



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

JÉSSICA MARIA DOS SANTOS LIMA

**TELHADO ECOLÓGICO EM CLIMA SEMIÁRIDO: investigação da qualidade da
água**

Caruaru

2023

JÉSSICA MARIA DOS SANTOS LIMA

**TELHADO ECOLÓGICO EM CLIMA SEMIÁRIDO: investigação da qualidade da
água**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.
Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dra^a. Érika Pinto Marinho

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Sylvana Melo dos Santos

Caruaru

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Nasaré Oliveira - CRB/4 - 2309

L732t Lima, Jéssica Maria dos Santos.
 Telhado ecológico em clima semiárido: investigação da qualidade da
 água. / Jéssica Maria dos Santos Lima. – 2023.
 140 f.; il.: 30 cm.

 Orientadora: Erika Pinto Marinho.
 Coorientadora: Sylvana Melo dos Santos.
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA,
 Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2023.
 Inclui Referências.

 1. Recursos hídricos. 2. Escassez. 3. Água - Qualidade. 4. Garrafa
 PET. I. Marinho, Erika Pinto (Orientadora). II. Santos, Sylvana Melo dos
 (Coorientadora). III. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2023-108)

JÉSSICA MARIA DOS SANTOS LIMA

**TELHADO ECOLÓGICO EM CLIMA SEMIÁRIDO: investigação da qualidade da
água**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.
Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Aprovada em: 05/09/2023.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Érika Pinto Marinho (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dr. Leidjane Maria Maciel de Oliveira (Examinador externo)
Universidade Federal de Pernambuco

A Deus que sempre me guiou e me deu
força.

Aos meus pais, minha base, apoio e
motivação.

Ao meu marido, por todo amor e apoio me
dado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por cada passo que dei, o por ter me dado forças para seguir em frente, e está ao meu lado em todos os momentos, me guiando para que possa realizar todos meus sonhos e ultrapassar todos os obstáculos, sem Ele nada disso seria possível, não tenho palavras para agradecer por tanto que tens me dado.

Aos meus pais, José Miguel e Maria por todo apoio e incentivo, por todos os ensinamentos e forças para que me tornasse uma pessoa melhor, e não medem esforços para que eu consiga realizar meus sonhos. Aos meus irmãos Orlando, Patrícia, e Marcelo que são que me apoiam e me encorajam a ir mais longe, a minha irmã Valéria por toda paciência e ajuda.

Ao meu marido André pela paciência, dedicação, compreensão e ajuda na realização desse estudo, principalmente na confecção de todo o material. E por me apoiar e incentivar a ir em busca dos meus sonhos.

A minha orientadora Erika Pinto e a Co-orientadora Sylvana, por todos os ensinamentos, pela paciência, dedicação, por estar à disposição durante esse período de pesquisa.

Aos meus amigos e companheiros de trajetória, principalmente Pâmella, Giselda e Márcia pela ajuda, apoio e incentivo nos momentos difíceis, amizade e ensinamentos.

A UFPE e ao PPGECAm e toda a parte de coordenação e professores, por me proporcionar grandes conhecimentos e avanço profissional. Aos técnicos do laboratório de Engenharia Civil Rafael e Everton por disponibilizar o local sempre que precisava por toda ajuda na realização dos ensaios de solo, além do apoio. A técnica do laboratório de solo Valquíria que ajudou na realização dos ensaios disponibilizando os materiais e espaço para a realização do mesmo. A técnica do LEA que sempre que precisei disponibilizou os seus recursos para não para a pesquisa. E principalmente ao laboratório de Química onde foram feitas todas as análises de qualidade da água, a todos os técnicos em especial Wagner e Henrique que desde do início sempre estiveram presentes ensinando, incentivando e não mediam esforços para ajudar sempre que necessário, obrigada pela paciência e ensinamento durante esse período sem vocês não teria conseguido realizar todos os ensaios.

A FACEPE pelo financiamento da pesquisa, sem esse suporte não teria conseguido concluir essa pesquisa.

E todos que forma direta ou indireta contribuíram de alguma forma para que pudesse chegar até aqui. A todos, muito obrigada!

RESUMO

O uso de Telhados verdes em construções é uma alternativa para auxiliar a drenagem de águas pluviais, evitando eventos de inundações, além de contribuir para o conforto térmico, isolamento acústico e qualidade do ar das cidades. No entanto, essa tecnologia tem custo elevado para sua instalação e manutenção. O uso de materiais recicláveis para construção de telhados verdes ecológicos pode ser uma forma de ampliar seu uso e benefícios para áreas urbanas. Além do custo do projeto, é importante observar que a irregularidade nas chuvas e a escassez hídrica em regiões semiáridas também são barreiras para sua adoção pela população de baixa renda. Entretanto, é possível tornar o sistema autossustentável usando cobertura vegetal resistente a longos períodos de estiagem e aproveitar a água escoada para sua irrigação. Para isso, torna-se necessário conhecer os parâmetros físico-químicos da água percolada. Neste trabalho, foi realizado um estudo sobre a influência da cobertura vegetal típica do semiárido pernambucano na qualidade da água escoada em telhados verdes ecológicos construídos com garrafas PET. Por meio de chuvas simuladas utilizando água destilada com a intensidade média histórica máxima de 42,825 mm/h dos últimos 50 anos, do município de Caruaru/PE. O custo desse modelo de Telhado Verde Ecológico ficou em torno de R\$ 14,40 / m². O solo utilizado no substrato dos arranjos apresentou densidade seca de 720,13, umidade atual 6,96%, perda ao fogo 3,79%. O pH foi analisado antes e depois das simulações esse realizado de forma individual em cada arranjo. Foram analisados três tipos de vegetações diferentes (*Echeveria Peacockii*; *sansevieria trifasciata* e a *brasiliopuntia brasiliensis*), visando caracterizar a qualidade da água escoada de acordo com os parâmetros: cor, sólidos dissolvidos totais (SDT); turbidez; pH; condutividade elétrica (CE); nitrogênio-nitrato; nitrogênio-amoniaco; fósforo-fosfato; cálcio; cloreto; carbonato; bicarbonato; ferro, alcalinidade, dureza total, e sulfato. Os resultados obtidos mostram que os parâmetros de qualidade da água percolada são afetados pelo tipo de cobertura vegetal e pelo número de eventos de precipitação. O pH foi o único parâmetro que não foi afetado, apresentando valores entre 6,07 e 7,33 para as análises quinzenais e mensais. Os parâmetros cor verdadeira, fósforo e alcalinidade ficaram acima dos valores permitidos pelo CONAMA e Embrapa. Estes resultados indicam a necessidade de técnicas de filtração para ajustar a qualidade da água percolada nos telhados, a fim de permitir seu aproveitamento na

autoirrigação da cobertura vegetal ou lançamento em cursos de água. De acordo com tratamento estatístico (ANOVA), nas análises dos parâmetros apesar de muitos apresentarem semelhanças significativas, há diferença entre os arranjos o que significa dizer que o tipo de vegetação influencia a qualidade da água.

Palavras-chave: Escassez Hídrica. Garrafa PET. Aproveitamento da água.

ABSTRACT

The use of green roofs in buildings is an alternative to help drain rainwater, avoiding flooding events, in addition to contributing to thermal comfort, acoustic insulation and air quality in cities. However, this technology is expensive to install and maintain. The use of recyclable materials to build ecological green roofs can be a way to expand their use and benefits to urban areas. In addition to the cost of the project, it is important to note that irregular rainfall and water scarcity in semi-arid regions are also barriers to its adoption by the low-income population. However, it is possible to make the system self-sustainable by using vegetation cover resistant to long periods of drought and using the runoff water for irrigation. To do this, it is necessary to know the physical-chemical parameters of the percolated water. In this work, a study was carried out on the influence of vegetation cover typical of the semiarid region of Pernambuco on the quality of water drained from ecological green roofs built with PET bottles. Through simulated rainfall using distilled water with the maximum historical average intensity of 42.825 mm/h over the last 50 years, in the municipality of Caruaru/PE. The cost of this Ecological Green Roof model was around R\$14.40 / m². The soil used in the substrate of the arrangements had a dry density of 720.13, current humidity 6.96%, loss to fire 3.79%. The pH was analyzed before and after the simulations, which were carried out individually in each arrangement. Three different types of vegetation were analyzed (*Echeveria Peacockii*; *sansevieria trifasciata* and *brasiliopuntia brasiliensis*), aiming to characterize the quality of the water drained according to the parameters: color, total dissolved solids (TSD); turbidity; pH; electrical conductivity (EC); nitrogen-nitrate; ammonia nitrogen; phosphorus-phosphate; calcium; chloride; carbonate; bicarbonate; iron, alkalinity, total hardness, and sulfate. The results obtained show that the quality parameters of percolated water are affected by the type of vegetation cover and the number of precipitation events. pH was the only parameter that was not affected, presenting values between 6.07 and 7.33 for biweekly and monthly analyses. The true color, phosphorus and alkalinity parameters were above the values allowed by CONAMA and Embrapa. These results indicate the need for filtration techniques to adjust the quality of water percolating from roofs, in order to allow its use in self-irrigation of vegetation cover or release into water courses. According to statistical treatment (ANOVA), in the analysis of the parameters, although many present significant similarities, there is a

difference between the arrangements, which means that the type of vegetation influences water quality.

Keywords: Ecological Green Roof. Water Scarcity. Physicochemical analysis. Pet bottle. Use of water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Telhado verde intensivo em São Paulo no Edifício Matarozzo	28
Figura 2 –	Telhado verde da Universidade Tecnológica de Nanyang, Cingapura	29
Figura 3 –	Camadas de um telhado verde	30
Figura 4 –	Módulos experimentais construídos utilizando 3 tipos de cobertas diferente	39
Figura 5 –	Aplicação de telhado ecológico em cobertura com telha de fibrocimento	39
Figura 6 –	Garrafas PET utilizada como base para o substrato	40
Figura 7 –	Telhado construído com sistema reciclável desenvolvido com garrafas PET	41
Figura 8 –	Substrato construído com garrafa PET	41
Figura 9 –	Diferentes tipos de camadas de drenagem	42
Figura 10 –	Telhado ecológico com garrafas PET	42
Figura 11 –	Fluxograma com as etapas do experimento	60
Figura 12 –	Delimitação do município de Caruaru e circunvizinhos	61
Figura 13 –	Caruaru pertencente ao semiárido brasileiro	62
Figura 14 –	Temperaturas médias mensais da cidade de Agrestina, Caruaru e Toritama	63
Figura 15 –	Localização do município de Caruaru	63
Figura 16 –	Ambiente utilizado na primeira etapa das coletas	64
Figura 17 –	Estufa da UFPE/CAA	64
Figura 18 –	Estrutura do suporte de madeira para o protótipo do telhado ecológico	66
Figura 19 –	Fixação das garrafas com arame galvanizado	67
Figura 20 –	Estrutura com o sistema para a cobertura ecológica finalizado	67
Figura 21 –	Garrafa PET de 2 L utilizada no telhado ecológico, antes e depois do corte	68
Figura 22 –	Furos nas garrafas para colocação das conexões	68

Figura 23 –	Conexões e fixação nas garrafas	68
Figura 24 –	Montagem da estrutura de proteção	69
Figura 25 –	Estrutura montada sem a tela de proteção	69
Figura 26 –	Montagem do substrato	70
Figura 27 –	<i>Brasiliopuntia brasiliensis</i> (mini palma)	72
Figura 28 –	<i>Sansevieria trifasciata</i> (mini espada de São Jorge)	72
Figura 29 –	<i>Echeveria peacockii</i> (suculenta)	72
Figura 30 –	Diferentes tipos de raiz	73
Figura 31 –	Sistema de irrigação	78
Figura 32 –	Parâmetros de cor e turbidez das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais	83
Figura 33 –	Parâmetros CE, pH e SDT das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais	87
Figura 34 –	Parâmetros de amônia, nitrato, nitrito e ferro das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais	90
Figura 35 –	Parâmetros de fósforo e fosfato das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais	95
Figura 36 –	Parâmetros de dureza total, cálcio, cloreto e sulfato das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais	97
Figura 37 –	Parâmetros de carbonato, bicarbonato e hidróxidos das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais	100
Figura 38 –	Parâmetros de alcalinidade total e parcial das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estudos de telhados verdes com materiais alternativos no Brasil	43
Quadro 2 – Estudos de telhados verdes com materiais alternativos no mundo	43
Quadro 3 – Parâmetros analisados da qualidade da água percolada de telhados vegetativos	52
Quadro 4 – Períodos e características das simulações com chuvas controladas	79
Quadro 5 – Parâmetros físico-químicos usados para análise de qualidade da água escoada nos arranjos	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Eutrofização com relação ao fósforo total	48
Tabela 2 –	Materiais utilizados na confecção do protótipo, estrutura de proteção e estrutura de irrigação	65
Tabela 3 –	Custo com a montagem do substrato	65
Tabela 4 –	Valores obtidos no ensaio de densidade para as amostras de solo	74
Tabela 5 –	Resultado em porcentagem dos óxidos no solo analisados no espectrômetro	75
Tabela 6 –	pH do solo utilizado nos arranjos	76
Tabela 7 –	Análises do pH do substrato nas garrafas dos telhados utilizados	76
Tabela 8 –	Diferença entre a 1ª e 6ª simulação dos parâmetros cor e turbidez	84
Tabela 9 –	Diferença entre a 1ª e 6ª simulação dos parâmetros condutividade elétrica, pH e sólidos dissolvidos totais	88
Tabela 10 –	Diferença entre a 1ª e 6ª simulação dos parâmetros amônia, nitrato, nitrito e ferro	92
Tabela 11 –	Diferença entre a 1ª e 6ª simulação dos parâmetros fósforo e fosfato	96
Tabela 12 –	Diferença entre a 1ª e 6ª simulação dos parâmetros dureza total, cálcio, cloreto e sulfato	99
Tabela 13 –	Diferença entre a 1ª e 6ª simulação dos parâmetros alcalinidade total e parcial	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Climas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
AR	Arranjo de Referência (sem vegetação)
A1	Arranjo 1 (com vegetação mini espada de São Jorge)
A2	Arranjo 2 (com vegetação mini palma)
A3	Arranjo 3 (com vegetação suculenta)
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade – Duração – Frequência
IPA	Instituto Brasileiro de geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
PET	Politerefitalato de Etileno
USEPA	Agência de proteção Ambiental dos Estados Unidos
WWF	Fundo Municipal para a Natureza

