



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

TAIZE CALVACANTE SANTANA

BALANÇO HÍDRICO E CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA
PLUVIAL PROVENIENTE DE UM TELHADO VERDE EM RECIFE/PE

RECIFE – PE

2020

TAIZE CALVACANTE SANTANA

BALANÇO HÍDRICO E CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA
PLUVIAL PROVENIENTE DE UM TELHADO VERDE EM RECIFE/PE

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PGEA da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

RECIFE – PE

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S232b Santana, Taize Calvacante Santana
Balanço hídrico e caracterização da qualidade da água pluvial proveniente de um telhado verde em Recife/PE / Taize Calvacante Santana Santana. - 2020.
95 f. : il.
- Orientadora: Cristiane Guiselini.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2020.
1. Inundações urbanas. 2. reuso de água pluvial; . 3. sustentabilidade. 4. telhado ecológico. I. Guiselini, Cristiane, orient. II. Título

TAIZE CALVACANTE SANTANA

BALANÇO HÍDRICO E CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PLUVIAL
PROVENIENTE DE UM TELHADO VERDE EM RECIFE/PE

Aprovado em 20/10/2020

Prof^a. Dr^a. Cristiane Guiselini- UFRPE

(Orientadora)

Sylvana Melo dos Santos- UFPE

(Examinador)

Ricardo Brauer Vigoderis- UFRPE/UAG

(Examinador)

José Amilton dos Santos Júnior- UFRPE

(Examinador)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os meus familiares, em especial aos meus pais Selma e Ricardo pelo apoio. Aos amigos que sempre acreditaram na minha vitória. E a todos que colaboraram direta e indiretamente para sua realização e conclusão.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, por me guiar, proteger e por me conceder força e coragem pra enfrentar as adversidades da vida até a realização desse sonho.

Aos amigos que fiz durante este período por todos os momentos inesquecíveis que vivi com vocês, e aos que embora distantes sempre se fizeram presentes.

A professora e orientadora Cristiane Guiselini pelos ensinamentos, paciência, orientação e por ter me dado a oportunidade de trabalhar no seu grupo de pesquisa.

A todos que fazem parte do Grupo de Pesquisa em Ambiente (GPESA) pelos conhecimentos passados, apoio no desenvolvimento da pesquisa, pelas horas de risos e conversas. Em especial a Sávio Duarte Lopes Cavalcanti, Nicolay Farias Gomes, Rodes Angelo Batista da Silva, Marcos Vinícius da Silva e Pedro Henrique Dias Batista.

A todos os meus amigos de curso, pelo companheirismo, pelas risadas, brincadeiras, pela amizade, em especial a José Ediclécio Barbosa dos Santos a quem considero como irmão.

A todos os professores que colaboraram com a minha formação acadêmica, pelos ensinamentos passados em sala de aula, por estarem sempre dispostos a nos ajudar.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa, para a realização do trabalho.

E a todas as pessoas que confiaram e acreditaram em mim e me deram forças para seguir lutando.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	5
2.	HIPÓTESES	3
3.	OBJETIVOS.....	3
3.1	Geral.....	3
3.2.	Específicos	3
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
4.2.	Telhado Verde	3
4.2.	Telhado Verde como instrumento de gestão de águas pluviais.....	9
4.2.1.	Balanço hídrico.....	9
a)	Precipitações Intensas.....	9
4.3.	Capacidade de retenção.....	15
4.4.	Qualidade e aproveitamento da água da chuva.....	17
4.4.1.	Coliformes	20
4.4.2.	Cloro residual	21
4.4.3.	Turbidez.....	21
4.4.4.	Cor aparente.....	21
4.4.5.	pH.....	21
4.4.6.	Condutividade elétrica.....	21
4.4.7.	Bactérias Heterotróficas	21
4.5	Potabilidade	22
5.	Análise de Componentes Principais (ACP).....	22
	CAPÍTULO I.....	36
	BALANÇO HÍDRICO DE UM TELHADO VERDE EXTENSIVO SITUADO NA CIDADE DE RECIFE/PE	36
	RESUMO	36
	ABSTRACT	36
	INTRODUÇÃO.....	37
	MATERIAL E MÉTODOS.....	39
	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
	CONCLUSÕES	56
	REFERÊNCIAS	56
	CAPÍTULO II.....	61

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PLUVIAL PROVENIENTE DE UM TELHADO VERDE EM RECIFE/PE	61
RESUMO	61
ABSTRACT	61
INTRODUÇÃO.....	62
MATERIAL E MÉTODOS.....	63
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Telhado verde extensivo formado por grama esmeralda.....	4
Figura 2 – Telhado verde semi-intensivo.....	5
Figura 3 – Telhado verde intensivo.....	5
Figura 4 – Representação esquemática da estrutura geral de um telhado verde.....	6

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO I

Figura 1. Localização do Estado de Pernambuco no contexto do Brasil (A); localização da região metropolitana do Recife-PE (B); Localização do Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin em Recife-PE (C) e foto aérea do Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, Recife – PE (D).....	39
Figura 2. Normais climatológicas da precipitação e temperatura média mensal em Recife-PE. Normal P= normal climatológica da precipitação; Normal Tar= normal climatológica da temperatura.	40
Figura 3. Curva intensidade x duração para diferentes períodos de retorno para Recife-PE. TR= tempo de retorno.	41
Figura 4. Sistema de irrigação escamoteável e esquema da composição do telhado verde em estudo.....	41
Figura 5. Sensor Refletômetro de Conteúdo de Água no Solo Campbell Scientific CS650. Fonte: https://www.campbellsci.com.au/soil-water-content	44
Figura 6. Comparativo entre as temperaturas e precipitações mensais da normal climatológica (1988-2018) com as temperaturas e precipitações monitoradas nos anos de 2018 e 2019 para a cidade de Recife.....	44
Figura 7. Lâmina de irrigação mensal.	46
Figura 8. Evapotranspiração de referência mensal para os anos de 2018 (A) e 2019 (B).....	47
Figura 9. Variação mensal da lâmina de água drenada para os anos 2018 (A) e 2019 (B).....	49
Figura 10. Entradas e saídas de água mensais no telhado verde em 2018 e 2019.....	50
Figura 11. Lâmina de água média registrada pelo sensor no substrato para os anos de 2018 (A) e 2019 (B).....	52

Figura 12. Retenção mensal promovida pelo conjunto substrato + drenagem e sua porcentagem mensal para os anos de 2018 (A) e 2019 (B).....	55
---	----

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO II

Figura 1. Localização do Estado de Pernambuco no contexto do Brasil (A); localização da região metropolitana do Recife-PE (B); Localização do Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin em Recife-PE (C) e foto aérea do Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, Recife – PE (D).....	64
Figura 2. Sistema de irrigação escamoteável e esquema da composição do telhado verde em estudo.....	65
Figura 3. Amostras dos três pontos de coleta: CH, IR e DR.	66
Figura 4. Precipitação mensal acumulada e média histórica do período experimental. Normal P= Normal Climatológica para a precipitação pluviométrica do Recife referente aos anos de 1988-2018.....	68
Figura 5. Componentes principais 1 e 2 referentes às correlações entre variáveis analisadas nos 3 pontos de coleta. CH= Chuva; IR= Irrigação e DR= Drenagem.....	70
Figura 6. pH das amostras nos três pontos de coleta.	73
Figura 7. Cor aparente (CA) das amostras nos três pontos de coleta.	73
Figura 8. Cloro residual livre (CRL) das amostras coletadas nos três pontos de coleta.	74
Figura 9. Turbidez das amostras três pontos de coleta.	75
Figura 10. Condutividade elétrica das amostras coletadas para os três pontos de coleta.....	76
Figura 11. Bactérias Heterotróficas das amostras coletadas para os três tratamentos.....	77

LISTA DE TABELAS CAPÍTULO I

Tabela 1 – Precipitação e temperatura anual prevista pela normal climatológica (1988-2018) e para os anos de 2018 e 2019.....	46
---	----

LISTA DE TABELAS CAPÍTULO II

Tabela 1 – Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritos não potáveis.....	67
Tabela 2 – Composição química do lodo de esgoto tratado utilizado como substrato no telhado verde.....	68

Tabela 3 – Média, Desvio Padrão, Coeficiente de Variação, Mínimo, Mediana, Máximo para todas as variáveis em estudo.....	71
Tabela 4 – Parâmetros microbiológicos das águas coletadas.....	80

BALANÇO HÍDRICO E CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PLUVIAL PROVENIENTE DE UM TELHADO VERDE EM RECIFE/PE

RESUMO

Os telhados verdes vem sendo difundidos em todo planeta devido a uma série de benefícios atrelados ao seu uso, dentre estes, a gestão das águas pluviais. Diante disso, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a quantidade e a qualidade da água drenada a partir de um telhado verde para fins não potáveis. A pesquisa foi desenvolvida no Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, Recife/ PE (latitude $-8,05^\circ$, longitude $-34,95^\circ$). As variáveis meteorológicas foram monitoradas com o auxílio de uma estação meteorológica automática, instalada na área experimental. O balanço hídrico foi estimado por meio da quantificação das entradas e saídas de água do telhado. A qualidade da água foi avaliada em três pontos de coleta, água da chuva (CH), água da irrigação (IR) e água da drenagem (DR) do telhado verde. Os valores dos parâmetros de qualidade da água foram comparados com os valores de referências da norma NBR 15527/2007. Os resultados obtidos mostraram que a retenção média anual promovida pelo substrato do telhado verde variou de 7 a 9% e que a associação de um reservatório aumentou essa variação para retenções superiores a 80% do total anual incidente, fato que evidencia o potencial das coberturas verdes na mitigação das inundações urbanas. Os pontos de coleta avaliados (chuva, irrigação e drenagem), atenderam parcialmente a NBR 15527/2007. Todavia, essa água apresenta grande potencial de aproveitamento para usos não potáveis, além de ser uma alternativa importante para redução do consumo de água de abastecimento público.

Palavras-chave: Inundações urbanas; reúso de água pluvial; sustentabilidade; telhados ecológicos.

ABSTRACT

Green roofs have been gaining prominence worldwide due to a series of benefits linked to their use, among them the management of rainwater has been the subject of many studies. Therefore, the objective of this research was to evaluate the quantity and quality of water drained from a green roof for non-drinking purposes. The research was carried out at Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, Recife / PE (latitude -8.05° , longitude -34.95°). An automatic meteorological station was installed on the building's slab, for recording meteorological data, during the experimental period. The water balance was calculated by quantifying the water inlets and outlets on the roof. Three treatments were evaluated, rainwater, irrigation water and water drained by the green roof and the average values of the water quality parameters were compared with the reference values of the NBR 15527/2007 standard and by the Brazilian ordinance (MS) 2914/2011. The results obtained showed that the average annual retention

promoted by the green roof substrate varied from 7 to 9% and that the association of a reservoir increased this variation for retentions above 80% of the total annual incident, a fact that shows the potential of green roofs in mitigating urban flooding. The evaluated treatments (rainwater, irrigation and drainage), did not meet the standards established by the Brazilian ordinance (MS) 2914/2011 and partially met the NBR 15527/2007. However, this water has great potential for use for non-potable uses in addition to being an important alternative for reducing the consumption of water from public supply.

Keywords: urban flooding ; rainwater reuse; sustainability; ecological roofs.

1 1. INTRODUÇÃO

2 Os estudos com telhados verdes têm proporcionado resultados promissores devido às
3 vantagens avindas de seu uso, como melhoria no conforto térmico (CARNEIRO et al., 2015;
4 DOS SANTOS et al., 2019), produção de alimento (GONÇALVES et al., 2016), economia de
5 energia (COMA et al., 2016), redução dos efeitos das ilhas de calor (BEVILACQUA et al.,
6 2017), retenção de águas pluviais (TALEBI et al., 2019), melhoria na qualidade do ar
7 (ROSSETI et al., 2013), preservação da biodiversidade (PÁLL-GERGELYOS et al., 2014) e
8 reaproveitamento de água da chuva (TEIXEIRA et al., 2017).

9 Também conhecido como tetos verdes, coberturas verdes, eco-telhados, entre outros,
10 consiste em uma cobertura vegetal formada por gramíneas ou outras espécies vegetais,
11 implantadas em telhados ou lajes convencionais (SOUZA et al., 2015) e classificam-se em três
12 tipos: telhado verde intensivo, semi-intensivo e telhado verde extensivo, cuja diferença está,
13 principalmente, no tipo de vegetação utilizada e na espessura do substrato (IGRA, 2018).

14 O processo de urbanização afetou drasticamente o ciclo da água, visto que a adição de
15 construções e superfícies pavimentadas à paisagem, reduz a infiltração das águas pluviais, bem
16 como as taxas de evapotranspiração, causando um aumento nas vazões e no volume das águas
17 pluviais que são escoadas superficialmente, favorecendo o surgimento de problemas com
18 enchentes, estresse dos sistemas de abastecimento e drenagem (HARPER et al., 2015; YAN et
19 al., 2018; ZHANG et al., 2018).

20 O transporte de sedimentos por escoamento superficial decorrente das atividades
21 antrópicas bem como a liberação de efluentes em mananciais atuam como algumas das

22 principais causas da deterioração da qualidade de água (YU et al., 2019). Segundo Tong et al.
23 (2018) a degradação de qualidade também está relacionada com a redução da disponibilidade
24 de água para fins mais nobres. A indisponibilidade dos recursos hídricos é evidenciada devido
25 ao aumento populacional, que tem demandado cada vez mais por recursos hídricos de boa
26 qualidade (DJEHDIAN et al., 2019).

27 Nesse sentido, a adoção de medidas que visem solucionar os problemas decorrentes da
28 escassez hídrica e de drenagem nos centros urbanos tornam-se indispensáveis. A coleta e o
29 aproveitamento da água da chuva têm sido admitidos como uma importante e eficaz fonte
30 alternativa e/ou complementar aos sistemas públicos de abastecimento de água, pois além de
31 mitigar a escassez de água, reduz o volume de escoamento nos centros urbanos (AMOS,
32 RAHMAN & GATHENYA, 2018).

33 Os telhados verdes vêm sendo propostos como uma prática sustentável para mitigar os
34 efeitos adversos da urbanização (SHAFIQUE et al., 2018), seu uso torna-se importante devido a
35 redução do escoamento superficial promovida pela sua capacidade de reter a água da chuva,
36 armazenando-a no substrato, por exemplo, de onde é absorvida pelas plantas e em seguida
37 devolvida para a atmosfera através do processo de evapotranspiração (COSTA et al., 2012;
38 MARTELLI & SANTOS JÚNIOR, 2015).

39 A legislação brasileira tem progredido em relação a uso de tecnologias verdes, seguindo
40 o caminho de outros países como Estados Unidos e Canadá, por exemplo. Nas cidades de
41 Blumenau/SC, Florianópolis/SC, Rio de Janeiro/RJ, Goiânia/GO e de Recife/PE já existem
42 legislações que tratam do uso de coberturas verdes e em algumas há um estímulo a
43 implementação dessas práticas através da redução de tributos como o IPTU (Imposto Predial e
44 Territorial Urbano). Especificamente em Recife, a Lei Municipal 18.112/2015 (RECIFE, 2015)
45 torna obrigatório a implantação de telhados ecológicos em prédios residenciais com mais de
46 quatro pavimentos, além de prevê a construção de reservatórios para captação de água da chuva
47 em novos imóveis, residenciais ou comerciais, que possuam área de solo com mais de 400 m² de
48 área coberta e com 25% do terreno impermeabilizado, tornando-se um local potencial para
49 estudos relacionados aos benefícios que essa prática pode proporcionar, sobretudo quando se
50 leva em consideração a existência de problemas recorrentes com alagamentos na cidade.

51 Os telhados verdes gerenciam as águas pluviais, propiciando tanto a retenção da
52 precipitação quanto a detenção do escoamento (STOVIN et al., 2015). Entre as suas principais
53 características está a capacidade de reter água em suas camadas e a possibilidade de viabilizar o
54 seu uso dentro da própria edificação (BUFFAM; MITCHELL; DURTSCHKE, 2016).

55 A utilização da água da chuva pode reduzir o suprimento de água potável, contribuindo
56 para a preservação e conservação dos recursos hídricos (SILVEIRA et al., 2016).

57 Um aumento significativo de edificações com telhado verde, gerariam benefícios que
58 poderiam se expandir por toda a cidade, além de aumentar as áreas de lazer e melhorar o
59 microclima da região (HENN & CAGLIARI, 2016).

60 Em virtude de seus múltiplos benefícios, os telhados verdes estão sendo implantados em
61 muitos países e cada vez mais pesquisas estão sendo realizadas sobre sua implantação e sua
62 performance em diversas regiões do mundo.

63

64 2. HIPÓTESES

- 65 • O uso de telhado verde minimiza os problemas decorrentes das inundações nas grandes
66 cidades.
- 67 • A água drenada apresenta qualidade compatível com o uso para fins não potáveis de
68 acordo com a NBR 15527/2007.

69

70 3. OBJETIVOS

71 3.1 Geral

72 Objetiva-se com esta pesquisa avaliar a quantidade e a qualidade da água drenada a
73 partir de um telhado verde para fins não potáveis.

74 3.2. Específicos

- 75 • Determinar o Balanço Hídrico de um telhado verde;
- 76 • Analisar a qualidade das águas pluviais coletadas diretamente da atmosfera, da água
77 utilizada na irrigação e da água drenada pelo telhado verde, com base nos parâmetros
78 da NBR 15527/ 2007.

79

80 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

81 4.2. Telhado Verde

82 Ao longo da história os telhados verdes foram utilizados em diferentes civilizações
83 como na Roma antiga, Mesopotâmia, Stonehenge (Inglaterra), pelo povo viking, pelos
84 esquimós e até na colonização do oeste americano (ROCHA & SCARDA, 2016).

85 O telhado verde é uma tecnologia que consiste na utilização de substrato e vegetação
86 instalada no telhado das construções (OMAR et al., 2018). Também conhecidos como tetos
87 verdes, coberturas verdes, eco-telhados, *green roof* entre outros, são sistemas construtivos que

88 se constituem em uma cobertura vegetal formada por gramíneas ou outras espécies vegetais,
89 implantadas em telhados ou lajes convencionais (ROSSETI et al., 2013; SOUZA et al., 2015).

90 Eles servem para reduzir o escoamento de águas pluviais, mitigar os efeitos das ilhas de
91 calor urbana, reduzir o consumo de energia, melhorar a qualidade do ar e da água, melhorar o
92 habitat dos animais selvagens e a vida das plantas e impulsionar atividades recreativas através
93 de áreas verdes (BESIR & CUCE, 2018 ; BRUDERMANN & SANGKAKOOL, 2017; CHEN
94 et al., 2018 ; COMA et al., 2018 ; MENTENS et al., 2006 ; MARINHEIRO, 2008 ; SHAFIQUE
95 et al., 2018).Os telhados verdes classificam-se em três tipos: telhado verde extensivo, semi-
96 intensivo e telhado verde intensivo, cuja diferença está, principalmente, no tipo de vegetação
97 utilizada e na espessura do substrato (IGRA, 2018).

98 O telhado verde extensivo (Figura 1) caracteriza-se por utilizar vegetação de pequeno
99 porte, predominando as espécies que se desenvolvem espontaneamente, com facilidade para se
100 adaptar a locais e condições climáticas severas. Geralmente nesses telhados são utilizadas
101 gramíneas, suculentas, musgos e ervas que por apresentarem um aspecto mais rústico
102 necessitam de baixa manutenção (CALHEIROS & PALHA, 2017). Apresenta baixo custo de
103 instalação em relação aos demais, a camada de substrato contém poucos nutrientes, não é muito
104 profunda, com altura variando entre 6 e 20 cm, porém adapta-se muito bem com plantas de
105 baixa exigência nutricional e de baixo porte (IGRA, 2018).

106



107

108 Figura 1 - Telhado verde extensivo. Fonte: <http://revistasim.ne10.uol.com.br/blog/page/17/>,
109 2019.

110 Por outro lado, o telhado verde semi-intensivo (Figura 2) caracteriza-se por conter
111 vegetação perene, rasteira e arbustos, na qual suporta uma camada média de substrato entre 12
112 a 15 cm e pode desempenhar múltiplas funções (IGRA, 2018).

113



114

115 Figura 2 - Telhado semi-intensivo. Fonte: [http://www.archiexpo.com/pt/prod/green-grid-roof/product-](http://www.archiexpo.com/pt/prod/green-grid-roof/product-159437-1974091.html)
116 [159437-1974091.html](http://www.archiexpo.com/pt/prod/green-grid-roof/product-159437-1974091.html), 2019.

117 Já o telhado verde intensivo (Figura 3) se caracteriza por utilizar uma grande variedade
118 de espécies, desde rasteiras, arbustivas até arbóreas, suportadas em maiores espessuras de
119 substrato, normalmente superior a 15 cm, com necessidades de manutenção idênticas a um
120 jardim natural no que diz respeito a fertilização e rega (CALHEIROS & PALHA, 2017).

121



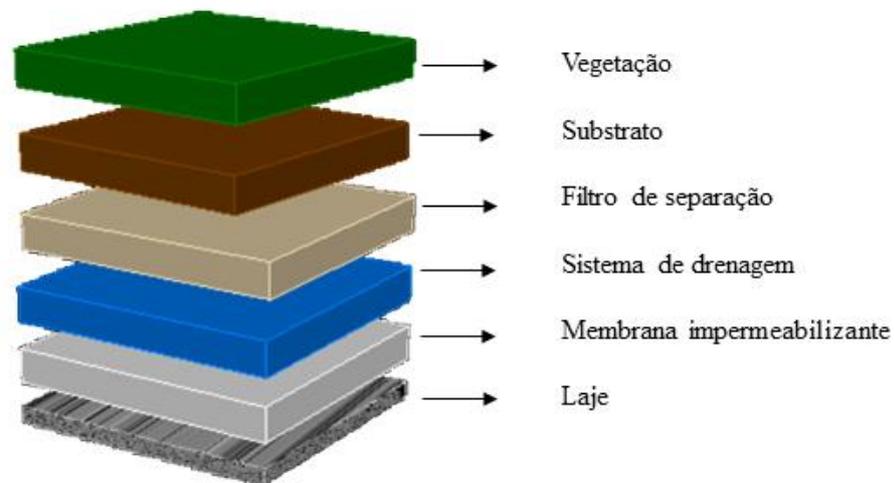
122

123 Figura 3 – Telhado intensivo. Fonte: [http://www.archiexpo.com/pt/prod/zinco-gmbh/product-66390-](http://www.archiexpo.com/pt/prod/zinco-gmbh/product-66390-385012.html)
124 [385012.html](http://www.archiexpo.com/pt/prod/zinco-gmbh/product-66390-385012.html), 2019.

125 Os telhados verdes consistem em cinco componentes principais, uma membrana
126 impermeável, um sistema de drenagem, uma membrana de filtro, solo e plantas (ZHANG et al.,
127 2018a). Para a sua adequação, são necessárias algumas camadas que lhe garantam eficiência no
128 seu funcionamento, impermeabilização e, principalmente, sustentação (SILVA & DUARTE,
129 2017).

130 Os materiais utilizados em cada camada da cobertura verde podem variar entre regiões,
131 seja pela necessidade de adequação ao clima, disponibilidade de alguns materiais ou pelas
132 técnicas utilizadas. Entretanto há uma composição básica da estrutura dos telhados verdes e que
133 são levadas em consideração quando se for implantar o telhado independente de sua tipologia
134 (BALDESSAR, 2012; OHNUMA JÚNIOR, 2014; TASSI et al., 2014). A Figura 4 apresenta
135 de forma esquemática os elementos básicos que compõe a estrutura do telhado.

136



137

138 Figura 4 - Representação esquemática da estrutura geral de um telhado verde. Fonte: (SILVA
139 JÚNIOR, 2020).

140 Os telhados verdes trazem inúmeros benefícios para os seus usuários, mas, sobretudo
141 para a sociedade. Eles vão desde as melhorias acústicas e climáticas aos fatores psicológicos
142 que influenciam na qualidade de vida da população. Além disso, esse recurso tem a capacidade
143 de inserir novas áreas verdes onde antes eram impossíveis de se implantar (SILVA &
144 DUARTE, 2017).

145 Países como Estados Unidos e Canadá já contam com legislação para implantação de
146 coberturas verdes (NEW YORK, 2014; PHILADELPHIA, 2016; TORONTO, 2013). No
147 Brasil, algumas cidades estão dando passos importantes para difundir a implantação de telhados
148 verdes. Na cidade de Blumenau, SC, foi sancionada a Lei Complementar nº 1174/2018 que tem
149 como finalidade promover o uso de coberturas vegetais sobre lajes e edificações vinculado a
150 um reservatório de retenção das águas pluviais. Em Florianópolis a Lei 14.243 de 2007, objetiva
151 legitimar o poder executivo a oferecer incentivos e parcerias a adoção de telhados verde em
152 espaços urbanos e densamente povoados.

153 No Rio de Janeiro Lei 6.349 de 2012, discute sobre a obrigatoriedade de instalação do
154 telhado verde em prédios públicos, autorizando o poder executivo a estabelecer a construção
155 em prédios públicos, autarquias e fundações do estado.

156 Em Goiânia a Lei Complementar 235 de 2012, prevê benefícios fiscais a quem adotar
157 ações consideradas como sustentáveis, por meio do programa IPTU VERDE. Incluindo na lei
158 a implantação de telhado verde e estabelecendo desconto no Imposto Predial e Territorial
159 Urbano/IPTU no valor de 3% para quem aderir.

160 Na cidade de Recife, PE, foi sancionada no ano de 2015 a Lei nº 18.112 que torna
161 obrigatório a implantação de telhados ecológicos em prédios residenciais com mais de quatro
162 pavimentos, além de prevê a construção de reservatórios para captação de água da chuva em
163 novos imóveis, residenciais ou comerciais, que possuam área de solo com mais de 400 metros
164 quadrados e com 25% do terreno impermeabilizado (RECIFE, 2015).

165 O crescimento urbano trouxe consigo um elevado número de construções e obras de
166 infraestrutura urbana, essas intervenções alteram consideravelmente a cobertura do solo, além
167 de impactar diretamente nos ecossistemas terrestres e aquáticos, o clima urbano é alterado
168 (YANG et al., 2018). Ocorre o aumento da temperatura nos centros urbanos em relação às áreas
169 periféricas da cidade (NAKATA-OSAKI et al., 2016).

170 Essa diferença de temperatura influencia nas chamadas ilhas de calor urbano, na qual a
171 substituição das áreas verdes por concreto altera os processos de absorção, transmissão e
172 reflexão de calor para a atmosfera, resultando em um acréscimo da temperatura nos centros
173 urbanos e, portanto, no aumento dos custos de refrigeração dos ambientes (YANG et al., 2018).
174 A substituição da vegetação por materiais de construção faz com que grande parte da radiação
175 solar seja absorvida por esses materiais que se tornam muito quentes, contribuindo para o
176 acontecimento desse fenômeno (BALDESSAR, 2012).

177 O uso do telhado verde é uma ótima solução para combater as ilhas de calor (OMAR et
178 al., 2018). Atuam na mitigação deste efeito, reduzindo a área de superfícies impermeáveis da
179 cidade que causam grandes elevações na temperatura (DOS SANTOS et al., 2018).

180 Em um estudo de Foustalieraki et al. (2017) na cidade de Atenas na Grécia, o telhado
181 verde funcionou satisfatoriamente como uma camada isolante para um edifício, de acordo com
182 as simulações realizadas, o telhado verde contribuiu para o aumento da temperatura do ar no
183 interior do edifício (0,1-0,7 K) durante o período de frio e para a diminuição da temperatura do

184 ar no interior (0,1-1,1 K) durante o período de verão, melhorando o conforto térmico no edifício
185 não climatizado, especialmente no último andar, que interage diretamente com o telhado verde.

186 Carneiro et al. (2015) conduziram um experimento por um período de 70 dias, no
187 município de Recife – PE, em que construíram modelos reduzidos dotados de quatro tipos de
188 cobertura, sendo: telha de fibrocimento, telha reciclada, e telhados verdes com dois tipos de
189 gramíneas. Os autores observaram que as coberturas verdes reduziram as temperaturas
190 superficiais medidas na face interna das coberturas, em 5,3 e 4,4 °C. Os modelos reduzidos
191 cobertos com telhado verde mostraram melhor desempenho térmico em relação às coberturas
192 de fibrocimento e telha reciclada, confirmando que a vegetação promove redução da
193 transmissão da irradiação solar para o interior do modelo.

194 Costa et al. (2017) analisaram 3 episódios de picos térmicos em dois módulos com
195 coberturas diferentes, o módulo 1, com telhado verde e o módulo 2, com cobertura com telhas
196 de fibrocimento. O módulo com telhado verde demonstrou melhor desempenho térmico que o
197 módulo com cobertura com telhas de fibrocimento, em todos os episódios selecionados,
198 mantendo-se com menor flutuação de temperatura interna ao longo dos dias. Comprovando a
199 afirmação de vários autores, que descrevem o telhado verde como isolante térmico, reduzindo
200 o fluxo de calor proveniente da cobertura.

201 Ligadas ao conforto térmico estão as vantagens econômicas que as coberturas verdes
202 podem gerar no ambiente interno, como a redução dos custos de energia, por exemplo, já que
203 vão gerar uma menor necessidade de refrigeração, quando comparado com um telhado
204 convencional. (SUSCA, 2019).

205 Em 2017, da energia elétrica consumida no Brasil, 28,8% foi utilizada em edificações
206 residenciais, 18,8% comerciais e 3,3% públicas, totalizando 51% da energia nacional (EPE,
207 2018). A crescente demanda de energia nas grandes cidades gera uma maior procura por
208 materiais isolantes térmicos, tanto em regiões de clima quente, quanto em regiões de clima frio
209 (HENN & CAGLIARI, 2016).

210 Nesse sentido, a instalação em grande escala do telhado verde pode reduzir
211 substancialmente o consumo de energia (PENG & JIM, 2015), pois reduzem o fluxo de calor
212 através do telhado e assim, reduzem o uso de energia de aquecimento e resfriamento durante as
213 estações do ano (ZHAO & SREBRIC, 2012).

214 Contudo, Morakinyo et al. (2017) analisaram o consumo de eletricidade sob diferentes
215 condições climáticas e densidades urbanas, os resultados mostraram que nos dias mais quentes,

216 os locais com maior densidade urbana obtiveram uma redução do pico de resfriamento nos
217 edifícios, independentemente do clima (ou cidade) interferindo diretamente no desempenho do
218 telhado.

