.], v. 63, p. 94 – 101, out. 2014.

VILA, A.; PÉREZ, G.; SOLÉ, C.; FERNÁNDEZ, A. I.; CABEZA, L. F. Use of rubber crumbs as drainage layer in experimental green roofs. **Building and Environment**, [S.I.], v. 48, p. 101-106. fev. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.010>>.

WHITTINGHILL, Leigh J.; HSUEH, Diana; CULLIGAN, Patricia; PLUNZ, Richard. Stormwater performance of a full scale rooftop farm: Runoff water quality. *Ecological Engineering*. [S.I.], v. 91, p. 195 – 206, jun. 2016. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.047>>.

YANG, Hong Seok; KANG, Jian; CHOI, Min Sung. Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level. ***Building and Environment***. [S.I.], v. 50, p. 44 – 55, abril 2012. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.004>>.

ZAREMBA, Gerald J.; TRAVER, Robert G.; WADZUK, Bridget M. Impact of Drainage on Green Roof Evapotranspiration. ***Journal of Irrigation and Drainage Engineering***. [S.I.], v. 147, n. 7, p. 1 – 9, jul. 2016.

ZHANG, Xiaoling; SHEN, Lily; TAM, Vivian W. Y.; LEE, Winnie Wing Yan. Barriers to implement extensive green roof systems: A Hong Kong study. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***. [S.I.], v. 16, p. 314 – 319, jan. 2012. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.157>>.

## APÊNDICE A – CONTROLE MENSAL DO MONITORAMENTO

Conversão tempo		28/mar	29/mar	30/mar	31/mar
Hora UTC	Hora Gmt -3	Chuva	Chuva	Chuva	Chuva
0	21	0	0	0,6	0
1	22	0	2,6	0	0
2	23	0	1,6	0	0
3	0	0	0,2	0	0
4	1	0	0	0	0
5	2	0	0	0	0
6	3	0	0	0,4	0
7	4	0	0	0	0
8	5	0	0	0	0
9	6	0	0	0	0
10	7	0	0	0	0
11	8	0	0	0	0
12	9	0	0	0	0
13	10	0	0	0	0
14	11	0	0	0	0
15	12	0	0,2	0	0
16	13	0	0	0	0,2
17	14	0	0	0	0
18	15	0	0	0	0
19	16	1	0	17,2	0
20	17	0,2	13	14,4	0
21	18	1	3	0,2	0
22	19	0,4	4,2	0,2	0
23	20	0	0,8	0	0

Conversão tempo	01/ abr	02/ abr	03/ abr	04/ abr	05/ abr	06/ abr	07/ abr	08/ abr	09/ abr	10/ abr	11/ abr	12/ abr	13/ abr	14/ abr	15/ abr	16/ abr	17/ abr	18/ abr	19/ abr	20/ abr	21/ abr	22/ abr	23/ abr	24/ abr	25/ abr	26/ abr	27/ abr	28/ abr	29/ abr	30/ abr	
Hora UTC	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	
0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	22	0	0	0	0	2,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	23	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0
12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	12	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	15	0	0	0	0	4,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	16	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Células cinzas indicam que houve visita aos protótipos, células azuis indicam visita com irrigação dos protótipos.

Conversão tempo		01/	02/	03/	04/	05/	06/	07/	08/	09/	10/	11/	12/	13/	14/	15/	16/	17/	18/	19/	20/	21/	22/	23/	24/	25/	26/	27/	28/	29/	30/	31/								
Hora Gmt - 3	uv	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch								
uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv							
3	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a							
0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
1	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
2	23	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
4	1	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	3,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
7	4	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
15	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	15	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Células cinzas indicam que houve visita aos protótipos, células azuis indicam visita com irrigação dos protótipos. Datas em vermelho ilustram interrupção no período de monitoramento.



Conversão tempo	01/ jun	02/ jun	03/ jun	04/ jun	05/ jun	06/ jun	07/ jun	08/ jun	09/ jun	10/ jun	11/ jun	12/ jun	13/ jun	14/ jun	15/ jun	16/ jun	17/ jun	18/ jun	19/ jun	20/ jun	21/ jun	22/ jun	23/ jun	24/ jun	25/ jun	26/ jun	27/ jun	28/ jun	29/ jun	30/ jun	
Hora UTC	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	
Gmt-3	0	21	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	22	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	23	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	1	0	0	0,2	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	2	0	0	2,2	0,4	0	1,8	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	3	0	0	0,6	0,2	0	3,4	0	0	0	0	0	0	0		0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	4	0	0	0,2	0,8	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	5	0	0	0,2	1,8	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	
9	6	0	0	0,4	0	2	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,4	0	0	0	
10	7	0	3,2	0,2	0,6	2,2	1,8	0	0	0	0	0	0	0	0,2	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,6	0	0	0	
11	8	0	0,4	0	2,2	0,2	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	
12	9	0	0	0	0,2	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	
13	10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	1	0	0	0	
14	11	0	0,8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	
15	12	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,6	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	13	0	2	0,6	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	14	0	2,6	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0
18	15	0	0,2	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	16	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	17	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	18	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	19	0	0,2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	20	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Células cinzas indicam que houve visita aos protótipos, células azuis indicam visita com irrigação dos protótipos. Datas em vermelho ilustram interrupção no período de monitoramento.