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	OBJETIVOS	24
2.1	Objetivos geral	24
2.2	Objetivos específicos	24
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
3.1	Região semiárida brasileira e telhados verdes	25
3.2	Telhado verde: contexto histórico	26
3.3	Telhados verdes	27
3.3.1	<i>Tipos</i>	28
3.3.2	<i>Composição do telhado verde</i>	29
3.3.2.1	<i>Impermeabilização</i>	30
3.3.2.2	<i>Substrato</i>	31
3.3.2.3	<i>Vegetação e a influência do clima</i>	32
3.4	Vantagens	35
3.5	Desvantagens	36
3.6	Utilização de resíduos e materiais recicláveis em telhados verdes ecológicos e sua viabilidade econômica	37
3.6.1	<i>Garrafas politereftalato de etileno (PET) no arranjo do telhado verde ecológico</i>	38
3.7	Indicadores físico-químico de qualidade da água	44
3.7.1	<i>Cor</i>	45
3.7.2	<i>Turbidez</i>	45
3.7.3	<i>pH</i>	45
3.7.4	<i>Condutividade elétrica</i>	46
3.7.5	<i>Sólidos dissolvidos totais</i>	46
3.7.6	<i>Alcalinidade</i>	46
3.7.7	<i>Nitrogênio e nitrato</i>	47
3.7.8	<i>Fósforo e fosfato</i>	47
3.7.9	<i>Sulfato e cloreto</i>	48
3.7.10	<i>Ferro</i>	48

3.7.11	<i>Dureza</i>	49
3.7.12	<i>Carbonatos e bicarbonatos</i>	49
3.7.13	<i>Cálcio, sódio, magnésio</i>	49
3.8	Qualidade da água escoada dos telhados verdes ecológicos	50
4	MATERIAIS MÉTODOS	59
4.1	Área de estudo	60
4.2	Estrutura da unidade experimental do telhado ecológico	64
4.3	Caracterização do solo	73
4.3.1	<i>Densidade</i>	73
4.3.2	<i>Umidade atual e perda ao fogo</i>	74
4.3.3	<i>Análises espectrofotométrica FRX</i>	75
4.3.14	<i>pH do solo</i>	76
4.3.5	<i>Retenção de água no solo</i>	76
4.4	Aquisição dos dados pluviométricos e simulações da chuva ...	77
4.5	Determinação e análise dos parâmetros de qualidade da água .	79
4.6	Análise estatística	80
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
5.1	Análises dos parâmetros físico-químicos da água antes e após a percolação nos arranjos	82
5.1.1	<i>Cor aparente, cor verdadeira e turbidez</i>	82
5.1.2	<i>Condutividade elétrica (CE), pH e sólidos dissolvidos totais (SDT)</i>	86
5.1.3	<i>Amônia, nitrato, nitrito e ferro</i>	89
5.1.4	<i>Fósforo e fosfato</i>	94
5.1.5	<i>Dureza total, cálcio, cloreto e sulfato</i>	96
5.1.6	<i>Carbonato, bicarbonato e hidróxidos</i>	100
5.1.7	<i>Alcalinidade total e parcial</i>	101
6	CONCLUSÕES	103
6.1	Sugestões para pesquisas futuras	105
	REFERÊNCIAS	106
	APÊNDICE A – RETENÇÃO DE ÁGUA DOS ARRANJOS	119
	APÊNDICE B – RETENÇÃO DE ÁGUA DAS GARRAFAS	120

INDIVIDUAIS	
APÊNDICE C – LIMITES ESTABELECIDOS PO LEGISLAÇÃO	121
APÊNDICE D – VALORES DAS ANÁLISES DE ÁGUA UTILIZADA NAS SIMULAÇÕES DAS GARRAFAS INDIVIDUAIS	122
APÊNDICE E – VALORES OBTIDOS DA ÁGUA EXCEDENTE DAS GARRAFAS DO ARRANJO DE REFERÊNCIA	123
APÊNDICE F – VALORES OBTIDOS DA ÁGUA EXCEDENTE DAS GARRAFAS DO ARRANJO 1	124
APÊNDICE G – VALORES OBTIDOS DA ÁGUA EXCEDENTE DAS GARRAFAS DO ARRANJO 2	125
APÊNDICE H – VALORES OBTIDOS DA ÁGUA EXCEDENTE DAS GARRAFAS DO ARRANJO 3	126
APÊNDICE I – VALORES OBTIDOS DA ÁGUA UTILIZADA NAS SIMULAÇÕES QUINZENAS DA CHUVA	127
APÊNDICE J – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES QUINZENAS DA ÁGUA EXCEDENTE DO ARRANJO DE REFERÊNCIA	128
APÊNDICE K – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES QUINZENAS DA ÁGUA EXCEDENTE DO ARRANJO 1	129
APÊNDICE L – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES QUINZENAS DA ÁGUA EXCEDENTE DO ARRANJO 2	130
APÊNDICE M – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES QUINZENAS DA ÁGUA EXCEDENTE DO ARRANJO 3	131
APÊNDICE N – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES MENSAS DA ÁGUA EXCEDENTE DO ARRANJO DE REFERÊNCIA	132
APÊNDICE O – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES MENSAS DA ÁGUA EXCEDENTE DO ARRANJO 1	133
APÊNDICE P – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES MENSAS DA ÁGUA EXCEDENTE DO ARRANJO 2	134
APÊNDICE Q – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES MENSAS DA ÁGUA EXCEDENTE DO ARRANJO 3	135
APÊNDICE R – ANÁLISE ESTATÍSTICA DA GARRAFA INDIVIDUAL	136

APÊNDICE S – ANÁLISE ESTATÍSTICA QUINZENAL	137
APÊNDICE T – ANÁLISE ESTATÍSTICA MENSAL	139

1 INTRODUÇÃO

As altas taxas de crescimento populacional e a urbanização acelerada impactam negativamente na qualidade de vida das pessoas (Bernardes; Mendes, 2012; Gomes; Silva, 2012; França, 2012). Estes fatores promovem modificações no meio ambiente, prejudicando a vegetação, a fauna, a permeabilidade do solo, a absorvidade e a refletividade da superfície terrestre, além de impactar também no clima, no ar atmosférico, no solo e no balanço hídrico (Lima, 2013). A alta taxa de impermeabilização do solo contribui para o surgimento de zonas de inundação e redução da capacidade de resfriamento do ambiente (Laar; Grimme, 2006; Hashemi *et al.*, 2015). Recentemente no Brasil, entre o final do ano de 2021 e junho de 2022, recordes históricos de precipitação pluviométrica associados à alta impermeabilização do solo e supressão da vegetação natural resultaram em severos danos às áreas urbanas nos estados da Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Pernambuco. Foram registradas muitas mortes e perdas materiais potencializados por problemas de drenagem urbana (G1, 2022; BBC NEWS/ Brasil, 2022). De acordo com Laar e Grimme (2006), a redução das áreas verdes com aumento de áreas impermeáveis favorece o aumento na velocidade do escoamento superficial, fazendo com que a água seja deslocada do ambiente o mais rápido possível, gerando áreas de inundação, e impossibilitando a evaporação suficiente da água para amenizar a sensação térmica.

A criação de áreas permeáveis é uma forma de minimizar problemas dessa natureza, pois funcionam como esponjas, absorvendo as águas pluviais, e contribui para formação e recarga dos aquíferos subterrâneos (Mota, 1999). Deste modo, quanto maior for a área permeável para infiltração, menor será o escoamento superficial das águas pluviais, diminuindo assim os casos de inundações e alagamentos e melhorando o clima da região. São poucos os espaços disponíveis para a vegetação nos grandes centros urbanos, e em sua maioria provém do paisagismo local (Carvalho, 2018). A instalação de telhados verdes em edificações vem sendo utilizada em todo o mundo nas últimas décadas com uma forma de contribuir com o controle da drenagem e fenômenos de enchentes (Loiola; Mary; Silva, 2019).

Em várias localidades no mundo, o uso dos telhados verdes têm sido incentivado pelos gestores públicos, devido aos benefícios que podem ser

alcançados que vão desde benefícios individualizados (como a economia de energia para refrigeração de ambientes) até benefícios coletivos como a melhoria no funcionamento do sistema de drenagem urbana (Aranha, 2016) e na qualidade do ar promovidos pelas plantas que realizam o processo de reciclagem do carbono e do oxigênio por meio da fotossíntese e respiração (Braga *et al.*, 2005). No cenário nacional, algumas leis municipais como: São Vicente Nº 634 (São VICENTE, 2010), Sorocaba Nº 9.571 (SOROCABA, 2011), Araraquara Nº 7.152 (ARRAQUARA, 2009), Guarulhos Nº 6.793 (GUARULHOS, 2010) e Curitiba Nº 9.806 (CURITIBA, 2000), entre outras, estão implantando benefícios que favorecem o cidadão que investe em boas práticas ambientais em sua propriedade urbana, como, por exemplo, a redução do IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano). Em 2015, o estado de Pernambuco se destacou no cenário brasileiro com a publicação da Lei Nº. 18.112 (RECIFE, 2015), que obriga as novas edificações na capital pernambucana a terem uma cobertura vegetal, sendo a lei válida para construções com mais de quatro andares e que tenham pelo menos 400 metros quadrados de cobertura, como shoppings e estacionamento.

Entretanto, os elevados custos para a construção dos telhados verdes tradicionais são uma barreira para a popularização desta tecnologia, apesar das inúmeras vantagens descritas na literatura. É importante a proposição de telhados verdes com materiais recicláveis, denominados de telhados verdes ecológicos (Leonardo, 2021) para aumentar as áreas verdes e alcançar maior impacto na drenagem urbana e conforto térmico das cidades. Aliado a isso, contribuirá com o meio ambiente também pela remoção de materiais de difícil degradação como garrafas PET que agravam o problema de lixo nas áreas urbanas (Moura *et al.*, 2015).

A utilização de garrafas PET pode contribuir com a redução dos custos iniciais de forma significativa tanto na implementação, manutenção e no peso do sistema (Rocha, 2020). Como destacado por Visentin, Neckel e Brenda (2015) e Leonardo (2021), a garrafa PET traz uma estrutura e aplicação práticas de fácil manuseio e baixo custo, sendo alternativas de telhados verdes sustentáveis.

De acordo com Santos *et al.* (2019), em um clima semiárido, a implantação de telhados verdes também pode resultar em ganho de conforto térmico e na umidade do ar. Além disso, a escassez hídrica pode ser minimizada devido ao volume de água que é captado no telhado verde e pode ser reutilizado pela população (Aranha,

2016). Os parâmetros de qualidade da água são essenciais para definir o seu uso, e são descritos em normas como NBR 13.969 (ABNT, 1997) e NBR 15.527 (ABNT, 2007), bem como nas orientações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da Água de Irrigação” (Almeida, 2010).

A preocupação com a possibilidade de uso da água escoada dos telhados se justifica, principalmente, pelos cenários recorrentes de escassez hídrica observados no Estado de Pernambuco. Por isso, é fundamental criar situações de aproveitamento e otimização dos recursos hídricos em que não há espaço para desperdícios e/ou descartes de volumes armazenados. Santos e Farias (2017) destacam, ainda, a possibilidade de redução no número de dias com o racionamento de água potável ou, alternativamente, uma redução na pressão sobre o sistema público de abastecimento de água nesta região do Agreste, em Pernambuco, com o uso da água de chuva.

Para a utilização da água escoada dos telhados verdes ecológicos é necessária a realização de estudos sobre os fatores que podem influenciar a qualidade da água percolada. O telhado vegetativo pode reduzir a maioria dos contaminantes existentes na água (Gregoire; Clausen, 2011), diminuindo a acidez da água da chuva (Budel, 2014; Vijayaraghavan; Joshi, 2014; Teixeira *et al.*, 2016; Wang; Tian; Zhao, 2017; Chen; Kang; Lin, 2018; Gomes, 2019) que depende do volume de chuva, do tipo de substrato (Vijayaraghavan; Joshi; Balasubramanian, 2012; Lima, 2013), da camada de vegetação (Farias, 2012; Lima, 2013; Bar, 2019) etc. Farias (2012), ao investigar a qualidade da água escoada em dois telhados verdes (Gramma-de-Burro e Cactus Coroa-de-Frade), observou que as principais alterações na qualidade da água foram em relação à cor; turbidez; nitrato e fosfato, e que o telhado com coroa-de-frade foi o que mais impactou nestes parâmetros. Diante dos parâmetros analisados, a água escoada dos telhados verdes pode ser utilizada em usos menos nobres, tais como irrigação de jardins e lavagem de piso.

Diante deste cenário, esta pesquisa realizou um estudo sobre a influência da vegetação do semiárido pernambucano (espécies resistentes ao estresse hídrico) na qualidade da água escoada de Telhado Verde Ecológico construído com garrafas PET. Os dados de qualidade de água foram usados para avaliar a possibilidade de reuso da água escoada e assim contribuir com a otimização dos recursos hídricos. A realização deste estudo fornecerá informações para contribuir fortemente para a ampliação do uso dos telhados verdes e seus benefícios climáticos e urbanos na

área de estudo.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Avaliar a possibilidade de uso da água escoada dos telhados ecológicos, construídos com vegetações típicas de clima semiárido, para autoirrigação dos mesmos, em lançamentos de cursos de água.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a qualidade da água escoada dos telhados verdes ecológicos a partir de precipitações controladas;
- Avaliar as classes das águas captadas em seus possíveis usos, de acordo com normativa CONAMA e orientação Embrapa;
- Propor usos para água escoada dos telhados (ou possíveis tratamentos para seu aproveitamento) a partir dos valores dos parâmetros de qualidade obtidos; e
- Avaliar se a qualidade da água escoadas dos telhados verdes ecológicos é influenciada pelo tipo de cobertura vegetal a partir da análise estatística.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Região semiárida brasileira e telhados verdes

De acordo com Araújo (2011), o Nordeste possui uma área de 1.561.177,8 Km², ou seja, 18,27% do território brasileiro. Boa parte desta área (962.857, km²) é considerada Polígono das Secas, sendo 841.260,9 km² região de semiárido. Essa área é equivalente a soma dos territórios da Alemanha, Itália, Cuba e Costa Rica. Os estados que formam o semiárido são: Pernambuco, Alagoas, Paraíba, Sergipe, Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia, Piauí e Minas Gerais. Em setembro de 2021 o governo de Pernambuco declarou estado de calamidade em decorrência do período de estiagem para os municípios do sertão o Decreto nº 51.296, de 3 de setembro de 2021 e para os municípios do agreste por meio dos Decreto nº 51.341, de 14 de setembro de 2021. Uma das principais características dessa região é a água suficiente de boa qualidade, porém com um acesso limitado. Para Azevedo (2014), esse problema acarreta o aumento da pobreza, das doenças e da fome, que poderiam ser amenizados com um abastecimento mais eficiente. Quando se fala em crise hídrica as regiões do semiárido são as que vêm logo à mente, contudo essa problemática tem afetado outras regiões além das semiáridas bem como: São Paulo, Recife e outros locais que não fazem parte do semiárido.