219 Silva et al. (2016) compararam o desempenho energético em um edifício com telhado
220 convencional e com telhado verde na cidade de Lisboa em Portugal. Os autores concluíram que
221 o uso do telhado verde proporcionou uma economia de 30–60% no consumo de energia anual,
222 e que essa redução varia dependendo do nível de isolamento do edifício e do tipo de telhado
223 utilizado.

224 As ilhas de calor urbano decorrentes das altas temperaturas, sobretudo durante o verão,
225 aumentam o consumo de energia e atuam diretamente na concentração de poluentes nocivos e
226 emissões de CO₂ para a atmosfera, pois aumentam as reações fotoquímicas que formam
227 poluentes como o ozônio na atmosfera, tendo impacto significativo na saúde, no conforto e na
228 qualidade ambiental das cidades (SANTAMOURIS, 2016).

229 A vegetação, pelo mecanismo da fotossíntese, aprisiona o carbono por meio da filtragem
230 do ar e libera o oxigênio. Assim, quanto maior a área de espaços verdes nas cidades, mais
231 oxigênio será gerado e maior será a quantidade de dióxido de carbono consumido (CALDEIRA,
232 2015). Em relação à preservação da biodiversidade, os telhados verdes influenciam de forma
233 significativa na composição de um habitat propício para uma variedade de espécies, como
234 pássaros, plantas e insetos (REBOLLAR, 2017).

235

236 4.2. Telhado Verde como instrumento de gestão de águas pluviais

237 4.2.1. Balanço hídrico

238 a) Precipitações Intensas

239 As precipitações representam a principal entrada de água em uma bacia hidrográfica e
240 é de fundamental importância conhecer as grandezas que as caracterizam. Os estudos das
241 ocorrências de chuvas têm como finalidade caracterizar as precipitações em intensidade,
242 duração e frequência, devido as intensidades máximas de precipitações apresentarem grande
243 importância para o dimensionamento de obras de engenharia, especialmente para projetos de
244 drenagem urbana (TUCCI, 2004). A ferramenta de emprego dessas três grandezas é a curva
245 Intensidade- Duração- Frequência (IDF), que consiste no modelo matemático semi-empírico
246 que prevê a intensidade precipitada por meio da duração e distribuição temporal.

247 Para determinação da curva IDF é necessário avaliar a frequência de ocorrências de
 248 eventos que podem ser igualados ou superados através de uma função de distribuição de
 249 probabilidade que permite a extrapolação além do número de anos de observação (ARAÚJO et
 250 al., 2008). Essa extrapolação permite realizar inferências pois é ajustada para uma série de
 251 precipitações máximas anuais de longa duração e estão relacionadas com o tempo de
 252 recorrência do evento de determinada grandeza. Em obras de microdrenagem urbana os tempos
 253 de retorno mais utilizados são de até 10 anos (TUCCI, 2001).

254 Segundo Naghettini & Pinto (2007), a distribuição de valor extremo mais utilizada na
 255 análise de frequência de variáveis hidrológicas, com inúmeras aplicações na determinação de
 256 relações de intensidade-duração-frequência de precipitações intensas é a distribuição de
 257 Gumbel que é uma metodologia que melhor se ajusta aos dados das séries obtidas na maioria
 258 dos estudos desenvolvidos quando comparado com outras distribuições.

259 Os métodos de desagregação de chuvas se destacam entre os diversos métodos de
 260 obtenção de chuvas intensas de diferentes durações, a exemplo tem-se os proposto CETESB
 261 (1986) que se baseia no fato de que as relações entre as intensidades médias máximas de
 262 diferentes durações possuem uma grande similaridade para diferentes locais com uma leve
 263 variação de acordo com o tempo de retorno (BERTONI & TUCCI, 2002).

264 Encontrados os valores através da desagregação, obtém-se os coeficientes da equação
 265 IDF (Equação 1) utilizando métodos como o de mínimos quadrados linear ou não linear
 266 (TUCCI, 2001).

$$i = \frac{a.T^b}{(t+c)^d} \quad (1)$$

267

268 Onde i é a intensidade de precipitação, T o tempo de recorrência, t a duração da chuva
 269 em minutos, a , b , c e d são parâmetros adimensionais que descrevem características do local.

270 Pra cidade de Recife/PE no ano de 2016 o novo plano Diretor de Drenagem Urbana
 271 estabeleceu a Equação 2 que é uma nova equação de chuva intensas pra cidade e é uma das
 272 equações mais recente e com uma série de dados mais extensa (PREFEITURA DO RECIFE,
 273 2016).

$$i = \frac{611,3425 \cdot T^{0,1671}}{(t+7,3069)^{0,6348}} \quad (2)$$

274 Onde i é a intensidade da chuva em mm/h, T é o tempo de retorno em anos e t a duração
275 da chuva em minutos.

276 De acordo com Collischonn e Tassi (2010), a umidade do solo varia ao longo do tempo
277 em condições naturais, sob o efeito das chuvas e das variações sazonais de temperatura,
278 precipitação e evapotranspiração. Estes autores afirmam que a equação de balanço hídrico de
279 uma camada de solo pode ser expressa pela Equação 3, que relaciona: a percolação, que é a
280 passagem da água da camada superficial do solo para camadas mais profundas, e a
281 evapotranspiração, que corresponde à retirada de água por evaporação direta do solo e por
282 transpiração das plantas.

$$283 \quad \Delta V = P - Q - G - ET \quad (3)$$

284 Em que:

285 ΔV = variação do volume de água, em litros, armazenada no solo e está relacionado com
286 a capacidade de retenção; P = precipitação, em litros; Q = escoamento superficial, em litros; G
287 = percolação, em litros; ET = evapotranspiração, em litros.

288 Considerando o sistema de análise nos telhados verdes como (substrato + vegetação), e
289 que a camada do substrato é bastante estreita, a percolação pode ser desconsiderada. Sobre as
290 demais variáveis, considera-se que a entrada de água ocorre através da precipitação; e as saídas
291 ocorrem por evapotranspiração e pelo escoamento para fora do telhado (Q).

292 Reorganizando a Equação 3 em entradas e saídas, para um determinado volume de solo,
293 tem-se à Equação 4.

$$294 \quad P = \Delta V + Q + ET \quad (4)$$

295 Conceitualmente, observando a Equação 4, os telhados verdes se caracterizam como
296 uma ferramenta útil para mitigar as inundações, contanto que o volume drenado (escoado), seja
297 armazenado em reservatórios para posterior reuso.

298

299

300 b) Reuso da água para fins não potáveis

301 A Lei nº 9.433/97 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e preza pela
302 preservação e uso consciente das fontes de água. Em seu 2º artigo, a referida lei trata dos seus
303 quatro objetivos sendo estes:

304 I - Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de
305 qualidade adequados aos respectivos usos;

306 II - A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário,
307 com vistas ao desenvolvimento sustentável;

308 III – A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou
309 decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

310 IV - Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

311 Nessa perspectiva de conservação, a água de chuva, escoada sobre edificações, carrega
312 contaminantes que deterioram a sua qualidade e inviabiliza seu uso como água potável
313 (BRASIL, 1997). A Portaria 2.914 de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) dispõe
314 sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano
315 e seu padrão de potabilidade, nesse quesito as águas pluviais escoadas sobre edificações
316 apresentam qualidade que atende à maior parte destes padrões de potabilidade, sendo um
317 incentivo à transformação dessas águas para usos potáveis.

318 No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução
319 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), estabelece as condições de qualidade para o
320 enquadramento dos corpos hídricos em território nacional, de acordo com os seus usos
321 preponderantes, e para o lançamento de efluentes. A referida resolução classifica as águas
322 doces, salobras e salinas em treze classes, segundo seus usos preponderantes, em que as cinco
323 primeiras classes se referem às águas doces, sendo estas: Classe Especial, Classe I, Classe II,
324 Classe III e Classe IV e cada uma se destina a um determinado uso, conforme apresentado
325 abaixo:

326 - Classe Especial: Abastecimento para consumo humano, após desinfecção; preservação do
327 equilíbrio natural das comunidades aquáticas e preservação dos ambientes aquáticos em
328 unidades de conservação de proteção integral.

329 - Classe I – Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; proteção das
330 comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças;

331 - Classe II – Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; proteção
332 das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças, aquicultura
333 e atividades de pesca;

334 - Classe III – Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou
335 avançado; irrigação de culturas arbóreas, pesca, recreação de contato secundário, dessedentação
336 de animais;

337 - Classe IV – Navegação e harmonia paisagística.

338 A resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos
339 Hídricos (CNRH) define o reuso de água em seu artigo 2º como:

340 I - água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias,
341 agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;

342 II - reuso de água: utilização de água residuária;

343 III - água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua
344 utilização nas modalidades pretendidas.

345 A referida lei destaca que a reutilização de água ou uso de águas residuárias e demais tipos
346 de denominações pode auxiliar na redução dos problemas de escassez e desperdício, contudo,
347 a ausência de legislação sobre o assunto no Brasil limita sua expansão, pois a falta de estudos
348 não evidencia os riscos de contaminação da saúde humana, animal e do meio ambiente (CNRH,
349 2005).

350 Além destas, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da NBR
351 13.696/1997 dispõe de critérios técnicos e sustentáveis para tratamento de efluentes, cuja
352 finalidade é oferecer alternativas de procedimentos técnicos para o projeto de construção e
353 operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de
354 tanque séptico, dentro do sistema de tanque séptico para o tratamento local de esgotos, isto é,
355 refere-se ao reuso de esgoto doméstico tratado para fins que exigem qualidade de água não
356 potável, porém segura do ponto de vista sanitário.

357 De acordo com a NBR 13.969/97, as águas classificam-se nas Classes 1, 2, 3 e 4, em que
358 cada classe é destinada a usos específicos, conforme descritos a seguir:

359 - Classe 1 – Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a
360 água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes;

361 - Classe 2 – Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais
362 para fins paisagísticos, exceto chafarizes;

363 - Classe 3 – Reuso nas descargas dos vasos sanitários;

364 - Classe 4 – Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos
365 através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

366 Já a NBR 15.527/2007 dispõe sobre os requisitos para aproveitamento de água de chuva
367 de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis como por exemplo bacias sanitárias,
368 irrigação, lavagem de veículos e limpeza de ruas. Estabelece como parâmetros de qualidade as
369 variáveis coliformes totais e fecais, cloro residual livre, turbidez, cor aparente e pH.

370 c) Caracterização da gramínea e substrato

371 O processo de urbanização vem alterando o gerenciamento do uso da terra e aumentando
372 a pressão sobre os recursos naturais, em particular a água, e conseqüentemente degradando a
373 qualidade da mesma (HUA et al., 2015; VAN MEN, 2016). A substituição de áreas vegetadas
374 por superfícies artificiais quase que totalmente impermeáveis impedem a água de se infiltrar no
375 solo e alteram este processo essencial do ciclo hidrológico (GOVINDARAJULU, 2014).

376 De forma mitigadora desses efeitos e compensatória ao meio ambiente, o telhado verde
377 está sendo adotado mundialmente e são caracterizados como toda cobertura ou telhado, que
378 agrega em sua composição, uma camada de solo ou substrato e outra de vegetação. As espécies
379 vegetais, como gramíneas, são excelentes opções para uso em telhados verdes, no qual a grama
380 esmeralda (*Zoysia japonica*) é bastante utilizada como função ornamental em todo o Brasil
381 (GODOY et al. 2012).

382 O substrato é a camada do telhado verde pelo qual a vegetação retira água e os nutrientes
383 necessários para o seu crescimento. Além do suporte a vegetação, o substrato armazena uma
384 parcela da água que precipita no telhado verde sendo este fator um atenuante dos efeitos do
385 escoamento superficial (BRITTO CORREA; NEILA GONZÁLEZ, 2002).

386 O uso de gramas ornamentais em telhados verdes é uma solução ambiental eficiente que
387 está sendo adotada em muitas partes do mundo, contudo, essas devem ser instaladas em
388 substratos adequados para seu desenvolvimento.

389 De acordo com Griffin (2014) os substratos constituem-se da combinação de materiais
390 orgânicos e inorgânicos. Fazem parte dessas combinações solo, areia, cascalho, argila
391 expandida, ardósia, vermiculita, escória de alto-forno, turfa e polímeros, como a poliacrilamida
392 (AMPIM et al., 2010; YOUNG et al., 2014). Além de leveza, os componentes do substrato
393 utilizados em telhados verdes devem proporcionar alta durabilidade e prover os nutrientes à
394 vegetação (TASSI et al., 2014).

395 Num estudo de Santos, Barcelos e Castilho (2016) com objetivo avaliar o efeito de
396 diferentes substratos no desenvolvimento de um gramado ornamental para uso em telhados
397 verdes em Ilha Solteira/SP, foram utilizados três componentes de substrato: areia, solo e matéria
398 orgânica, os autores concluíram que substratos que apresentaram matéria orgânica em sua
399 composição apresentaram os melhores resultados, sendo esses os ideais para uso em telhados
400 verdes.

401 Os telhados verdes têm sido apresentados em todo o mundo como uma ferramenta eficaz
402 de gerenciamento de águas pluviais, embora seu desempenho varie. As condições climáticas e
403 diferenças na configuração do telhado verde, ou seja, tipo e profundidade do substrato, bem
404 como a seleção de espécies de plantas, impulsionam essa variação no desempenho
405 (BERNDTSSON, 2010).

406 4.3. Capacidade de retenção

407 Os telhados verdes gerenciam as águas pluviais, propiciando tanto a retenção da
408 precipitação quanto a detenção do escoamento (STOVIN et al., 2015). Retenção refere-se à
409 capacidade de armazenamento do substrato do telhado verde. Detenção refere-se ao atraso no
410 escoamento e a redução no pico de escoamento (STOVIN et al., 2017).

411 A quantidade de água retida pode ser afetada por diversos fatores, como a intensidade e
412 o volume da chuva, a quantidade de tempo que passou desde o último evento de precipitação,
413 a inclinação e a profundidade do telhado (KARACHALIOU, SANTAMOURIS &
414 PANGALOU, 2016; SFAKIANAKI et al., 2009; KUMAR & KAUSHIK, 2005).

415 Em um estudo de Locatelli et al. (2014) realizado na Dinamarca, os autores apresentam
416 um modelo de desempenho hidrológico de telhado verde de longo prazo e de evento único. Os

417 resultados mostram que durante eventos únicos, as intensidades mínimas de escoamento foram
418 reduzidas em 10–36% para o período de retorno de 5–10 anos e 40–78% para o período de
419 retorno de 0,1–1 ano; os volumes de escoamento foram reduzidos em 2–5% para o período de
420 retorno de 5–10 anos e 18–28% para o período de retorno de 0,1–1 ano. Os volumes anuais de
421 escoamento foram estimados em 43-68% da precipitação total. Os autores concluem que os
422 telhados verdes possuem um importante potencial para integrarem os planos futuros de gestão
423 de águas pluviais urbanas.

424 Na cidade de Uberlândia-MG, os efeitos da implantação de telhados verdes em um
425 condomínio residencial foram simulados por Alamy Filho et al., (2016), tendo como resultado
426 reduções expressivas no volume de escoamento superficial. A estimativa feita pelos autores
427 mostrou uma eficiência de retenção máxima de 55,67%. Contudo, para condições de solo
428 inicialmente seco, após períodos de estiagens, a previsão é de uma eficiência hidrológica média
429 de 40,35%. Para o solo em condição de saturação, em decorrência de chuvas anteriores
430 sucessivas, essa eficiência foi reduzida para 10,44%.

431 Zhang et al. (2015) examinaram a capacidade de retenção de águas pluviais usando o
432 telhado verde em Chongqing, China. Ao avaliarem 19 eventos pluviométricos, os resultados
433 indicaram que o telhado verde reteve o escoamento superficial em uma taxa média de 77,2%,
434 indicando assim que os telhados verdes são eficientes para o gerenciamento de águas pluviais
435 em áreas urbanas.

436 Liu, Li & Li (2017) verificaram o desempenho de telhado verde no controle do
437 escoamento de uma forte chuva na Universidade Deakin, Austrália. A análise foi feita a partir
438 de um sistema de informação geográfica (GIS), os resultados obtidos mostraram que os telhados
439 verdes são muito úteis na mitigação de inundações urbanas repentinas.

440 Araújo et al. (2014) em um estudo realizado na cidade de Londrina- PR, determinou o
441 balanço hídrico de um sistema modular comercial de telhado verde. De acordo com os autores
442 o telhado verde em estudo promoveu uma redução no volume de água no sistema de drenagem
443 de 62,97%. Além disso, observaram que a capacidade de retenção de água atrelada a capacidade
444 de perda de água por evapotranspiração, pode proporcionar a minimização de picos de vazão
445 nas áreas urbanas que não apresentem um sistema de drenagem adequado. Sendo assim, estes
446 sistemas podem ser analisados como pequenos reservatórios de acúmulo de água, contribuindo
447 para a redução do efeito dos picos de vazão nas áreas urbanas.

448 Um estudo de Zhang et al. (2018a) na Universidade de Melbourne na Austrália, avaliou
449 a capacidade de retenção de 18 módulos de telhado verde extensivo com diferentes espécies de
450 vegetação. Os autores afirmaram que os 18 módulos conseguiram reter cerca de 73% da
451 precipitação aplicada.

452 Beecham & Razzaghmanesh (2015) estudaram a retenção de chuvas em 16 telhados
453 verdes na cidade australiana de Adelaide, onde observaram que os telhados verdes apresentaram
454 uma variação de retenção entre 52% e 95% da precipitação incidente e concluem que os
455 telhados verdes possuem grande potencial como ferramenta mitigadora do escoamento
456 superficial, porém é necessário estudos mais aprofundados que auxiliem no entendimento do
457 importante papel que eles podem desempenhar no meio urbano.

458 No estudo de Cipolla, Maglionico & Stojkov (2016) na cidade italiana de Bolonha, foi
459 avaliado o desempenho de retenção de águas pluviais por um telhado verde extensivo. Os
460 autores analisaram 69 eventos de chuva durante o período de 1 ano, obtendo resultados em que
461 o telhado verde apresentou uma retenção média anual de 51,9% da precipitação, reafirmando o
462 papel dos telhados verdes na restauração do ciclo natural da água com a redução anual no
463 volume de escoamento.

464 Sims et al. (2016) realizaram um estudo no Canadá com 3 telhados verdes extensivos
465 em 3 cidades de regiões distintas, os resultados mostraram que os telhados verdes apresentaram
466 uma retenção média de aproximadamente 50% da precipitação total. Os autores também
467 ressaltam que o desempenho da retenção não é somente influenciado pelo volume das chuvas,
468 mas também pela evapotranspiração, onde climas mais secos apresentam maior porcentagem
469 de retenção e pela condição de umidade do solo antecedente.

470 4.4. Qualidade e aproveitamento da água da chuva

471 A qualidade da água da chuva armazenada depende das características do telhado por
472 onde escoar. Sendo assim, com a crescente utilização de telhados verdes, torna-se importante
473 aprofundar o conhecimento sobre a qualidade da água da chuva após passar por diferentes tipos
474 de telhados, incluindo uma cobertura vegetada (TEIXEIRA et al., 2017).

475 Vale ressaltar que a qualidade da água da chuva captada em telhados verdes é
476 dependente de vários aspectos, dentre eles: característica do telhado (espessura da camada de
477 solo, composição do solo, vegetação e tipo de drenagem), idade do telhado e frequência da
478 manutenção do telhado, incluindo fertilização, substituição de plantas e replantio. A água da
479 chuva escoada a partir do telhado verde pode apresentar nutrientes lixiviados da vegetação e

480 substrato, microrganismos e ter a cor alterada, portanto pode ser indicada a utilização de algum
481 tipo de filtro, sem posterior desinfecção (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

482 A caracterização da precipitação bem como suas tendências sazonais também se
483 apresenta como fatores que interferem na qualidade da água decorrente do escoamento
484 superficial em coberturas. Zhang et al. (2014) demonstraram que os poluentes presentes na água
485 de escoamento superficial do telhado na estação chuvosa foram menores do que na estação seca
486 e que o período seco que antecede um evento de precipitação é o tempo no qual os
487 contaminantes se concentram na superfície de coleta da água da chuva.

488 Beecham & Razzaghmanesh (2015) estudaram 16 telhados verdes na Austrália do Sul
489 para verificar o desempenho da qualidade e quantidade da água. Os resultados mostraram que
490 o material orgânico também afeta a qualidade da água dos telhados verdes, ou seja, quanto
491 menor o teor de material orgânico no substrato, melhor a qualidade da água. Em relação à
492 turbidez, verificou-se que o escoamento das coberturas verdes apresentou valores médios no
493 intervalo de 7,16 uT a 12,84 uT. Ao comparar com a água da chuva coletada diretamente da
494 atmosfera, que apresentou média igual a 1,30 uT, todos os tipos de cobertura analisados
495 aumentaram a turbidez. Neste estudo, a passagem da água pelas coberturas verdes aumentou a
496 acidez da água, discordando da maioria dos estudos da área. A água da chuva apresentou pH
497 médio igual a 7,50, enquanto as coberturas verdes apresentaram pH médio no intervalo de 5,65
498 a 6,98.

499 Vijayaraghavan & Joshi, (2014) afirmam que os telhados verdes podem melhorar a
500 qualidade da água, no entanto, durante os primeiros dois a três anos, durante o processo de
501 estabilização das coberturas, o escoamento da camada de vegetação pode prejudicar a qualidade
502 das águas, contribuindo com quantidades substanciais de fósforo e fosfato, por exemplo.

503 Os telhados verdes têm o potencial de reter vários metais Ca, Mg, Al, Fe, Cr, Cu, Ni,
504 Zn, Pb, e Cd, assim como neutralizar a natureza ácida da água da chuva. Os telhados verdes
505 exibiram eficiência de 97% na remoção de Al, Fe, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn e Cd
506 (VIJAYARAGHAVAN & RAJA, 2014). Contudo, estudos realizados por Berndtsson et al.
507 (2010) mostraram que os telhados verdes funcionaram como fonte de poluentes, uma vez que,
508 ao analisarem alguns metais e nutrientes (Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Pb, Zn, NO₃, NH₄, N-total,
509 PO₄ e P-total) presentes no escoamento de telhados verdes observaram tal ineficácia.

510 De acordo com Vacari (2015) a água escoada por telhados verdes apresentou maior
511 concentração de cor e turbidez, estando esse valor, provavelmente, relacionado a presença de

512 concentrações de sólidos totais provenientes do substrato e as concentrações de coliformes
513 totais nos telhados verdes, que apresentaram valores superiores ao telhado convencional,
514 entretanto, o contrário ocorreu em relação à *Escherichia coli*.

515 Pessoa et al. (2016) avaliou alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos da
516 água escoada por uma cobertura convencional de fibrocimento e por duas coberturas verdes
517 modulares, uma instalada no ano de 2010 e outra no ano de 2013 na cidade de Santa Maria/RS.
518 Os parâmetros analisados foram: turbidez, cor aparente, cor verdadeira, condutividade elétrica,
519 sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, temperatura, pH, fosfato, nitrogênio total,
520 nitrato, nitrito, cloretos, sulfatos, DBO, dureza, coliformes totais e *E. coli*. Os valores de
521 turbidez e fosfato apresentaram diferenças significativas entre as duas coberturas verdes, sendo
522 justificado devido as diferentes características do substrato e ao tempo de instalação. O autor
523 verificou que a cobertura verde mais antiga apresentou melhores resultados, sugerindo que com
524 o passar do tempo ocorre maior estabilização do sistema e com isso menor lixiviação de sólidos
525 e parâmetros químicos que alteram a qualidade da água. De modo geral, os resultados obtidos
526 mostraram que telhados verdes atuaram como fonte poluidora de parâmetros físicos,
527 químicos e microrganismos e que a qualidade da água escoada pelas coberturas verdes e pela
528 cobertura convencional apresenta potencial para usos não potáveis, todavia, para determinados
529 usos se faz necessário realizar um pré-tratamento da água escoada.

530 No estudo de Buffam, Mitchell & Durtsche (2016) foi analisado a variação temporal da
531 qualidade da água escoada por uma cobertura verde extensiva e por uma cobertura
532 convencional, além da água da chuva coletada diretamente da atmosfera, na cidade de
533 Cincinnati, Ohio. Verificou-se que em relação ao parâmetro pH, a passagem da água da chuva
534 por ambas as coberturas reduziu sua acidez, com variação entre 6,5 e 7,4 para a cobertura verde,
535 6,0 e 6,9 para cobertura convencional e 4,9 e 6,6 para água da chuva.

536 Zhang et al. (2015) analisaram a quantidade e a qualidade da água escoada por uma
537 cobertura verde, por uma cobertura convencional e da água da chuva coletada diretamente da
538 atmosfera, em um estudo realizado na China. Em relação a qualidade, os autores concluíram
539 que a cobertura verde atuou como fonte de nutrientes, apresentando concentrações de nitrogênio
540 total, nitrato e amônia significativamente maiores que as obtidas na água da chuva e na
541 cobertura convencional. Verificaram também que a cobertura verde elevou o valor do pH da
542 água da chuva, entretanto, este aumento não foi significativo e reforçaram a importância da
543 composição do substrato na qualidade da água escoada pelas coberturas verdes.

544 Malcolm et al. (2014) afirma que existe um grande potencial das coberturas para
545 estabilizar e neutralizar o pH do escoamento, em muitos casos podem lixiviar alguns nutrientes,
546 como nitrato e fosfato. Sendo que, a descarga de nutrientes, das coberturas, pode ser associada
547 ao uso de fertilizantes.

548 Silveira et al. (2016) afirmam que o uso para fins não potáveis se torna viável na medida
549 em que a qualidade da água requerida não necessita atender a padrões de potabilidade e que
550 esse reaproveitamento é uma alternativa importante para redução do consumo de água de
551 abastecimento público.

552 A captação de águas pluviais é um dos métodos mais antigos conhecidos por abordar a
553 escassez de água (CAMPISANO et al., 2017). É uma solução viável não só para aliviar o
554 aumento da demanda de água em muitos países, mas também para mitigar o escoamento hídrico
555 (CAMPISANO et al., 2017; AMOS, RAHMAN & GATHENYA, 2016).

556 Assim, para que essa água tenha utilidade, mesmo que para fins não potáveis, a
557 Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da norma NBR 15527/2007
558 especifica alguns parâmetros de qualidade para tal uso.

559 Segundo a NBR 15527 (2007), as águas de chuva podem ser utilizadas após tratamento
560 adequado para usos não potáveis, como por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação
561 de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza
562 de pátios, espelhos d'água e usos industriais. Para usos mais restritos não potáveis, a norma
563 recomenda que sejam utilizados os parâmetros de qualidade descritos a seguir:

564 4.4.1. Coliformes

565 A análise bacteriológica da água é um importante dispositivo para a determinação de
566 sua qualidade. Esse controle é realizado através de indicadores de contaminação por coliformes,
567 em que o indicador de coliformes fecais apresenta maior importância.

568 Os coliformes estão classificados em coliformes totais e coliformes fecais ou
569 termotolerantes. São caracterizados por bactérias gram-negativas não esporogênicas,
570 originárias do trato intestinal de humanos e outros animais de sangue quente, na forma de
571 bastonetes, anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose com produção de gás no
572 período de 48 horas quando em temperatura de 35°C (APHA, 2017).

573 Os coliformes totais são todas as bactérias gram-negativas, aeróbias ou anaeróbias
574 facultativas, um exemplo dessas bactérias são as do gênero *Escherichia*. Os coliformes fecais

575 ou termotolerantes fazem parte do trato intestinal, podendo ser encontrada em fezes humanas
576 ou de animais de sangue quente, quando presentes na água indicam uma possível contaminação
577 (ALVES, 2018).

578 4.4.2. Cloro residual

579 O cloro é o desinfetante mais usual devido à sua eficiência e facilidade de aplicação.
580 Contudo, em águas com presença de matéria orgânica o uso prolongado de cloro pode provocar
581 a formação de componentes orgânicos clorados. Dessa forma, sempre que o cloro for utilizado
582 como desinfetante, deve ser verificado se todo o material orgânico do reservatório foi filtrado
583 (BERTOLO, 2006). Os compostos de cloro são utilizados para a desinfecção, assim como
584 outros processos, como a aplicação de raio ultravioleta e a aplicação de ozônio.

585 4.4.3. Turbidez

586 A turbidez é um parâmetro físico da qualidade da água, o qual representa o grau de
587 interferência com a passagem da luz através da água decorrente das partículas em suspensão
588 (ANA, 2016). A presença dessas partículas provoca a dispersão e absorção da luz, dando à água
589 uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e indica a possível presença de argila, silte,
590 substâncias orgânicas e inorgânicas na água (MAY, 2004).

591 4.4.4. Cor aparente

592 De acordo com Hagemann (2009), a cor é um parâmetro físico, determinado pela
593 alteração na aparência da água provocada pela presença de substâncias dissolvidas ou em
594 suspensão como metais e húmus.

595 4.4.5. pH

596 O pH, ou potencial hidrogeniônico, é um parâmetro químico, definido pela concentração
597 de íons de hidrogênio que indica se a água é alcalina (pH superior a 7), ácida (pH inferior a 7)
598 ou neutra (pH igual a 7). Valores baixos de pH indicam uma tendência a acontecer a corrosão
599 na tubulação e valores altos de pH tendem a provocar incrustações nas tubulações (ANA, 2016).

600 4.4.6. Condutividade elétrica

601 A condutividade elétrica indica a capacidade que a água possui de conduzir corrente
602 elétrica e está diretamente relacionado com a presença de íons (partículas carregadas
603 eletricamente) dissolvidos na água (PINHEIRO & ARAÚJO, 2016).

604 4.4.7. Bactérias Heterotróficas

605 Bactérias heterotróficas são microrganismos que requerem carbono orgânico como
606 fonte de nutrientes para seu crescimento e para a síntese de material celular. A determinação
607 dessas bactérias deve ser realizada como um dos parâmetros para avaliar a integridade do
608 sistema de distribuição, reservatórios e rede (BRASIL, 2011).

609 As bactérias heterotróficas estão presentes em todos os tipos de ambientes: na água, no
610 solo e no ar. Quando presentes no solo e na água, contribuem diretamente para a degradação e
611 remineralização da matéria orgânica dissolvida presente nos ambientes (RECHE; PITTOL;
612 FIUZA, 2010). Todos os microrganismos potencialmente patogênicos como *Escherichia* sp.;
613 *Klebsiella* sp.; *Enterobacter* sp.; *Citrobacter* sp., são pertencentes ao grupo das bactérias
614 heterotróficas. Um grupo bastante conhecido de bactéria heterotrófica é o grupo dos coliformes
615 (CETESB, 2010).