Conversão tempo		01/ jul	02/ jul	03/ jul	04/ jul	05/ jul	06/ jul	07/ jul	08/ jul	09/ jul	10/ jul	11/ jul	12/ jul	13/ jul	14/ jul	15/ jul	16/ jul	17/ jul	18/ jul	19/ jul	20/ jul	21/ jul	22/ jul	23/ jul	24/ jul	25/ jul	26/ jul	27/ jul	28/ jul	29/ jul	30/ jul	31/ jul			
Hora UTC	Hora Gmt - 3 a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a			
0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
1	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8		
5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2		
7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	7	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Células cinzas indicam que houve visita aos protótipos, células azuis indicam visita com irrigação dos protótipos, as células sem valor de chuva não foram disponibilizadas pelo site do INMET.



Conversão		01/	02/	03/	04/	05/	06/	07/	08/	09/	10/	11/	12/	13/	14/	15/	16/	17/	18/	19/	20/	21/	22/	23/	24/	25/	26/	27/	28/	29/	30/
tempo	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set	set
Hora	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch
UTC	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva
Gmt-3	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva	uva
0	21	0	0	0,8	0	4,6	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	
1	22	0	1,2	1,4	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	23	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,4	0	0	0	0,2	0
3	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	2,4	0	0,2	0	0	0
4	1	0	0	0	0,2	0		0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	0	0,2	0	0			0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	3	0	0,6	0	0			0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	4	0	0,2	0	0			0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	5	0	0	1,2	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	6	0	0	0,2	0			0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	7	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	8	0	0	0,8	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	9	0	0	0,6	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	10	0	0	0,2	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	11	0	1,2	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
15	12	0	0,2	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	13	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	14	0	0	5	0	0		0	0	0	0	0	0	0	3,6	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	15	0	0	0	2,2	0		0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	16	0	0	0	2,4	0		0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	17	0	0	0	0,2	0		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	18	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0,4	0	1,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0
22	19	0	1	0	2,6	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0	0	4,6	0	0	2,4
23	20	0	0,1	1	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0

Células cinzas indicam que houve visita aos protótipos, células azuis indicam visita com irrigação dos protótipos, as células sem valor de chuva não foram disponibilizadas pelo site do INMET.

Conversão tempo		01/	02/	03/	04/	05/	06/	07/	08/	09/	10/	11/	12/	13/	14/	15/	16/	17/	18/	19/	20/	21/	22/	23/	24/	25/	26/	27/	28/	29/	30/	31/	
Hora UTC	Hora Gmt - 3	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	Ch	
uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv	uv
a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
0	21	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	7,8	0	0	0	0	0	0	0,8	0	4	0	0	0	0	
1	22	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,8	0	0	0	0	0	0	1,2	0	0,8	0	0	0	0	
2	23	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0,4	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0,2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	1,4	0	0	0,2	0	0	0,6	0,2	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	13,6	0,4	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	
5	2	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	1	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	
6	3	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,8	0,2	0	0	0	0	0	
7	4	0	0	0	0	0	0	4,8	1	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0	
8	5	0	0	0	0	0	0	4,6	0,2	0	0	0,8	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0	
9	6	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	1,2	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0,2	0	0	0	0	
10	7	0	2	0	0	0	0	2,4	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	6,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0	
14	11	0	0	8,6	0	0	0	1,6	0	0	0	0,2	0	0	0	0	1,8	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	
15	12	0	0	8,6	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,6	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	
16	13	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	1,2	0	1,8	3,4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,2	
17	14	0	1,2	0	0	0	4	0	0	0	2	0	0	4	0	0,2	3,6	0	17,4	0	0	0	0	0	0,4	0,2	0	0	0	0	0	0	
18	15	0	1,4	3,2	0	0	2,4	0	0	0	6,2	0	0	3,2	0,6	1,2	4,2	0	2	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0,6	
19	16	0	0,6	0	0	0	0,8	0,4	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	2,4	0	0,4	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	
20	17	0	16,4	0	0	0	0,2	0,2	0	0	2	0	0	0	0	0,2	1,8	0	0,2	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	
21	18	0	0,4	0	0	0	0,2	0	0	0	4,4	0	0	0	0,2	0	2,2	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	
22	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,4	0	0	0	1,6	0,2	0,6	17,4	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,4	0	0	0	0	0	
23	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	1,2	0	0,4	8,6	0	0	0	0	0	0	0,6	0	2,2	0	0	0	0	0	

Células cinzas indicam visita aos protótipos.