O estudo de Sá e Rodrigues (2018), realizado em Pau dos Ferros – RN relata que a implantação do telhado verde é benéfica desde que seja viável de forma ecologicamente e financeiramente e assim possa substituir os telhados convencionais. Para a implementação do telhado verde, é indicada a utilização de vegetações nativas da região, pois facilitam a adaptação e manutenção (Sá e Rodrigues, 2018; Santos *et al.*, 2017). Os estudos de Santos *et al.* (2017), em Caruaru – PE, obtiveram resultados satisfatórios com relação a amenização da temperatura em ambientes internos, confirmados por meio de sensores de umidade e temperatura instalados nas paredes e teto do telhado com vegetação, os valores obtidos próximos ao limite superior estabelecido pela norma 16401-2 da ABNT, em que as diretrizes apontam que 80% ou mais das pessoas tenham sensação aceitável de conforto térmico.

A captação de água é uma prática necessária no semiárido. A implementação do telhado verde nessas regiões, proporciona melhorias na estética, contribuindo

com o conforto térmico por promover trocas térmicas entre o meio externo e interno da edificação, aumento de áreas verdes diminuindo o efeito da ilha de calor e assim proporciona uma melhoria na qualidade do ar, além da possibilidade da coleta dessa água (Santos *et al.*, 2017; Sá; Rodrigues, 2018).

3.2 Telhado verde: contexto histórico

Segundo Bastos (2017), a busca pelo uso de vegetação em diferentes construções no mundo é uma prática milenar. Tem-se registros desde 1222 na Europa, mais precisamente na Abadia Beneditina do Morte de Saint Michel na França, de coberturas com vegetações sobre a estrutura toda em pedra, característica da arquitetura gótica. Na Alemanha a partir dos anos 60, a aplicação de cobertura vegetal em construções foi aprimorada, com a utilização de membranas impermeabilizantes, de vegetações adequadas e substratos menos densos que permitem maior drenagem (Carvalho, 2018).

Desde a década de 1980, os jardins de telhado são conhecidos e construídos na Turquia (EKSI *et al.*, 2020). A construção de estrutura de telhados verdes teve indícios de surgimento a partir de jardins suspensos na Síria e atualmente está espalhada por diferentes locais do mundo, sua aplicação tem sido incentivada, principalmente na Europa (Loiola; Mary; Silva, 2019).

A efetivação de telhados verdes em alguns países como os Estados Unidos, Reino Unido, Austrália e a Alemanha já é possível. Nas megacidades em desenvolvimento no Brasil como São Paulo e no Rio de Janeiro isto é algo recente, mas já há políticas de subsídios fiscais que incentivam a aplicação desse método (Loiola; Mary; Silva, 2019). Segundo Mahmoud *et al.* (2017), os telhados verdes estão bem estabelecidos em várias partes do mundo, em especial na Europa. A Turquia vem mostrando melhorias nas últimas décadas tanto na indústria de telhados verdes como no aumento de aplicações em edifícios comerciais e residenciais. A grande maioria são telhados extensos e com tipos de vegetação do gênero *Sedum*, além de materiais importados devido à necessidade de algumas diretrizes estrangeiras. Assim foi possível a construção de telhados inovadores, o local é caracterizado por possuir materiais locais, espécies vegetais nativas que são monitoradas por profissionais habilitados (Eksi *et al.*, 2020).

Apesar de ser um assunto desconhecido pela maioria da população, de

acordo com Bar (2019), a comercialização de produtos voltados à construção de telhados verdes aumentou após medidas impostas pelo Poder Público. Entretanto, na maioria das vezes o foco dos construtores não está voltado à qualidade e aos benefícios dos telhados verdes, mas sim com a estética das coberturas. Os fatores limitantes para a utilização desta tecnologia são os custos de instalação e manutenção que são bem mais elevados do que um sistema de cobertura convencional. Mesmo assim, no Brasil, a demanda pelos telhados verdes vem aumentando (Carvalho, 2018).

3.3 Telhados verdes

As telhas de barro, assim como o asfalto, possuem alta condutividade térmica, permitindo grande fluxo de calor através deles, além de interferir na circulação dos ventos causando a elevação da temperatura dos edifícios (Carvalho, 2018). As áreas da coberta são áreas inutilizadas que não influenciam na expansão das cidades, mas podem contribuir para amenizar a temperatura, promovendo conforto térmico (Aranha, 2016; Carvalho, 2018), eficiência energética, equilíbrio do microambiente, com novos habitats de flora e fauna, promovendo uma melhor condição na qualidade de vida (Aranha, 2016).

O telhado verde é uma técnica de cultivo de vegetações aplicado sobre um telhado convencional (lajes ou telhas). Dependendo da aplicação e composição pode ser chamado jardim de telhado, telhado vivo e telhado ecológico (confeccionado principalmente com materiais reciclados) (Hashemi *et al.*, 2015). Deste modo, parte dos raios solares são absorvidos pela vegetação e substrato e demais elementos que os compõem.

Os telhados verdes são explorados por diversas áreas como na agricultura, saúde ocupacional, meio ambiente público, ciências dos materiais, estudos urbanos, dentre eles a engenharia e a arquitetura estão entre os cinco principais que estudam sobre este assunto. Os estudos se concentram em regiões de climas quentes ou no período de verão. O número crescente de telhados verdes no mercado da construção e na comunidade acadêmica se deve aos inúmeros benefícios que ele fornece, é uma estratégia ambientalmente sustentável tanto para os edifícios como para a cidade (Kreles; Johansson, 2021). Como os telhados verdes são compostos

por vegetação e substrato acredita-se na teoria que eles podem reduzir a poluição, e que quando a água da chuva escoar os poluentes são filtrados (Liu *et al.*, 2019).

De uma forma geral os telhados verdes podem ser instalados em qualquer tipo de telhado além de serem considerados uma tecnologia verde, instalados como um plano de eficiência na redução do escoamento de água de inundação, produzir oxigênio ao mesmo tempo eliminar o dióxido de carbono. Os telhados verdes são conhecidos por sistemas intensivo e extensivo (Hashemi *et al.*, 2015), apesar de haver outras denominações como telhados planos, de inclinação moderada e de inclinação acentuada. Cada tipo tem uma finalidade de uso que será definido juntamente com o tipo de camada do solo, vegetação e a manutenção para o uso dele.

3.3.1 Tipos

Os telhados verdes são classificados em intensivos e extensivos. Telhados verdes intensivos são mais profundos que 20 cm, muitas vezes projetados como jardins para uso humano, e geralmente requerem irrigação e manutenção (Reyes *et al.*, 2016). Estes também podem suportar arbustos selvagens, talhadia, árvores pequenas e gramado, (Oberndorfer *et al.*, 2007; FLL, 2008) como observado na Figura 1. Com relação à mitigação de escoamento o tipo intensivo funciona melhor que o extensivo, mas requer manutenção que não é simples (Hashemi *et al.*, 2015).

Figura 1 - Telhado verde intensivo em São Paulo no Edifício Matarozzo



Fonte: Portal ContNews (2019).

Telhados verdes extensivos, ou leves verdes, têm uma camada de substrato de 2 a 20 cm de profundidade, exigem irrigação mínima ou não, o tipo de vegetação é limitada, geralmente são plantados musgo, suculentas, grama e algumas plantas herbáceas (Dunnett; Kingsbury, 2004; Oberndorfer *et al.*, 2007; Cristiano *et al.*, 2021) (Figura 2). Plantas que possam suportar irrigações suplementares que podem não estar disponíveis em períodos de seca e os sistemas radiculares rasos e não penetrantes (Tran *et al.*, 2018). Torna-se de fácil aplicação e requer pouca manutenção (Hashemi *et al.*, 2015). O telhado verde extensivo é mais atraente em relação ao custo-benefício e o período de retorno. O telhado verde traz consigo inúmeros benefícios que auxilia na minimização de energia que são utilizadas para aquecimento e resfriamento além do controle da água escoada (Hashemi *et al.*, 2015).

Figura 2 - Telhado verde da Universidade Tecnológica de Nanyang, Cingapura



Fonte: Peregrinacultural's Weblog (2012).

O telhado intensivo permite uma maior variação de plantas com uma menor necessidade de uso de fertilizantes, além de promover uma maior variedade de serviços ecossistêmicos devido a uma maior profundidade do solo, em contrapartida os telhados extensivos são mais utilizados quando o assunto é captação de água pluvial e isolamento de energia (Droz *et al.*, 2021).

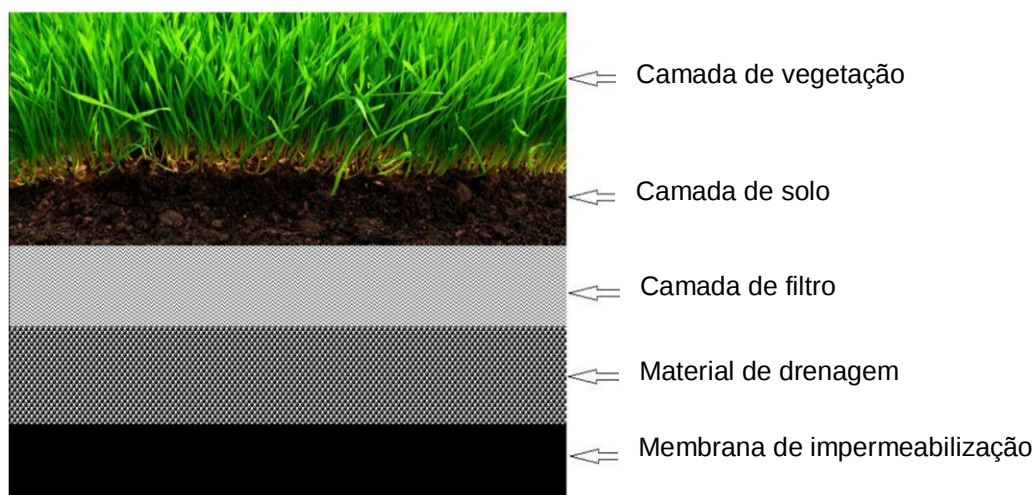
3.3.2 Composição do telhado verde

É de suma importância ter conhecimentos dos elementos necessários que compõem o telhado verde, uma vez que, cada um tem comportamentos e funções diferentes, sendo necessário estar atento às manutenções que serão necessárias. É preciso levar em consideração a espessura, cor e umidade do substrato, bem como

o desenvolvimento das plantas e suas alturas em um telhado verde quando se trata da radiação refletida (Scharf; Zluwa, 2017).

Para Hashemi *et al.* (2015), em um telhado verde há cinco componentes principais que são as membranas de impermeabilização, a camada de drenagem, a camada com filtro (em geral, de material geotêxtil), o solo que é o retentor de meio de crescimento e, por fim, as plantas que fazem parte do paisagismo, como observado na Figura 3.

Figura 3 - Camadas de um telhado verde



Fonte: Adaptado de Hashemi *et al.* (2015).

Nestas séries de camadas pode-se acrescentar barreira de raiz/ membranas anti-raiz e isolamento (Oberndorfer *et al.*, 2007, Berndtsson, 2010; Vijayaraghavan; Raja, 2014; Scharf, 2017).

3.3.2.1 Impermeabilização

A construção do telhado verde exige uma série de cuidados, um deles é a impermeabilização da área de contato da superfície com a estrutura existente no local. Os telhados verdes vêm se tornando cada vez mais interessantes para zonas urbanas devido às limitações que essas áreas têm. As “soluções azul-verdes” também podem ser incorporadas a este sistema de forma modificada, porém são necessários cuidados na execução que envolvem a construção de uma laje biologicamente ativa, mas com garantias de que a água não entre em contato com edifício durante a vida útil do telhado, (Andenaes *et al.*, 2018). Também existe uma

barreira anti-raízes sendo opcional em telhados verdes extensivos, mas já para os intensivos é obrigatória (Bar, 2019).

3.3.2.2 Substrato

Estudos têm demonstrado que existem muitos fatores que influenciam a capacidade de retenção do telhado verde e a redução do fluxo de pico, como espécies de plantas, tipos de substratos, espessura de substrato, inclinação do telhado, umidade do substrato e características pluviométricas (Hakimdavar *et al.*, 2014; Gong *et al.*, 2018; Shafique *et al.*, 2018; Vijayaraghavan *et al.*, 2019). Segundo Bar (2019), o substrato deve conter o mínimo de nutrientes possíveis, a fim de evitar o surgimento indesejável de ervas daninhas, e a contaminação das águas escoadas. A camada de substrato exerce uma influência direta no crescimento da vegetação e no desempenho de telhados verdes. O substrato também está relacionado com a qualidade da água escoada, redução do escoamento, melhora térmica e acústica do ambiente.

Quanto maior for a profundidade do substrato, mais redução no consumo de energia de aquecimento (Vera *et al.*, 2017). Scharf e Zluwa (2017) relatam que quanto maior a espessura do telhado mais eficiente, principalmente no inverno, ou seja, os telhados verdes contribuem para o isolamento térmico; mas a espessura, materiais, estações e camadas são fundamentais. A profundidade do substrato vai interferir na necessidade de irrigação (Reyes *et al.*, 2016, Morakinyo *et al.*, 2017). O estudo de Reyes *et al.* (2016) demonstrou que o aumento da profundidade do substrato é uma maneira eficiente de reduzir a temperatura na zona raiz das plantas. No entanto, nos mesmos módulos de profundidade de 5cm, é necessário o aumento da taxa de irrigação ou a melhoria da capacidade de retenção de água do substrato pois não manteve-se com temperaturas máximas de substrato abaixo de 50°C em dias com alta demanda atmosférica, diferentes dos telhados verdes com profundidade de 10 cm e 20 cm que mantiveram os níveis adequados e estáveis durante o período do estudo (Reyes *et al.*, 2016).