616 4.5 Potabilidade

617 A Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde no seu artigo 5º define como padrão de
618 potabilidade o conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para
619 consumo humano, conforme define a própria portaria e que água potável é aquela que atenda
620 ao padrão de potabilidade estabelecido por esta portaria, não oferecendo riscos à saúde
621 (BRASIL, 2011). Portanto, a água é considerada potável somente quando atende a todos os
622 parâmetros obrigatórios contidos na Portaria nº 2914/2011.

623 Conforme Sant'ana, Medeiros & Alvares (2017), água não potável é aquela que não
624 atende os parâmetros de qualidade estabelecidos pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da
625 Saúde, mas que pode ser utilizada em fins não potáveis, como por exemplo, irrigação, limpeza,
626 lavagem, descarga sanitária, elementos paisagísticos, combate a incêndio, torres de
627 resfriamento, entre outros.

628 5. Análise de Componentes Principais (ACP)

629 Dentre as técnicas estatísticas multivariadas, a Análise de Componentes Principais
630 (ACP) tem sido utilizada amplamente para interpretar conjuntos de dados qualitativos
631 provenientes de estudos hídricos (FINKLER et al. 2015; LOPES et al. 2014).

632 A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica multivariada que analisa uma
633 tabela de dados em que as observações são descritas por várias variáveis dependentes
634 quantitativas correlacionadas. Seu objetivo é extrair as informações importantes da tabela,
635 representá-la como um conjunto de novas variáveis ortogonais denominadas componentes

636 principais, e exibir o padrão de similaridade das observações e das variáveis como pontos em
637 mapas (ABDI e WILLIAMS, 2010).

638 Os componentes principais são gerados de forma ordenada sequencialmente com
639 contribuições decrescentes para a variância, ou seja, o primeiro componente principal (CP1)
640 explica a maioria das variações presentes nos dados originais, e componentes principais
641 sucessivos respondem por proporções decrescentes da variância (HEROJEET et al., 2017).

642

643 6. REFERÊNCIAS

644

645 Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. *Wiley interdisciplinary*
646 *reviews: computational statistics*, 2(4), 433-459.

647 ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas – NBR 15.527. (2007). Água de chuva -
648 Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de
649 Janeiro, Brasil.

650 ABNT- Associação Brasileira De Normas Técnicas- NBR 13.969. (1997). Tanques sépticos:
651 unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto
652 construção e operação. Rio de Janeiro, Brasil.

653 Alamy Filho, J. E., Barcelos, I. B. C., De Melo, N. A., & Caixeta, A. C. M. (2016). Eficiência
654 hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos residenciais/*Hydrological*
655 *efficiency of green roofs for residential neighborhoods scale. Revista Sociedade & Natureza.*
656 *ISSN, 1982, 4513.*

657 Alves, S. G. D. S., Ataíde, C. D. G., & Silva, J. X. D. (2018). Análise microbiológica de
658 coliformes totais e termotolerantes em água de bebedouros de um parque público de Brasília,
659 Distrito Federal. *Revista de Divulgação Científica Sena Aires*, 7(1), 12-17.

660 Amos, C. C., Rahman, A., & Gathenya, J. M. (2016). Economic analysis and feasibility of
661 rainwater harvesting systems in urban and peri-urban environments: A review of the global
662 situation with a special focus on Australia and Kenya. *Water*, 8(4), 149.

663 Amos, C. C., Rahman, A., & Gathenya, J. M. (2018). Economic analysis of rainwater harvesting
664 systems comparing developing and developed countries: A case study of Australia and
665 Kenya. *Journal of cleaner production*, 172, 196-207.

- 666 Ampim, P. A. Y. et al. Green roof growing substrates: types, ingredients, composition and
667 properties. *Journal of Environmental Horticulture*, 28 (4), p.136-143, dez. 2010.
- 668 ANA- Agência Nacional Das Águas. Portal Da Qualidade Das Águas. (2016). Disponível em:
669 http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn8. Acesso em: 3 abr. 2020.
- 670 APHA- American Public Health Association. (2017). Standard methods for examination of
671 water and wastewater. 23th ed. Baltimore: Port City Press. p. 1.1-1.68, 9.1-9.44, 9.53-9.59,
672 9.212-9.215.
- 673 Araújo, A., Squizzato, R., Costanzi, R., Baldin, M. G., Puzzi, L. C. M., & Londrina, P. C.
674 (2014). Balanço hídrico de sistema modular para telhado verde. *Enciclopédia biosfera, Centro*
675 *Científico Conhecer*, 10(18), 637-644.
- 676 Araújo, L. E.; Sousa, F. A. S.; Ribeiro, M. A. F. M.; Santos, A. S.; Medeiros, P. C. (2008).
677 Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. *Revista Brasileira*
678 *de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 23, n. 2, p. 162-169.
- 679 Baldessar, S. M. N. (2012). Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água
680 pluvial escoada. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- 681 Beecham S, Razzaghmanesh M. (2015). Water quality and quantity investigation of green roofs
682 in a dry climate. *Water Research*, 70, 370–84.
- 683 Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity
684 and quality: A review. *Ecological engineering*, 36(4), 351-360.
- 685 Bertolo, E. D. J. P. (2006). Aproveitamento da água da chuva em edificações.
- 686 Bertoni, J. C.; Tucci, C.E. M. (2002). Precipitação. In: Tucci, C.E.M. (Ed.) *Hidrologia Ciência*
687 *e Aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p.177-231.
- 688 Besir, A. B., & Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable*
689 *and Sustainable Energy Reviews*, 82, 915-939.
- 690 Bevilacqua, P., Mazzeo, D., Bruno, R., & Arcuri, N. (2017). Surface temperature analysis of an
691 extensive green roof for the mitigation of urban heat island in southern mediterranean climate.
692 *Energy and Buildings*, 150, 318-327.
- 693 Bliss, D. J., Neufeld, R. D., & Ries, R. J. (2009). Storm water runoff mitigation using a green
694 roof. *Environmental Engineering Science*, 26(2), 407-418.

- 695 Blumenau. Lei Complementar nº 1174, de 07 de fevereiro de 2018. Regula a utilização de
696 Telhado Verde nas edificações. Disponível em: [https://leismunicipais.com.br/legislacao-](https://leismunicipais.com.br/legislacao-municipal/4520/leis-de-blumenau)
697 [municipal/4520/leis-de-blumenau](https://leismunicipais.com.br/legislacao-municipal/4520/leis-de-blumenau). Acesso em: 6 nov. 2019.
- 698 BRASIL. Lei nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos
699 Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o
700 inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março
701 de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Diário Oficial
702 da República Federativa do Brasil.
- 703 BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os
704 procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu
705 padrão de potabilidade. Disponível em <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/ gm/2011/](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)
706 [prt2914_12_12_2011.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- 707 BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio
708 Ambiente. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso
709 em: 8 nov. 2020.
- 710 Britto Correa, C.; Neila González, J. F. O uso de coberturas ecológicas na restauração de
711 coberturas planas. NUTAU, 2002.
- 712 Brudermann, T., & Sangkakool, T. (2017). Green roofs in temperate climate cities in Europe–
713 An analysis of key decision factors. *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 224-234.
- 714 Buffam, I.; Mitchell, M. E.; Durtsche, R. D. (2016). Environmental drivers of seasonal variation
715 in green roof runoff water quality. *Ecological Engineering*, v. 91, p. 506-514.
- 716 Caldeira, M. C. A. P. (2015). Princípios de sustentabilidade aplicados ao projecto de zonas
717 verdes em cobertura: Caso prático dos terraços da BISA. Dissertação (Mestrado) –
718 Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- 719 Calheiros, C. S. C.; Palha P. (2017). Infraestruturas verdes: a tendência das coberturas verdes
720 nas cidades. *Revista Ingenium*. N.º 158, 3 ed.
- 721 Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, Mj, Friedler, E., Debusk, K., & Han, M. (2017).
722 Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water*
723 *Research*, 115, 195-209.

- 724 Carneiro, T. A.; Guiselini, C.; Pandorfi, H.; Lopes Neto, J. P.; Loges, V.; Souza, R. F. L. (2015).
725 Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de
726 cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.11, p.1086–1092.
- 727 Carson, T. B., Marasco, D. E., Culligan, P. J., & McGillis, W. R. (2013). Hydrological
728 performance of extensive green roofs in New York City: observations and multi-year modeling
729 of three full-scale systems. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024036.
- 730 Carter, T. L., & Rasmussen, T. C. (2006). Hydrologic Behavior Of Vegetated Roofs 1. *JAWRA*
731 *Journal of the American Water Resources Association*, 42(5), 1261-1274.
- 732 CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2010). Qualidade das águas
733 subterrâneas do Estado de São Paulo 2007-2009. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado
734 de São Paulo. 258 p. (Série Relatórios).
- 735 CETESB. (1986). Drenagem Urbana: manual de projeto. Companhia de Tecnologia de
736 Saneamento Ambiental, São Paulo, 464 p.
- 737 Chen, H., Ma, J., Wei, J., Gong, X., Yu, X., Guo, H., & Zhao, Y. (2018). Biochar increases
738 plant growth and alters microbial communities via regulating the moisture and temperature of
739 green roof substrates. *Science of The Total Environment*, 635, 333-342.
- 740 Chen, X. P., Huang, P., Zhou, Z. X., & Gao, C. (2015). A review of green roof performance
741 towards management of roof runoff. *Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied*
742 *ecology*, 26(8), 2581-2590.
- 743 Chicago. Chicago Zoning Ordinance 17-4-1015. Green Roofs Incentives. 2015. Disponível
744 em:<[http://www.adaptationclearinghouse.org/resources/chicago-zoning-ordinance-17-4-1015-](http://www.adaptationclearinghouse.org/resources/chicago-zoning-ordinance-17-4-1015-green-roofs-incentives.html)
745 [green-roofs-incentives.html](http://www.adaptationclearinghouse.org/resources/chicago-zoning-ordinance-17-4-1015-green-roofs-incentives.html)>. Acesso em 16 nov. 2019.
- 746 Cipolla, S. S., Maglionico, M., & Stojkov, I. (2016). A long-term hydrological modelling of an
747 extensive green roof by means of SWMM. *Ecological engineering*, 95, 876-887.
- 748 CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos CNRH Resolução Nº 54, de 28 de novembro
749 de 2005 -Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direito não
750 potável de água, e dá outras providências. Brasília, 2005. Acesso em: 05 nov. 2020.
- 751 Coma, J., Pérez, G., & Cabeza, L. F. (2018). Life Cycle Assessment of Green Roofs. In *Nature*
752 *Based Strategies for Urban and Building Sustainability*, 341-351.

- 753 Coma, J.; Pérez, G.; Solé, C.; Castell, A.; Cabeza, L. F. (2016). Thermal assessment of
754 extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Journal Renewable*
755 *Energy*, 85, 1106-1115.
- 756 Costa, A. F. G. M., Paschoalin Filho, J. A., & Leite, B. C. C. (2017). Desempenho térmico de
757 módulos executados em Light Steel Frame com cobertura verde e com telhas de fibrocimento.
758 VI Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade.
- 759 Costa, J. Da; Costa, A.; Poletto, C. (2012). Telhado verde: redução e retardo do escoamento
760 superficial. *Revista de estudos ambientais*, v. 14, n. 2esp, p. 50-56.
- 761 Dos Santos, L. R. L., De Lima, J. V. F., Neto, L. T., Rolemberg, R. R., & Gonzaga, G. B. M.
762 (2018). Telhado Verde: Uma Proposta Sustentável Para A Construção Civil. *Caderno de*
763 *Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS*, 4(2), 195.
- 764 Dos Santos, S. M., Silva, J. F. F., Dos Santos, G. C., De Macedo, P. M. T., & Gavazza, S.
765 (2019). Integrating conventional and green roofs for mitigating thermal discomfort and water
766 scarcity in urban areas. *Journal of Cleaner Production*, 219, 639-648.
- 767 Empresa De Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018, ano base 2017.
768 Disponível em: [http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-](http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-Anual-de-Energia-Eletrica-por-classe-nacional)
769 [Anual-de-Energia-Eletrica-por-classe-nacional](http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-Anual-de-Energia-Eletrica-por-classe-nacional). Acesso em: 07 de março de 2019.
- 770 Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., ... & Mikkelsen, P.
771 S. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more–The evolution and application of terminology
772 surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542.
- 773 Florianópolis. Lei nº 14243, de 11 de dezembro de 2007. Dispõe sobre a implementação de
774 sistemas de naturezação através da criação de telhados verdes em espaços urbanos de Santa
775 Catarina. Disponível em: http://leis.ale.sc.gov.br/html/2007/14243_2007_Lei.html. Acesso
776 em: 6 nov. 2019.
- 777 Foustalieraki, M., Assimakopoulos, M. N., Santamouris, M., & Pangelou, H. (2017). Energy
778 performance of a medium scale green roof system installed on a commercial building using
779 numerical and experimental data recorded during the cold period of the year. *Energy and*
780 *Buildings*, 135, 33-38.
- 781 Godoy, L. J. G. Adubação nitrogenada para produção de tapetes da grama Sto. Agostinho e
782 Esmeralda. 2005. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – FCA/ UNESP, Botucatu,
783 2005.

- 784 Goiânia. Lei complementar n° 235, de 28 de dezembro de 2012. Institui o Programa IPTU
785 Verde no Município de Goiânia. Goiânia-GO. 28 de dezembro de 2012. Diário Oficial do
786 Município de Goiânia. Disponível em:
787 https://www.goiania.go.gov.br/html/gabinete_civil/sileg/dados/legis/2012/lc_20121228_0000
788 00235.html. Acesso em: 6 nov. 2019.
- 789 Gonçalves, K. S.; Ferreira, A. P. Do N. L.; Ramos, H. R. (2016). Agricultura Urbana: Produção
790 de alimentos em telhados verdes. XII Fórum Ambiental da Alta Paulista. ANAP. Tupã-SP, vol.
791 12.
- 792 Govindarajulu, D. (2014). Urban green space planning for climate adaptation in Indian
793 cities. *Urban climate*, 10, 35-41.
- 794 Griffin, W. N. Extensive green roof substrate composition: effects of physical properties on
795 matric potential, hydraulic conductivity, plant growth, and stormwater retention in the Mid-
796 Atlantic. 2014. 176p. Dissertação (Doutorado em Filosofia) – Universidade de Maryland, 2014.
- 797 Guiselini, C.; Loges, V.; Carneiro, T. A. ; Pandorfi, H. (2015). Análise térmica de instalações
798 rurais com diferentes coberturas. Anais. In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia
799 Agrícola, 2015, São Pedro. Jubileu de Ouro da SBEA. Jaboticabal: Associação Brasileira de
800 Engenharia Agrícola.
- 801 Haberman, D., Gillies, L., Canter, A., Rinner, V., Pancrazi, L., & Martellozzo, F. (2014). The
802 potential of urban agriculture in Montréal: a quantitative assessment. *ISPRS International*
803 *Journal of Geo-Information*, 3(3), 1101-1117.
- 804 Hagemann, S. E. (2009). Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua
805 captação e uso.
- 806 Harper, G. E., Limmer, M. A., Showalter, W. E., & Burken, J. G. (2015). Nine-month
807 evaluation of runoff quality and quantity from an experiential green roof in Missouri, USA.
808 *Ecological Engineering*, 78, 127-133.
- 809 Henn, A. B.; Cagliari, A. I. (2016). A aplicabilidade do telhado verde em centros urbanos. In:
810 5° Seminário Internacional de Construções Sustentáveis. Anais. Passo Fundo - RS.
- 811 Herojeet, R., Rishi, M. S., Lata, R., & Dolma, K. (2017). Quality characterization and pollution
812 source identification of surface water using multivariate statistical techniques, Nalagarh Valley,
813 Himachal Pradesh, India. *Applied Water Science*, 7(5), 2137-2156.

- 814 Hua, S., Liang, J., Zeng, G., Xu, M., Zhang, C., Yuan, Y., ... & Huang, L. (2015). How to
815 manage future groundwater resource of China under climate change and urbanization: An
816 optimal stage investment design from modern portfolio theory. *Water Research*, 85, 31-37.
- 817 IBDA- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. Ecotelhado ou Telhado Verde.
818 Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=8&Cod=1940/>>.
819 Acesso em: 19 maio 2019.
- 820 IGRA- International Green Roof Association. Green Roof Types. Disponível em:
821 http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php. Acesso em 06 de dezembro de
822 2018.
- 823 Karachaliou, P., Santamouris, M., & Pangalou, H. (2016). Experimental and numerical analysis
824 of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office
825 building in Athens. *Energy and Buildings*, 114, 256-264.
- 826 Kumar, R., & Kaushik, S. C. (2005). Performance evaluation of green roof and shading for
827 thermal protection of buildings. *Building and environment*, 40(11), 1505-1511.
- 828 Li, H., Ding, L., Ren, M., Li, C., & Wang, H. (2017). Sponge city construction in China: A
829 survey of the challenges and opportunities. *Water*, 9(9), 594.
- 830 Liu C, Li Y, Li J. (2017). Geographic information system-based assessment of mitigating flash-
831 flood disaster from green roof systems. *Comput Environ Urban Syst*; 64:321–31.
- 832 Liu, H., Jia, Y., & Niu, C. (2017a). “Sponge city” concept helps solve China’s urban water
833 problems. *Environmental Earth Sciences*, 76(14), 473.
- 834 Liu, L., & Jensen, M. B. (2018). Green infrastructure for sustainable urban water management:
835 Practices of five forerunner cities. *Cities*, 74, 126-133.
- 836 Locatelli, L., Mark, O., Mikkelsen, P. S., Arnbjerg-Nielsen, K., Jensen, M. B., & Binning, P. J.
837 (2014). Modelling of green roof hydrological performance for urban drainage applications.
838 *Journal of hydrology*, 519, 3237-3248.
- 839 Lopes, F. B., Andrade, E. M. D., Meireles, A., Becker, H., & Batista, A. A. (2014). Assessment
840 of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de*
841 *Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(4), 437-445.

- 842 Malcolm, E. G., Reese, M. L., Schaus, M. H., Ozmon, I. M., Tran, L. M. (2014). Measurements
843 of nutrients and mercury in green roof and gravel roof runoff. *Ecological engineering*, 73, 705-
844 712.
- 845 Marinheiro, DJ (2008). Um modelo de telhado verde para a construção de programas de
846 simulação de energia. *Energia e edifícios*, 40 (8), 1466-1478.
- 847 Martelli, A.; Santos Júnior, A. R. (2015). Arborização Urbana do município de Itapira – SP:
848 perspectivas para educação ambiental e sua influência no conforto térmico. *Revista Eletrônica*
849 *em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. Santa Maria, v. 19, n. 2.
- 850 May, S. (2004). Estudo de viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não
851 potável em edificações. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Construção
852 Civil, Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 853 Mello Filho, G. J. de. Lei Nº 18112 DE 12/01/2015. Dispõe sobre a melhoria da qualidade
854 ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e
855 construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a
856 rede de drenagem e dá outras providências. Disponível em:
857 <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280138>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2019.
- 858 Mentens, J., Raes, D., & Hermy, M. (2006). Telhados verdes como uma ferramenta para
859 resolver o problema do escoamento de águas pluviais no século XXI urbanizado. *Paisagem e*
860 *planejamento urbano*, 77 (3), 217-226.
- 861 Morakinyo, T. E., Dahanayake, K. K. C., Ng, E., & Chow, C. L. (2017). Temperature and
862 cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-
863 simulation parametric study. *Energy and Buildings*, 145, 226-237.
- 864 Naghettini, M.; Pinto, E. J. A. (2007). *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM, p. 552.
- 865 Nakata-Osaki, C. M., Souza, L. C. L.; Rodrigues, D. S. (2016). Uma ferramenta para análise
866 do potencial de formação de Ilhas de calor. In: 7º Congresso Luso Brasileiro para o
867 Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: Contrastes, Contradições e
868 Complexidades. Maceió.
- 869 New York City (New York). NYC Construction Codes. New York City. (2014). Disponível
870 em: <<http://www1.nyc.gov/site/buildings/codes/2014-construction-codes.page>>. Acesso em 21
871 set 2019.

- 872 Ohnuma Júnior, A. A.; Almeida Neto, P. De; Mendiondo, E. M. (2014). Análise da retenção
873 hídrica em telhados verdes a partir da eficiência do coeficiente de escoamento. *Revista*
874 *Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 19, n.2, p. 41-52.
- 875 Omar, A., Vigoderis, R., Pandorfi, H., Moura, G., Guiselini, C. (2018). Green roof: Simulation
876 of energy balance components in Recife, Pernambuco state, Brazil. *Engenharia Agrícola*, v. 38,
877 n. 3, p. 334-342.
- 878 Onis Pessoa, J., Allasia, D., Tassi, R., Vaz Viega, J., & Fensterseifer, P. (2016). Qualidade das
879 águas pluviais de extensos telhados verdes em uma região subtropical. Em EGU
880 ASSEMBLÉIA GERAL Conferência Abstracts (Vol. 18).
- 881 Páll-Gergelyos, B.; Kyrö, K.; Lehvävirta, S.; Vilisics, F. (2014). Green roofs provide habitat
882 for the rare snail (Mollusca, Gastropoda) species *Pseudotrachia rubiginosa* and *Succinella*
883 *oblonga* in Finland. *Journal Memoranda Societats pro Fauna et Flora Fennica*. v. 90.
- 884 Peng, L. L., & Jim, C. Y. (2015). Economic evaluation of green-roof environmental benefits in
885 the context of climate change: The case of Hong Kong. *Urban Forestry & Urban Greening*,
886 14(3), 554-561.
- 887 Philadelphia. Philadelphia Stormwater Plan Review. (2016). Disponível
888 em:<<http://www.pwdplanreview.org>>. Acesso em: 15 out 2019.
- 889 Pinhabel, G. C. (2015). *Telhados Verdes: Aspectos Positivos no Conforto Térmico e*
890 *Microclima*. Unitoledo. Araçatuba/SP, p. 14.
- 891 Pinheiro, L. G., & Araújo, A. L. C. (2016). Qualidade e aproveitamento da água de
892 chuva. *HOLOS*, 8, 135-146.
- 893 Pradhan, S.; Al-Ghamdi, S. G.; Mackey, H. R. (2018). Greywater recycling in buildings using
894 living walls and green roofs: A review of the applicability and challenges. *Science of The Total*
895 *Environment*, v. 652, p. 330-344.
- 896 Ramaiah, M., & Avtar, R. (2019). Urban green spaces and their need in cities of rapidly
897 urbanizing India: A review. *Urban Science*, 3(3), 94.
- 898 Rebollar, N. A. P. (2017). *Telhados verdes: uma abordagem multidisciplinar*. Florianópolis:
899 Livraria Editora Xavier.
- 900 Reche, M. H. L. R., Pittol, M., & Fiuza, L. M. (2010). Bactérias e bioindicadores de qualidade
901 de águas de ecossistemas orizícolas da região sul do Brasil.

- 902 Recife. Prefeitura Municipal. (2016). Estudo e Concepção do Plano de Manejo de Águas
903 Pluviais do Recife – PDDR. Disponível na EMLURB. Recife.
- 904 Recife. Prefeitura Municipal. Lei Municipal nº 18.112, de 12 de janeiro de 2015. Dispõe sobre
905 a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação
906 do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das
907 águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências. Disponível em:
908 <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280138>>. Acesso em: 25 ago. 2019.
- 909 Rio De Janeiro. Lei Estadual nº 6349, de 30 de novembro de 2012. (2012). Dispõe Sobre A
910 Obrigatoriedade da Instalação do "telhado Verde" nos Locais Que Especifica e dá outras
911 Providências. Disponível em: <https://gov-rj.jusbrasil.com.br/legislacao/1033548/lei-6349-12>.
912 Acesso em: 6 nov 2019.
- 913 Rocha, S.; Scarda, F. (2016). Telhados Verdes: Da Pré-História ao Velho Oeste Americano.
914 Instituto Cidade Jardim. São Paulo/SP, p. 28.
- 915 Rosseti, K. A. C.; Nogueira, M. C. J. A.; Nogueira, J. S. (2013). Interferência microclimática
916 na utilização do telhado verde para regiões tropicais: estudo de caso em Cuiabá, MT. Revista
917 Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v. 9, nº 9, p. 1959-1970.
- 918 Sant'ana, D. R., Medeiros, L. B. P., & Alvares, K. C. F. (2017). Aproveitamento de Águas
919 Pluviais e Reúso de Águas Cinzas em Edificações. Padrões de qualidade, critérios de instalação
920 e manutenção. Brasília: Universidade de Brasília.
- 921 Santamouris, M. (2016). Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the
922 energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change.
923 Solar Energy, 128, 61-94.
- 924 Santos, P. L. F., de Queiroz Barcellos, J. P., & de Castilho, R. M. M. (2016). Diferentes
925 substratos no desenvolvimento de um gramado ornamental para uso em telhados
926 verdes. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, 4(10).
- 927 Sfakianaki, A., Pagalou, E., Pavlou, K., Santamouris, M., & Assimakopoulos, M. N. (2009).
928 Theoretical and experimental analysis of the thermal behaviour of a green roof system installed
929 in two residential buildings in Athens, Greece. International Journal of Energy Research,
930 33(12), 1059-1069.

- 931 Shafique, M; Kim, R; Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges—A
932 review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 90, p. 757-773.
- 933 Silva, C. M., Gomes, M. G., & Silva, M. (2016). Green roofs energy performance in
934 Mediterranean climate. *Energy and buildings*, 116, 318-325.
- 935 Silva, M. C., & Duarte, S. (2017). Concepção e Projeto de métodos construtivos sustentáveis:
936 aplicação de telhado verde e aproveitamento de água pluvial em um ambiente escolar.
937 *Engenharia Civil-Tubarão*.
- 938 Silveira, A.; De Lima, J. L. M. P.; De Lima, M. I. P.; Silva, G. C. O.; & Naspolini, B. F. (2016).
939 Análise comparativa da qualidade da água da chuva precipitada e coletada em coberturas em
940 dois locais no Brasil e em Portugal. *Revista de Engenharia Civil*, 52, 23-32.
- 941 Sims, A. W., Robinson, C. E., Smart, C. C., Voogt, J. A., Hay, G. J., Lundholm, J. T., &
942 O'carroll, D. M. (2016). Retention performance of green roofs in three different climate regions.
943 *Journal of Hydrology*, 542, 115-124.
- 944 Souza, R. O. L. De; Ferreira, M. L. S. S.; Vasconcellos, C. A. B. (2015). Telhado verde de
945 baixo investimento composto por plantas medicinais e aromáticas. *Semioses*, 9(2), 48-58.
- 946 Specht, K.; Siebert, R.; Hartmann, I.; Freisinger, U.; Sawicka, M.; Werner, A.; Thomaier, S.;
947 Henckel, D.; Walk, H.; Dierich, A. (2014). Urban agriculture of the future: an overview of
948 sustainability aspects of food production in and on buildings. *Journal Agriculture and Human*
949 *Values*, 31:33–51.
- 950 Stovin, V., Poë, S., De-Ville, S., & Berretta, C. (2015). The influence of substrate and
951 vegetation configuration on green roof hydrological performance. *Ecological Engineering*, 85,
952 159-172.
- 953 Stovin, V., Vesuviano, G., & Kasmin, H. (2012). The hydrological performance of a green roof
954 test bed under UK climatic conditions. *Journal of Hydrology*, 414, 148-161.
- 955 Stovin, V., Vesuviano, G., And De-Ville, S. (2017). “Defining green roof detention
956 performance.” *Urban Water J.*, 14(6), 574–588.
- 957 Susca, T. (2019). Green roofs to reduce building energy use? A review on key structural factors
958 of green roofs and their effects on urban climate. *Building and Environment*, 162, 106273.
- 959 Talebi, A., Bagg, S., Sleep, B. E., & O'carroll, D. M. (2019). Water retention performance of
960 green roof technology: A comparison of canadian climates. *Ecological Engineering*, 126, 1-15.

- 961 Tassi, R.; Tassinari, L. C. Da S.; Piccilli, D. G. A.; Persch, C. G. (2014). Telhado verde: uma
962 alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.
963 14, n. 1, p. 139-154.
- 964 Teixeira, C. A.; Budel, M. A.; De Carvalho, K. Q.; Da Cruz Bezerra, S. M.; & Ghisi, E. (2017).
965 Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto
966 e em telhado verde para usos não potáveis. *Ambiente Construído*, 17(2), 135-155.
- 967 Toronto. Toronto Municipal Code chapter 492, green roofs. (2013). Disponível em:
968 <http://www.toronto.ca/legdocs/municode/1184_492.pdf>. Acesso em: 15 out. 2019.
- 969 Tucci, C. E. M. (2001). (Org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2. ed. Porto Alegre:
970 Universidade/UFRGS: ABRH.
- 971 Tucci, C. E. M. (2004). *Hidrologia ciência e aplicação*. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 943
972 p.
- 973 Vacari, T. C. (2015). Caracterização da qualidade da água pluvial retida em módulos
974 experimentais de telhados verdes e o seu estudo como alternativa tecnológica para redução do
975 volume da água pluvial escoada.
- 976 Van Men, H. (2016). Assessment of groundwater level and quality: a case study in O Mon and
977 Binh Thuy districts, Can Tho city, Vietnam. *Naresuan University Engineering Journal*, 11(1),
978 25-33.
- 979 Vieira, Z. C.; Silva Junior, C. G.; Ribeiro, S. N. (2015). Uso de telhado verde em edificações
980 de Aracaju para redução do escoamento superficial. In: Congresso Internacional Resag – Gestão
981 Da Água E Monitoramento Ambiental.
- 982 Vijayaraghavan, K. (2016). Green Roofs: a critical review on the role of components, benefits,
983 limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 57, p. 740–752.
- 984 Vijayaraghavan, K.; Joshi, U. M. (2014). Can green roof act as a sink for contaminants. A
985 methodological study to evaluate runoff quality from green roofs. *Environmental Pollution*,
986 v.194, p.121-129.
- 987 Vijayaraghavan, K.; Raja, F. D. (2014). Design and development of green roof substrate to
988 improve runoff water quality: Plant growth experiments and adsorption. *Water Research*, v.63,
989 p.94-101.