Conversão tempo	01/ nov	02/ nov	03/ nov	04/ nov	05/ nov	06/ nov	07/ nov	08/ nov	09/ nov	10/ nov	11/ nov	12/ nov	13/ nov	14/ nov	15/ nov	16/ nov	17/ nov	18/ nov	19/ nov	20/ nov	21/ nov	22/ nov	23/ nov	24/ nov	25/ nov	26/ nov	27/ nov	28/ nov	29/ nov	30/ nov
Hora UTC	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva	Ch uva
Gmt-3	0	21	0	0	0	0	0	0	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
16	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	5,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,4	0	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
19	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,6
20	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,6
21	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,2

Células cinzas indicam visita aos protótipos.

Conversão tempo		01/ dez	02/ dez	03/ dez	04/ dez	05/ dez	06/ dez	07/ dez	08/ dez	09/ dez	10/ dez	11/ dez	12/ dez	13/ dez	14/ dez	15/ dez	16/ dez	17/ dez	18/ dez	19/ dez	20/ dez	21/ dez	22/ dez	23/ dez	24/ dez	25/ dez	26/ dez	27/ dez	28/ dez	29/ dez	30/ dez	31/ dez						
Hora UTC	Hora Gmt - 3	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a						
0	21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	16,8	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
1	22	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	2,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4				
2	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,2				
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2				
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0				
5	2	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0		
9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
11	8	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	15	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	
20	17	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	18	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0,2	2,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Células cinzas indicam visita aos protótipos, datas em vermelho ilustram interrupção no período de monitoramento.



Conversão tempo		01/ jan	02/ jan	03/ jan	04/ jan	05/ jan	06/ jan	07/ jan	08/ jan	09/ jan	10/ jan	11/ jan	12/ jan	13/ jan	14/ jan	15/ jan	16/ jan	17/ jan	18/ jan	19/ jan	20/ jan	21/ jan	22/ jan	23/ jan	24/ jan	25/ jan	26/ jan	27/ jan	28/ jan	29/ jan	30/ jan	31/ jan		
Hora UTC	Hora Gmt - 3	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a	Ch uv a			
0	21	0	0	0	0	0,2	2,6	0	1	0	0	0	0	3,6	0	0	0	0	0	0	3,6	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	22	0	0	0	0	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	1,8	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	23	0	0	0	0	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2		
3	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
5	2	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	11	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	12	0	0	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	13	0	0	0	0	5,6	0	0	0	0	0	14,2	0,6	0	0	6,6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	14	0	0	0	0	3,2	0,2	0	0	0	0,4	0	0,2	1,2	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,4	0	0	0	0	0	0	6,2	
18	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	11,2	0,6	0	0	0	0	1,4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
19	16	0	0	0	26,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	1,4	0	0	0	0,8	0	0	0	5,2	0	0	0	0	0	0	0	2,8	
20	17	0	0	0	2,4	0	0	0,8	0,4	0	0	0	0	2,8	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,2	0	0	0	0	0	0	1	
21	18	0	0	0	0,4	0	0,4	0	12,6	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	
22	19	0	0	0	0	0,2	0	0	2,6	0	0	7	0	9	0,2	0	0	0,2	0	0,6	3,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	20	0	0	0	0	0	0,4	0	1,6	0	0	0,8	0	4	0	0,8	0	0	0	4,8	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Células cinzas indicam visita aos protótipos, datas em vermelho ilustram interrupção no período de monitoramento.



## APÊNDICE B – CONTROLE DE IRRIGAÇÕES

Mês	Dia	Volume de rega (L)					Horário Gmt <sup>-3</sup> aproximado
		Telhado 1	Telhado 2	Telhado 3	Telhado 4	Telhado 5	
Abril	6	1	1	1	1	1	13:00
	7	2	2	2	2	2	11:00
	9	2	2	2	2	2	08:00
	12	3	3	3	3	3	09:00
	20	2	2	2	2	2	17:00
Maio	23	4	4	4	4	4	12:00
	29	6	6	4	4	4	12:00
Junho	1	4	4	2	2	4	08:00
	23	2	2	2	2	2	12:00
Julho	27	4	4	4	4	4	17:00
Agosto	7	4	4	4	4	4	13:00
	16	4	4	4	4	4	13:00
	31	4	4	4	4	4	13:00