Scharf e Zluwa (2017) ao analisarem sete tipos de telhados verdes todos expostos a uma mesma condição climática (Sudoeste de Viena, Áustria) os resultados mostram que eles diferem consideravelmente um do outro. Com relação ao fluxo de calor máximo e mínimo do telhado com camada de 12 cm composto por

substrato e camada de cultivo composta por: argila expandida, tijolos esmagados, adubo, areia; e a drenagem de argila expandida, foi o que obteve uma resposta mais rápida com relação às condições climáticas ao ar livre, comparado com o de mesma espessura más com substrato construído com uma camada crescente de tijolos esmagados, adubo; e a drenagem com tijolos esmagados, obteve uma menor variação, e os de camada de 20 cm e 30 cm que utilizaram camadas crescentes de solo arenoso, composto, perlite; e a camada de drenagem de perlite apresentam o fluxo de calor estável. O estudo demonstra que não só apenas a espessura das camadas pode influenciar na temperatura, mas o tipo de material utilizado.

Para Kazemi e Mohorko, (2017), a escolha de um substrato correto de acordo com as condições climáticas, influencia na viabilidade da planta. Assim como a temperatura, as distribuições da chuva e a evapotranspiração que também são fatores importantes para o crescimento das plantas.

Difícilmente é encontrado um substrato que possua todas as características necessárias para um crescimento de vegetação, pois é necessária a mistura de vários componentes diferentes e com proporções adequadas, o substrato é o responsável pelo peso que o sistema irá possuir (Carvalho, 2018). A maioria dos substratos leves comerciais usados em telhados verdes frequentemente têm uma alta proporção de componentes inertes e redução do conteúdo de matéria orgânica (Getter; Rowe, 2006; Rowe *et al.*, 2006; Molineux *et al.*, 2015; Nektarios *et al.*, 2015).

Para Droz *et al.* (2021), ao longo do tempo, o telhado verde perde matéria orgânica, mas também pode haver uma grande entrada por meio de atividade microbiana, assim é necessário que haja um controle e observação do que vem ocorrendo com o solo.

3.3.2.3 *Vegetação e a influência do clima*

Quando o assunto é qualidade dos telhados verdes e quantidade de chuva, um dos componentes mais importantes e fundamentais é a vegetação. A escolha da vegetação certa influencia diretamente no desempenho do telhado verde (Seyedabadi *et al.*, 2021). Há poucos estudos que falam sobre a seleção de vegetação que tratem as diferenças entre os crescimentos e o controle de águas pluviais que cada tipo pode proporcionar. Em contrapartida, há muitos estudos que falam sobre a eficiência dos telhados verdes para a retenção de chuvas (Gong *et al.*,

2020). Segundo Morakinyo *et al.* (2017, p.226), o plantio de árvores e todas as formas de esverdeamento urbano é mais eficaz quando se fala em redução da temperatura da superfície do solo.

Um fator importante, segundo Bastos (2017), é a utilização do tipo de planta correta, pois isso influenciará tanto na aparência como nos custos de manutenção. Para a escolha tem-se que levar em consideração as condições climáticas do local, qual o tipo de telhado verde, bem como o modelo de telhado; para então fazer a escolha da vegetação adequada. Já está comprovado que quanto maior a profundidade, maior a taxa de sobrevivência da vegetação. Os telhados verdes extensivos são os mais procurados devido a pouca profundidade do substrato e a baixa manutenção, e devem apresentar como características: estética, vegetação nativa que melhor se adaptam ao clima local, crescimento rasteiro e raízes fasciculadas e rasas, que necessitem de pouca água e sem a necessidade de tratamentos como podas e controles de pragas.

A grama-amendoim (*Arachis repens*) é indicada por vários autores para uso em telhados verdes. Na cidade do Rio de Janeiro, a hortelã e o manjeriço se mostraram resistentes às mudanças climáticas além do conforto térmico, que reduziu em até 5°C a temperatura interna dos ambientes e aumento na taxa de retenção de água. Entre 19 espécies estudadas por Bastos (2017), foi observado que as plantas como: *Callisia repens*, *Chlorophytum comosum*, *Ophiopogon jaburan*, *Paspalum lepton* 01, *Portulaca grandiflora* e *Sansevieria trifasciata* apresentaram maior pegamento, persistência, uma maior capacidade de cobertura vegetal, além de proporcionar uma melhora na temperatura interna e, portanto potencial para uso em telhados verdes. Estas coberturas vegetais são mais apropriadas para a profundidade do substrato que foi de 0,07 m e 0,10 m e com excelente aparência, baixo custo com irrigação e nutrição do solo. Quando se trata de baixa disponibilidade hídrica, as espécies *Tradescantia Zebrina* e *Zoysia tenuifolia* foram as que apresentaram maior cobertura do solo. A *Bulbine frutescens* apresentou maior retenção de água sobre estresse hídrico em telhados verdes extensivos (Bastos, 2017).

Sabe-se que há uma variação climática nas diferentes localidades espalhadas pelo mundo. Sendo esse fator climático determinante para a escolha do tipo de vegetação. As condições climáticas, especialmente chuvas e temperaturas extremas, podem restringir o uso de determinadas espécies ou ditar o uso da

irrigação (Oberndorfer *et al.*, 2007; Kazemi; Mohorko, 2017). Extrema umidade e seca severa, temperaturas extremas (geralmente elevadas), altas intensidades de luz e altas velocidades do vento aumentam o risco de dessecação e danos físicos à vegetação e ao substrato (Dunnett; Kingsbury 2004). Há diferentes zonas climáticas existentes no mundo e não há ferramentas para aliviar as pressões nesses ambientes, ou seja, os telhados verdes com as tecnologias atuais ainda não são projetados regionalmente de forma adequada. Deve-se observar que regiões com precipitação pluviométrica ou distribuição de chuvas desigual necessitam de um projeto específico que aborde os climas locais (Kazemi; Mohorko, 2017).

A vegetação traz consigo inúmeros benefícios ambientais como: aumento da infiltração da água no solo, aumento da umidade relativa do ar e diminuição das temperaturas atmosféricas resultantes do processo de fotossíntese, além de retenção e filtração de partículas de poluição como o gás carbônico, um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa no planeta, muitas outras funções são exercidas pelas vegetações e a sua perda traz grandes consequências ao meio ambiente (Rennó; Soares, 2007; Carvalho, 2018).

A maioria dos telhados verdes utiliza plantas ornamentais, como *sedum*, alpinos e plantas costeiras ou arbustos, (Nagase; Dunnet, 2011; *Mechelen et al.*, 2015). É necessário que o tipo de vegetação esteja de acordo com as condições climáticas da região. A *portulaca grandiflora* é uma das espécies vegetais que possui características favoráveis ao clima do semiárido, como capacidade de suportar condições de seca, boa cobertura do solo, menor manutenção, multiplicação rápida, raízes curtas e suaves, ideal para aplicação do telhado verde (DDC, 2007). A *Frankenia laevis*, de acordo com Vestrella *et al.* (2018, p.10), é uma espécie semi-arbustiva onde sua raiz é fina e ocupa todo o substrato disponível, isso influencia no armazenamento de água sendo menor quando comparado com a *Dymondia margaretae* que consomem uma maior quantidade de água, no estudo a que obteve uma menor armazenagem foi a *Iris lutescens* dentre as três espécies estudadas.

Vegetações com alto índice de adaptação são as mais empregadas ao sistema de telhado verde é o caso das espécies de *sedum* é a mais reconhecida e aplicada (MacIvor; Lundholm, 2011; Blanusa *et al.*, 2013; Bastos, 2017; Eksi *et al.*, 2020). Tran *et al.* (2018, p. 126) relatam que o gênero *Sedum*, através de pesquisas e experiências industriais da Europa e da América do Norte, é adequado às condições de telhados verdes pois são suculentas e tolerantes a seca além de

sobrevivem em substratos de até 5 cm. Este tipo é resistente à poluição, curtas, mais resistentes ao vento, querem pouca água e poucos fertilizantes o que as torna uma das principais escolhas (Gong *et al.*, 2020). Em estudos anteriores realizados por Gong *et al.* (2018) e Gong *et al.* (2019), o *Sedum Lineare Thunb* é um tipo de erva perene que teve um bom desempenho além de estar sendo muito utilizada em todo o mundo, além desta a *Sedum spectabile* e *Sedum aizoon* L. foram os tipos de vegetações que melhor se saíram para telhados verdes de acordo com Gong *et al.* (2020), em seu estudo percebendo que cada tipo possuía uma característica diferente de crescimento e adaptação ao local e as condições climáticas de Pequim, apesar das três vegetações a do tipo *sedum* espora *Coccineum* foi a que não se adequou as camadas de vegetação de telhados verdes, em seu estudo relata que a implementação de plantas mistas com múltiplas espécies de plantas obtiveram os melhores resultados tanto no crescimento quanto na retenção de chuvas.

Vestrella *et al.* (2018) reportam que é importante entender a distribuição da biomassa, mas que ela por si só não explica o comportamento de várias espécies. Para algumas espécies vegetais comestíveis, uma alta proporção de matéria orgânica em substrato - representada como composto - poderia levar a uma diminuição nos parâmetros de crescimento ou produção de frutas, particularmente em condições secas (Nagase; Dunnet, 2011; Eksi *et al.*, 2015).

3.4 Vantagens

São muitos os benefícios que a vegetação pode proporcionar em ambientes urbanos como o controle da poluição atmosférica, onde possuem uma capacidade de absorver e remover gases poluentes por meio da respiração. Os telhados verdes vêm como forma de “florir” o ambiente, já que os grandes centros urbanos estão cheios de arranha-céus e muros cinzentos, altos níveis de ruídos (Aranha, 2016). A implementação de telhado verde promove: redução de águas pluviais urbanas, redução do efeito ilha de calor, redução do calor interno promovendo a redução do consumo de energia, melhoria da qualidade do ar através da limpeza de poluentes atmosféricos (Bastos, 2017; Mahmoud, *et al.*, 2017; Vestrella *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2021), captura do CO₂, absorção sonora (Mahmoud *et al.*, 2017), além de contribuir para a melhoria do paisagismo local (Aranha 2016; Bastos, 2017).

Quando analisado a dissipação de calor o telhado verde promove uma maior dissipação quando comparados com telhados nus, temperaturas internas, superficiais, além da externa tem pouca flutuação o que promove a economia de energia e redução de emissões de carbono (Hashemi *et al.*, 2015). Para edifícios uma das vantagens é o esfriamento dos mesmos através da evapotranspiração que ocorre no telhado verde, o que diminuiria bastante o uso de ar-condicionado (Liu *et al.*, 2021).

É comprovado que os sistemas de telhados verdes minimizam o escoamento superficial (Aranha, 2016). Uma das principais características é, de fato, a capacidade de reter parte da água da chuva para a superfície vegetada, tornando-se um coletor em um nível de telhado que reduz a quantidade de água diretamente impactando o nível do solo (Giacomello; Gaspari, 2021).

A importância desse sistema está atrelada aos inúmeros benefícios que ele traz ao local quando instalado, ele possibilita a reutilização da água da chuva, quando as suas composições têm a finalidade de trazer uma qualidade de reuso para a água após toda a sua percolação pelas diferentes camadas dessa estrutura (Vestrella *et al.*, 2018). A água recolhida pode servir para a irrigação do próprio telhado ou para produção de outros alimentos, além da maior armazenagem de água que pode ser utilizada para a evapotranspiração, é necessária uma gestão adequada da armazenagem da água (Cristiano *et al.*, 2021).

Com relação à deficiência alimentar que vem crescendo constantemente devido ao aumento populacional, Cristiano *et al.* (2021) falam que utilizar o telhado para agricultura pode ser uma solução para estes problemas principalmente em áreas urbanas; com implementação de vegetais podendo ser limitados devido o tipo detalhado.

3.5 Desvantagens

Os benefícios proporcionados por telhados verdes são evidentes, mas também existem desafios em seu uso que vão desde custo inicial da instalação e manutenções no decorrer do tempo, de acordo com Carvalho (2018), estes são uns dos principais fatores que limitam a sua implantação, os valores variam de acordo com o tipo de telhado, local e mão de obra necessária. Para uma instalação com cobertura vegetal em Washington, nos Estados Unidos uma área de 1795 m², Niu *et*

al. (2010) determinaram que o custo é 27% maior comparado com o telhado convencional, e se torna 25% menor considerando os benefícios em 40 anos. De acordo com Righi *et al.* (2016) em climas severos com radiações ultravioletas (UV) a proteção da membrana do telhado proporcionada pela cobertura vegetal faz com que durem até duas vezes mais que telhados tradicionais.

Para Silva, Siqueira e Aragão (2017) o custo inicial é elevado além da necessidade de mão de obra qualificada, pois quando mal instalados ocasionam custos adicionais. Quando mal cuidado, pode ocorrer o surgimento de pragas (Righi *et al.*, 2016). Para aproveitar a cobertura vegetal do telhado verde para produção alimentar, é necessário analisar o nível de poluição atmosférica local, uma vez que as plantas podem absorver poluentes como metais pesados (Silva, 2011).

De acordo com Bar (2019), apesar do uso de telhados verdes terem diversos benefícios, há também a necessidade de explorar materiais que possam substituir os polímeros usados no sistema de telhados verdes, pois o processo de confecção dele gera um grande volume de poluição ao meio ambiente. Além de ser observado que a água escoada dos telhados verdes acompanha a presença de metais pesados e outros contaminantes, quando instalado em regiões que apresentam emissões gasosas destes.