- 990 Yan, X., Ward, S., Butler, D., & Daly, B. (2018). Performance assessment and life cycle
991 analysis of potable water production from harvested rainwater by a decentralized
992 system. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2167-2173.
- 993 Yang, J., Pyrgou, A., Chong, A., Santamouris, M., Kolokotsa, D., & Lee, S. E. (2018). Green
994 and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate. *Solar Energy*, 173,
995 597-609.
- 996 Young, T.; Cameron, D. D.; Sorrill, J.; Edwards, T.; Phoenix, G. K. Importance of different
997 components of green roof substrate on plant growth and physiological performance. *Urban
998 Forestry & Urban Greening*, 13, p. 507-516, 2014.
- 999 Yu, L.; Rozemeijer, J. C.; Velde, Y.; Breukelen, B. M.; Ouboter, M.; Broers H. P. (2019). Urban
1000 hydrogeology: Transport routes and mixing of water and solutes in a groundwater influenced urban
1001 lowland catchment. *Science of the Total Environment*, v. 678, p. 288-300.
- 1002 Zhang, Q., Miao, L., Wang, X., Liu, D., Zhu, L., Zhou, B., ... & Liu, J. (2015). The capacity of
1003 greening roof to reduce stormwater runoff and pollution. *Landscape and Urban Planning*, 144,
1004 142-150.
- 1005 Zhang, Q., Wang, X., Hou, P., Wan, W., Li, R., Ren, Y., Ouyang, Z. (2014). "Quality and
1006 seasonal variation of rainwater harvested from concrete, asphalt, ceramic tile and green roofs
1007 in Chongqing, China". *Journal of Environmental Management*, 132, 178-187.
- 1008 Zhang, S., Zhang, J., Jing, X., Wang, Y., Wang, Y., & Yue, T. (2018). Water saving efficiency
1009 and reliability of rainwater harvesting systems in the context of climate change. *Journal of
1010 Cleaner Production*, 196, 1341-1355.
- 1011 Zhang, Z., Szota, C., Fletcher, Td, Williams, Ns, Werdin, J. E Farrell, C. (2018a). Influence of
1012 plant composition and water use strategies on green roof stormwater retention. *Science of The
1013 Total Environment*, 625, 775-781.
- 1014 Zhao, M., & Srebric, J. (2012). Assessment of green roof performance for sustainable buildings
1015 under winter weather conditions. *Journal of Central South University*, 19(3), 639-644.
- 1016
- 1017
- 1018
- 1019

1020

CAPÍTULO I

1021 BALANÇO HÍDRICO DE UM TELHADO VERDE EXTENSIVO SITUADO NA CIDADE
1022 DE RECIFE/PE

1023

1024 RESUMO

1025 Objetivou-se com o presente estudo determinar o balanço hídrico de um telhado verde
1026 extensivo. Este estudo foi realizado no Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin,
1027 Recife/ PE (latitude $-8,05^\circ$, longitude $-34,95^\circ$). O balanço hídrico levou em consideração as
1028 entradas de água no sistema pela precipitação e irrigação, e as saídas por evapotranspiração e
1029 drenagem referentes aos anos de 2018 e 2019. O registro das variáveis meteorológicas foi feito
1030 por meio de uma estação meteorológica automática instalada na laje do edifício. A
1031 evapotranspiração de referência (E_{To} , mm dia^{-1}) foi estimada pelo modelo Penman-Monteith.
1032 Os resultados do balanço hídrico mostram que a lâmina média retida pelo substrato em 2018
1033 foi de 33,32 mm, que em termos percentuais equivale a uma retenção de 9%. Em 2019, a lâmina
1034 média retida pelo substrato foi de 27,21 mm com uma retenção de 7% do total hídrico incidente
1035 no telhado verde. A retenção promovida pelo conjunto substrato + sistema de drenagem,
1036 associado a um reservatório, foi satisfatória e correspondeu a 82,33% em 2018 e 81,47% do
1037 volume incidente no telhado verde em 2019. Verificou-se que a retenção promovida pelo
1038 telhado verde evidenciou seu potencial de mitigação das inundações urbanas por meio da
1039 evapotranspiração e da retenção das águas pluviais tanto no substrato quanto no reservatório.
1040 A lâmina de irrigação aplicada foi superior à demanda hídrica da vegetação que registrou
1041 evapotranspiração média de $2,32 \text{ mm.dia}^{-1}$ em 2018 e $2,63 \text{ mm.dia}^{-1}$ em 2019. A condição
1042 inicial de umidade do substrato e as condições climáticas afetam diretamente o desempenho de
1043 retenção de águas pluviais pelo telhado verde.

1044 Palavras-Chave: Evapotranspiração; gestão de águas pluviais; inundações.

1045

1046 ABSTRACT

1047 The objective of this study was to determine the water balance of an extensive green roof. This
1048 study was carried out at Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, Recife / PE (latitude
1049 -8.05° , longitude -34.95°). The water balance took into account the water inputs in the system
1050 through precipitation and irrigation, and the evapotranspiration and drainage outputs for the
1051 years 2018 and 2019. The meteorological variables were recorded through an automatic

1052 meteorological station installed on the slab of the building. The reference evapotranspiration
1053 (ET_o, mm day⁻¹) was estimated by the Penman-Monteith model. The results of the water
1054 balance show that the average blade retained by the substrate in 2018 was 33.32 mm, which in
1055 percentage terms is equivalent to a 9% retention. In 2019, the average blade retained by the
1056 substrate was 27.21 mm with a retention of 7% of the total water incident on the green roof.
1057 The retention promoted by the substrate + drainage system, associated with a reservoir, was
1058 satisfactory and corresponded to 82.33% in 2018 and 81.47% of the volume incident on the
1059 green roof in 2019. It was found that the retention promoted by the roof green has shown its
1060 potential to mitigate urban flooding through evapotranspiration and rainwater retention both in
1061 the substrate and in the reservoir. The applied irrigation depth was higher than the water demand
1062 of the vegetation that registered an average evapotranspiration of 2.32 mm.day⁻¹ in 2018 and
1063 2.63 mm.day⁻¹ in 2019. The initial humidity condition of the substrate and the climatic
1064 conditions directly affect the performance of rainwater retention by the green roof.

1065 Key words: Evapotranspiration; rainwater management; floods.

1066

1067 INTRODUÇÃO

1068 O processo de expansão urbana das grandes cidades se intensificou devido ao acúmulo
1069 exponencial de pessoas, crescimento da demanda por moradia, locais de trabalho e lazer,
1070 acarretando na redução de áreas verdes e cursos d'água, aliados a compactação do solo e o
1071 asfaltamento, muito comuns nas cidades (PINHABEL, 2015). Tais ações resultaram em efeitos
1072 negativos ao meio ambiente, como a formação de ilhas de calor, perda de biodiversidade,
1073 poluição atmosférica e inundações (SANTOS, TENEDÓRIO & GONÇALVES, 2016; XING,
1074 JONES & DONNISON, 2017; GAROFALO et al., 2016).

1075 O aumento de superfícies impermeáveis, associadas à urbanização, alteram o ciclo
1076 hidrológico natural, através da redução da infiltração e evaporação das águas superficiais,
1077 provocando um aumento do escoamento superficial das águas pluviais (ZHANG et al., 2018).
1078 Essas mudanças são ampliadas sobretudo durante eventos hidrológicos de alta intensidade que
1079 criam picos de fluxo além da capacidade dos sistemas de drenagem, resultando em problemas
1080 de alagamento e inundações (CARPENTER et al., 2016; GOVINDARAJULU, 2014;
1081 MUSTAFA et al., 2018).

1082 Em vista de problemas dessa natureza, a incorporação de um sistema de cobertura verde
1083 em novos empreendimentos ou programas de reforma de edifícios tem o potencial de oferecer

1084 uma variedade de benefícios adicionais, incluindo restauração de habitat, redução dos efeitos
1085 de ilhas de calor urbano, gerenciamento de águas pluviais e melhorias na eficiência energética
1086 (TALEBI et al., 2019). Os telhados verdes vêm sendo propostos como uma prática sustentável
1087 para mitigar os efeitos adversos da urbanização (SHAFIQUE, KIM & RAFIQ, 2018).

1088 Mundialmente, os telhados verdes estão sendo apresentados como uma ferramenta
1089 eficaz de gerenciamento de águas pluviais, embora seja observada variação no seu desempenho.
1090 Estudos mostraram uma retenção anual de precipitação de 5% a 90% (CIPOLLA,
1091 MAGLIONICO & STOJKOV, 2016; SIMS et al., 2016; SZOTA et al., 2017). Os telhados
1092 verdes consistem em uma cobertura vegetal formada por gramíneas ou outras espécies vegetais,
1093 implantadas em telhados ou lajes convencionais (SOUZA, FERREIRA & VASCONCELLOS,
1094 2015) e classificam-se em três tipos: telhado verde intensivo, semi-intensivo e telhado verde
1095 extensivo, cuja diferença está, principalmente, no tipo de vegetação utilizada e na espessura do
1096 substrato (IGRA, 2018).

1097 No Brasil, diferentes estudos foram realizados para simular a substituição dos telhados
1098 convencionais por telhados verdes de diferentes modelos e capacidades de retenção. Esses
1099 estudos evidenciam que os telhados verdes podem contribuir significativamente com a redução
1100 das enchentes urbanas, desde que o seu uso seja coletivo e inserido na urbanização das cidades,
1101 com redução do volume de água jogado no sistema de drenagem variando de 10,44% até
1102 96,64% (ALAMY FILHO et al., 2016; ARAÚJO et al., 2014; WATRIN, BLANCO &
1103 GONÇALVES, 2019; VIEIRA et al., 2018).

1104 O volume de água retido pelas coberturas verdes torna possível o aproveitamento da
1105 água da chuva, que consiste em uma importante fonte alternativa e/ou complementar aos
1106 sistemas públicos de abastecimento de água, para fins não potáveis. Fator que pode reduzir o
1107 suprimento de água potável, contribuindo para a preservação e conservação dos recursos
1108 hídricos (SILVEIRA et al., 2016).

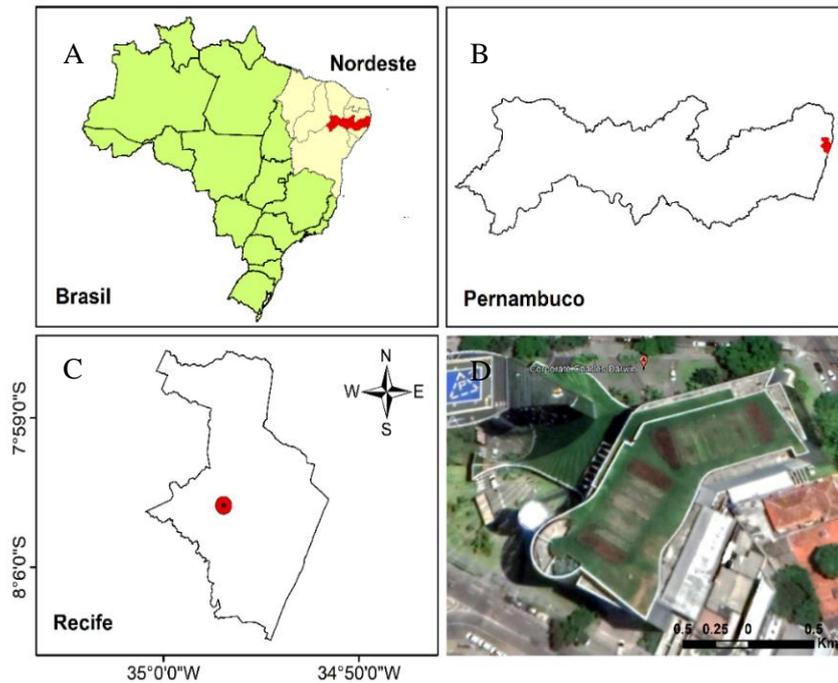
1109 Em virtude da capacidade de retenção de águas pluviais ser um dos múltiplos benefícios
1110 atrelados aos telhados verdes, objetivou-se com este estudo determinar o balanço hídrico de um
1111 telhado verde do tipo extensivo implantado na cidade de Recife, PE.

1112

1113 MATERIAL E MÉTODOS

1114 A pesquisa foi desenvolvida no Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, da
 1115 construtora Rio Ave Empreendimentos, na cidade de Recife - Pernambuco (latitude $-8,05^\circ$,
 1116 longitude $-34,89^\circ$) (Figura 1).

1117



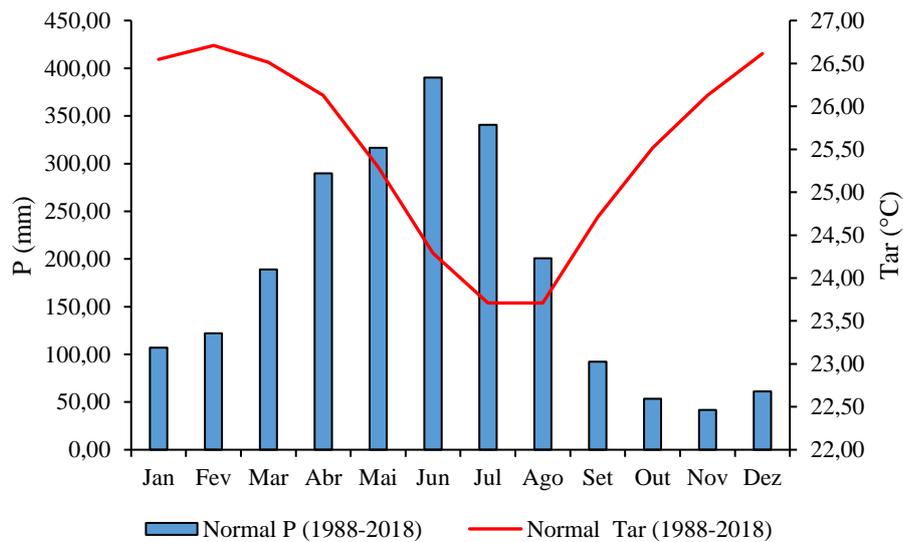
1118

1119 Figura 1. Localização do Estado de Pernambuco no contexto do Brasil (A); localização da região
 1120 metropolitana do Recife-PE (B); Localização do Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin em
 1121 Recife-PE (C) e foto aérea do Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, Recife – PE (D).

1122

1123 O clima da região é do tipo As' , tropical úmido, de acordo com Köppen (PEREIRA,
 1124 ANGELOCCI & SENTELHAS, 2002). A precipitação pluviométrica com é caracterizada por
 1125 uma maior concentração entre os meses de abril a agosto com uma média anual de 2204,3 mm,
 1126 sendo os meses de maio a julho os mais chuvosos do ano. A temperatura média anual é de
 1127 $25,9^\circ\text{C}$, temperatura média máxima de $29,5^\circ\text{C}$ e temperatura média mínima de $22,3^\circ\text{C}$, com
 1128 umidade relativa média do ar de 78,3% (INMET, 2019a).

1129 As normais climatológicas da precipitação e temperatura média mensal em Recife-PE
 1130 no período de 1988 a 2018 estão apresentadas graficamente na Figura 2.



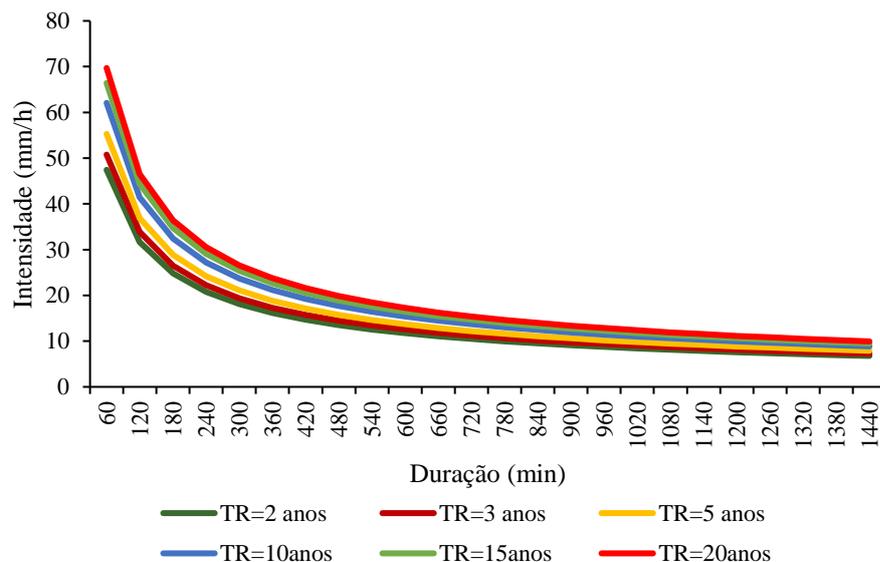
1131

1132 Figura 2. Normais climatológicas da precipitação e temperatura média mensal em Recife-PE. Normal
 1133 P= normal climatológica da precipitação; Normal Tar= normal climatológica da temperatura.

1134

1135 Com a Equação IDF do Recife (PREFEITURA DO RECIFE, 2016), obteve-se as curvas
 1136 intensidade x duração (Figura 3) para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15 e 20 anos, em
 1137 conformidade com o tempo de retorno iguais ou inferior a 10 anos para dispositivos de
 1138 microdrenagem urbana, com durações de até 1.440 minutos que corresponde a 24 horas, em
 1139 que a intensidade de chuva é dada em mm/h.

1140



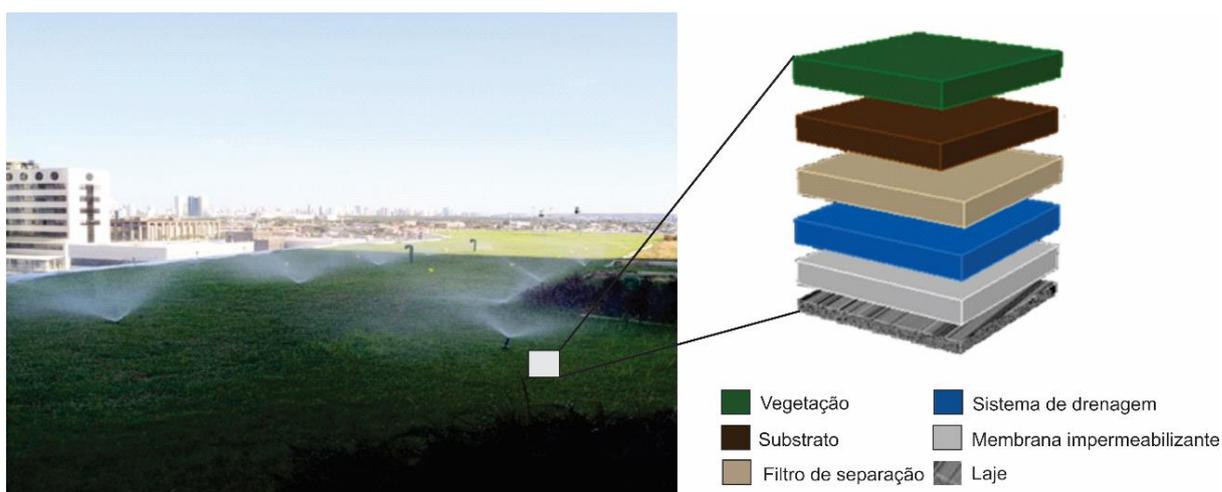
1141

1142 Figura 3. Curva intensidade x duração para diferentes períodos de retorno para Recife-PE. TR= tempo
1143 de retorno.

1144

1145 O telhado verde utilizado é do tipo extensivo com uma área de 2.800 m², sendo
1146 composto por uma gramínea da espécie *Zoysia japônica*. O substrato utilizado era constituído
1147 por lodo de esgoto tratado com espessura de 7,5 cm e o sistema de drenagem formado por uma
1148 camada de material granular com espessura de 2,5 cm (proveniente da reciclagem de restos de
1149 concreto) envolta por duas mantas de drenagem bidim nas faces superior e inferior, manta
1150 asfáltica para impermeabilização da laje, sistema de irrigação por aspersão escamoteável que
1151 aplica uma lâmina de 9,2 mm.dia⁻¹ e reservatório com capacidade de armazenamento de 380
1152 m³ (Figura 4). A laje em que foi implantado o telhado verde foi preparada com concreto armado
1153 convencional (areia, brita, água e aço) com espessura de 21 cm. Para drenagem utilizou-se um
1154 (1) dreno a cada 30 m², e quanto a irrigação, a mesma era realizada 2 vezes ao dia, durante 25
1155 minutos.

1156



1157 Figura 4. Sistema de irrigação escamoteável e esquema da composição do telhado verde em estudo.

1158

1159 O balanço hídrico do telhado verde foi calculado pela equação proposta por Collischonn
1160 & Tassi (2010) que foi adaptada para o presente estudo e leva em consideração as entradas de
1161 água no sistema pela precipitação e irrigação, e as saídas por evapotranspiração e drenagem.
1162 Assim o cálculo do balanço foi realizado a partir dos valores médios de cada parâmetro
1163 registrado referentes aos anos de 2018 e 2019, por meio da equação 1.

$$1164 \quad \Delta V = P + I - Q - ET_o \quad (1)$$

1165 Sendo,

1166 ΔV = variação do volume de água armazenada no substrato e está relacionado com a
 1167 capacidade de retenção (mm); P = precipitação (mm); I = irrigação (mm); Q = água drenada
 1168 (mm); ETo = evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹).

1169 O registro das variáveis meteorológicas foi feito por meio de uma plataforma automática
 1170 de registro de dados CAMPBELL® SCIENTIFIC modelo CR800 instalada na laje do edifício
 1171 a 1,60 m, com sensores específicos acoplados para o registro a cada 10 minutos, no decorrer do
 1172 período experimental, da radiação solar global (Qg, Wm⁻², MJm⁻² d⁻¹), radiação solar refletida
 1173 (Qg saída, Wm⁻², MJ m⁻² d⁻¹), saldo de radiação (Rn, Wm⁻²; MJm⁻² d⁻¹), temperatura do ar
 1174 (Tar_ext, °C), umidade relativa do ar (UR_ext, %), precipitação (P, mm), velocidade do vento
 1175 (vv, m.s⁻¹) e umidade volumétrica do solo (Θ, m³. m⁻³). A fim de observar e comparar os dados
 1176 de temperatura e precipitação obtidos pela estação meteorológica em questão, foi calculada a
 1177 normal climatológica para essas mesmas variáveis referentes aos anos de 1988 a 2018 obtidos
 1178 na base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) referentes à estação
 1179 pluviométrica do Curado (Recife/PE).

1180 A evapotranspiração de referência (ETo, mm dia⁻¹) foi estimada pelo modelo Penman-
 1181 Monteith, conforme a equação 2:

$$1182 \quad ETo = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} vv(es-ea)}{\Delta + \gamma(1+0,34vv)} \quad (2)$$

1183 Sendo,

1184 Rn = saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹); G = fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); T =
 1185 temperatura média diária do ar (°C); vv = velocidade média diária do vento (m s⁻¹); es = pressão
 1186 de saturação do vapor média diária (kPa); ea = pressão atual de vapor média diária (kPa); Δ =
 1187 declividade da curva de pressão de vapor no ponto correspondente a temperatura (kPa °C); γ
 1188 = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

1189 A inclinação da curva de pressão de saturação (Δ) é obtida em função da temperatura
 1190 média diária do ar (°C) e é dada pela equação 3.

$$1191 \quad \Delta = \frac{40,98 \times es}{(T+237,3)^2} \quad (3)$$

1192 A constante psicrométrica (γ), dada em kPa °C⁻¹, é função da pressão atmosférica e
 1193 pode ser obtida a partir da equação 4:

$$1194 \quad \gamma = 0,665 \times 10^{-3} \times Patm \quad (4)$$

1195 Sendo,

1196 P_{atm} = pressão atmosférica (kPa).

1197 A pressão de vapor média diária e a pressão de saturação do vapor média diária (kPa),
1198 foram calculadas pelas equações 5 e 6, respectivamente.

$$1199 \quad e_a = \left(\frac{e_s * UR}{100} \right) \quad (5)$$

1200 Sendo,

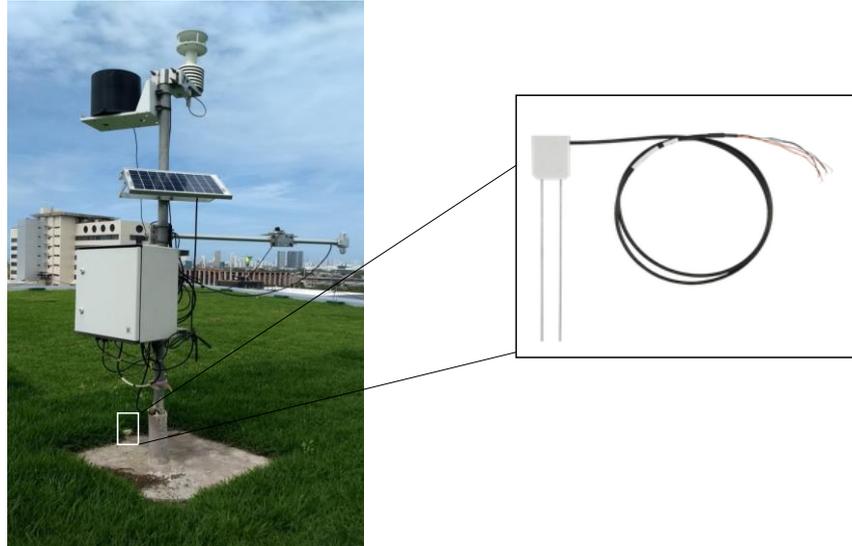
1201 e_a é a pressão de vapor (kPa) e UR é a umidade relativa (%).

$$1202 \quad e_s = 0,611 * 10^{\left[\frac{(7,5 * T_a)}{(237,3 + T_a)} \right]} \quad (6)$$

1203 Sendo,

1204 e_s é a pressão de vapor do ar saturado (kPa) e T_a a temperatura do ar (°C).

1205 O volume de água drenada (Q) foi determinado por meio da equação 1, onde os
1206 parâmetros precipitação, irrigação e evapotranspiração foram calculados e a variação do volume
1207 de água contida no substrato (ΔV) foi mensurada por meio do sensor refletômetro de conteúdo
1208 de água CAMPBELL SCIENTIFIC modelo CS650 acoplado na estação meteorológica, que
1209 mede conteúdo volumétrico de água no substrato em $m^3 \cdot m^{-3}$ (Figura 5). O sensor CS650
1210 (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2016) é um sensor multiparâmetro que usa a refletometria no
1211 domínio do tempo para medir o conteúdo de água líquida e a condutividade elétrica de solos e
1212 outros meios porosos (DÍAZ et al., 2017). Além disso, ele mede a temperatura do meio por
1213 meio de um termistor em contato com uma das hastes. Consiste em duas hastes de aço
1214 inoxidável de 30 cm de comprimento (3,2 mm de diâmetro e 3,2 cm de espaçamento)
1215 conectadas a uma placa de circuito impresso. O manual do proprietário do sensor afirma que a
1216 acurácia do dispositivo de medição é de $\pm 3\%$ do conteúdo volumétrico da água com
1217 condutividade elétrica ≤ 3 dS m e a precisão é $< 0,05\%$ com registro na faixa de umidade de 0 a
1218 $0,5 m^3 \cdot m^{-3}$.

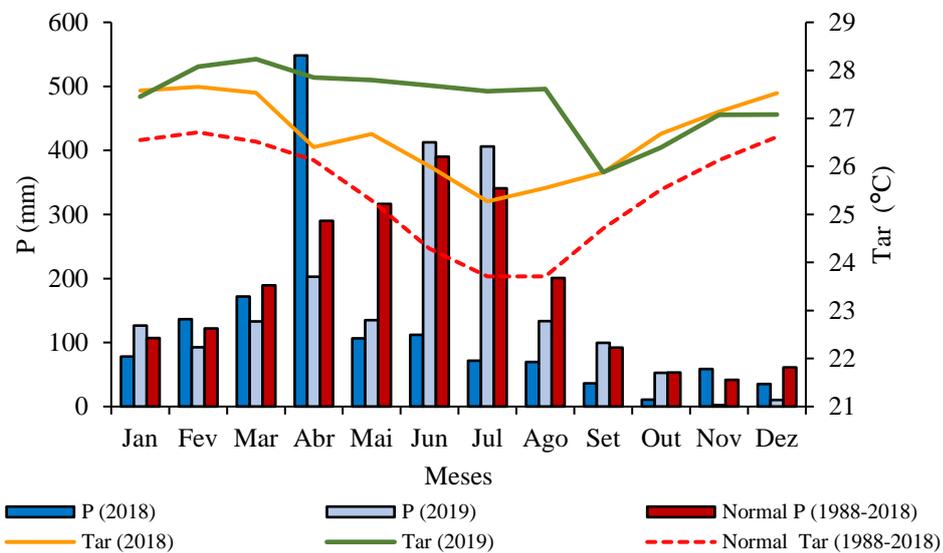


1219

1220 Figura 5. Sensor Refletômetro de Conteúdo de Água no Solo Campbell Scientific CS650. Fonte:
 1221 <https://www.campbellsci.com.au/soil-water-content>.
 1222

1223 RESULTADOS E DISCUSSÕES

1224 O comparativo entre as temperaturas médias e a precipitação pluviométrica mensal dos
 1225 anos de 2018 e 2019, com a normal climatológica do Recife referente aos anos de 1988 a 2018
 1226 estão apresentados na Figura 6.



1227

1228 Figura 6. Comparativo entre as temperaturas e precipitações mensais da normal climatológica (1988-
 1229 2018) com as temperaturas e precipitações monitoradas nos anos de 2018 e 2019 para a cidade de
 1230 Recife.
 1231

1232 A precipitação total acumulada ao longo do ano de 2018 foi de 1434,50 mm, sendo
 1233 inferior em aproximadamente 35% da precipitação pluviométrica média obtida pela normal
 1234 climatológica que é de aproximadamente 2204,30 mm. Mensalmente, os meses de fevereiro,
 1235 abril e novembro ficaram acima da média. O maior índice pluviométrico foi registrado no mês
 1236 de abril, superando a média histórica, sendo um mês predominantemente chuvoso, com a
 1237 presença de chuva em 25 dos 30 dias, correspondendo a 38,23% do total anual. Outubro foi o
 1238 mês com menor quantidade de chuva, com precipitação mensal acumulada em torno de 11 mm
 1239 o que equivale a 0,73% do percentual total. Observa-se que os meses de janeiro e março
 1240 apresentaram variação relativamente próxima a normal e os meses de maio, junho, julho,
 1241 agosto, setembro, outubro e dezembro apresentaram volume de precipitação abaixo dos valores
 1242 médios obtidos pela normal climatológica.