3.6 Utilização de resíduos e materiais recicláveis em telhados verdes ecológicos e sua viabilidade econômica

Os custos iniciais acabam afastando possíveis clientes devido à necessidade de mão de obra qualificada, análise estrutural e as camadas que o telhado verde necessita (Righi *et al.*, 2016). A população de baixa renda do Brasil são os que mais sofrem com o desconforto térmico em ambientes internos, e os telhados verdes com material alternativos pode ser uma medida acessível para amenizar este problema (Krebs; Johansson, 2021). Para tornar o telhado verde acessível principalmente para famílias de baixa renda, deve-se utilizar matéria-prima de baixo custo (Vilarim *et al.*, 2020), e tornar ainda mais sustentável e de fácil manutenção.

Para a diminuição de impactos da construção de telhado verde, existe a possibilidade da utilização de materiais alternativos, de fácil acesso e disponíveis no local da implantação, isso acarretaria a diminuição da emissão do carbono

provocado tanto pela fabricação como pelo transporte (Eksi *et al.*, 2020; Nagase, 2020).

Os plásticos industriais em sua maioria são de origem sintética. O PR (Bakelite) um dos primeiros plásticos sintéticos começou a ser comercializado a partir de 1910, depois foram surgindo o PVC, PMMA e PS e muitos outros através do desenvolvimento da química dos polímeros (Mano; Mendes, 2004). As propriedades que os diversos tipos de polímeros apresentam são determinantes para a escolha das aplicações desses materiais (Rodrigues, 2018). A garrafa de Politereftalato de Etileno (PET) é possui longo período de decomposição, e o seu descarte inapropriado em aterros sanitários em mananciais hídricos traz várias consequências negativas para o meio ambiente (Rocha, 2020).

De acordo com o infográfico do 11º senso Abipet em 2019 em relação à reciclagem do PET, o Brasil teve um aumento de 12% quando comparado com 2018. Foram cerca de 311 mil toneladas de PET reciclados pós-consumo em 2019 isso equivale a 55% das embalagens descartadas pelo consumidor. Com a participação de mais de 160 indústrias dividida em três grupos; 22% recicladores (apenas recicla o material PET), 8% de integrados (reciclam e aplicam) e 70% aplicadores (apenas aplica em seus produtos). Estudos realizados pela WWF (2019) constataram caso não for feito algo com relação ao volume de plástico descartado as consequências serão drásticas, estima-se que até 2030 será encontrado a cada km² cerca de 26 mil garrafas plásticas lançadas ao mar.

Garrafas de PET podem ser recicladas ou reutilizadas como base para substratos e vegetações de telhados ecológicos (Pereira Júnior; Silva, 2011). São descartadas em grande volume no meio ambiente, de fácil aquisição, de baixo custo contribuindo assim com a preservação ambiental (Rocha, 2020). Além de ser uma alternativa para comunidades de baixa renda aderir esta modalidade por ser de baixo custo e poder proporcionar retorno financeiro (Vilarim *et al.*, 2020).

3.6.1 Garrafas politereftalato de etileno (PET) no arranjo do telhado verde ecológico

Quando o assunto é sobre os benefícios de uma cobertura vegetal é preciso ser crítico de imediato, pois é necessário estar atento aos materiais que serão utilizados se vão trazer benefícios e melhorias urbanas ao meio ambiente ou malefícios, se a sua composição é com materiais não reciclados, reciclados ou

reaproveitados, lembrando que do ponto de vista ambiental um telhado verde que venha ser desenvolvido com materiais reciclados ou reaproveitados é uma solução dupla (mendonça, 2015). Manhães e Araújo (2014) relatam sobre saber utilizar tanto os materiais como os recursos sustentáveis em todos os sentidos como na utilidade, vida útil e estar atento à forma que este nasceu.

O desempenho do telhado verde com relação ao conforto térmico é satisfatório de acordo com diversos autores (Cortés; Castillo, 2011; Panziera *et al.*, 2015; Santos, 2016; entre outros), como destacado em estudo realizado por Panziera *et al.* (2016), ao comparar a temperatura entre os telhados montados com politereftalato de etileno, policloreto de vinila e o convencional de fibrocimento (Figura 4), o de garrafa obteve uma redução na temperatura de 0,5 e 3,°C quando comparado aos outros respectivamente.

Figura 4 - Módulos experimentais construídos utilizando 3 tipos de cobertas diferente



Fonte: Panziera *et al.* (2016).

Cortés e Castillo (2011) realizaram estudos em um telhado de uma casa localizada no bairro La Isla (setor Altos de Cazucá, município de Soacha, Cundinamarca). Os resultados foram positivos quanto às condições de habitabilidade. Segundo os autores, esse sistema que pode ser utilizado em diferentes regiões, com diferentes tipos de vegetações e substrato que sejam adequados às condições climáticas. O sistema montado pelos autores pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Aplicação de telhado ecológico em cobertura com telha de fibrocimento



Fonte: Cortés (2011).

Funfgelt *et al.* (2012) realizaram estudos utilizando garrafas PET como base para o substrato e obteve resultados satisfatórios com relação a queda na temperatura interna do ambiente, o modelo construído pelos autores é demonstrado na Figura 6.

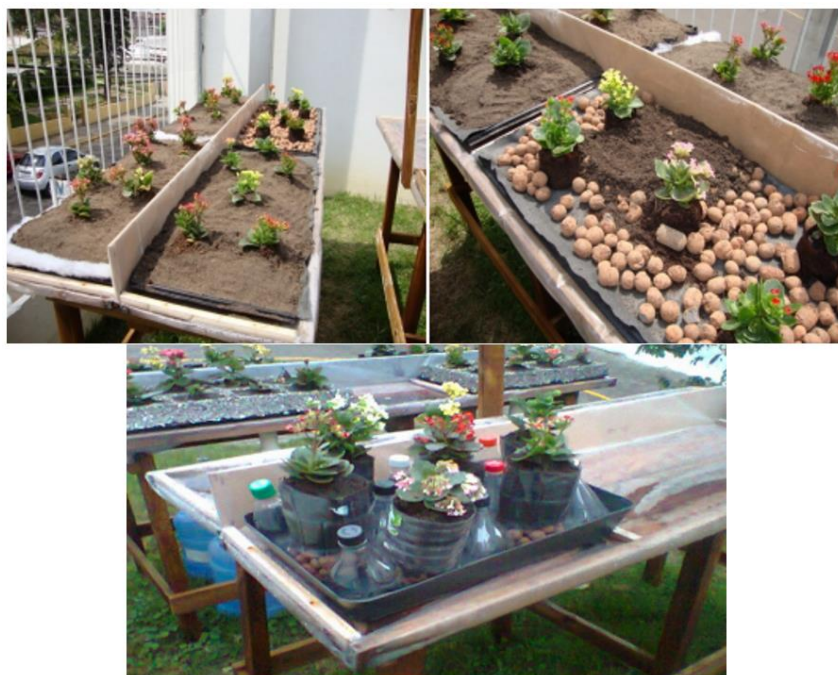
Figura 6 - Garrafas PET utilizada como base para o substrato



Fonte: Funfgelt *et al.* (2012).

Em estudos realizados com garrafas PET por Jobim (2013), dentre os tipos estudados este foi o menos eficiente com cerca de 4,5 mm/m² de armazenamento de água a menos que os demais com redução de escoamento de 22%. O formato montado pelos autores é visto na Figura 7.

Figura 7 - Telhado construído com sistema reciclável desenvolvido com garrafas PET



Fonte: Jobim (2013).

Com relação à retenção de chuva Martins e Pinto (2013) obtiveram resultados satisfatórios chegou atingir 86,59% utilizando argila e 80,22% com brita, acima do que é citado na literatura é 65%, a Figura 8 mostra como foi montado à parte do substrato utilizando garrafas PET.

Figura 8 - Substrato construído com garrafa PET



Fonte: Martins e Pinto (2013).

Soto *et al.* (2020) construíram uma sala utilizando garrafas PET cheias de solo de barro do local utilizando cerca de 5 mil garrafas PET. O resultado com relação ao comportamento térmico avaliado do protótipo demonstrou temperaturas regulares, com isolamentos térmicos bons.

No Japão foram feitos estudos com diferentes aplicações e diferentes tipos de

materiais (Figura 9) reutilizados aplicados no substrato e na camada de drenagem de telhado vegetado, em busca de telhados verdes sustentáveis e baratos. Com as tampas das garrafas e nódulos de bambu foram feitas as camadas de drenagem que podem sustentar coberturas de grama e do substrato de cocopeat (Nagase, 2020).

Figura 9 - Diferentes tipos de camadas de drenagem



Fonte: Adaptado de Nagase (2020).

Rocha (2020) em sua pesquisa relata ser possível a implementação de telhados ecológicos de baixo custo utilizando garrafas PET, de fácil aplicação e manutenção e sem perder os benéficos do telhado verde tradicional, o modelo confeccionado é observado na Figura 10.

Figura 10 - Telhado ecológico com garrafas PET



Fonte: Rocha (2020).

No Quadro 1 e 2, são apontados estudos que utilizaram materiais alternativos para confecção de telhados verdes ecológicos. Como pode ser observado, em todo o mundo há uma grande preocupação em desenvolver um protótipo mais sustentável. Observa-se que os benefícios em conforto térmico, capacidade de drenagem, qualidade do ar e acústica são mantidos com a mudança de material utilizado.

Quadro 1 - Estudos de telhados verdes com materiais alternativos no Brasil

Local	Materiais/resíduos utilizados	Principais resultados	Referência
Jardim América, Rio do Sul, Brasil	Garrafa PET	Dos 8 protótipos construídos 6 receberam o telhado verde. Os protótipos que foram confeccionados com garrafa PET apresentaram melhores resultados com relação à queda da temperatura no local.	Funfgelt <i>et al.</i> (2012)
Santa Maria, RS, Brasil	Garrafas do tipo PET (2L)	O sistema reciclável da forma que foi confeccionado no estudo, não obteve bons resultados com relação à redução do escoamento e armazenamento de água, isso comparado com os 4 tipos estudados.	Jobim (2013)
Santa Maria, RS, Brasil	Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e garrafa PET	Dentre os 3 tipos de telhados desenvolvidos o de garrafa PET foi o mais eficaz na redução do ganho de calor sensível nas temperaturas máximas.	Panziera <i>et al.</i> (2015)
Santa Maria, RS, Brasil	Garrafa PET	Foram estudados 3 modelos diferentes, analisados água retida nos substratos, o escoamento de águas, adaptação da vegetação e carga total. O modelo contendo garrafas tipo PET obteve resultados satisfatórios em relação aos demais, sendo considerada útil, eficiente, e mais leve.	Martins e Pinto (2016)
Caruaru, PE, Brasil	Garrafas do tipo PET (2L)	Foram obtidos resultados satisfatórios na minimização da amplitude térmica no modelo desenvolvido de telhado verde ecológico principalmente nos horários mais quentes do dia, comprovando sua eficácia.	Rocha (2020)

Fonte: Autora (2023).

Quadro 2 - Estudos de telhados verdes com materiais alternativos no mundo

Local	Materiais/resíduos utilizados	Principais resultados	Referência
Soacha, Cundinamarca, Colômbia	Garrafa PET (3L)	Os resultados foram positivos quanto às condições de habitabilidade. Proporcionou uma redução da temperatura no ambiente e aumento na umidade relativa. O sistema pode ser implementado em diferentes regiões com as devidas adequações de vegetação e substrato encontradas na região, podendo ser fabricado por pessoas da comunidade em pouco tempo e de fácil reparo.	Cortés e Castillo (2011)
Chennai, Índia	Substrato composto por vermiculita esfoliada, perlita expandida, tijolo triturado, areia e turfa de coco.	Substrato utilizando diferentes materiais de baixo custo, para melhorar a qualidade do escoamento, os resultados apresentaram alta eficiência na remoção dos íons de metais pesados como Al, Fe, Cr, Ni, Pb, Zn e Cd.	Vijayaraghavan e Raja (2014)
Chiba, Japão	No substrato foi usado cocopeat; na camada de drenagem foram utilizados resíduos de bambu de moso e tereftalato de	Os materiais reutilizados (cocopeat, garrafa PET e bambu) foram considerados bons para ser comercializados em telhados verdes.	Nagase (2020)

	polietileno de alta densidade (PET).		
Santiago de Cali, Colômbia	Materiais utilizados na camada de drenagem: Cascalho de basalto (material típico), borracha reciclada dos pneus, garrafas de polietileno reciclado (PET) e bandejas de polietileno reciclado de alta densidade (HDPE).	Com relação ao fluxo máximo de volumes de água de escoamento todos os telhados verdes estudados demonstraram um enorme potencial em reduzir a temperatura, os telhados verdes com materiais reciclados e reutilizados também contribuem com a redução do peso da carga morta.	Naranjo <i>et al.</i> (2020)
Sanfandila, Pedro Escobedo, Queretaro, México	Paredes construídas com garrafa PET com solo e o telhado construído com várias camadas de materiais reciclados (sacos plásticos usados, garrafa PET, papelão usado).	O protótipo demonstrou temperaturas reguladas e bom isolamento térmico ao comparar ambientes internos e externos. Os materiais de construção demonstraram bom isolamento. Especificamente, o projeto do telhado e materiais que permitiram o isolamento térmico e imitavam o ambiente.	Solto <i>et al.</i> (2020)

Fonte: Autora (2023).

Há uma preocupação tanto nos estudos realizados no Brasil como em muitos outros países utilizar matérias recicláveis na composição do telhado verde afim de torna essa técnica ainda mais sustentável como podemos observar no Quadro 1 e 2.

- **Viabilidade econômica dos telhados verdes ecológicos**

Com a utilização de garrafas PET pode-se reduzir os gastos iniciais de forma significativa tanto na implementação, manutenção e no peso do sistema (Rocha, 2020). Como destacado por Visentin, Neckel e Brenda (2015) e Leonardo (2021), a garrafa PET traz uma estrutura de aplicação prática, de fácil manuseio e baixo custo, tornado o telhado verde ecológico uma alternativa sustentável, que pode servir como fonte alimentar para cultivos de legumes e vegetais, e proporcionar conforto térmico às edificações. A implementação de telhados ecológicos que reutilizam resíduos sólidos envolve aspectos econômicos, sociais e ambientais.