1243 Por outro lado, em 2019 a precipitação pluviométrica acumulada na cidade do Recife
 1244 também ficou abaixo da precipitação prevista pela normal climatológica, com
 1245 aproximadamente 1805,90 mm o que corresponde em termos percentuais a uma redução de
 1246 18,10%. Verificou-se nos meses de janeiro, junho, julho e setembro valores de precipitação
 1247 acima do previsto pela normal climatológica. O mês de junho apresentou a maior precipitação
 1248 acumulada mensal, cerca de 412,40 mm o que correspondeu em termos percentuais a 22,84%
 1249 do total anual, enquanto a média histórica é de aproximadamente 390,30 mm. Novembro foi o
 1250 mês com menor volume de chuvas com precipitação mensal acumulada de 2,1 mm, em
 1251 conformidade com a tendência de redução de chuvas evidenciada pela normal climatológica.
 1252 No tocante aos meses de fevereiro, março, abril, maio, agosto, novembro e dezembro nota-se
 1253 que estes apresentaram valores de precipitação abaixo dos valores previstos pela normal
 1254 climatológica.

1255 A precipitação e a temperatura média anual prevista pela normal climatológica
 1256 referentes aos anos de 1988 a 2018 e a precipitação acumulada e a temperatura média anual dos
 1257 anos de 2018 e 2019 estão apresentados na Tabela 1.

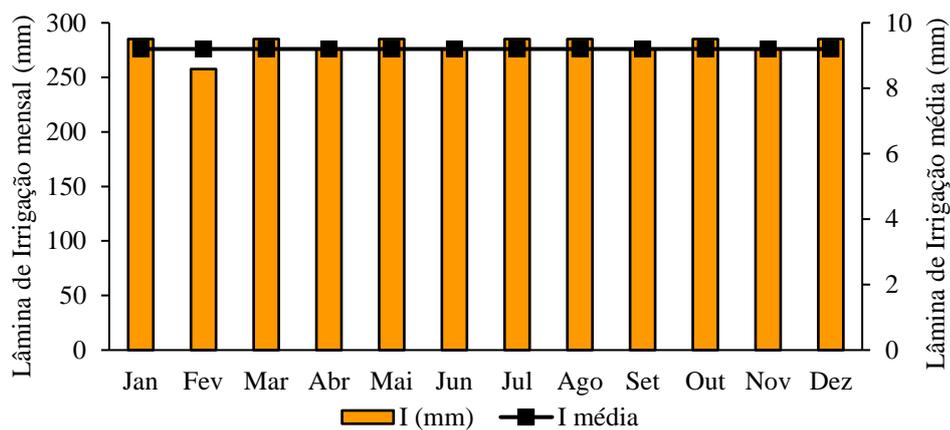
1258 Tabela 1. Precipitação e temperatura anual prevista pela normal climatológica (1988-2018) e para os
 1259 anos de 2018 e 2019.

Ano	P (mm)	Tar (°C)
2018	1434,50	26,66
2019	1805,90	27,39
Normal Climatológica (1988-2018)	2204,30	25,90

1260 P= precipitação pluviométrica acumulada; Tar= temperatura média do ar.

1261 Verificou-se na temperatura média do ano de 2018 uma tendência semelhante a
 1262 observada na média histórica, porém, mais elevada, com uma temperatura média anual de
 1263 26,66°C variando de 25,27 a 27,66°C. O maior registro de temperatura média ocorreu no mês
 1264 de fevereiro com 27,66 °C, enquanto julho registrou a menor média, cerca de 25,27 °C. A
 1265 temperatura média no ano de 2019 foi de 27,39 °C, sendo superior à temperatura obtida pela
 1266 normal climatológica que é de 25,90 °C. A maior temperatura média foi registrada no mês de
 1267 março com 28,23 °C, enquanto a menor média foi em setembro com 25,88 °C.

1268 A lâmina de irrigação aplicada no telhado verde é de 9,20 mm.dia⁻¹ (Figura 7), não
 1269 havendo variações de aplicação durante o ano. Mensalmente há uma variação em relação ao
 1270 número de dias de cada mês com um acumulado na faixa de 257,60 mm a 285,20 mm,
 1271 totalizando aproximadamente 3358 mm. ano⁻¹.



1272

1273

1274

Figura 7. Lâmina de irrigação mensal.

1275

1276

1277

As variações mensais da evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman- Monteith no telhado verde ao longo dos dois anos está apresentada na Figura 8, em que a Figura 8A é referente ao ano de 2018 e a Figura 8B é referente a 2019.

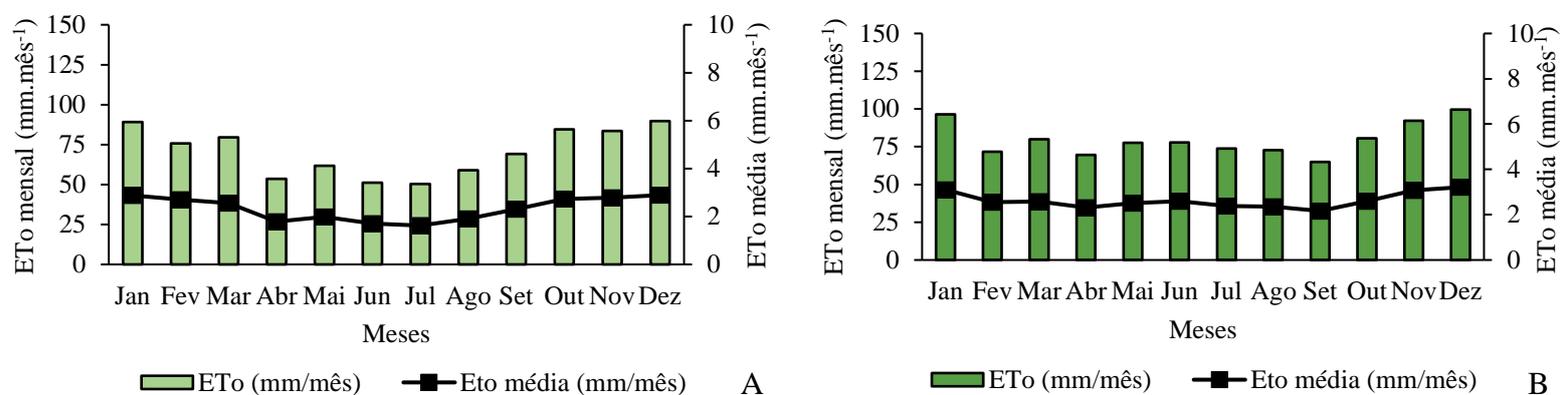


Figura 8. Evapotranspiração de referência mensal para os anos de 2018 (A) e 2019 (B).

1278

1279 A evapotranspiração média diária foi de $2,33 \text{ mm.dia}^{-1}$ durante todo o ano de 2018
 1280 (Figura 8A), variando na faixa de $1,04 \text{ mm.dia}^{-1}$ a $3,85 \text{ mm.dia}^{-1}$, com um total acumulado de
 1281 $846,91 \text{ mm. ano}$. O mês de dezembro apresentou a maior taxa média mensal, com $2,89 \text{ mm.}$
 1282 dia^{-1} e totalizou $89,67 \text{ mm.mês}^{-1}$, equivalendo a $10,59\%$ do total anual, seguido dos meses de
 1283 janeiro, com média $2,88 \text{ mm.dia}^{-1}$ e um total acumulado mensal de $89,24 \text{ mm}$, outubro com
 1284 média de $2,73 \text{ mm.dia}^{-1}$ e um total acumulado mensal de $84,50 \text{ mm}$ e novembro com média de
 1285 $2,78 \text{ mm.dia}^{-1}$ e um total acumulado mensal $83,47 \text{ mm}$.

1286 Os meses que apresentaram menores taxas foram junho, com média mensal de $1,71$
 1287 mm.dia^{-1} e um total acumulado mensal de $51,16 \text{ mm}$ e julho com evapotranspiração média de
 1288 $1,62 \text{ mm.dia}^{-1}$ e um total mensal acumulado de $50,29 \text{ mm}$.

1289 Em escala sazonal é possível verificar que as taxas foram maiores no verão,
 1290 correspondendo a uma média de $2,83 \text{ mm. dia}^{-1}$. Enquanto em relação às estações de primavera,
 1291 outono e inverno, corresponderam a $2,76 \text{ mm. dia}^{-1}$, $1,88 \text{ mm. dia}^{-1}$ e $1,84 \text{ mm. dia}^{-1}$,
 1292 respectivamente. Isso se explica pelo fato de a primavera e o verão apresentarem condições
 1293 mais favoráveis às perdas de água por evapotranspiração como elevadas temperaturas e
 1294 radiação solar (TSANG & JIM, 2011).

1295 Em 2019 evapotranspiração de referência no telhado verde foi mais elevada (Figura 8B),
 1296 com um acumulado total de $957,12 \text{ mm.ano}^{-1}$. A taxa de evapotranspiração média diária foi de
 1297 $2,63 \text{ mm.dia}^{-1}$, com uma variação de $1,05 \text{ mm.dia}^{-1}$ a $5,69 \text{ mm.dia}^{-1}$. O mês de dezembro
 1298 apresentou a maior taxa média mensal de evapotranspiração, com $3,21 \text{ mm. dia}^{-1}$ e totalizou

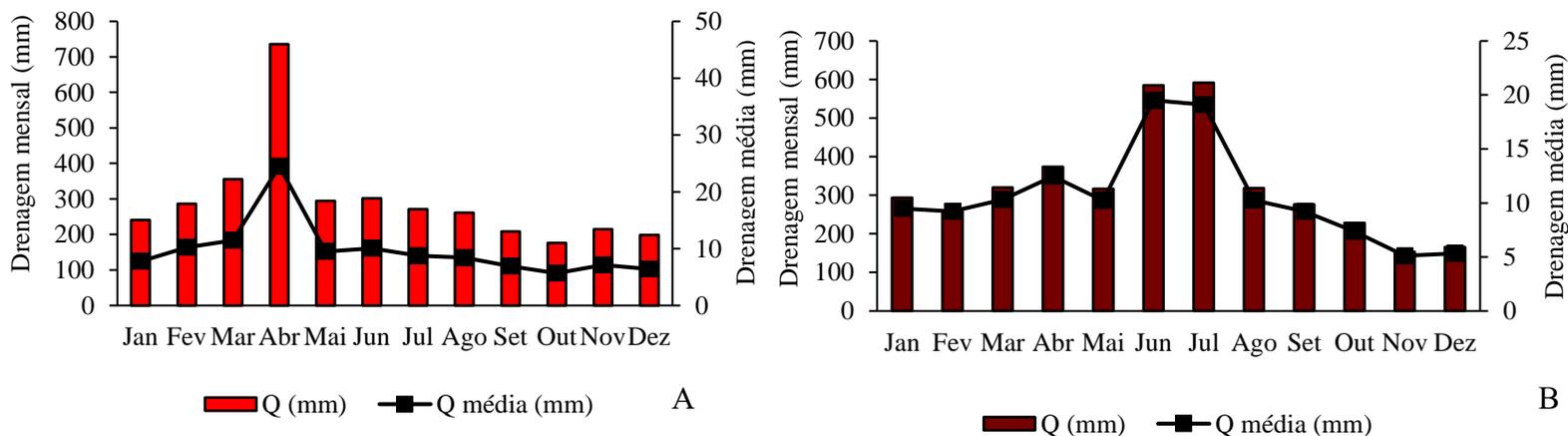
1299 99,63 mm.mês⁻¹, equivalendo a 10,41% do total anual, seguido do mês de janeiro, com uma
 1300 evapotranspiração média de 3,11 mm.dia⁻¹, ao passo que o mês de setembro registrou a menor
 1301 taxa com 2,16 mm. dia⁻¹.

1302 Quanto a sazonalidade, foi observado que a demanda evapotranspirativa foi maior no
 1303 verão e na primavera com médias diárias de 2,90 mm.dia⁻¹ e 2,86 mm.dia⁻¹, respectivamente.
 1304 A variação da evapotranspiração ao longo do ano reflete a variabilidade de retenção de chuvas
 1305 dos telhados verdes. Poe, Stovin & Berretta (2015) encontraram taxas médias de
 1306 evapotranspiração de 2,0 mm. dia⁻¹ para a primavera e de 3,4 mm dia⁻¹ para o verão, utilizando
 1307 módulos de telhados verdes extensivos em ambiente protegido no Reino Unido, sendo esta faixa
 1308 de resultados similares aos encontrados neste estudo. Já no estudo de Boafó, Kim & Kim (2017)
 1309 na Coreia do Sul em clima continental úmido, na época de verão, os autores encontraram uma
 1310 taxa média mensal de evapotranspiração variando de 1,31 mm.dia⁻¹ a 4,28 mm.dia⁻¹ em um
 1311 telhado verde extensivo com irrigação, englobando a taxa média para o verão encontrada neste
 1312 trabalho.

1313 Os resultados obtidos demonstram que nos dois anos houve um suprimento de água
 1314 além do necessário no telhado verde, pois a lâmina de irrigação de 9,2 mm.dia⁻¹ é superior a
 1315 demanda hídrica da cobertura que obteve taxas evapotranspirativas médias de 2,33 mm.dia⁻¹
 1316 em 2018 e de 2,63 mm dia⁻¹ em 2019, além de favorecer o aumento da lâmina de água drenada.

1317 Em relação a lâmina de drenagem (armazenada no reservatório), a Figura 9 apresenta a
 1318 variação mensal da lâmina de água que não foi absorvida pela vegetação e pelo substrato que
 1319 foi armazenada no reservatório, em que a Figura 9A é referente ao ano de 2018 e a Figura 9B
 1320 é referente a 2019.

1321



1322 Figura 9. Variação mensal da lâmina de água drenada para os anos 2018 (A) e 2019 (B).
1323

1324 A lâmina média anual armazenada oscilou em torno de 9,74 mm em 2018 (Figura 9A).
1325 O mês de abril registrou a maior média de drenagem, cerca de 24,52 mm com um total mensal
1326 drenado de 735,70 mm, o que correspondeu a 20,75% do total anual. Isto deve-se ao fato deste
1327 ter sido o mês que registrou maior índice pluviométrico do ano, fazendo parte também do
1328 período mais chuvoso do Recife (WANDERLEY et al., 2018).

1329 Em ordem decrescente, no mês de março a lâmina média mensal drenada foi de 11,48
1330 mm, em fevereiro 10,24 mm, em junho 10,06 mm, em maio 9,50 mm, em julho 8,75 mm, em
1331 agosto 8,42 mm, em janeiro 7,77 mm, em novembro 7,16 mm, em setembro 6,94 mm, em
1332 dezembro 6,42 mm, e em outubro 5,68 mm. Outubro foi o mês com a menor taxa de drenagem,
1333 correspondendo a cerca de 5,0% da parcela anual, isso devido a redução do volume de chuvas
1334 registrado no mês. A lâmina total drenada durante todo o ano foi de 3545,69 mm, sendo
1335 equivalente a um volume total de 9927,93 m³, isso equivale a 73,98% do total hídrico anual
1336 aplicado no telhado verde.

1337 Em 2019 a lâmina média anual armazenada foi de 10,63 mm. O mês de julho registrou
1338 o maior volume de água drenada, com um acumulado de 591,77 mm, correspondendo a 15,25%
1339 do total anual, seguido do mês de junho com 585,13 mm. Em relação aos demais meses, a
1340 lâmina média retida foi de 12,46 mm em abril, 10,31 mm em março, 10,21 mm em maio, 10,26
1341 em agosto, 9,48 mm em janeiro, 9,21 mm em fevereiro, 9,22 mm em setembro, 7,36 mm em
1342 outubro, 5,33 mm em dezembro e 5,11 mm em novembro, sendo este último o mês com menor
1343 taxa de drenagem neste ano equivalente a 3,95% do total (Figura 9B).

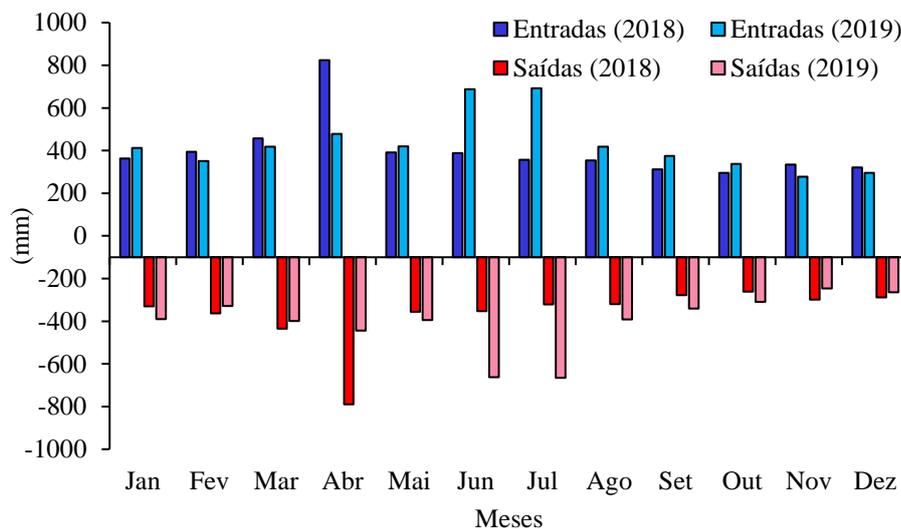
1344 A lâmina total drenada (armazenada) durante todo o ano de 2019 foi de 3880,31 mm,
1345 sendo equivalente a um volume total de 10864,86 m³, isso equivale a 75,14% do total hídrico
1346 anual aplicado no telhado verde. A lâmina de água drenada foi maior nos dias de maior
1347 precipitação acumulada, sobretudo nos meses em que o período de chuvas se prolonga, onde o
1348 substrato encontra-se saturado, favorecendo o aumento da drenagem da água que não foi
1349 absorvida pelo substrato nem pela vegetação. Similarmente Vieira et al. (2018), em um estudo
1350 em Aracaju/SE, analisando quatro modelos de telhados verdes prontos e com diferentes
1351 capacidades de retenção, afirmam que o uso dos mesmos provocou uma redução do volume de
1352 água pluvial que seria jogado no sistema de drenagem urbana na faixa de 20896,00 m³ a
1353 26383,00 m³ quando comparados a um telhado convencional e evidenciam a contribuição
1354 satisfatória desses sistemas de cobertura na redução das enchentes urbanas.

1355 Já no estudo de Cipolla, Maglionico & Stojkov (2016) realizado na Itália, ao comparar
 1356 um telhado verde extensivo com um telhado convencional em uma área de 120 m², os autores
 1357 obtiveram um volume de escoamento de 27,7 m³ e 48,1 m³, respectivamente, demonstrando que
 1358 as coberturas verdes podem contribuir na redução do volume de águas pluviais que poderiam
 1359 causar inundações. Os autores também destacam que o desempenho hidrológico dos telhados
 1360 verdes são fortemente influenciados pelo tamanho das parcelas estudadas (escala real x escala
 1361 pequena) e que os estudos experimentais estreitam as lacunas entre as simulações e a realidade,
 1362 sobretudo quando são realizados com telhados verdes em escala real, como no presente estudo.

1363 Nota-se que em 2019 tanto a lâmina média quanto a acumulada anual foram superiores
 1364 as encontradas em 2018, isto é explicado pelo fato de o regime de chuvas em 2019 ter sido
 1365 maior que no ano anterior. Índices pluviométricos elevados e por longos períodos favorecem a
 1366 redução da taxa de infiltração de água nos telhados verdes devido a sua condição de umidade
 1367 antecedente tender a saturação, aumentando assim o volume de escoamento (JIM & PENG,
 1368 2012).

1369 As entradas e saídas de águas totais mensais no sistema para 2018 e para 2019 são
 1370 apresentadas na Figura 10, onde a parcela de entrada é composta por precipitação e irrigação e
 1371 a parcela de saída por evapotranspiração e drenagem.

1372



1373

1374 Figura 10. Entradas e saídas de água mensais no telhado verde em 2018 e 2019.

1375

1376 Em 2018 as entradas de água no sistema (chuva + irrigação) corresponderam a cerca de
 1377 4792,50 mm. ano⁻¹, enquanto as saídas (evapotranspiração + drenagem) apresentaram um total

1378 de 4392,60 mm. ano⁻¹, o que corresponde a cerca de 91,66 % do total das entradas. O mês de
1379 abril obteve as maiores parcelas tanto de entrada como de saída, com um acumulado mensal
1380 superior aos 800 mm, precisamente, 824,40 mm (Figura 10). Esse resultado é decorrente do
1381 aumento pluviométrico verificado em abril, com valor acima do obtido pela normal
1382 climatológica, o que contribuiu para o aumento de 66,52% da parcela de entrada do mês.

1383 O mês de março também obteve uma elevada parcela de entrada, cerca de 457,10 mm,
1384 sendo na sua maioria influenciada pela lâmina de irrigação, que correspondeu a 62,40% do total
1385 de entrada. Em ordem decrescente, nos meses de fevereiro, maio, junho, janeiro, julho, agosto,
1386 novembro, dezembro e setembro as parcelas de entrada mensal variaram de 394 mm à 312 mm,
1387 destacando o mês de outubro que obteve a menor parcela, cerca de 295,80 mm, sendo a irrigação
1388 responsável por 96,42% da entrada, devido ao mês ter registrado um baixo índice de chuvas
1389 com apenas 10,60 mm acumulados.

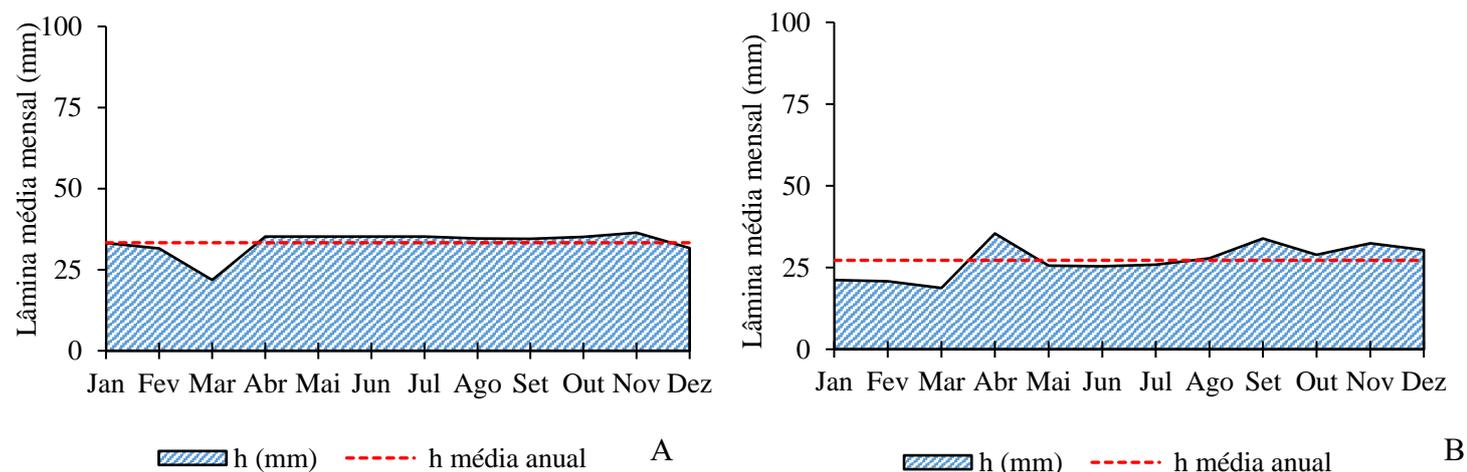
1390 Em relação a parcela de saída de 2018, a variação foi semelhante a encontrada pela
1391 parcela de entrada. O mês de abril registrou a maior parcela de saída em relação aos demais
1392 meses, cerca de 789,23 mm, correspondendo a 17,97% do total de saídas do ano. Dessa parcela,
1393 quase que a sua totalidade, aproximadamente, 93,22%, foi resultante da drenagem. Em março,
1394 a parcela de saídas foi de 435,31 mm, sendo que desta cerca de 81,73% foi obtida pela drenagem
1395 e 18,27% pela evapotranspiração. Em ordem decrescente, os meses de fevereiro, maio, junho,
1396 janeiro, julho, agosto, novembro, dezembro e setembro as parcelas de saída mensal variaram
1397 de 362,45 mm à 277,44 mm, onde o mês de outubro obteve a menor saída de água com cerca
1398 de 260,65 mm. Da parcela total de saídas, a drenagem correspondeu a 80,72%, enquanto a
1399 evapotranspiração foi responsável por 19,28%.

1400 No ano de 2019 as maiores entradas de água no sistema foram nos meses de junho e
1401 julho, com um total acumulado de 688,40 e 691,50 mm, respectivamente. O mês de julho
1402 destacou-se pela maior lâmina de entrada, fator decorrente do elevado índice pluviométrico
1403 registrado. Nos meses de abril, maio, agosto, março e janeiro registrou-se uma variação na
1404 parcela de entrada de água de 411,6 mm a 478,80 mm, nos meses de setembro, fevereiro e
1405 outubro essa variação foi de 337,70 mm a 375,30 mm, já nos meses de novembro e dezembro
1406 a lâmina mensal foi de 278,10 mm e 295,40 mm, respectivamente, sendo estes responsáveis
1407 pelas menores parcelas de entrada no ano.

1408 Em relação as entradas totais do ano, a irrigação foi responsável por 65,03% da parcela,
1409 devido a sua constância na aplicação, enquanto a precipitação correspondeu a 34,97% do total

1410 anual. A parcela de saída segue tendência semelhante a obtida pela parcela de entrada, sendo a
1411 drenagem responsável por 80,21% da saída anual e a evapotranspiração por 19,79%.

1412 Os registros médios da lâmina de água contida no substrato mensuradas pelo sensor de
1413 umidade estão expostos na Figura 11, em que a Figura 11A é referente ao ano de 2018 e a
1414 Figura 11B é referente a 2019.



1415 Figura 11. Lâmina de água média registrada pelo sensor no substrato para os anos de 2018 (A) e 2019
1416 (B).
1417

1418 De acordo com os resultados, a lâmina de água média presente no substrato em 2018 foi
1419 de aproximadamente 33,32 mm (Figura 11A), o que corresponde em termos percentuais a uma
1420 retenção média de 9% do total de entradas de água no sistema e equivale a 93309 litros de água
1421 retidos. Mensalmente, os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março apresentaram uma leve
1422 redução no conteúdo de água do substrato em relação aos demais. No entanto, em março
1423 verificou-se a maior redução em relação à média anual para cerca de 21,79 mm, esta redução
1424 foi favorecida devido a ocorrência dos eventos de chuva terem se concentrado na primeira e na
1425 última semana do mês totalizando 8 dias de chuvas apenas. No restante do mês não houve
1426 registro de precipitação, fato que contribui de forma efetiva na redução da lâmina média mensal
1427 retida. Em contrapartida, o mês de novembro destacou-se por registrar a maior lâmina média
1428 retida, com valor de 36,41 mm. Os demais meses seguiram a tendência similar entre si com
1429 uma lâmina retida acima dos 34 mm.

1430 Por conseguinte, em 2019 a lâmina média retida no substrato foi menor, em relação a
1431 2018, os resultados mostram uma lâmina média de aproximadamente 27,21 mm (Figura 11B),
1432 correspondendo a uma retenção média de aproximadamente 7% em relação as entradas totais

1433 deste ano, isto equivale a 76176,61 litros de água retidos. A maior lâmina retida foi registrada
1434 no mês de abril com 35,42 mm, os meses de janeiro, fevereiro, março, maio, junho e julho
1435 obtiveram lâminas abaixo da média com variação de retenção de 18 mm a 26 mm. Além de
1436 abril, os meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro também obtiveram
1437 retenção acima da média com variação de 27 mm a 35,42 mm. Essas variações estão ligadas a
1438 ação de fatores externos, como alta demanda atmosférica (evapotranspiração), tendo em vista
1439 que elevadas taxas de evapotranspiração induzem um aumento na capacidade de retenção de
1440 água nos eventos de chuvas posteriores (PALLA, GNECCO & BARBERA, 2018).

1441 Respostas de retenção semelhantes às encontradas no presente estudo foram obtidas por
1442 Versini et al. (2015) ao estudarem por meio de modelagem o potencial de implementação em
1443 grande escala de infraestruturas verdes, focando em como estas podem contribuir para a gestão
1444 de águas pluviais em ambiente urbano de Paris, França. Os resultados mostram que os telhados
1445 verdes promoveram uma retenção entre 11% a 17% e os autores afirmam que quando
1446 amplamente implantados, podem reduzir o escoamento urbano em termos de pico de vazão e
1447 volume, além de evitar inundações em diversos casos.

1448 Ressalta-se que o substrato passa a maior parte do ano em condições de capacidade de
1449 campo, isto porque independentemente de haver precipitação, ou baixa demanda atmosférica,
1450 a lâmina de irrigação é sempre aplicada, sendo esta, superior a evapotranspiração diária,
1451 havendo sempre um suprimento de água maior que o necessário e conseqüentemente, o
1452 favorecimento da drenagem (escoamento) do volume excedente para o reservatório durante o
1453 ano inteiro.

1454 A retenção hídrica por telhados verdes foi simulada por Alamy Filho et al., (2016), a
1455 estimativa feita pelos autores mostrou que para o solo em condição de saturação, em
1456 decorrência de chuvas anteriores sucessivas, a eficiência de retenção foi reduzida para um
1457 percentual de 10,44%, corroborando com os resultados obtidos neste estudo.

1458 Um estudo realizado por Santos et al. (2013) em Caruaru- PE, os autores realizaram
1459 uma simulação da dinâmica da água em dois telhados verdes (um com grama e um com cacto),
1460 com o emprego do código computacional Hydrus-1D, para diferentes intensidades de
1461 precipitação (42 mm/h e 79 mm/h), visando verificar o desempenho desse sistema construtivo
1462 na redução do escoamento superficial em comparação a um telhado convencional. Os resultados
1463 obtidos por meio de hidrogramas, mostraram que para a precipitação de intensidade igual a 42
1464 mm/h, a retenção dos telhados verdes foi da ordem de 30% (33,6% para o telhado com grama
1465 e 32,1% para o telhado com cacto), no caso da intensidade igual a 79 mm/h, os valores foram

1466 da ordem de 15% (15,5% para o telhado com grama e 14,2% para o telhado com cacto) enquanto
1467 o telhado convencional (controle) manteve uma capacidade de retenção praticamente inalterada
1468 (2,3% para a intensidade de 42 mm/h e 2,1% para a intensidade de 79 mm/h). Neste estudo os
1469 telhados verdes apresentaram capacidade de retenção do volume total precipitado superior ao
1470 telhado controle e os autores concluem que os telhados verdes constituem importantes
1471 dispositivos no amortecimento do escoamento superficial oriundo dos telhados, para as
1472 condições climáticas da área investigada.