3.7 Indicadores físico-químicos de qualidade da água

A água coletada das chuvas no telhado verde pode ser reutilizada para fins não potáveis, por exemplo, em funções domésticas, para irrigação entre outras. Porém, é necessário que haja uma investigação profunda da qualidade e

características dessa água, pois a mesma pode conter impurezas que podem ser encontradas em três estados: suspensão, coloidal e dissolvidos (Richter; Azevedo Netto, 2007; Cristiano *et al.*, 2021). Para saber qual o grau de poluição da água as análises de cloretos, nitritos, nitratos e teor de oxigênio dissolvido são alguns dos parâmetros que precisam ser investigados (Richter; Azevedo Netto, 2007).

3.7.1 Cor

A presença de matéria orgânica natural interfere na cor da água superficial e subterrânea. Ácidos húmicos e tanino que são originados de decomposição de vegetais são os que dão cor a água, mas não apresenta risco a saúde (Richter; Azevedo Netto, 2007). Quando se tem material húmico presente para abastecimento de água potável é removido por questões estéticas (Baird, R., & Bridgewater, L. 2017).). Quando o pH é baixo é mais fácil a remoção da cor (Richter; Azevedo Netto, 2007). Para Paterniani e Pinto (2001), há duas classificações para a cor da água, a verdadeira e a aparente. A cor verdadeira é devido à matéria dissolvida de difícil remoção, que requer tratamentos complexos, e a cor aparente é devida à presença de materiais em suspensão. A cor pode ser reduzida por meio de processos físicos (filtração).

3.7.2 Turbidez

A turbidez é causada pela presença de matérias orgânicas e inorgânicas em suspensão, tais como: argila, carbonatos, animais, silte, plânctons entre outros (Paterniani; Pinto, 2001). Além da descarga de esgoto doméstico, industrial e a presença de um grande número de micro-organismos, até mesmo por bolhas de ar formadas em algumas redes de distribuição e nas próprias instalações domiciliares. Devido à quantidade de partículas presentes na água provoca a dispersão e absorção da luz, tornando-a indesejável e perigosa (Richter; Azevedo Netto, 2007). Por ser fácil e rápida a determinação desse parâmetro de qualidade, é frequentemente usado em sistemas de tratamento de água (Paterniani; Pinto, 2001).

3.7.3 pH

Através das medidas de concentração de íons H^+ , a determinação do pH é importante para informar sobre contaminações de origem ácida ou básica em amostras de água (Von Sperling, 2005).

Para Hashemi *et al.* (2015), na mídia de crescimento de telhados verdes, geralmente, o pH é maior do que na precipitação, mas em áreas urbanas pode-se ser importante na redução da acidificação dos corpos naturais da água, ou seja, o escoamento de chuvas ácidas em telhados verdes podem ser neutralizadas. Considerando que a água da chuva possui normalmente um pH de 5 a 6 a depender da poluição atmosférica pode ser ainda menor.

3.7.4 Condutividade elétrica

Na determinação de condutividade elétrica quanto maior a concentração de sais, maior a corrente elétrica (Richter; Azevedo Netto, 2007). Para a função de concentração total de sais solúveis da condutividade elétrica divide-se em quatro classes que são: classe 1 – água com baixa salinidade (0 a 250 $\mu\text{ohos/cm}$ a 25°C); classe 2 água de média salinidade (250 a 750 $\mu\text{ohos/cm}$ a 25°C); classe 3 água com salinidade alta (750 a 2250 $\mu\text{ohos/cm}$ a 25°C) e a classe 4 – água com salinidade muito alta (2250 a 5000 $\mu\text{ohos/cm}$ a 25°C). Há também quatro classes de baixa até muito alta a concentração de sódio é expressa através da Relação Adsorção de Sódio (RAS) (Paternian; Pinto, 2001).

3.7.5 Sólidos dissolvidos totais

Há dois tipos de sólidos totais o filtrável e o não filtrável, ou seja, o sólido em suspensão e o dissolvido sucessivamente (Von Sperling, 2005). O que caracteriza este parâmetro é a quantidade de material em suspensão na água, altas concentrações torna a água imprópria para uso doméstico e industrial, por meio dos efeitos fisiológicos, econômicos e estéticos. O processo de corrosão pode ocorrer devido a sais minerais (sulfatos e cloretos), promovendo danos aos sistemas de tubulações de abastecimento (Paterniani; Pinto, 2001).

3.7.6 Alcalinidade

A alcalinidade tem finalidade de manutenção e estabilidade do PH da água, ela indica a quantidade de íons na água que reagem para neutralizar íons de hidrogênio, seus principais constituintes são: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. O Carbonato de cálcio (CaCO_3) deve ser igual ou superior a 20 mg/L (BRASIL, 2014).

3.7.7 Nitrogênio e nitrato

O solo e os fertilizantes utilizados são os principais componentes para a concentração de nitrogênio presente na água (Cristiano *et al.*, 2021). Além dos fertilizantes, Paterniani e Pinto (2001) relatam que despejos industriais, domésticos e excrementos de animais podem aumentar a concentração deste parâmetro de qualidade. Há cinco formas do nitrogênio que são: amônia (NH_3), nitrogênio molecular (N_2), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), e nitrogênio orgânico, todos podem estar presentes na água. O excesso de nitrato na água pode acarretar sérias consequências à saúde humana podendo causar a morte de crianças por meio da doença metahemoglobinemia.

Ao analisar o escoamento de telhado verde em diferentes publicações, Hashemi *et al.* (2015) indicaram que as cargas das diferentes formas de nitrogênio são menores, assim como há pesquisadores que falam sobre haver um aumento significativo. Mas isto devido ao tipo de telhado (intensivo ou extensivo) tipo de substrato entre outros fatores.

3.7.8 Fósforo e fosfato

O fósforo assim como o nitrogênio pode ter as mesmas origens: de forma natural que é por meio de decomposições de matéria orgânica no solo, despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes, sendo encontrado na água na forma ortofosfatos, o mais comum é HPO_4^{2-} (Paterniani; Pinto, 2001). O fósforo para Droz *et al.* (2021), com tempo diminuirá no solo precisando de fertilizantes, pois as plantas dependem dele para estimulação do crescimento das vegetações, só que isto pode provocar problemas com relação a qualidade da água se em excesso, telhados antigos tendem a ter um nível inferior de fósforo do que

quando comparados com telhados recentes, mas essa mudança será pouco notada se houver a fertilização do telhado verde.

Tabela 1 - Eutrofização com relação ao fósforo total

Grau de eutrofização	Concentração de P total (mg/L)
Não eutrófico	<0,01 e 0,02
Estágio intermediário	Entre 0,02 e 0,05
Eutrófico	>0,05

Fonte: Paterniani e Pinto (2001).

3.7.9 Sulfato e cloreto

A presença de sulfato é prejudicial no tratamento de águas, pois pode provocar a redução de sulfeto em meio anaeróbico o que provoca problemas com o odor, toxicidade e corrosividade. O sulfato pode ser gerado se assimilado diretamente por diversos organismos heterotróficos como algas e vegetais incorporados a aminoácidos sulfurados (Batista, 2013).

A quantidade maior de cloreto está presente nos oceanos, ele é distribuído em forma de sais de sódio (NaCl), potássio (KCl), e sais de cálcio (CaCl₂), encontrados nas águas geralmente por dissolução dos depósitos de sal, infiltração das águas marinhas em águas costeiras, exploração de poços petrolíferos, e pelas descargas de efluentes das indústrias químicas. Problemas relacionados a altas concentrações são: restrições em seu uso pelo sabor e em indivíduos não acostumados podem provocar o efeito laxativo (BRASIL, 2014).

3.7.10 Ferro

A origem do ferro e do manganês na água dar-se por meio de compostos no solo ou de despejos industriais, sendo encontrados de formas insolúveis, a remoção é feita de forma física com a filtração que remove aqueles que estão precipitados, é necessário promover a introdução de oxigênios dissolvidos promovendo a oxidação desses metais na água (Paterniani; Pinto, 2001).

3.7.11 Dureza

A concentração de cátions metálicos divalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} refere-se geralmente a dureza, que pode ser carbonato e não carbonato, isso vai depender do ânion a qual está associado. Dependendo para qual finalidade for utilizado, não causam consequências sanitárias, mas por outro lado, ficam com um sabor desagradável e dificuldade na formação de espumas quando é usado em sabão. E, quando utilizado para irrigações podem provocar o aumento de perda da carga do sistema hidráulico principalmente em regiões com temperaturas elevadas (Paterniani; Pinto, 2001).

3.7.12 Carbonatos e bicarbonatos

Por meio da determinação da alcalinidade da água, dá para saber se há carbonatos ou bicarbonatos na água, ou seja, quando o pH está entre 4,4 e 8,3 indica que o bicarbonato está presente. E entre 8,4 e 9,4 é o carbonato e o bicarbonato que estão presentes e acima disso, os principais constituintes são os hidróxidos e carbonatos (Von Sperling, 2005).

3.7.13 Cálcio, sódio, magnésio

O cálcio, potássio, sódio além do magnésio fazem parte dos cátions dissolvidos na água. E os que estão com mais frequência na dureza da água são o cálcio e magnésio que pode advir de forma natural como, por exemplo, de rochas calcárias ou pelo lançamento de efluentes industriais (BRASIL, 2006). Em águas naturais o cálcio é considerado o principal cátion, de acordo com Piratoba *et al.* 2017, a alcalinidade, dureza, sódio, cor, condutividade, STD, pH e o potássio sofrem influências significativas com relação a interação da sazonalidade e localização. Já o cloreto, cálcio e a temperatura não sofrem influências.

O sódio é considerado como um dos elementos mais abundantes no planeta, sendo solúvel em água e como os demais elementos ele pode ser encontrado de forma natural ou antrópica. O que provoca variações de concentração do sódio é: descargas de efluentes, sais nas rodovias, geologia local, e fertilizante (Piratoba *et al.*, 2017).

3.8 Qualidade da água escoada dos telhados verdes ecológicos

A água é um excelente solvente, possui mais de 33 substâncias distintas, quimicamente falando, são cerca de 95% de toda água do planeta salgada e 5% doce e apenas 0,3% que está diretamente aproveitável, mas com predominâncias em águas subterrâneas. Na água há impurezas que podem ser nocivas, indesejáveis e extremamente perigosas, são encontrados vírus, bactérias, parasitas, substâncias tóxicas e até elementos radioativos (Richter; Azevedo Netto, 2007).

As impurezas da água são determinadas pela natureza e composição do solo pela qual ela escoar (Richter; Azevedo Netto, 2007), também pelo arraste de contaminantes atmosféricos em regiões de alta atividade industrial ou altas emissões de gases de S, N. A qualidade da água está relacionada com a qualidade da fonte, isto é, depois da exposição ao contaminante e ao local de percolação, seja em solos ou em ambientes construídos (Hashemi; Mahmud; Ashraf, 2015; Bar, 2019). Como em áreas urbanas o escoamento mais comum é de águas pluviais, contendo: metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, pesticidas, sólidos suspensos e microrganismos patogênicos. Já nos telhados verdes geralmente contém formas de fósforo e alguns metais pesados, mas em muitos casos não é visto a água de entrada, ou seja, a chuva, e sim apenas a de saída após a percolação. Na maioria dos casos é notada uma redução da poluição quando comparados com águas pluviais, mas se ocorrer de forma contrária o telhado é considerado uma fonte de poluição (Bar, 2019).

Os telhados verdes estão atrelados aos benefícios ambientais que vem crescendo constantemente, mas a atenção dada à qualidade da água de escoamento é mínima. Essa qualidade é determinada pela exposição a contaminantes contidos em superfícies construídas e também pelo solo utilizado para a sua confecção (Berndtsson, 2010). É importante levar em consideração a escolha de um substrato que seja apropriado, pois o telhado verde para ter sucesso depende do ambiente de cultivo hostil (Vijayaraghavan; Franklin, 2014; Hashemi *et al.*, 2015).

Assim, é necessário levar em consideração e analisar, de forma cuidadosa, a qualidade da água, pois ela pode tornar-se uma fonte de poluição (Loiola; Mary; Silva, 2019). De acordo com Seidl *et al.* (2013) e Gromaire *et al.* (2013), o

escoamento da água de telhados verdes pode produzir um maior nível de nitrogênio orgânico, fosfato, carbono, além de metais. Os Telhados verdes têm potencial para atuar como pia para vários metais (Ca, Mg, Al, Fe, Cr, Ni, Zn, Pb e Cd) e neutralizar a natureza ácida da água da chuva (vijayaraghavan; Joshi, 2014).

Foi confirmado que os telhados verdes mitigam significativamente a geração de escoamento de águas pluviais – mesmo em um clima mediterrâneo – em termos de redução de volume de escoamento, atenuação de pico e aumento do tempo de concentração, embora o desempenho reduzido possa ser observado durante períodos de alta precipitação, (Principi *et al.*, 2010). Já para Hashemi, Mahmud e Aqueel Ashaf (2015), quando se fala em termos de mitigação de escoamento e também modificação da qualidade da água, telhados verdes intensivos funcionam muito melhor do que telhados verdes extensos. O telhado verde tem um efeito considerável – tanto positivo quanto negativo – na qualidade da água de escoamento. Isso depende claramente do caráter do segundo turno: quanto mais lenta a taxa de escoamento, maiores as concentrações do total N, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e material orgânico (depois de BOD7 e COD) na água do escoamento (Teemusk e Mander, 2007).

Mas as variações de flutuação sazonal na química da água de escoamento podem ocorrer tanto em ecossistemas naturais com vegetação e em ecossistemas de telhado verde devido às mudanças na produtividade da planta, onde alguns processos dependem da temperatura e da luz um exemplo é a atividade microbiana (Buffam; Mitchell; Durtsche, 2016). De acordo com Gregoire e Clausen (2011), os telhados verdes extensos reduzem o escoamento de águas pluviais, cerca de 34% a 69% são retidas da evapotranspiração e 56% de retenção média da precipitação, esses valores podem variar de acordo com a época do ano.