1473 A configuração do telhado verde (substrato, profundidade, vegetação, drenagem) e as
1474 condições climatológicas locais (precipitação e evapotranspiração) influenciam de forma
1475 efetiva nas variações das taxas de retenção encontradas tanto neste estudo quanto em estudos
1476 anteriores, bem como o período de monitoramento (BERNDTSSON, 2010; SIMS et al., 2016;
1477 VIOLA, HELLIES & DEIDDA, 2017; FASSMAN-BECK et al., 2013).

1478 Outros resultados de retenção similares aos encontrados neste estudo são os obtidos por
1479 Cipolla, Maglionico & Stojkov (2016) com 51,90% e por Szota et al., (2017) com variação de
1480 retenção na faixa de 66-90% da precipitação incidente. O desempenho da retenção é maior após
1481 períodos de estiagens e é influenciado pela condição antecedente da umidade do solo
1482 (BRUNETTI, ŠIMŮNEK & PIRO, 2016; CHENOT et al., 2017).

1483 O telhado verde estudado conta com um reservatório para reuso da água drenada
1484 (escoada), essa água é utilizada para a própria irrigação do telhado e dos jardins do empresarial
1485 Charles Darwin. A retenção promovida pelo conjunto substrato + drenagem e sua porcentagem
1486 mensal em relação as entradas de água para o ano de 2018 e 2019 está apresentada na figura
1487 12.

1488

1489

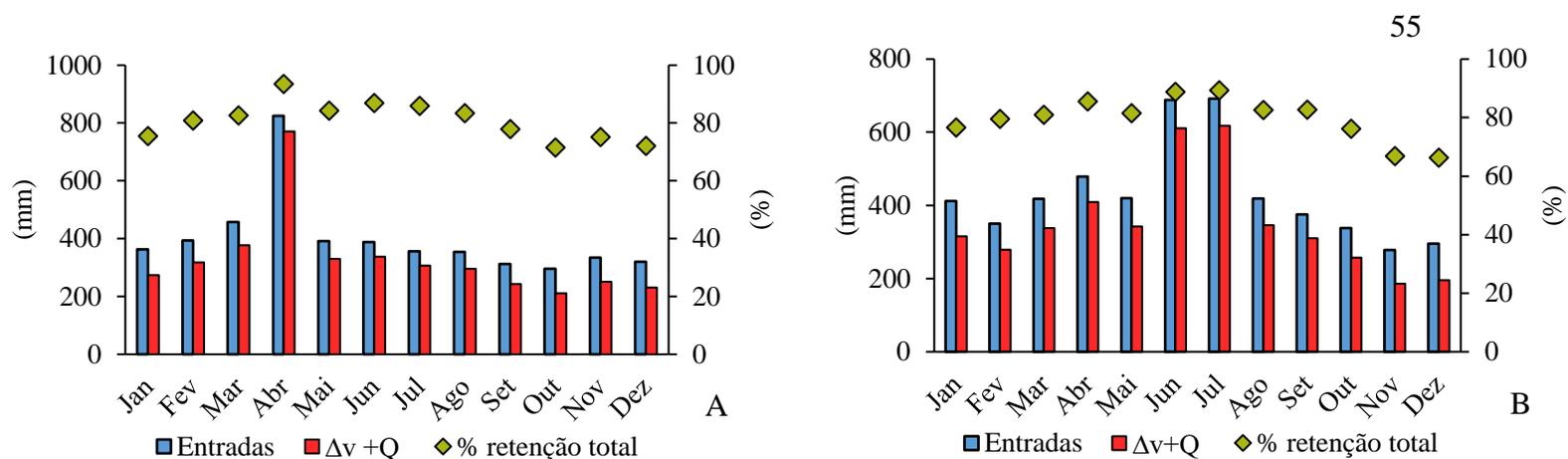


Figura 12. Retenção mensal promovida pelo conjunto substrato + drenagem e sua porcentagem mensal para os anos de 2018 (A) e 2019 (B).

1490 O conjunto substrato e sistema de drenagem do telhado verde em 2018 foi capaz de
 1491 promover uma retenção anual de 3945, 59 mm, o que corresponde a 82,33% do volume total
 1492 de água que entrou no sistema. Mensalmente, o mês de abril destacou-se pelo volume de chuvas
 1493 elevado, quase que o dobro previsto pela normal climatológica, e obteve uma retenção de
 1494 aproximadamente 93,51% do volume de água que entrou no sistema, seguido dos meses de
 1495 junho, julho, maio, agosto, março e fevereiro com percentual retido acima dos 80% e os meses
 1496 de setembro, janeiro, novembro, dezembro e outubro com retenção variando de 71% a 78% do
 1497 total mensal de entrada (Figura 12A). No mês de outubro foi registrado o menor percentual de
 1498 retenção, em torno de 71,43% do volume total de entrada, devido a redução do regime
 1499 pluviométrico que neste período atingiu apenas 10,6 m, sendo o mais baixo do ano, o que
 1500 contribuiu para a redução da parcela de entrada de água do sistema. A variação da retenção
 1501 anual total de água promovida pelo conjunto substrato + drenagem do telhado verde variou de
 1502 71,43% até 93,51% do volume total de água incidente em 2018.

1503 Já em 2019 (Figura 12B), a retenção anual do conjunto foi de 4206,78 mm, equivalente
 1504 a aproximadamente 81,47% da água que incidiu no telhado. Os meses de julho e junho
 1505 apresentaram as maiores retenções mensais correspondendo a aproximadamente 89,32% e
 1506 88,69% respectivamente, do total hídrico aplicado nestes meses. Devido ao grande volume de
 1507 água que entrou no sistema neste mês e nos meses anteriores (mais chuvosos do ano), a
 1508 performance de retenção de água pelo substrato é bastante afetada, já que o mesmo se encontra
 1509 saturado, viabilizando o aumento da lâmina de água armazenada pelo sistema de drenagem. De
 1510 acordo com Tassi et al. (2014), a capacidade de retenção de água nos telhados verdes é afetada
 1511 pelas condições de umidade do substrato que antecedem um evento chuvoso. Em ordem
 1512 decrescente, nos meses de setembro, agosto, maio e março a variação de retenção obtida pelo
 1513 conjunto (substrato + drenagem) oscilou de 82,70% a 80,91%. Nos meses de fevereiro, janeiro

1514 e outubro essa variação foi de 79,55% a 76,13% e nos meses de novembro e dezembro a
1515 retenção foi de 66,82% e 66,27% respectivamente.

1516 Durante todo o ano a faixa de retenção variou de 66,27% a aproximadamente 90%.
1517 Corroborando com estudos como o de Vieira et al. (2018) que obteve uma retenção variando
1518 entre 76,54% a 96,64% do volume das águas pluviais. Outros estudos realizados no Brasil, Itália
1519 e China por Alamy Filho et al. (2016), Cipolla, Maglionico & Stojkov (2016) e Zhang et al.
1520 (2015) mostram que os telhados verdes extensivos obtiveram uma retenção total de 55,67 %,
1521 51,9% e 77,2 % do volume total precipitado, respectivamente, demonstrando a eficiência no
1522 controle do escoamento pluvial em áreas urbanas.

1523

1524 CONCLUSÕES

1525 As águas provenientes da precipitação e da irrigação corresponderam a 30% e 70% em
1526 2018 e 34,97% e 65,03% em 2019 do total das águas que entraram no sistema, respectivamente;

1527 Em 2018 e 2019 saíram do sistema por evapotranspiração 846,91 mm e 957,12 mm de
1528 água, o que corresponde a 17,7% e 18,53% do volume de entrada de água no sistema,
1529 respectivamente;

1530 O volume drenado correspondeu a 80,72% em 2018 e 80,21% em 2019 do total das
1531 águas que saíram no sistema;

1532 O substrato foi capaz de armazenar uma lâmina de água média de 33,32 mm, o que
1533 equivale a 93309 litros de água e a um percentual de retenção médio anual de 9% em 2018 e
1534 uma lâmina média de 27,21 mm, correspondente a 76176 litros de água e a um percentual de
1535 retenção médio de 7%, do total hídrico incidente em 2019.

1536

1537 REFERÊNCIAS

1538

1539 Alamy Filho, J. E., Barcelos, I. B. C., De Melo, N. A., & Caixeta, A. C. M. (2016). Eficiência
1540 hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos residenciais/Hydrological
1541 efficiency of green roofs for residential neighborhoods scale. Revista Sociedade & Natureza.
1542 ISSN, 1982, 4513.

- 1543 Araújo, A., Squizzato, R., Costanzi, R., Baldin, M. G., Puzzi, L. C. M., & Londrina, P. C.
1544 (2014). Balanço hídrico de sistema modular para telhado verde. *Enciclopédia biosfera, Centro*
1545 *Científico Conhecer*, 10(18), 637-644.
- 1546 Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity
1547 and quality: A review. *Ecological engineering*, 36(4), 351-360.
- 1548 Boafó, F. E., Kim, J. T., & Kim, J. H. (2017). Evaluating the impact of green roof
1549 evapotranspiration on annual building energy performance. *International journal of green*
1550 *energy*, 14(5), 479-489.
- 1551 Brunetti, G., Šimůnek, J., & Piro, P. (2016). A comprehensive analysis of the variably saturated
1552 hydraulic behavior of a green roof in a mediterranean climate. *Vadose Zone Journal*, 15(9), 1-
1553 17.
- 1554 Carpenter, C. M., Todorov, D., Driscoll, C. T., & Montesdeoca, M. (2016). Water quantity and
1555 quality response of a green roof to storm events: Experimental and monitoring
1556 observations. *Environmental Pollution*, 218, 664-672.
- 1557 Chenot, J., Gaget, E., Moinardeau, C., Jaunatre, R., Buisson, E., & Dutoit, T. (2017). Substrate
1558 composition and depth affect soil moisture behavior and plant-soil relationship on
1559 Mediterranean extensive green roofs. *Water*, 9(11), 817.
- 1560 Cipolla, S. S., Maglionico, M., & Stojkov, I. (2016). A long-term hydrological modelling of an
1561 extensive green roof by means of SWMM. *Ecological engineering*, 95, 876-887.
- 1562 Collischonn, W.; Tassi, R. (2010). *Introduzindo Hidrologia*. IPH, ed. UFRGS, Porto Alegre –
1563 RS, p.71.
- 1564 da Silva Santos, P. T., dos Santos, S. M., Montenegro, S. M. G. L., Coutinho, A. P., de Moura,
1565 G. S. S., & Antonino, A. C. D. (2013). Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na
1566 redução do escoamento superficial. *Ambiente Construído*, 13(1), 161-174.
- 1567 De Albuquerque Wanderley, L. S., Nóbrega, R. S., Moreira, A. B., Dos Anjos, R. S., & De
1568 Almeida, C. A. P. (2018). As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de
1569 extremos. *Revista Brasileira de Climatologia*, 22.
- 1570 Elliott, R. M., Gibson, R. A., Carson, T. B., Marasco, D. E., Culligan, P. J., & McGillis, W. R.
1571 (2016). Green roof seasonal variation: Comparison of the hydrologic behavior of a thick and a
1572 thin extensive system in New York City. *Environmental Research Letters*, 11(7), 074020.

- 1573 Fassman-Beck, E., Voyde, E., Simcock, R., & Hong, Y. S. (2013). 4 Living roofs in 3 locations:
1574 Does configuration affect runoff mitigation. *Journal of Hydrology*, 490, 11-20.
- 1575 Garofalo, G., Palermo, S., Principato, F., Theodosiou, T., & Piro, P. (2016). The influence of
1576 hydrologic parameters on the hydraulic efficiency of an extensive green roof in mediterranean
1577 area. *Water*, 8(2), 44.
- 1578 Govindarajulu, D. (2014). Urban green space planning for climate adaptation in Indian
1579 cities. *Urban climate*, 10, 35-41.
- 1580 IGRA- International Green Roof Association. Green Roof Types. Disponível em:
1581 http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php. Acesso em 06 de dezembro de
1582 2018.
- 1583 INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e
1584 Pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso
1585 em 25 nov. 2019.
- 1586 INMET- Instituto Nacional De Meteorologia. Disponível em:
1587 <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 17 de
1588 junho de 2019.
- 1589 Jim, C. Y., & Peng, L. L. (2012). Substrate moisture effect on water balance and thermal regime
1590 of a tropical extensive green roof. *Ecological Engineering*, 47, 9-23.
- 1591 Mustafa, A., Bruwier, M., Archambeau, P., Erpicum, S., Piroton, M., Dewals, B., & Teller, J.
1592 (2018). Effects of spatial planning on future flood risks in urban environments. *Journal of*
1593 *environmental management*, 225, 193-204.
- 1594 Palla, A., Gnecco, I., & La Barbera, P. (2018). Assessing the hydrologic performance of a green
1595 roof retrofitting scenario for a small urban catchment. *Water*, 10(8), 1052.
- 1596 Pereira, A.R.; Angelocci, L.R.; Sentelhas, P.C. (2002). *Agrometeorologia: fundamentos e*
1597 *aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 478p.
- 1598 Pérez Díaz, C. L., Muñoz, J., Lakhankar, T., Khanbilvardi, R., & Romanov, P. (2017). Proof of
1599 concept: Development of snow liquid water content profiler using CS650 reflectometers at
1600 Caribou, ME, USA. *Sensors*, 17(3), 647.
- 1601 Pinhabel, G. C. (2015). *Telhados Verdes: Aspectos Positivos no Conforto Térmico e*
1602 *Microclima*. Unitoledo. Araçatuba/SP, p. 14.

- 1603 Poe, S.; Stovin, V.; Berretta, C. (2015). Parameters influencing the regeneration of a green
1604 roof's retention capacity via evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, v. 523, p. 356-367.
- 1605 Rosseti, K. A. C.; Nogueira, M. C. J. A.; Nogueira, J. S. (2013). Interferência microclimática
1606 na utilização do telhado verde para regiões tropicais: estudo de caso em Cuiabá, MT. *Revista*
1607 *Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. v. 9, nº 9, p. 1959-1970.
- 1608 Santos, T., Tenedório, J. A., & Gonçalves, J. A. (2016). Quantifying the city's green area
1609 potential gain using remote sensing data. *Sustainability*, 8(12), 1247.
- 1610 Scientific, C. (2016). CS650 and CS655 Water Content Reflectometers Instruction Manual;
1611 Campbell Scientific: Logan, UT, USA.
- 1612 Shafique, M; Kim, R; Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges—A
1613 review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 90, p. 757-773.
- 1614 Silveira, A.; De Lima, J. L. M. P.; De Lima, M. I. P.; Silva, G. C. O.; & Napolini, B. F. (2016).
1615 Análise comparativa da qualidade da água da chuva precipitada e coletada em coberturas em
1616 dois locais no Brasil e em Portugal. *Revista de Engenharia Civil*, 52, 23-32.
- 1617 Sims, A. W., Robinson, C. E., Smart, C. C., Voogt, J. A., Hay, G. J., Lundholm, J. T., &
1618 O'carroll, D. M. (2016). Retention performance of green roofs in three different climate regions.
1619 *Journal of Hydrology*, 542, 115-124.
- 1620 Souza, R. O. L. De; Ferreira, M. L. S. S.; Vasconcellos, C. A. B. (2015). Telhado verde de
1621 baixo investimento composto por plantas medicinais e aromáticas. *Semioses*, 9(2), 48-58.
- 1622 Szota, C., Fletcher, T., Desbois, C., Rayner, J., Williams, N., & Farrell, C. (2017). Laboratory
1623 Tests of Substrate Physical Properties May Not Represent the Retention Capacity of Green
1624 Roof Substrates In Situ. *Water*, 9(12), 920.
- 1625 Talebi, A., Bagg, S., Sleep, B. E., & O'carroll, D. M. (2019). Water retention performance of
1626 green roof technology: A comparison of canadian climates. *Ecological Engineering*, 126, 1-15.
- 1627 Tassi, R.; Tassinari, L. C. Da S.; Piccilli, D. G. A.; Persch, C. G. (2014). Telhado verde: uma
1628 alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. *Ambiente Construído, Porto Alegre*, v.
1629 14, n. 1, p. 139-154.
- 1630 Tsang, S. W., & Jim, C. Y. (2011). Theoretical evaluation of thermal and energy performance
1631 of tropical green roofs. *Energy*, 36(5), 3590-3598.

- 1632 Versini, Pa, Ramier, D., Berthier, E. & De Gouvello, B. (2015). Assessment of the hydrological
1633 impacts of green roof: From building scale to basin scale. *Journal of Hydrology* , 524 , 562-
1634 575.
- 1635 Vieira, Z. C., Dos Santos, S. C., Da Silva, G. B., Dantas, K. S. A., & De Albuquerque, E. F.
1636 (2018). Simulação do uso de telhados verdes prontos para atenuação de enchentes urbanas: o
1637 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe como estudo de caso. *Revista*
1638 *Tecnologia*, 39(2), 1-13.
- 1639 Viola, F., Hellies, M., & Deidda, R. (2017). Retention performance of green roofs in
1640 representative climates worldwide. *Journal of Hydrology*, 553, 763-772.
- 1641 Watrin, V. D. R., Blanco, C. J. C., & Gonçalves, E. D. (2019). Thermal and hydrological
1642 performance of extensive green roofs in Amazon climate, Brazil. In *Proceedings of the*
1643 *Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability* (Vol. 173, No. 3, pp. 125-134).
1644 Thomas Telford Ltd.
- 1645 Xing, Y., Jones, P., & Donnison, I. (2017). Characterisation of nature-based solutions for the
1646 built environment. *Sustainability*, 9(1), 149.
- 1647 Zhang, D.; Zhang, Q.; Qiu, J.; Bai, P.; Liang, K.; Li, X. (2018). Intensification of hydrological
1648 drought due to human activity in the middle reaches of the Yangtze River, China. *Science of*
1649 *the Total Environment*, v. 637-638, p. 1432-1442.
- 1650 Zhang, Q., Miao, L., Wang, X., Liu, D., Zhu, L., Zhou, B., ... & Liu, J. (2015). The capacity of
1651 greening roof to reduce stormwater runoff and pollution. *Landscape and Urban Planning*, 144,
1652 142-150.
- 1653
- 1654
- 1655
- 1656
- 1657
- 1658
- 1659
- 1660
- 1661
- 1662

CAPÍTULO II

1663
1664 CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PLUVIAL PROVENIENTE DE UM
1665 TELHADO VERDE EM RECIFE/PE

1666

1667 RESUMO

1668 Objetivou-se com essa pesquisa analisar a qualidade da água da chuva, drenada por um telhado
1669 verde, com base nos parâmetros da NBR 15527 (ABNT, 2007). Este estudo foi realizado no
1670 Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, Recife/ PE (latitude -8,05°, longitude -
1671 34,95°). Foram avaliadas amostras provenientes de três pontos de coleta, chuva (CH), irrigação
1672 (IR) e drenagem (DR) do telhado verde, sendo coletadas 3 amostras de água mensais, uma de
1673 cada ponto, de maio a agosto de 2019, totalizando 15 amostras, que em seguida eram
1674 encaminhadas para análise em laboratório. Para a caracterização qualitativa da água, foram
1675 determinados os parâmetros físico-químicos: potencial hidrogeniônico (pH), turbidez (TBD),
1676 cor aparente (CA), cloro residual livre (CRL), condutividade elétrica (CE) e microbiológicos:
1677 coliformes totais, *E. coli* e número de bactérias heterotróficas (BH). O telhado verde contribuiu
1678 para a diminuição da acidez natural da água da chuva, a água da drenagem do telhado verde
1679 apresentou maior concentração de cor e turbidez, devido a presença de concentrações de sólidos
1680 totais, bem como atuou como fonte de condutividade elétrica. Os valores de cloro residual
1681 atenderam a legislação em todos os tratamentos. Os parâmetros microbiológicos atenderam
1682 parcialmente aos padrões estabelecidos pela NBR 15527 (ABNT, 2007). No entanto, apesar de
1683 a qualidade da água drenagem (DR) do telhado verde não atender todos os padrões indicados
1684 na NBR 15527 (ABNT, 2007), essa água apresenta potencial de aproveitamento para usos não
1685 potáveis além de ser uma alternativa importante para redução do consumo de água de
1686 abastecimento público.

1687 Palavras-Chave: Coberturas ecológicas; reuso de água da chuva; sustentabilidade.

1688

1689 ABSTRACT

1690 The objective of this research was to analyze the quality of rainwater, drained by a green roof,
1691 based on the parameters of NBR 15527 (ABNT, 2007). This study was carried out at Edifício
1692 Garagem do Empresarial Charles Darwin, Recife / PE (latitude -8.05°, longitude -34.95°).
1693 Samples from three collection points, rain (CH), irrigation (IR) and drainage (DR) of the green
1694 roof were evaluated, with 3 monthly water samples collected, one from each point, from May
1695 to August 2019, totaling 15 samples, which were then sent for analysis in the laboratory. For
1696 the qualitative characterization of water, the physical-chemical parameters were determined:
1697 hydrogen potential (pH), turbidity (TBD), apparent color (CA), free residual chlorine (CRL),
1698 electrical conductivity (EC) and microbiological: total coliforms, *E. coli* and number of
1699 heterotrophic bacteria (BH). The green roof contributed to the decrease in the natural acidity of

1700 rainwater, the drainage water of the green roof showed a higher concentration of color and
1701 turbidity, due to the presence of concentrations of total solids, as well as acting as a source of
1702 electrical conductivity. The residual chlorine values complied with the legislation in all
1703 treatments. The microbiological parameters partially met the standards established by NBR
1704 15527 (ABNT, 2007). However, although the quality of the draining water (DR) of the green
1705 roof does not meet all the standards indicated in NBR 15527 (ABNT, 2007), this water has
1706 potential for use for non-potable uses in addition to being an important alternative for reducing
1707 the consumption of public water supply.

1708 Keywords: Ecological covers; rainwater reuse; sustainability.

1709

1710 INTRODUÇÃO

1711 O aumento de áreas impermeáveis, decorrentes do aumento no número de construções
1712 urbanas, tem relação direta com o aumento do volume de escoamento superficial de águas
1713 pluviais (ZHANG et al., 2018). Sendo estes, potencializadores do escoamento superficial que
1714 tem como consequência a ocorrência de enchentes na maioria dos grandes centros urbanos
1715 (MUSTAFA et al., 2018).

1716 A intensificação das atividades antrópicas no meio ambiente tem provocado a
1717 degradação da qualidade de água vinculada a redução da sua disponibilidade para fins potáveis,
1718 gerando uma maior demanda por água de boa qualidade (TONG et al., 2018; DJEHDIAN et
1719 al., 2019).

1720 O reaproveitamento da água da chuva é uma importante fonte alternativa e/ou
1721 complementar aos sistemas públicos de abastecimento de água, para fins não potáveis. A
1722 utilização da água da chuva pode reduzir o suprimento de água potável, contribuindo para a
1723 preservação e conservação dos recursos hídricos (SILVEIRA et al., 2016).

1724 Nas últimas décadas, o aumento das pressões da demanda de água associadas a
1725 mudanças climáticas, ambientais e sociais tem impulsionado muitos países a apoiar a
1726 implementação da coleta de água da chuva, através do uso de novas tecnologias (AMOS,
1727 RAHMAN & GATHENYA., 2016). Várias soluções foram sugeridas para abordar questões
1728 relacionadas à água em áreas urbanas, incluindo cidades de crescimento inteligente e cidades
1729 verdes (LIU & JENSEN, 2018).

1730 Nesse contexto, os telhados verdes vêm se destacando por apresentar recursos de
1731 gerenciamento de águas pluviais por meio da retenção de águas das chuvas e de escoamento,
1732 devido a sua capacidade de reter a água da chuva, armazenando-a no substrato, por exemplo,
1733 de onde é absorvida pelas plantas e em seguida devolvida para a atmosfera através do processo
1734 de evapotranspiração (COSTA, COSTA & POLETO, 2012; MARTELLI & SANTOS
1735 JÚNIOR, 2015). As camadas de vegetação e substrato têm capacidade de armazenar uma
1736 grande quantidade de água (STOVIN; VESUVIANO & KASMIN, 2012; CHEN et al., 2015).

1737 Os estudos com telhados verdes têm se mostrados promissores devido às vantagens
1738 avindas de seu uso, como melhoria no conforto térmico (CARNEIRO et al., 2015), produção
1739 de alimento (GONÇALVES, FERREIRA & RAMOS, 2016), economia de energia (COMA et
1740 al., 2016), redução dos efeitos das Ilhas de Calor (BEVILACQUA et al., 2017), retenção de
1741 águas pluviais (TALEBI et al., 2019), melhoria na qualidade do ar (ROSSETI, NOGUEIRA &
1742 NOGUEIRA, 2013), preservação da biodiversidade (PÁLL-GERGELYOS et al., 2014) e
1743 reaproveitamento de água da chuva (TEIXEIRA et al., 2017).

1744 Na cidade de Recife, PE, foi sancionada no ano de 2015 a Lei nº 18.112 que torna
1745 obrigatório a implantação de telhados ecológicos em prédios residenciais com mais de quatro
1746 pavimentos, além de prevê a construção de reservatórios para captação de água da chuva em
1747 novos imóveis, residenciais ou comerciais, que possuam área de solo com mais de 500 metros
1748 quadrados e com 25% do terreno impermeabilizado (MELLO FILHO, 2015).

1749 Em virtude dos múltiplos benefícios proporcionados pelo uso de coberturas verdes, o
1750 objetivo desse trabalho foi analisar a qualidade das águas pluviais coletadas diretamente da
1751 atmosfera, da água utilizada na irrigação e da água drenada por um telhado verde na cidade de
1752 Recife/ PE, com base nos parâmetros da NBR 15527/ 2007, Água da chuva – Aproveitamento
1753 de coberturas urbanas para fins não potáveis da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

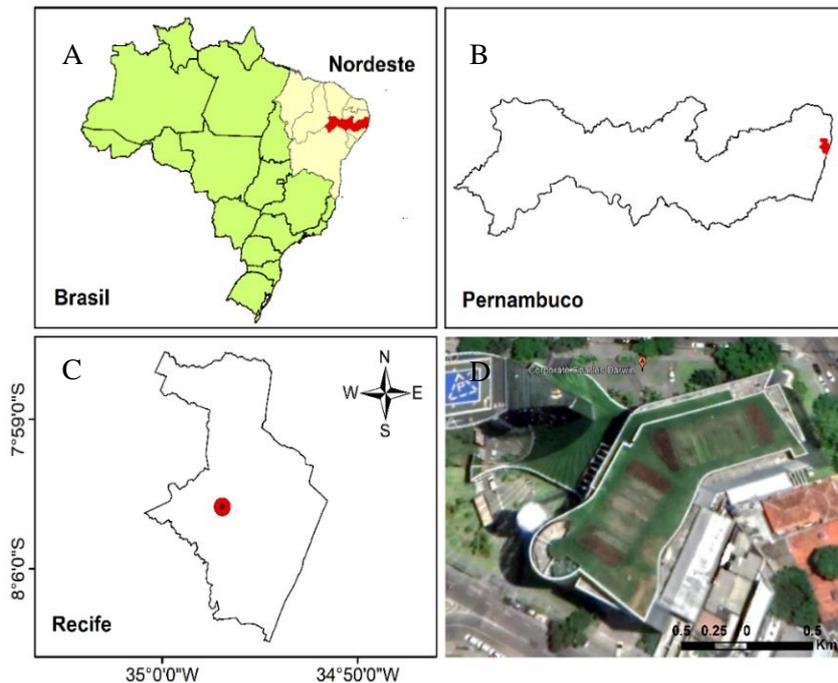
1754

1755 MATERIAL E MÉTODOS

1756 A pesquisa foi desenvolvida no Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, da
1757 construtora Rio Ave Empreendimentos, na cidade de Recife - Pernambuco (latitude -8,05°,
1758 longitude -34,89°) (Figura 1).

1759

1760



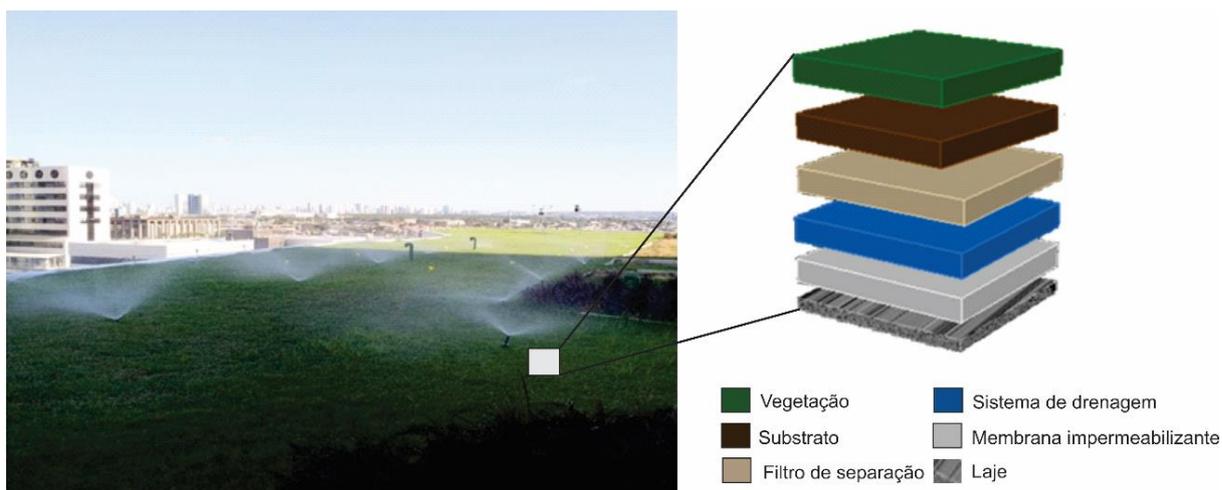
1761

1762 Figura 1. Localização do Estado de Pernambuco no contexto do Brasil (A); localização da região
 1763 metropolitana do Recife-PE (B); Localização do Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin em
 1764 Recife-PE (C) e foto aérea do Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, Recife – PE (D).

1765

1766 O clima da região é do tipo As', tropical úmido, de acordo com Köppen (PEREIRA,
 1767 ANGELOCCI & SENTELHAS, 2002). Com estação chuvosa nos meses de maio a agosto e
 1768 com precipitação acumulada anual de 2204,3 mm. Com valores de temperatura média anual é
 1769 de 25,9 °C, temperatura média máxima de 29,5 °C e temperatura média mínima de 22,3 °C. E
 1770 umidade relativa média do ar de 78,3 % (INMET, 2019).

1771 O telhado verde implantado é do tipo extensivo com uma área de 2.800 m², sendo
 1772 composto por uma graminha da espécie *Zoysia japônica*, o substrato utilizado é constituído por
 1773 lodo de esgoto tratado com espessura de 7,5 cm, o sistema de drenagem é formado por uma
 1774 camada de material granular com espessura de 2,5 cm (proveniente da reciclagem de restos de
 1775 concreto) envolta por duas mantas de drenagem bidim nas faces superior e inferior, manta
 1776 asfáltica para impermeabilização da laje, sistema de irrigação por aspersão escamoteável que
 1777 aplica uma lâmina de 9,2 mm.dia-1 e reservatório com capacidade de armazenamento de 380
 1778 m³ (Figura 2).



1779

1780 Figura 2. Sistema de irrigação escamoteável e esquema da composição do telhado verde em estudo.

1781

1782 Uma análise química do lodo de esgoto tratado que foi utilizado como substrato foi
 1783 realizada no Laboratório de Química Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco,
 1784 os parâmetros analisados foram pH, Nitrogênio total, Carbono, Matéria Orgânica, Relação
 1785 Carbono/Nitrogênio total, Fósforo, Potássio, Sódio, Cálcio, Magnésio, Alumínio, Ferro, Zinco,
 1786 Cádmi, Cobre, Níquel, Chumbo, Cromo, Bário, Antimônio, Cobalto, Molibdênio, Manganês,
 1787 Vanádio, Prata, Mercúrio, Arsênio e Selênio.

1788 Os procedimentos de coleta, conservação, transporte e análise foram realizados
 1789 seguindo metodologias contidas no Standard Methods for the Examination of Water and
 1790 Wastewater (APHA, 2012). As coletas foram realizadas no período da manhã às 10h, através
 1791 de amostras em recipientes plásticos, as quais foram enviadas para posterior processamento e
 1792 análises no Laboratório de Análises de Minerais, Solos e Águas da Universidade Federal de
 1793 Pernambuco- UFPE e para o Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia
 1794 Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE.

1795 As caracterizações qualitativas da água foram divididas em 3 pontos de coleta, água da
 1796 chuva (CH), água da irrigação (IR) e água drenada (DR). Sendo coletadas 15 amostras ao longo
 1797 do período de 5 meses (abril/19, maio/19, junho/19, julho/19 e agosto/19), no qual,
 1798 mensalmente, foram coletadas 3 amostras, uma de cada ponto de coleta.

1799 Para as coletas da água de chuva *in natura* um pluviômetro graduado foi instalado em
 1800 uma haste metálica acoplada a estação meteorológica, a aproximadamente 1,80 m do telhado,
 1801 ficando exposto a intempéries que podem causar possíveis interferências na qualidade da água
 1802 armazenada. A água do ponto IR é derivada de um reservatório local, no qual armazena a água

1803 drenada (DR), a água residuária oriunda do resfriamento dos aparelhos de ar-condicionado
 1804 instalados no edifício empresarial e água de abastecimento público, as coletas eram feitas
 1805 diretamente no emissor. Já para as amostras do ponto DR, a coleta foi realizada por meio de
 1806 uma torneira externa existente na tubulação hidráulica, a água da drenagem é composta da água
 1807 da chuva e de irrigação que passam pelo sistema construtivo do telhado verde. As amostras
 1808 coletadas dos três pontos estão apresentadas na Figura 3.
 1809



1810
 1811 Figura 3. Amostras dos três pontos de coleta: CH, IR e DR.

1812 Os valores dos parâmetros de qualidade da água das amostras coletadas foram
 1813 comparados com os valores de referência da norma NBR 15527 (ABNT, 2007) e para fins não
 1814 potáveis contidos na Tabela 1.

1815

1816 Tabela 1: Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritos não potáveis. Fonte: NBR 15527
 1817 (2007).

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre ^(a)	Mensal	0,5 a 3,0 mg.L ⁻¹

Turbidez	Mensal	< 2,0 uT ^(b) , para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH ^(c)
Deve se ajustar o pH para a proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de aço carbono ou galvanizado

1818 NOTA: podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro a aplicação de raio ultravioleta
 1819 e aplicação de ozônio. ^(a) no caso de serem usados compostos de cloro para desinfecção; ^(b)uT é a
 1820 unidade de turbidez;^(c)uH é a unidade Hazen.

1821

1822 A relação entre as variáveis que influenciam a qualidade da água nos 3 pontos de coleta
 1823 foi detectada através do uso de análise estatística multivariada pelo método de Análise de
 1824 Componente Principal (ACP). Para a análise dos dados utilizou-se o software Minitab 19.1.1.0.

1825

1826 RESULTADOS E DISCUSSÕES

1827 A composição química do lodo de esgoto tratado utilizado como substrato no telhado
 1828 verde atende aos limites máximos estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente junto com
 1829 o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA através da resolução 375/2006
 1830 (CONAMA, 2006) para o uso agrícola do lodo de esgoto (Tabela 2).

1831

1832 Tabela 2. Composição química do lodo de esgoto tratado utilizado como substrato no telhado verde.

PARÂMETRO	VALOR	PARÂMETRO	VALOR
pH (água 1:2,5)	7,0	Cu (mg kg ⁻¹)	135,23
N-total (g kg ⁻¹)	21,5	Ni (mg kg ⁻¹)	49,08
Carbono (g kg ⁻¹)	326,7	Pb (mg kg ⁻¹)	29,2
Matéria Orgânica (g kg ⁻¹)	563,2	Cr (mg kg ⁻¹)	50,4
Relação C/N-total	15,2	Ba (mg kg ⁻¹)	523,65
P (g kg ⁻¹)	16,75	Sb (mg kg ⁻¹)	2,38
K (g kg ⁻¹)	2,27	Co (mg kg ⁻¹)	121,45
Na (g kg ⁻¹)	2,64	Mo (mg kg ⁻¹)	5,13
Ca (g kg ⁻¹)	29,34	Mn (mg kg ⁻¹)	382,08
Mg (g kg ⁻¹)	2,83	V (mg kg ⁻¹)	18,55

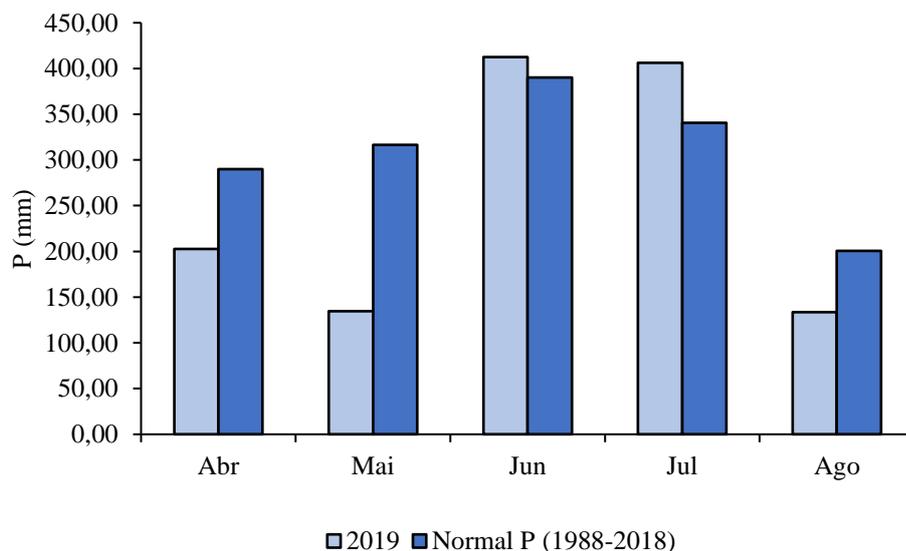
Al (g kg ⁻¹)	22,15	Ag (mg kg ⁻¹)	2,48
Fe (g kg ⁻¹)	24,27	Hg (mg kg ⁻¹)	1,8
Zn (g kg ⁻¹)	7,89	As (mg kg ⁻¹)	1,31
Cd (mg kg ⁻¹)	0,2	Se (mg kg ⁻¹)	0,33

1833 pH= Potencial Hidrogeniônico; N-total= Nitrogênio total; Relação C/N-total= Relação
 1834 Carbono/Nitrogênio total; P= Fósforo; K= Potássio; Na= Sódio; Ca= Cálcio; Mg= Magnésio; Al=
 1835 Alumínio; Fe= Ferro; Zn= Zinco; Cd= Cádmio; Cu= Cobre; Ni= Níquel; Pb= Chumbo; Cr= Cromo;
 1836 Ba= Bário; Sb= Antimônio; Co= Cobalto; Mo= Molibdênio; Mn= Manganês; V= Vanádio; Ag= Prata;
 1837 Hg= Mercúrio; As= Arsênio e Se= Selênio.

1838 De acordo com os resultados das análises da tabela 2, a composição química do lodo de
 1839 esgoto tratado utilizado como substrato no telhado verde atende aos limites máximos
 1840 estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente junto com o Conselho Nacional do Meio
 1841 Ambiente - CONAMA através da resolução 375/2006 (CONAMA, 2006) para o uso agrícola
 1842 do lodo de esgoto.

1843 Os índices pluviométricos para este estudo foram obtidos a partir da estação
 1844 meteorológica instalada no edifício garagem do empresarial Charles Darwin e através da base
 1845 de dados do INMET. O comparativo entre a precipitação pluviométrica e a média histórica para
 1846 o período experimental é apresentado na Figura 4.

1847



1848

1849

1850

1851

Figura 4. Precipitação mensal acumulada e média histórica do período experimental. Normal P= Normal Climatológica para a precipitação pluviométrica do Recife referente aos anos de 1988-2018.

1852 A precipitação pluviométrica acumulada no período experimental foi de 1289,70 mm
 1853 ficando abaixo da média histórica para o período que é de 1538,20 mm, que equivale em termos
 1854 percentuais a uma redução de 16,15%. A precipitação acumulada nos meses de abril, maio e
 1855 agosto ficaram abaixo da média histórica. Os meses de junho e julho apresentaram os maiores
 1856 índices pluviométricos com cerca de 412,40 mm e 406,30 mm, respectivamente, em que o mês
 1857 de junho foi responsável por 31,50 % da precipitação total do período. Os meses de junho e
 1858 julho ficaram acima da média histórica e agosto foi o mês com menor volume de chuvas, com
 1859 precipitação mensal acumulada em torno de 133,50 mm o que correspondeu a 10,35% do
 1860 volume total de chuvas do período.

1861 Os resultados das análises de qualidade da água foram tabulados em planilha eletrônica
 1862 determinando as suas estatísticas descritivas (média, desvio padrão (DesvPad), coeficiente de
 1863 variação (CV), mínimo, mediana e máximo que estão expostos na Tabela 3.

1864

1865 Tabela 3. Média, Desvio Padrão, Coeficiente de Variação, Mínimo, Mediana, Máximo para todas as
 1866 variáveis em estudo.

Variável	Média	DesvPad	CV	Mínimo	Mediana	Máximo
BH	24909	18533	74,40	930	18700	57000
pH	6,369	0,901	14,15	5,010	6,500	7,650
CA	36,98	37,92	102,56	1,20	17,90	100,00
CRL	0,1217	0,0672	55,26	0,0350	0,1200	0,2800
TBD	93,8	198,7	211,76	0,3	2,1	743,0
CE	0,3406	0,3152	92,54	0,0192	0,2314	0,9287

1867 BH= Bactérias Heterotróficas; pH= Potencial Hidrogeniônico; CA= Cor Aparente; CRL= Cloro
 1868 Residual Livre; TBD= Turbidez e CE= Condutividade Elétrica; DesvPad= Desvio Padrão; CV=
 1869 Coeficiente de Variação (%).

1870

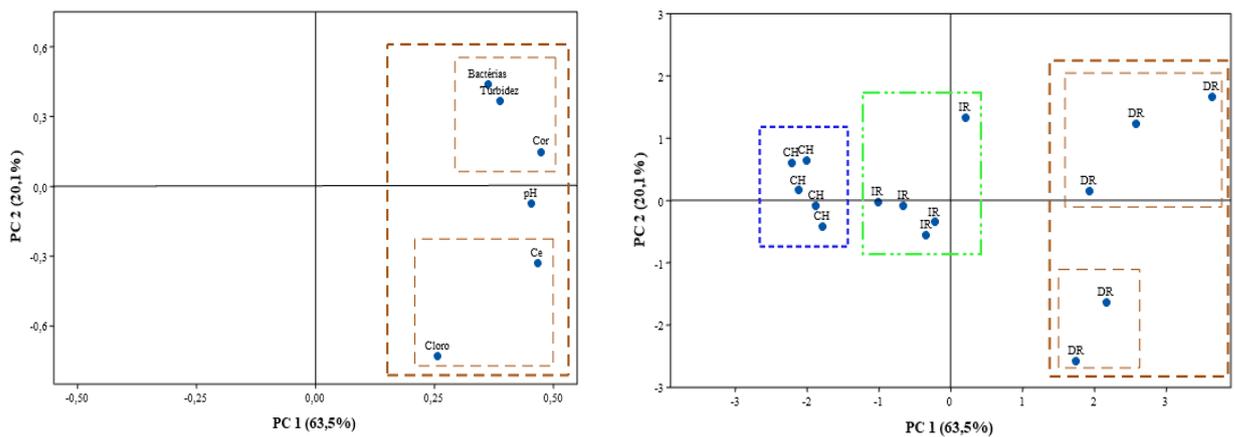
1871 De acordo com a análise (Tabela 3), todas amostras de bactérias heterotróficas (BH),
 1872 potencial hidrogeniônico (pH), cor aparente (CA), cloro residual livre (CRL), turbidez (TBD)
 1873 e condutividade elétrica (CE) apresentaram valores de concentração acima da média, o que
 1874 indica a presença significativa desses parâmetros nas amostras obtidas, apresentando uma
 1875 variação expressiva entre seus valores mínimo e máximo.

1876 Os parâmetros que apresentam maior coeficiente de variação (CV) foram CA e TBD,
 1877 indicando que eles estão mais dispersos quando comparados aos outros parâmetros presentes

1878 nas amostras. Conforme Warrick & Nielsen (1998), que considera como baixo quando o CV <
 1879 12%; médio quando estiver $12\% < CV < 24\%$ e alto quando o $CV > 24\%$, nota-se que apenas
 1880 o parâmetro pH se classificada como apresentando médio coeficiente de variação, enquanto os
 1881 demais estão na faixa de valor que indica alto coeficiente de variação.

1882 Analisando o desvio padrão, nota-se que os parâmetros pH, CRL e CE apresentaram
 1883 homogeneidade das amostras, levando em consideração que quanto menor o desvio padrão,
 1884 mais homogênea é a amostra e que os demais parâmetros, BH, CA e TBD apresentaram
 1885 elevados valores de desvio padrão, além de apresentar valores de $CV > 74\%$, reafirmando uma
 1886 maior dispersão dos dados e baixa homogeneidade.

1887 A Figura 5 corresponde à análise de componentes principais, para os parâmetros de
 1888 qualidade da água associados aos 3 pontos de coleta.



1889 Figura 5. Componentes principais 1 e 2 referentes às correlações entre variáveis analisadas nos 3
 1890 pontos de coleta. CH= Chuva; IR= Irrigação e DR= Drenagem.

1891

1892 De acordo com o critério de Kaiser (1958), os autovalores para as componentes
 1893 principais 1 e 2 (PC1 e PC2, respectivamente), foram superiores a 1, em que, ambas as
 1894 componentes podem ser usadas para estudo de correlações entre as variáveis.

1895 A análise multivariada indicou que as componentes principais 1 e 2 (PC1 e PC2)
 1896 representam 83,6% da variância total das variáveis analisadas, tendo elas uma significância
 1897 expressiva ao explicar a relação entre as variáveis analisadas e os pontos de coleta,
 1898 corroborando Finkler et al., (2015), que utilizou este método estatístico para identificar os
 1899 principais parâmetros de qualidade e as fontes poluidoras relacionadas à variação espacial e
 1900 temporal da qualidade dos corpos hídricos no município de Caxias do Sul, estado do Rio Grande

1901 do Sul . Os resultados obtidos demonstraram que com o emprego da ACP, foi possível explicar
1902 uma variância total de 71,3% para os dados de qualidade de água.

1903 Bertossi et al. (2013) avaliaram a qualidade das águas superficiais e subterrâneas em
1904 microbacias hidrográficas caracterizadas por diferentes coberturas do solo no Espírito Santo
1905 através da análise de componentes principais e obtiveram uma variância total para PC1 de
1906 61,95%. No presente estudo a variância total para componente principal 1 correspondeu a
1907 63,5%, corroborando com os resultados obtidos por estes autores.

1908 Ao observar a Figura 5, percebe-se que as variáveis das amostras coletadas no ponto de
1909 coleta chuva (CH), assim como as coletadas no ponto irrigação (IR) e drenagem (DR) se
1910 agruparam de maneira homogênea entre si. Contudo nota-se que o ponto de coleta DR foi quem
1911 apresentou maior influência sobre as variáveis analisadas. As águas do ponto DR é resultado
1912 da combinação entre a água da chuva e a água da irrigação que passam pelo sistema construtivo
1913 do telhado verde. Percebe-se que houve um aumento na contaminação das amostras
1914 provenientes deste ponto de coleta em todos os meses analisados em relação aos demais. Esse
1915 aumento pode ter relação com o volume de chuvas que incidiu no telhado verde no período
1916 estudado, o que favorece a lixiviação de partículas de matéria orgânica oriundas do substrato.

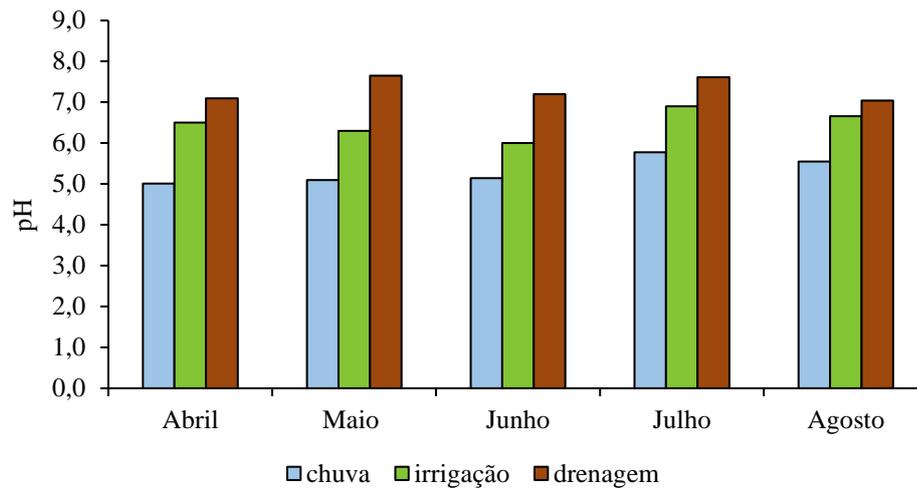
1917 A análise multivariada permite a percepção de um gradiente de influência dos aspectos
1918 analisados sobre as amostras em estudo que evidencia a relação de proximidade, indicando
1919 maior ocorrência das variáveis nas amostras do ponto DR, sendo esse gradiente decrescente da
1920 direita para esquerda, onde percebe-se os menores valores para todas as características nas
1921 amostras coletadas no ponto CH, tendo as amostras do ponto IR uma ocorrência mediana desses
1922 parâmetros analisados.

1923 As amostras coletadas no ponto DR se dividem claramente em dois sub grupos, um que
1924 apresenta os maiores valores para Bactérias Heterotróficas (BH), Turbidez (TBD) e Cor
1925 Aparente (CA) e o segundo que por apresentar maior quantidade de Cloro Residual Livre (CRL)
1926 em PC1 e Condutividade Elétrica (CE) em ambas componentes explicativas, apresenta os
1927 menores valores para esses mesmos três parâmetros. O parâmetro pH não se encaixa em
1928 nenhum dos sub grupos, por que todas as amostras coletadas do ponto DR apresentam valores
1929 próximos a média, justificando sua posição no gráfico, bem próximo ao eixo x. Os valores de
1930 pH neste estudo variaram de 5,32 a 7,32.

1931 Nas amostras coletadas no ponto DR, os parâmetros BH, TBD e CA tiveram cargas
1932 elevadas no PC1 e podem explicar 63,5% da variância. A concentração média de BH, TBD e
1933 CA nas amostras coletadas no ponto DR foram as mais elevadas com 36340 UFC/mL, 278,12
1934 uT e 82,82 uH, respectivamente. No estudo de Vacari (2015) realizado no Mato Grosso, a água
1935 escoada por telhados verdes apresentou maior concentração de cor e turbidez, segundo a autora
1936 isto ocorre devido a presença de concentrações de sólidos totais provenientes do substrato. Já
1937 no estudo de Pessoa et al. (2016) no Rio Grande do Sul, os autores afirmam que o tempo de
1938 instalação dos telhados verdes, o teor de matéria orgânica e o sistema radicular das plantas
1939 podem influenciar na dinâmica da turbidez nas águas escoadas das coberturas verdes,
1940 reforçando os resultados encontrados no presente estudo.

1941 Em relação ao CRL, a concentração deste parâmetro no ponto de coleta DR variou de
1942 0,09 a 0,28 mg/L. A presença de cloro nas amostras pode estar relacionada a utilização de água
1943 de abastecimento público para irrigar o telhado verde em períodos de baixa do volume
1944 armazenado, e esta água é tratada contendo a presença de cloro. No estudo de Tonial et al.
1945 (2017) no Rio Grande do Sul, não foram detectados teores de cloro residual em amostras de
1946 água coletadas diretamente da chuva, nem nas coletadas a partir da drenagem de um telhado
1947 verde extensivo, discordando dos resultados encontrados neste trabalho.

1948 No tocante ao atendimento a NBR15527/2007, a Figura 6 mostra os valores para pH das
1949 amostras obtidas nos três pontos de coleta durante os cinco meses. Os resultados médios do pH
1950 nos três pontos de coleta CH, IR e DR foram 5,32, 6,47 e 7,32, respectivamente, atendendo
1951 parcialmente ao limite estabelecido pela NBR 15527/2007 que determina que o pH da água
1952 proveniente de coberturas urbanas esteja entre 6,0 e 8,0 podendo ser ajustado para proteção da
1953 rede de distribuição, se for necessário. A água da chuva é geralmente ácida, com valores de pH
1954 menores que 7,0, neste estudo os valores variaram de 5,01 a 5,78 sendo responsável pelo não
1955 atendimento ao padrão estabelecido pela legislação. O aumento do pH nas amostras coletadas
1956 nos demais pontos tem relação com os componentes contidos no substrato, o que comprova que
1957 os telhados verdes possuem potencial para neutralizar deposições ácidas
1958 (VIJAYARAGHAVAN et al., 2012; TEIXEIRA, 2013; BUFFAM, MITCHELL &
1959 DURTSCHKE, 2016).



1960

1961

Figura 6. pH das amostras nos três pontos de coleta.

1962

1963 Desta forma, pode-se afirmar que o telhado verde agiu como fonte do parâmetro pH,
 1964 reduzindo a acidez da água da chuva. No estudo de Buffam, Mitchell & Durtsche (2016) nos
 1965 Estados Unidos, a água da chuva apresentou pH médio igual 5,75, enquanto as águas das
 1966 coberturas verdes apresentaram pH médio no intervalo de 6,5 a 7,4, corroborando com os
 resultados do presente estudo.

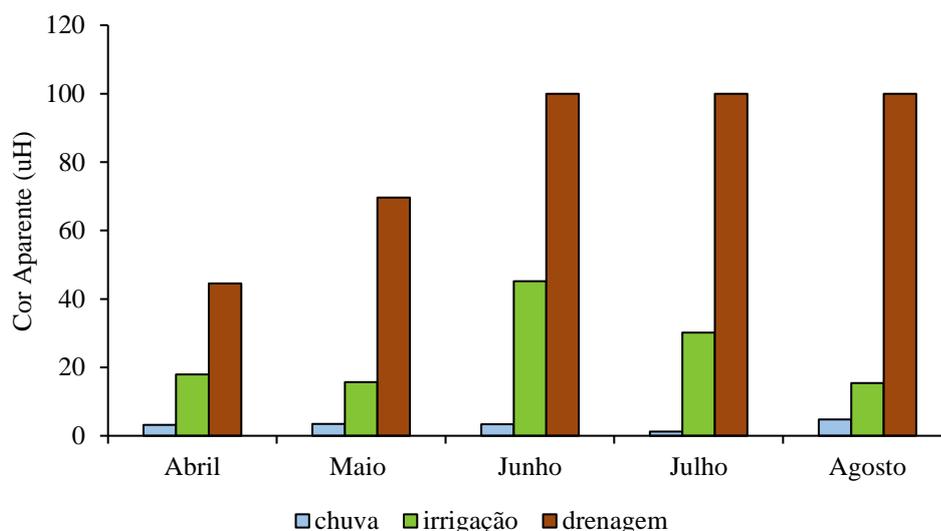
1967

1968

1969

1970

Os resultados para o parâmetro CA das amostras coletadas no ponto CH atenderam o
 limite permitido pela NBR 15527/2007, porém, as amostras obtidas tanto no ponto de coleta IR
 quanto no DR apresentaram valores superiores ao estabelecido pela norma, que determina que
 sejam inferiores a 15 uH (Figura 7).



1971

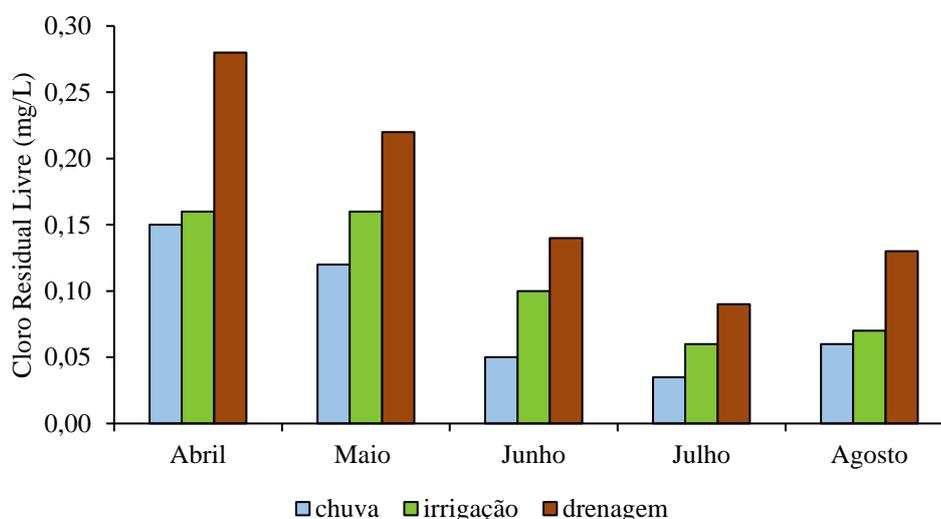
1972

Figura 7. Cor aparente (CA) das amostras nos três pontos de coleta.

1973

1974 De acordo com Pinheiro & Araújo (2016), a cor é uma alteração decorrente da presença
 1975 de matéria orgânica ou inorgânica na água. Nas amostras do ponto CH os valores variaram na
 1976 faixa de 1,0 a 4,8 uH, resultados semelhantes foram obtidos no estudo de Hagemann (2009) que
 1977 encontrou níveis de CA da ordem de 0,0 a 5,0 uH em amostras de águas pluviais obtidas
 1978 diretamente da atmosfera. Para as amostras do ponto IR, os resultados ficaram na faixa de 15,4
 1979 a 45,2 uH. Já para as amostras do ponto DR, a CA variou de 44,5 a valores superiores a 100
 1980 uH, evidenciando que o telhado verde atuou como fonte de CA, uma vez que a concentração
 1981 deste parâmetro nas amostras do ponto DR aumentou em relação aos pontos CH e IR. Esse
 1982 resultado se deve ao fato de que em coberturas verdes contínuas haver uma elevação no
 1983 carreamento de partículas e no teor de matéria orgânica oriundas do substrato. Tonial et al.,
 1984 (2017) encontraram valores de CA acima de 400 uH em amostras de água provenientes da
 1985 drenagem de um telhado verde extensivo, no Rio Grande do Sul, assemelhando-se aos valores
 1986 encontrados neste estudo.

1987 Para o parâmetro CRL (Figura 8), em todos os tratamentos os valores ficaram abaixo do
 1988 estabelecido pela norma, que é de 0,5 a 3,0 mg/L. Segundo a NBR 15527/2007, este dado deve
 1989 ser levado em consideração caso sejam utilizados compostos de cloro para desinfecção, o que
 1990 não foi utilizado neste trabalho. Nas amostras obtidas no ponto de coleta CH foram encontrados
 1991 valores de cloro em todas as análises. Isso deve-se ao fato de a composição da água da chuva
 1992 sofrer influência da localização geográfica. Segundo Santos (2011) regiões próximas dos
 1993 oceanos apresentam uma maior probabilidade de encontrar sódio, potássio, magnésio e cloro
 1994 na água da chuva.

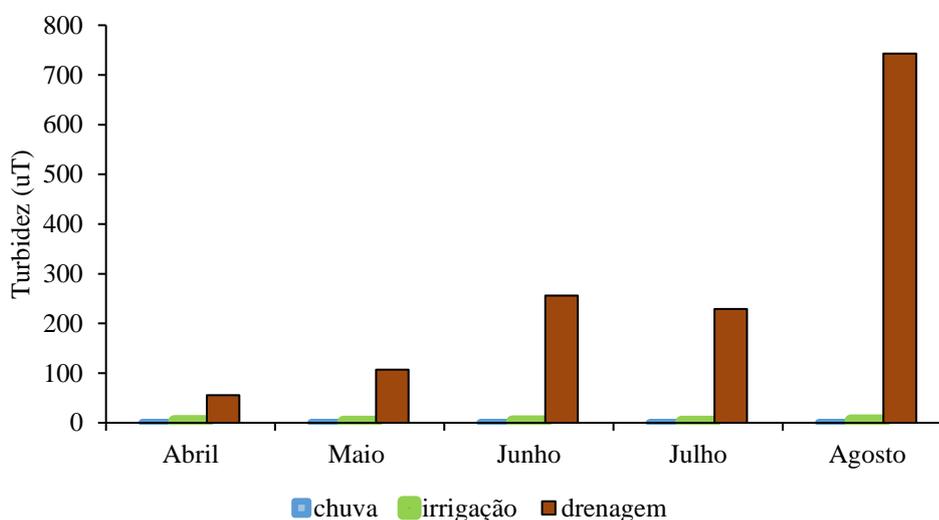


1995
 1996
 1997

Figura 8. Cloro residual livre (CRL) das amostras coletadas nos três pontos de coleta.