A utilização de fertilizantes pode implicar na concentração de nutrientes na água sendo necessária uma atenção com relação ao momento adequado, devendo ser evitados pouco antes ou na estação chuvosa, havendo ainda variação entre fertilizante convencional que causa maiores concentrações de nutrientes do que o fertilizante de liberação controlada (CRF). Para o momento de estabilização das plantas elas necessitam de fósforo, já para proporcionar um crescimento mais rápido ela necessita de um aumento de nitrogênio (Hashemi *et al.*, 2015). Em estudo realizado por Liu *et al.* (2021)d, com relação a demanda química de fósforo total, oxigênio, nitrogênio total, e nitrogênio de amônio, a qualidade da água na descarga

doméstica de águas residuais cumpriu com os limites. Assim águas residuais podem ser utilizadas para a irrigação do telhado verde que contribuem tanto para o tratamento de águas residuais e minimização da carga de águas residuais municipais, uma alternativa sustentável e econômica.

Não há uma norma ou diretriz a respeito da qualidade da água escoada de telhados verdes, mas há normas e legislações que tratam da qualidade da água, que serve como referência para a comparação (Bar, 2019), como a resolução CONAMA (2005) nº 357 de março de 2005 traz classificações dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento além de estabelecer condições e padrões de lançamento de efluentes, dando outras providências; Portaria nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011, compõem os procedimento de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade; NBR 15.527(ABNT, 2007) que fala dos requisitos com relação ao aproveitamento de água de chuva de cobertas em áreas urbanas para fins não potáveis; NBR 13969 (ANBT, 1997) refere-se à construção e operação de tanques sépticos, que são unidade de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos; e a Embrapa que trata da qualidade da água de irrigação escrito por Almeida, 2010. No Quadro 3 tem-se os parâmetros analisados da qualidade da água percolada de telhados vegetados de diferentes locais e climas. Listado em ordem crescente das publicações realizada iniciando em 2011 até os dias atuais.

Quadro 3 - Parâmetros analisados da qualidade da água percolada de telhados vegetativos

Local	Clima	Vegetação	Parâmetros analisados	Principais contribuições	Referências
Broadway, Portland, Estados Unidos	Oceânico temperado	Sedum hispanicum e azevém (<i>Lolium perenn</i>)	SDT; SS; NO_3^- ; NT; PO_4^{3-} ; PT; CIT; P; COT; e Tu.	A adição de 7% de biochar em peso ao solo controle resultou em uma melhoria da qualidade da água. Diminuição nas concentrações de NO_3^- , NT, P, PT e Tu.	Beck; Johnson e Spolek (2011)
Storrs, Connecticut, Estados Unidos	Continental úmido fresco	Sedum álbum 'Murale'; sedum foresterianum subsp. Elegans 'Silver Stone'; Sedum kamtschaticum; Sedum kamtschaticum var. floriferum 'Weihenstephaner Gold'; Sedum	N org; NO_3^- + NO_2^- -N; PT; PO_4^{3-} -P; Cu-T; Cu-D; Pb; Zn-T; Zn - D; Cd; Cr, Hg - T; e Hg - D.	O telhado verde atuou como sumidouro para $\text{NH}_3\text{-N}$, Pb e Zn, com menor retenção de N. No entanto, o telhado verde foi fonte de NO_3^- + NO_2^- -N PT, PO_4^{3-} -P e Cu. O fertilizante do Harrel usado no telhado verde era uma provável fonte de Cu.	Gregoire e Clausen (2011)

		reflexum; Sedum selskianum; Sedum sexangulare; Sedum spurium Dragons Blood'; Sedum spurium 'Fuldaglut' e Sedum spurium 'John Creech'.		De forma geral o telhado verde foi eficaz na redução de carga poluente na maioria dos contaminantes da qualidade da água.	
Caruaru, Pernambuco, Brasil	Semiárido quente	Cynodium dactylum (grama-de-burro) e Melocactus zehntneri (cacto coroa-de-frade).	Cor (aparente e real); ST; SDT; Tu; Temp; pH; alcalinidade total; Dur; Cl-; Fe – T; NO ₂ ⁻ ; NO ₃ ⁻ ; NH ₃ ; PO ₄ ³⁻ , CE; N; e OD.	As principais alterações observadas foram na cor, Tu, NO ₃ ⁻ e PO ₄ ³⁻ . Apesar das alterações apresentadas, devido principalmente à passagem pelo substrato, a água escoada dos telhados verdes pode ser empregada em usos menos nobres, como lavagem de pisos e irrigação de jardins.	Farias (2012)
Kent Ridge, Cingapura, Cingapura	Tropical úmido	Sedum mexicanum	pH; C; as; Na, K; Ca; Mg; Al; Fe; Cu; Cd, Pb; Zn; Mn; Cr; Ni; Li; Co; NO ₃ ⁻ ; NO ₂ ⁻ ; PO ₄ ³⁻ ; SO ₄ ²⁻ ; Cl-; F ⁻ ; Br; e – – NH ₄ ⁺ .	Alguns dos componentes importantes presentes no escoamento incluem Na, K, Ca, Mg, Li, Fe, Al, Cu, NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ e SO ₄ ²⁻ . As concentrações dependem da natureza dos substratos usados no telhado e do volume de chuva, sendo considerados eficazes na qualidade da água, exceto quando o escoamento contém quantidade significativa de NO ₃ ⁻ e PO ₄ ³⁻ .	Vijayaraghavan; Joshi e Balasubramanian (2012)
Caruaru, Pernambuco, Brasil	Semiárido quente	Aloe vera (Babosa) e Melocactus zehntneri (Coroa-de-Frade).	Alcalinidade Total; Cl ₂ ; Cl-; CE; Cor Aparente, Cor Verdadeira, Dur – T; Fe – T; NH ₃ ; NO ₃ ⁻ ; NO ₂ ⁻ ; – – NH ₃ ; OD; pH; PO ₄ ³⁻ ; Sa; SDT; Temp; Tu.	Verificou-se que, de fato, o tipo de substrato utilizado, influência na qualidade físico-química e bacteriológica da água percolada pelos telhados verdes. Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa, a água escoada pelos telhados verdes, não se enquadraram nos padrões exigidos pelas normas estudadas. Sendo assim sua utilização com fins de reuso só pode ocorrer com a utilização de algum tipo de tratamento, mesmo que simples.	Lima (2013)

Curitiba, Paraná, Brasil	Temperado úmido ou sub-tropical com verão temperado	Zoyzia Japônica (Gramma Esmeralda)	pH; Tu; OD; temp; DQO; N – NH ₃ ; NO ₂ ⁻ ; NO ₃ ⁻ ; PO ₄ ³⁻ ; coliformes totais; e (E. Coli).	O telhado verde diminuiu a acidez natural da água da chuva. Teve altas concentrações de Tu, PO ₄ ³⁻ coliformes totais e E.Coli. As águas dos telhados podem ser usadas para fins não potáveis depois de feita a desinfecção para eliminar a possibilidade de agentes patogênicos.	Budel (2014)
Chennai, Índia	Tropical Semiúmido	Portulaca grandiflora	pH; C; SDT; Na; K; Ca; Mg; Al; Cd; Cu; Cr; Fe; Ni; Pb; e Zn.	A lixiviação do substrato nos estágios iniciais apresentou alta C e valores de SDT, e presença significativa de Na, K, Ca e Mg. A medida que o tempo avançou, o substrato apresentou alta eficiência na remoção de Al, Fe, Cr, Ni, Pb, Zn e Cd superiores a 97%.	Vijayaraghavan e Raja (2014)
Chennai, Índia	Tropical Semiúmido	Portulaca grandiflora	pH; C; SDT; Na; K; Ca; Mg; Al; Cd; Cu; Cr; Fe; Ni; Pb; e Zn.	Telhados verdes têm potencial para atuar como filtro para vários metais (Ca, Mg, Al, Fe, Cr, Ni, Zn, Pb e Cd) e neutralizar a natureza ácida da água da chuva. O telhado pode melhorar a qualidade da água, com potencial de estabilização do pH, desde que seja feita a escolha certa tanto do substrato quanto da vegetação.	Vijayaraghavan e Joshi (2014)
Subúrbio norte de Adelaide, Austrália do Sul	Quente do Mediterrâneo	Brachyscome multifida (Margarida de folhas cortadas); Chrysocephalum apiculatum (Eterna); Disphyma crassifolium (Cara de porco de folhas redondas)	pH; Tu; CE; SDT; NO ₃ ⁻ ; NO ₂ ⁻ ; NH ₄ ³⁻ ; PO ₄ ³⁻ ; K; Na; Mg; e Ca.	Os telhados sem vegetação apresentaram maiores índice de poluição. A água coletada de acordo com a norma pode se reutilizada para irrigação da paisagem urbana e para outros fins não potáveis, como lavagem de banheiros.	Beecham e Razzaghmanesh (2015)
Subúrbio norte de Adelaide, Austrália do Sul	Quente do Mediterrâneo	Brachyscome multifida (Margarida de folhas cortadas); Chrysocephalum apiculatum (Eterna); Disphyma crassifolium (Cara de porco de folhas redondas)	pH; Tu; CE; SDT; NO ₃ ⁻ ; NO ₂ ⁻ ; NH ₄ ³⁻ ; PO ₄ ³⁻ ; K; Na; Mg; e Ca.	Os telhados sem vegetação apresentaram maiores índice de poluição. A água coletada de acordo com a norma pode se reutilizada para irrigação da paisagem urbana e para outros fins não potáveis, como lavagem de banheiros.	Beecham e Razzaghmanesh (2015)

Curitiba, Paraná, Brasil	temperado úmido ou sub-tropical com verão temperado	Bulbine frutescens; Tradescantia zebrina; Arachis repens; Sedum mexicanum; e Callisia repens. A espécie Arachis repens não resistiu ao período de inverno sendo substituída pela espécie Zoysia tenuifolia.	pH; NT– N - NH_4^+ ; PT; coloração e ST.	A presença de P e N é superior no telhado vegetado, devido à adubação. A coloração da água que escoava pelo telhado verde também apresentou tom ferroso intenso, superior aos valores máximos previstos na legislação e superior a da água escoada pelos sistemas tradicionais. A quantidade de ST e pH ficaram dentro dos parâmetros previstos pela legislação.	Savi (2015)
Cincinnati, Ohio, Estados Unidos	Continental úmido	Álbum Sedum; Sedum sexangulare; Sedum acre, Sedum spurium; Sedum rupestre; Sedum floriferum; Sedum kamtschaticum; Sedum immergrunchen; e Sedum hispanicum.	PO_4^{3-} ; NH_4^+ ; NO_3^- ; NT; COD; Al; Ca; Fe; Mg; P; K; Na; Sr; e Zn.	A qualidade da água do efluente do telhado verde variou muito ao longo do tempo, particularmente do inverno para o verão. As concentrações bioativas de soluto (incluindo nutrientes inorgânicos, NO_3^- e PO_4^{3-}) no escoamento do telhado verde foram maiores na estação de verão.	Buffam; Mitchell e Durtsche (2016)
Syracuse, Nova York, Estados Unidos	continental úmido com acentuada variação sazonal	Sedum refluxum; Sedum sexangulare; Sedum acre; Sedum kamschaticum; Sedum spurium "Fuldaglut" e Sedum album	pH; PT; NT; e COD.	O telhado verde retém efetivamente NT e PT das entradas de precipitação. A extensão da retenção de nutrientes variou de acordo com a estação, com maior retenção durante a estação sem crescimento do que na estação de crescimento da vegetação.	Carpenter <i>et al.</i> (2016)
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil	Subtropical úmido	Sedum rupestre; Plectranthus barbatus e Sedum dendroideum.	Tu; cor aparente; cor verdadeira; CE; ST; SD; SS; Temp. pH, PO_4^{3-} ; NT; NO_2^- ; NO_3^- ; Cl-; SO_4^{2-} ; DBO, Dur; Cu; Fe; Zn; Pb; Cr; coliformes totais e E. coli.	De forma geral os telhados verdes não melhoram a qualidade da água da chuva. Atuando como fonte de Cl-, CE, cor, DBO, Dur - T, coliformes totais, E. coli, PO_4^{3-} , SO_4^{2-} e Tu. Não resultou no incremento significativo dos níveis de NO_2^- , NO_3^- , NT e dos metais Pb, Cu, Cr, Fe e Zn. Mas tornou o ácido da água pluvial em básico, assim o telhado verde tem potencial de neutralizar a acidez.	Pessoa (2016)
Curitiba, Paraná, Brasil	temperado úmido ou sub-tropical com verão temperado	A vegetação é selecionada em função da tipologia, com base em aspectos estéticos, seguindo as características climáticas regionais.	Temp; Tu; pH; OD; N – NH_3 ; NO_2^- ; NO_3^- ; PO_4^{3-} ; DQO; Coliformes totais; e E.Coli.	O telhado verde contribuiu para a diminuição da acidez natural da água da chuva. Não foram atendidos os	Teixeira <i>et al.</i> (2016)