1998 Nas amostras oriundas do ponto IR, a concentração deste parâmetro variou de 0,06 à
 1999 0,16 mg/L e nas amostras do ponto DR essa variação foi de 0,09 à 0,28 mg/L. No estudo de
 2000 Tonial et al. (2017) no Rio Grande do Sul, não foram detectados teores de cloro residual em
 2001 amostras de água coletadas diretamente da chuva, nem nas coletadas a partir da drenagem de
 2002 um telhado verde extensivo, discordando dos resultados encontrados neste trabalho.

2003 Os valores de TBD tanto para as amostras provenientes do ponto CH quanto para as
 2004 amostras provenientes do ponto IR ficaram abaixo do estabelecido pela norma, variando de
 2005 0,26 a 1,15 uT e 1,48 a 4,34 uT, respectivamente. Contudo, nas amostras oriundas do ponto
 2006 DR, os valores ultrapassaram o valor máximo de 5,0 uT estabelecido pela NBR 15527/ 2007,
 2007 variando de 55,8 a 743 uT (Figura 9).



2008

2009

Figura 9. Turbidez das amostras três pontos de coleta.

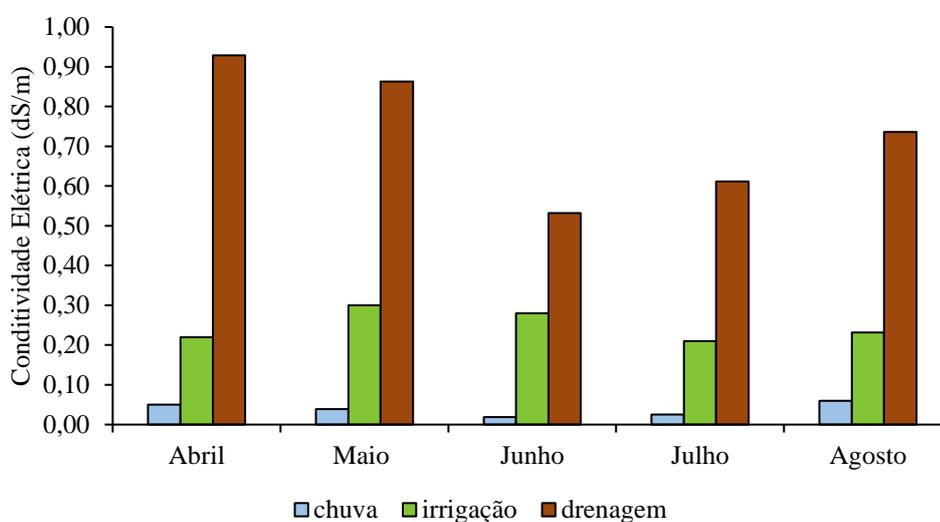
2010

2011 Esse expressivo nível da TBD tem relação com o aumento do volume precipitado,
 2012 sobretudo nos meses de junho e julho, pois precipitações com maior volume favorecem um
 2013 maior carreamento de partículas do substrato para o sistema de drenagem. Teixeira et al. (2017)
 2014 em um estudo realizado no Paraná, reportam essa alteração da turbidez das águas escoadas por
 2015 coberturas verdes relacionada ao aumento da precipitação do período estudado. De acordo com
 2016 os resultados obtidos, a passagem das águas pluviais pelo telhado verde elevou seus valores de
 2017 TBD em relação aos demais pontos de coleta.

2018 Beecham & Razzaghmanesh (2015) ao verificarem a turbidez das águas escoadas por
 2019 16 telhados verdes na Austrália encontraram valores médios no intervalo de 7,16 uT a 12,84 uT
 2020 e um valor médio de 1,30 uT na água da chuva. Os autores destacam que a presença de material

2021 orgânico afeta a qualidade da água dos telhados verdes, isto é, quanto menor o teor de material
 2022 orgânico no substrato, melhor a qualidade da água.

2023 A CE da água representa o teor de sais minerais dissolvidos, nas amostras do ponto CH
 2024 os valores variaram de 0,02 dS/m à 0,06 dS/m. Para as amostras obtidas no ponto IR, os valores
 2025 variaram de 0,2 dS/m à 0,3 dS/m e nas amostras coletadas no ponto DR, a variação foi de 0,5
 2026 dS/m à 0,93 dS/m (Figura 10). Pelos resultados obtidos, é possível observar que as amostras
 2027 obtidas no ponto DR apresentou valores de CE maiores, seguido das amostras obtidas nos
 2028 pontos IR e CH.



2029

2030 Figura 10. Condutividade elétrica das amostras coletadas para os três pontos de coleta.

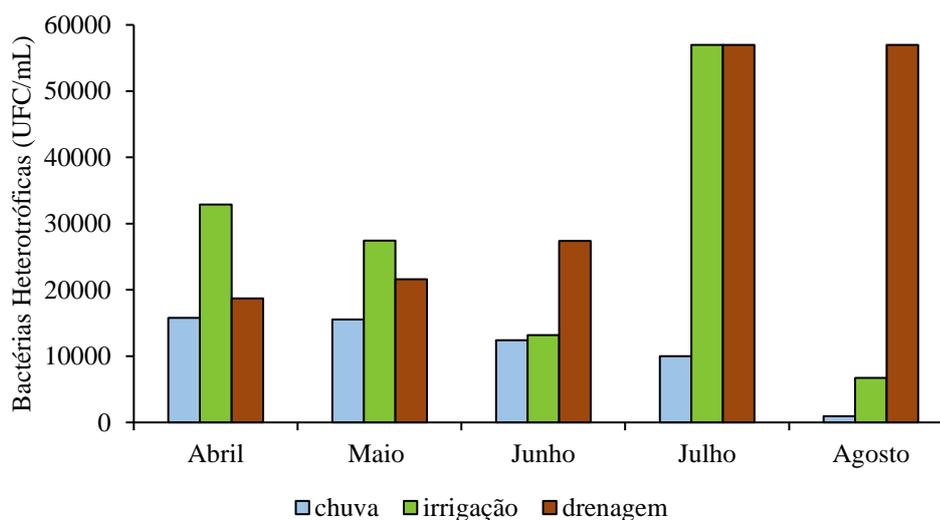
2031

2032 Em um estudo de Buffam, Mitchell & Durtsche (2016) com um telhado verde extensivo
 2033 instalado em Ohio, nos Estados Unidos, os autores afirmam que o telhado verde atuou
 2034 significativamente como fonte de condutividade elétrica, apresentando concentrações na água
 2035 da chuva coletada diretamente da atmosfera igual 0,015 dS/m, e de 0,152 dS/m na água drenada
 2036 pela cobertura verde. Beecham e Razzaghmanesh (2015) também relataram que os telhados
 2037 verdes investigados em Adelaide, no sul da Austrália, se comportaram como fonte de
 2038 condutividade elétrica. Em geral, os dados de condutividade elétrica encontrados pelos autores
 2039 citados são semelhantes aos descritos no presente estudo.

2040 A contagem de BH foi utilizada como um indicador complementar da qualidade da água
 2041 nos três pontos de coleta. Estas bactérias fazem parte da microbiota aquática, em que elevações
 2042 em suas contagens podem indicar aumento da presença de matéria orgânica na água. Esse teor

2043 expressivo de matéria orgânica, pode ter origem no solo, na vegetação do entorno e na descarga
2044 de esgotos não sendo necessariamente fecal (ARAUJO et al., 2015).

2045 A contagem padrão BH nos três pontos de coleta apresentou valores elevados (Figura
2046 11). O valor médio durante os cinco meses de coleta para as amostras provenientes do ponto de
2047 coleta CH foi de 10936 UFC/mL, para as do ponto IR foi 27450 UFC/mL e para as do ponto
2048 DR foi de 36340 UFC/mL.



2049

2050 Figura 11. Bactérias Heterotróficas das amostras coletadas para os três pontos de coleta.

2051

2052 Essa tendência crescente na concentração de BH nas amostras oriundas do ponto DR,
2053 evidenciam que o telhado verde também agiu como fonte deste parâmetro. A presença de BH
2054 nas amostras do ponto de coleta CH pode estar relacionada com a exposição do recipiente de
2055 coleta de água a fatores externos de diversas origens, como poluentes atmosféricos, pouso de
2056 aves, que podem atuar como fonte de matéria orgânica e consequentemente favorecer a
2057 presença destas bactérias nas amostras.

2058 As amostras obtidas no ponto IR são derivadas de um reservatório local, no qual
2059 armazena a água drenada, a água da chuva e a água residuária oriunda do resfriamento dos
2060 aparelhos de ar-condicionado instalados no edifício empresarial. Após as análises laboratoriais,
2061 constatou-se que a contagem de BH presentes nas amostras do ponto IR apresentaram uma
2062 variação de concentração superior a encontrada nas amostras do ponto CH variando de 6700
2063 UFC/mL a 57000 UFC/ mL. Esses resultados estão relacionados ao fato de as amostras do
2064 ponto IR são derivadas de um reservatório com águas de fontes distintas que contém alta
2065 quantidade de material orgânico sedimentado e que não passa por nenhum tipo de tratamento

2066 podendo favorecer a essa elevação na concentração de BH. Resultados elevados de BH em
 2067 águas brutas oriundas de reservatórios são esperados considerando que não há nenhum tipo de
 2068 tratamento aliado a alta quantidade de material orgânico que serve de substrato para tais
 2069 bactérias (SANTOS, 2015).

2070 Em relação as contagens de BH presentes nas amostras do ponto de coleta DR, as
 2071 amostras apresentaram um comportamento diferente das demais analisadas, pois verificou-se
 2072 um aumento na concentração ao longo dos meses e que a faixa de variação de 18700 UFC/mL
 2073 a concentrações superiores a 57000 UFC/mL foi superior em relação as amostras obtidas nos
 2074 demais pontos. A água do ponto de coleta DR é resultado da combinação entre a água da chuva
 2075 e água da irrigação que passam pelo sistema construtivo do telhado verde. Esse aumento pode
 2076 ter relação com o volume de chuvas que incidiu no telhado verde no período estudado, o que
 2077 favorece a lixiviação de partículas de matéria orgânica (fonte de alimento para as BH) oriundas
 2078 principalmente, do substrato rico em matéria orgânica.

2079 Os resultados das análises dos parâmetros microbiológicos das águas coletadas de
 2080 coliformes totais e termotolerantes (*E. Coli*) para os três tratamentos estão apresentados na
 2081 Tabela 4.

2082 Tabela 4. Parâmetros microbiológicos das águas coletadas.

Período de coleta	CH		IR		DR	
	¹ C. Termo.	² C. Totais	C. Termo.	C. Totais	C. Termo.	C. Totais
Abril	Ausência	Ausência	Presença	Presença	Presença	Presença
Mai	Presença	Presença	Presença	Presença	Presença	Presença
Junho	Presença	Presença	Presença	Presença	Presença	Presença
Julho	Ausência	Presença	Presença	Presença	Presença	Presença
Agosto	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Presença	Presença

2083 CH= ponto de coleta chuva; IR= ponto de coleta irrigação; DR= ponto de coleta drenagem; C. Termo=
 2084 Coliformes Termotolerantes (*E.coli*) (NMP/100mL); C. Totais= Coliformes Totais (NMP/100 mL).

2085 Em relação aos coliformes termotolerantes (*E. coli*) e totais a NBR 15527/2007
 2086 estabelece que não deve haver presença destes em 100 mL de água. Nas análises realizadas na
 2087 no ponto CH, ocorreu ausência dos parâmetros microbiológicos nos meses de abril, julho e
 2088 agosto, onde no mês de julho a água apresentou ausência apenas para coliformes
 2089 termotolerantes (*E.coli*) atendendo parcialmente a legislação.

2090 Para as amostras coletadas no ponto IR, apenas no mês de agosto houve ausência de
2091 coliformes, isso pode ter relação com a redução da TBD e da concentração de BH registradas
2092 no mês de agosto. Nos demais meses as amostras não atenderam a legislação. De acordo com
2093 Lima et al. (2011) a concentração de unidades formadoras de colônias de bactérias
2094 heterotróficas possui relação direta com a turbidez.

2095 Observa-se que nenhuma amostra coletada a partir do ponto DR atendeu a qualidade
2096 suficiente para reaproveitamento em usos não potáveis mais restritivos de acordo com a NBR
2097 15527/2007 e que no mês de agosto tanto as amostras do ponto CH quanto as do ponto IR
2098 apresentavam ausência de coliformes totais e termotolerantes, no entanto após serem drenadas
2099 pelo sistema do telhado verde apresentaram presença para ambos os parâmetros
2100 microbiológicos. Tonial et al. (2017) e Teixeira et al. (2017) ao analisar a qualidade das águas
2101 coletadas a partir da drenagem de um telhado verde e a água da chuva, encontraram a presença
2102 de coliformes acima do limite estabelecido pela legislação. Corroborando com os resultados
2103 obtidos no presente estudo.

2104 A presença de coliformes nas amostras do ponto CH tem relação com o fato de o
2105 recipiente ficar exposto a pouso de aves, poeiras e outros poluentes atmosféricos que podem
2106 reduzir a qualidade da mesma. Teixeira et al. (2017) analisar a qualidade da água da chuva
2107 captada em duas coberturas (um convencional e uma cobertura verde), com base nos parâmetros
2108 da NBR 15527 (ABNT, 2007) após análise da qualidade da chuva (in natura) coletada
2109 diretamente da atmosfera, encontraram presença de coliformes totais e termotolerantes em
2110 todas amostras, assemelhando-se aos resultados encontrados neste trabalho.

2111 No trabalho Duarte (2018) ao aplicar um protótipo de telhado verde para avaliação de
2112 escoamento superficial e aproveitamento da água para fins não potáveis, foi encontrado valores
2113 elevados para coliformes totais e termotolerantes e outros aspectos, após a passagem da água
2114 pela drenagem no telhado verde.

2115 De acordo com a NBR 15527 os usos não potáveis em que as águas de chuva podem ser
2116 utilizadas após tratamento adequado são: descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados
2117 e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios,
2118 espelhos d'água e usos industriais (ABNT, 2007).

2119 As análises físico-químicas e bacteriológicas da água drenada pelo telhado verde bem
2120 como nos demais tratamentos não se enquadraram em sua totalidade nos limites admitidos pela

2121 NBR 15527/2007 o que as tornam impróprias aos potenciais usos estabelecidos sem que haja
2122 um tratamento prévio para enquadramento dos parâmetros aqui analisados.

2123 Contudo, no item 4.5 da NBR 15527/2007 que trata da qualidade da água a norma diz
2124 que os padrões de qualidade devem ser definidos pelo projetista de acordo com a utilização
2125 prevista e que para usos mais restritivos a Tabela 1 contida neste mesmo item deve ser utilizada
2126 como referência. Logo, os limites estabelecidos pela mesma visam um uso mais restrito das
2127 águas provenientes de coberturas urbanas, usos estes que não são especificados no referido
2128 documento utilizando assim padrões de qualidade mais rígidos e semelhantes aos utilizados
2129 para usos potáveis.

2130 Em vista dos resultados obtidos neste estudo, ressalta-se que as águas aqui analisadas
2131 apresentam grande potencial de aproveitamento para usos não potáveis, como irrigação,
2132 limpeza, lavagem, descarga sanitária, elementos paisagísticos, combate a incêndio, torres de
2133 resfriamento, entre outros.

2134

2135 CONCLUSÕES

2136 Os pontos de coletas avaliados chuva (CH), irrigação (IR) e drenagem (DR) atenderam
2137 parcialmente a NBR 15527/2007. A passagem pelo telhado verde implicou na redução da acidez
2138 natural da água e numa maior concentração de cor e turbidez, devido a presença de
2139 concentrações de sólidos totais, bem como atuou como fonte de condutividade elétrica. Os
2140 valores de cloro residual atenderam a legislação em todos os tratamentos. Os parâmetros
2141 microbiológicos atenderam parcialmente aos padrões estabelecidos pela NBR 15527 (ABNT,
2142 2007) nas amostras coletadas. No entanto, apesar de a qualidade da água drenagem (DR) do
2143 telhado verde não atender a todos os parâmetros indicados na NBR 15527 (ABNT, 2007), essa
2144 água apresenta potencial de aproveitamento para usos não potáveis como limpeza de calçadas,
2145 irrigação de jardim e descarga em bacias sanitárias, além de ser uma alternativa importante para
2146 redução do consumo de água de abastecimento público.

2147 Salienta-se que a critério do projetista pode-se também realizar uma etapa prévia de
2148 desinfecção e ampliar seu potencial de reuso e a depender do processo pode-se enquadrar a
2149 água tratada como não potável com uso restritivo ou até mesmo potável.

2150

2151

2152 CONCLUSÕES GERAIS

2153 Este trabalho apresentou os resultados de um estudo direcionado para avaliar a
2154 quantidade e a qualidade do escoamento pluvial de um telhado verde, através de um balanço
2155 hídrico e do monitoramento de parâmetros e padrões de qualidade de água para fins não
2156 potáveis.

2157 O período de monitoramento para o balanço hídrico compreendeu 2 anos (2018 e 2019).
2158 Para esse período o telhado verde associado a um reservatório de armazenamento de água
2159 conseguiu absorver 82,33% e 81,47% do total hídrico incidente. Observou-se que a lâmina de
2160 água aplicada via sistema de irrigação é excessiva, sendo recomendado o cálculo do balanço
2161 hídrico diário automatizado para reposição da lâmina de água evapotranspirada.

2162 O substrato foi capaz de armazenar uma lâmina de água média de 33,32 mm, o que
2163 equivale a um percentual de retenção médio anual de 9% em 2018 e uma lâmina média de 27,21
2164 mm, correspondente a um percentual de retenção médio de 7%, do total hídrico incidente em
2165 2019.

2166 Os pontos de coletas das amostras de água avaliados chuva (CH), irrigação (IR) e
2167 drenagem (DR) atenderam parcialmente a NBR 15527/2007. Recomenda-se uma etapa prévia
2168 de desinfecção das águas escoadas pelo telhado verde com a finalidade de adequação e
2169 ampliação do seu potencial de reuso.

2170 Sugere-se ainda, estudos a longo prazo com diferentes configurações dos telhados
2171 verdes para uma análise mais robusta a respeito do desempenho quantitativo e qualitativo dessas
2172 coberturas, com destaque a atuação dos diversos fatores que podem ter influência na qualidade
2173 da água e no controle do escoamento pluvial.

2174

2175 REFERÊNCIAS

2176 ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas – NBR 15.527. (2007). Água de chuva -
2177 Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de
2178 Janeiro, Brasil.

2179 Amos, C. C., Rahman, A., & Mwangi Gathenya, J. (2016). Economic analysis and feasibility
2180 of rainwater harvesting systems in urban and peri-urban environments: A review of the global
2181 situation with a special focus on Australia and Kenya. *Water*, 8(4), 149.

- 2182 APHA- American Public Health Association. (2017). Standard methods for examination of
2183 water and wastewater. 23th ed. Baltimore: Port City Press. p. 1.1-1.68, 9.1-9.44, 9.53-9.59,
2184 9.212-9.215.
- 2185 Araujo, F.V.; Vieira, L.; Jayme, M. M. A.; Nunes, M. C.; Cortês, M. (2015). Avaliação da
2186 qualidade da água utilizada para irrigação na bacia do Córrego Sujo, Teresópolis, RJ. Cadernos
2187 de Saúde Coletiva, v. 23, n. 4, p. 380-385.
- 2188 Beecham S, Razzaghamanesh M. (2015). Water quality and quantity investigation of green roofs
2189 in a dry climate. *Water Research*, 70, 370–84.
- 2190 Bertossi, A. P. A., Cecílio, R. A., Neves, M. A., & Garcia, G. D. O. (2013). Qualidade da água
2191 em microbacias hidrográficas com diferentes coberturas do solo no sul do Espírito
2192 Santo. *Revista Árvore*, 37(1), 107-117.
- 2193 Bevilacqua, P., Mazzeo, D., Bruno, R., & Arcuri, N. (2017). Surface temperature analysis of an
2194 extensive green roof for the mitigation of urban heat island in southern mediterranean climate.
2195 *Energy and Buildings*, 150, 318-327.
- 2196 Buffam, I.; Mitchell, M. E.; Durtsche, R. D. (2016). Environmental drivers of seasonal variation
2197 in green roof runoff water quality. *Ecological Engineering*, v. 91, p. 506-514.
- 2198 Carneiro, T. A.; Guiselini, C.; Pandorfi, H.; Lopes Neto, J. P.; Loges, V.; Souza, R. F. L. (2015).
2199 Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de
2200 cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.11, p.1086–1092.
- 2201 Chen, X. P., Huang, P., Zhou, Z. X., & Gao, C. (2015). A review of green roof performance
2202 towards management of roof runoff. *Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied
2203 ecology*, 26(8), 2581-2590.
- 2204 Coma, J.; Pérez, G.; Solé, C.; Castell, A.; Cabeza, L. F. (2016). Thermal assessment of
2205 extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Journal Renewable
2206 Energy*, 85, 1106-1115.
- 2207 CONAMA- Conselho Nacional Do Meio Ambiente. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006.
2208 Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em
2209 05/02/2020.
- 2210 Costa, J. Da; Costa, A.; Poletto, C. (2012). Telhado verde: redução e retardo do escoamento
2211 superficial. *Revista de estudos ambientais*, v. 14, n. 2esp, p. 50-56.

- 2212 Da Silva, N. M. D. (2015). "Qualidade microbiológica das águas de chuva em cisternas da área
2213 rural do município de Inhambupe, no semiárido baiano e seus fatores intervenientes." *Revista*
2214 *Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais* 3.2.
- 2215 De Luna, Y. H. D. M., Santana, N. C. B., Júnior, G. B. A., & Dos Anjos Júnior, R. H. (2014).
2216 Qualidade da água de chuva em João Pessoa: estudo comparativo com diversos padrões de
2217 qualidade conforme os usos pretendidos para água em edificações residenciais. *Revista*
2218 *Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 2, n. 1, p. 53-68.
- 2219 De Sousa, R. É. B., Rocha, C. M. S., Da Silva Abreu, F. O. M., & Moraes, S. G. (2016).
2220 Caracterização físico-química e microbiológica das águas condensadas de aparelhos de ar
2221 condicionados visando potencial reutilização. *Revista Tecnologia*, 37(1/2), 37-54.
- 2222 Djehdian, L. A.; Chini, C. M.; Marston L.; Konar. M. (2019). Exposure of urban food-energy-
2223 water (FEW) systems to water scarcity. *Sustainable Cities and Society*, v. 50, 101621.
- 2224 Duarte, J. C. M. (2018). Aplicação de protótipo de telhado verde para a avaliação do
2225 escoamento superficial e aproveitamento da água para fins não potáveis.
- 2226 Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons.
2227 *Ciência e Agrotecnologia*, 38, 109-112.
- 2228 Finkler, N. R., Peresin, D., Cocconi, J., Bortolin, T. A., Rech, A., & Schneider, V. E. (2015).
2229 Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. *Revista Ambiente*
2230 *& Água*, 10(4), 782-792.
- 2231 Gonçalves, K. S.; Ferreira, A. P. Do N. L.; Ramos, H. R. (2016). Agricultura Urbana: Produção
2232 de alimentos em telhados verdes. XII Fórum Ambiental da Alta Paulista. ANAP. Tupã-SP, vol.
2233 12.
- 2234 Hagemann, S. E. (2009). Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua
2235 captação e uso.
- 2236 INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e
2237 Pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso
2238 em 25 nov. 2019.
- 2239 INMET- Instituto Nacional De Meteorologia. Disponível em:
2240 <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 17 de
2241 junho de 2019.

- 2242 Kaiser, H. F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis.
2243 *Psychometrika*, 23(3), 187-200.
- 2244 Lima, J. C. A. L.; Alves, F. H. B.; Figueiras, M. L.; Lucena, L. M.; Santos, S. M.; Gavazza, S.
2245 (2011). Dispositivos para a melhoria da qualidade da água armazenada em cisternas do
2246 semiárido pernambucano - Desenvolvimento tecnológico e avaliação de desempenho. In: XIV
2247 World Water Congress, 2011, Porto de Galinhas. XIV IWRA World Water Congress.
- 2248 Liu, L., & Jensen, M. B. (2018). Green infrastructure for sustainable urban water management:
2249 Practices of five forerunner cities. *Cities*, 74, 126-133.
- 2250 Martelli, A.; Santos Júnior, A. R. (2015). Arborização Urbana do município de Itapira – SP:
2251 perspectivas para educação ambiental e sua influência no conforto térmico. *Revista Eletrônica*
2252 *em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. Santa Maria, v. 19, n. 2.
- 2253 Mello Filho, G. J. de. Lei Nº 18112 DE 12/01/2015. Dispõe sobre a melhoria da qualidade
2254 ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e
2255 construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a
2256 rede de drenagem e dá outras providências. Disponível em:
2257 <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280138>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2019.
- 2258 Mustafa, A., Bruwier, M., Archambeau, P., Erpicum, S., Piroton, M., Dewals, B., & Teller, J.
2259 (2018). Effects of spatial planning on future flood risks in urban environments. *Journal of*
2260 *environmental management*, 225, 193-204.
- 2261 Onis Pessoa, J., Allasia, D., Tassi, R., Vaz Viegas, J., & Fensterseifer, P. (2016). Qualidade das
2262 águas pluviais de extensos telhados verdes em uma região subtropical. Em EGU
2263 ASSEMBLÉIA GERAL Conferência Abstracts (Vol. 18).
- 2264 Páll-Gergely, B.; Kyrö, K.; Lehvävirta, S.; Vilisics, F. (2014). Green roofs provide habitat for
2265 the rare snail (Mollusca, Gastropoda) species *Pseudotrachia rubiginosa* and *Succinella oblonga*
2266 in Finland. *Journal Memoranda Societats pro Fauna et Flora Fennica*. v. 90.
- 2267 Pereira, A.R.; Angelocci, L.R.; Sentelhas, P.C. (2002). *Agrometeorologia: fundamentos e*
2268 *aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 478p.
- 2269 Pinheiro, L. G., & Araújo, A. L. C. (2016). Qualidade e aproveitamento da água de
2270 chuva. *HOLOS*, 8, 135-146.

- 2271 Rosseti, K. A. C.; Nogueira, M. C. J. A.; Nogueira, J. S. (2013). Interferência microclimática
2272 na utilização do telhado verde para regiões tropicais: estudo de caso em Cuiabá, MT. *Revista*
2273 *Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. v. 9, nº 9, p. 1959-1970.
- 2274 Sant'ana, D. R., Medeiros, L. B. P., & Alvares, K. C. F. (2017). Aproveitamento de Águas
2275 Pluviais e Reúso de Águas Cinzas em Edificações. Padrões de qualidade, critérios de instalação
2276 e manutenção. Brasília: Universidade de Brasília.
- 2277 Santos, D.J.C. (2011). “Aplicação de Medidas de Eficiência Hídrica em Meio Hospitalar: O
2278 caso do Aproveitamento de Águas Pluviais”. Dissertação de Mestrado em Saúde Ocupacional.
2279 Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- 2280 Santos, J. L. D. (2015). Potencial de aproveitamento da água de chuva na produção de leite: um
2281 estudo de caso. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
2282 Engenharia Agrícola. SP, Brasil.
- 2283 Silva, N. D. M. D., Perello, L. W., & Moraes, L. R. S. (2014). Qualidade microbiológica da
2284 água de chuva armazenada em cisternas na área rural de Inhambupe, no semiárido baiano, e
2285 seus fatores intervenientes. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 2(1), 172-
2286 187.
- 2287 Silveira, A.; De Lima, J. L. M. P.; De Lima, M. I. P.; Silva, G. C. O.; & Naspolini, B. F. (2016).
2288 Análise comparativa da qualidade da água da chuva precipitada e coletada em coberturas em
2289 dois locais no Brasil e em Portugal. *Revista de Engenharia Civil*, 52, 23-32.
- 2290 Stovin, V., Vesuviano, G., & Kasmin, H. (2012). The hydrological performance of a green roof
2291 test bed under UK climatic conditions. *Journal of Hydrology*, 414, 148-161.
- 2292 Talebi, A., Bagg, S., Sleep, B. E., & O'carroll, D. M. (2019). Water retention performance of
2293 green roof technology: A comparison of canadian climates. *Ecological Engineering*, 126, 1-15.
- 2294 Teixeira, C. A.; Budel, M. A.; De Carvalho, K. Q.; Da Cruz Bezerra, S. M.; & Ghisi, E. (2017).
2295 Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto
2296 e em telhado verde para usos não potáveis. *Ambiente Construído*, 17(2), 135-155.
- 2297 Teixeira, P. C. (2013). Qualidade da Água Drenada Por Coberturas Verdes Para Fins de
2298 Aproveitamento em Edifício [Water Quality Drained by Green Roofs for Use in Buildings].
2299 Civil Engineering. State University of Campinas. Campinas.

- 2300 Tong, Y. et al. (2018). Chemosphere Human activities altered water N:P ratios in the populated
2301 regions of China. *Chemosphere*, v. 210, p. 1070-1081.
- 2302 Tonial, M., Fernandes, V. C., Fiori, S., Scortegagna, V., Gil, A. S. L., Ferreira, M. D. C., &
2303 Adames, D. B. (2017). Telhados verdes: uma perspectiva contemporânea. *Revista CIATEC-*
2304 *UPF*, 9(1), 46-57.
- 2305 Vacari, T. C. (2015). Caracterização da qualidade da água pluvial retida em módulos
2306 experimentais de telhados verdes e o seu estudo como alternativa tecnológica para redução do
2307 volume da água pluvial escoada.
- 2308 Vijayaraghavan, K., Nalini, S. K., Prakash, N. U., & Madhankumar, D. (2012). One step green
2309 synthesis of silver nano/microparticles using extracts of *Trachyspermum ammi* and *Papaver*
2310 *somniferum*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 94, 114-117.
- 2311 Warrick, A. W., & Nielsen, D. R. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the
2312 field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of Soil Physics*. New York: Academic. 2, 319-344.
- 2313 Zhang, S., Zhang, J., Jing, X., Wang, Y., Wang, Y., & Yue, T. (2018). Water saving efficiency
2314 and reliability of rainwater harvesting systems in the context of climate change. *Journal of*
2315 *Cleaner Production*, 196, 1341-1355.