				parâmetros microbiológicos estabelecidos na NBR 15527 (ABNT, 2007) em nenhuma das amostras coletadas.	
Caruaru, Pernambuco, Brasil	Semiárido quente	Aloe vera (Babosa) e Melocactus zehntneri (Coroa-de-Frade)	CE; SDT; Ca; Mg; Na; CO_3^{2-} ; NaHCO_3 ; Cl^- ; N^- - NH_4^+ ; K; pH; RAS; P; SO_4^{2-} ; NO_3^- e B.	Nos telhados verdes com Coroa-de-Frade e com Babosa, observou-se que ambos os telhados verdes apresentaram os valores de Mg, SO_4^{2-} , P e K bem acima dos valores máximos aceitáveis para a água ser destinada à irrigação.	Silva (2017)
Tianjin, Tianjin, China	Continental úmido quente	Sedum lineare	pH; Tu; P - PO_4^{3-} ; PT; N^- - NH_4^+ ; NO_3^- ; N; NT; DQO; Cr; Zn; Pb; Cd; Cr; Mn; e Cu.	Os telhados verdes foram capazes de mitigar a chuva ácida leve, elevando o pH de 5,6 para 5 - 7,6 após percolados. Não há sinais de efeito de primeira descarga para PO_4^{3-} , PT - N^- - NH_4^+ , N^- - NO_3^- , NT, orgânicos, Zn, Tu.	Wang; Tian e Zhao (2017)
Syracuse, Estados Unidos	Continental úmido fresco	Sedum nussbaumerianum (Sn); Nephrolepis exaltata (L.) Schott (Ne) e Serissa foetida (L.f.) Poir (Sf)	pH; NT; N^- - NH_4^+ ; N^- - NO_3^- ; PO_4^{3-} ; P; Na; COD; CID; Cl^- ; e SO_4^{2-} .	A chuva ácida pode ser neutralizada pelo telhado verde. Os valores de SS e pH da lixiviação não foram afetados significativamente, mas as concentrações N foram afetadas. As vegetações influenciaram na concentração de N^- - NO_3^- , e PT mais que os substratos.	Chen; Kang e Lin (2018)
Natal, Rio Grande do Norte, Brasil	Litorâneo úmido ou tropical úmido	Zoysia japônica (Gramma Esmeralda)	pH; CE; e Tu.	O substrato utilizado é o maior responsável pelas alterações dos parâmetros.	Nogueira (2018)
Siracusa, Nova York, Estados Unidos	Continental Úmido com mudanças sazonais acentuadas	Sedum refluxum; Sedum sexangulare; Sedum acre; Sedum kamschaticum; Sedum spurium "Fuldaglut" e álbum Sedum	pH; NO_3^- ; COD; CID; Cl^- ; SO_4^{2-} ; NO_3^- ; PO_4^{3-} ; NT; e PT.	O telhado vegetado era um filtro de N, PT e Cl^- , e uma fonte de PO_4^{3-} e CID. Cl^- exibiu entradas elevadas e lixiviação durante o inverno. O telhado atendeu aos padrões de água doce USEPA, exceto o PT.	Todorov <i>et al.</i> (2018)
Curitiba, Paraná, Brasil	temperado úmido ou subtropical com verão temperado	Gramma Axonopus compressus (São Carlos)	pH; Cor aparente; Tu; CE; ST; PO_4^{3-} ; NT - N^- - NH_4^+ ; COD; e PT.	Os resultados dos ensaios de qualidade da água apresentaram variação entre cada coleta e amostra de telhado avaliado, mas em geral, os ensaios de PT - N^- - NH_4^+ apresentaram lixiviação maior destes nutrientes	Bar (2019)

				pelos protótipos de telhado verde do que as amostras de água de chuva.	
Daxing, Pequim, China	Típico de monção continental	<i>Sedum lineare</i> Thunb	SS; COD- N - NH_4^+ ; N - NO_3^- ; NT; e PT.	Os telhados Verdes atuaram como filtro para NT- N - NH_4^+ , N - NO_3^- , PT, e fonte de COD. Quando comparado com o telhado sem vegetação houve uma redução dos SS.	Gong <i>et al.</i> (2019)
Recife, Pernambuco, Brasil	Tropical úmido	<i>Melocactus zehntneri</i> (Coroa-de-Frade) e <i>Zoyzia Japônica</i> (Gramma esmeralda)	pH; CE; Tu; N - NO_3^- - N - NH_4^+ ; P - PO_4^{3-} ; NaHCO_3 ; Cl-; CO_3^{2-} ; Ca; Mg; SO_4^{2-} ; K; B, Na; e RAS.	Os telhados verdes neutralizaram o pH e foram fontes de NO_3^- , NH_3 e B. Por outro lado, todos os telhados reteve SO_4^{2-} e Cl-. Apenas o telhado verde com Coroa-de-Frade superou os parâmetros para as variáveis K e PO_4^{3-} .	Gomes (2019)
Gansu, China	Semiárido com verões quentes e frios.	<i>Radix Ophiopogonis</i> (<i>Ophiopogon japonicus</i> (Linn. f.) Ker-Gawl.); <i>Sedum Spectabile</i> (<i>Hylotelephium eritrostictum</i> (Miq.) H. Ohba) e <i>Iris tectorum</i> Maxim)	SST; NT; e PT.	Os resultados mostraram que as concentrações médias de SST, NT e PT do escoamento do telhado verde foram significativamente maiores do que as do escoamento do telhado convencional.	Liu <i>et al.</i> (2019)
Xangai, Minhang District, China	Subtropical úmido	<i>Eremochloa ophiuroides</i> (Munro) Hack cv. 'Civil'; <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers cv. 'Tifdwarf'; <i>Poa pratensis</i> L. cv. 'Midnight'; <i>Festuca arundinacea</i> Schreb. cv. 'Jaguar'; <i>Sedum lineare</i> Thunb. e <i>Callisia repens</i> L.	SST; COD; NT; N - NH_4^+ ; N - NO_3^- ; PO_4^{3-} ; e PT.	A qualidade da água indicada pela demanda química de O, NT- N - NH_4^+ e PT do efluente cumpriu os limites amplamente aceitos na descarga doméstica de águas residuais. Os resultados demonstram que telhados verdes podem ser projetados para o tratamento ecológico das águas residuais domésticas.	Liu <i>et al.</i> (2021)
Daxing, Pequim, China	Típico de monção continental	<i>Sedum lineare</i> Thunb.; <i>Sedum spurium</i> 'Coccineum'; <i>Sedum aizoon</i> L.; e <i>Sedum spectabile</i> .	NT; N - NO_3^- ; e PT.	Diferentes espécies de plantas tiveram efeitos diferentes nas cargas de nutrientes. Do ponto de vista da concentração de nutrientes e do efeito de redução da carga, o <i>Sedum</i> teve o melhor efeito de purificação da água, e o <i>Sedum spurium</i> 'Coccineum' teve o pior efeito de purificação da água.	Gong <i>et al.</i> (2021)

Fonte: Autora (2023).

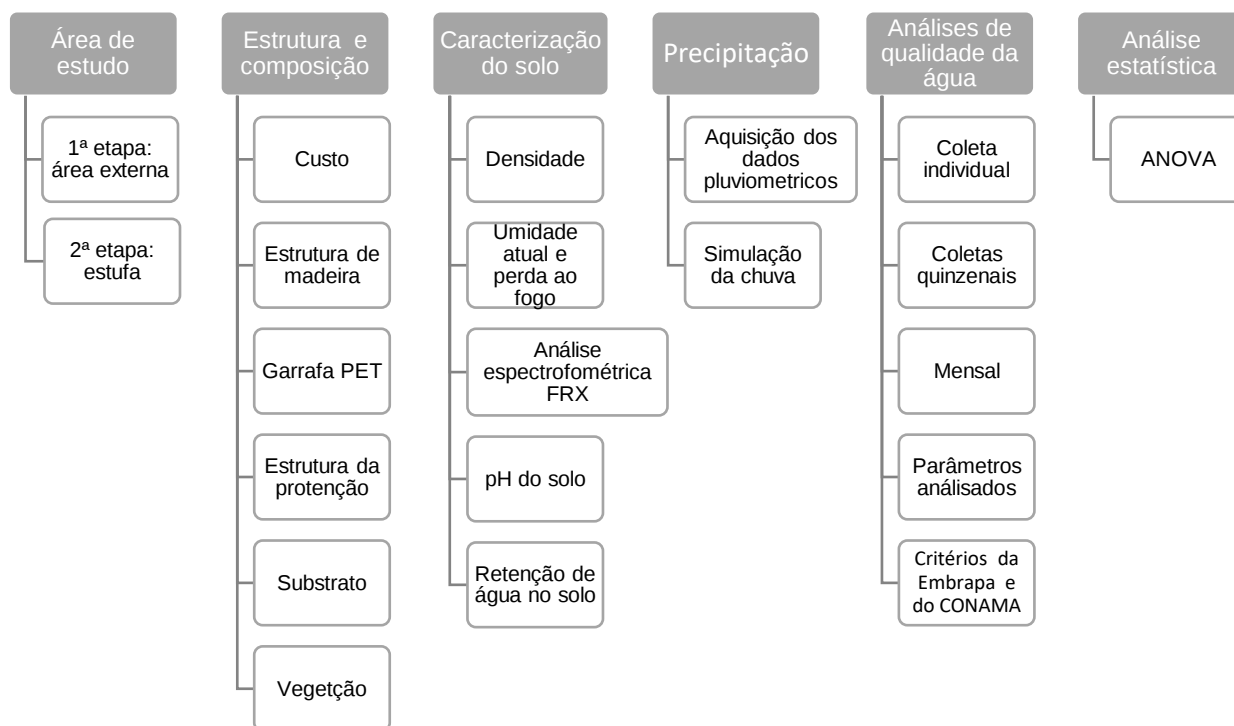
De acordo com os estudos expostos no quadro, é visto que os parâmetros mais analisados pelos autores são pH, fosfato, nitrato, turbidez, fósforo total, nitrogênio, condutividade elétrica, chumbo, sódio, cálcio, cromo, cloreto, sólidos dissolvidos totais, potássio, nitrito, magnésio, carbono orgânico dissolvido, zinco, sulfato, cobre, cádmio, ferro.

Portanto, nesta pesquisa foram escolhidos os parâmetros cor aparente e verdadeira, sólidos dissolvidos totais, turbidez, pH, condutividade elétrica, dureza total, cálcio, cloreto, alcalinidade total e parcial, carbonato, bicarbonato, hidróxidos, amônia, fósforo, fosfato, nitrato, nitrito, sulfato e ferro (total, II e III) para avaliar a qualidade da água escoada nos telhados estudados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo buscou avaliar se a cobertura vegetal usada em telhados verdes, afeta a qualidade da água escoada. O local onde foram montados os arranjos na primeira etapa para as coletas das garrafas individuais ficou em área externa, essa coleta serviu como forma de analisar se dentre os arranjos as garrafas apresentariam discrepâncias em seus valores. E a segunda etapa foi com as simulações quinzenais onde os arranjos foram colocados em uma estufa para não haver interferências do meio externo. Foram montados 4 tipos de arranjos ecológicos, afim de amenizar o custo tornando mais acessível a população de baixa renda. Os substratos foram montados da mesma forma e o com mesmo tipo de solo. Utilizou-se 3 tipos de vegetações típicas da região semiárida, cada arranjo foi composto por um dos tipos das vegetações e um arranjo de referência (sem vegetação). Foram feitos análises de caracterização do solo. Foram realizadas precipitações controladas simulando a intensidade do período chuvoso, histórico de 50 anos analisados, para um período de retorno de 15 anos. As águas escoadas foram analisadas quanto aos critérios de qualidade da Embrapa (Almeida, 2010) e do CONAMA (Nº 357, 2005) e por fim foram feitas análises estatísticas. Na Figura 11, é possível observar como o trabalho foi estruturado.

Figura 11 - Fluxograma com as etapas do experimento



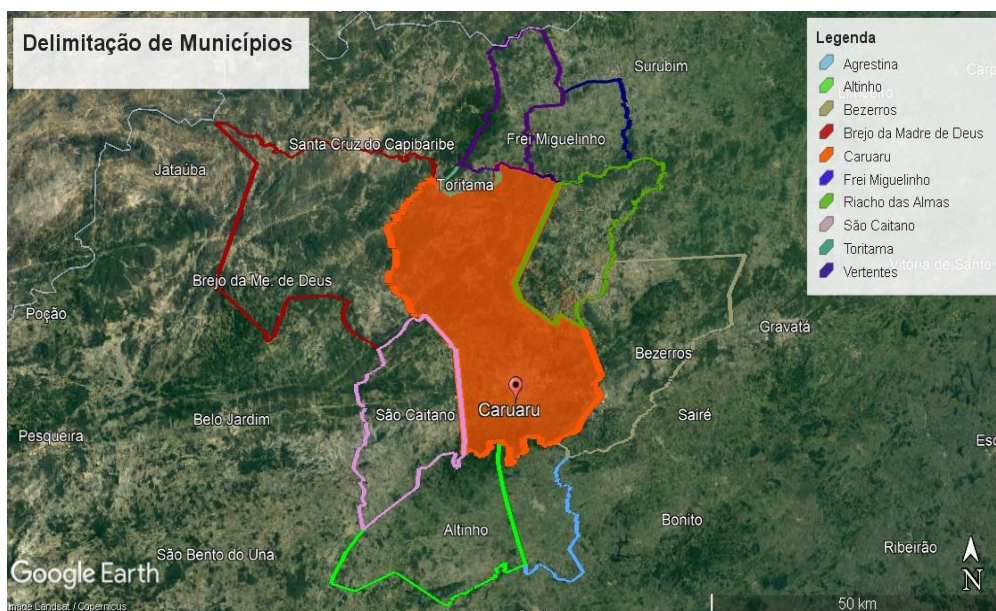
Fonte: Autora (2023).

4.1 Área de estudo

Durante o período de ensaios, a estrutura de madeira montada com os arranjos esteve no Centro Acadêmico do Agreste (CAA), Campus da Universidade Federal de Pernambuco, localizado na cidade de Caruaru – PE, na região Nordeste do Brasil, situado a uma altitude de 561 m, cujas coordenadas geográficas são: Latitude 8° 16'58"Sul; Longitude 35° 58' 33" Oeste (GOOGLE EARTH, 2022).

O Município de Caruaru foi criado em 1848 e instalado em 1849, onde foi desmembrado de Bonito – PE com uma distância de 130,1 km da capital Pernambucana tendo como distritos: Caruaru, Carapotós, Gonçalves Ferreira e Lajedo do Cedro (PERFIL MUNICIPAL, 2016). Além disso, é vizinho dos municípios de São Caetano, Toritama, Frei Miguelinho, Riacho das Almas, Agrestina entre outros, na Figura 12 tem-se a delimitação dos municípios.

Figura 12 - Delimitação do município de Caruaru e circunvizinhos



Fonte: Adaptado do Google Earth (2023).

De acordo com o último censo do IBGE de 2010, Caruaru possui 314.912 habitantes, com uma estimativa de 369.343 pessoas em 2021 (IBGE, 2011), uma densidade demográfica de 342,07 hab/km². No Estado de Pernambuco, por densidade demográfica, Caruaru está na 4^o posição atrás apenas de Recife, Jaboatão dos Guararapes e Olinda, e em comparação com o território do Brasil na 75^o. A maior parte do seu território é composto pelo bioma da Caatinga, cerca de 85% e os outros 15% pelo bioma da Mata Atlântica, de uma área de 920.611 km² (CIDADE-BRASIL, 2022). Devido a longos períodos de seca o município possui arbustos, árvores de pequeno porte e as ervas que também possam suportar períodos chuvosos com altos níveis de precipitação e pouca duração (Coradin *et al.*, 2018).

Na Figura 13 estão delimitadas as regiões que fazem parte do semiárido brasileiro. A cidade de Caruaru - PE está dentro da região demográfica do Semiárido Brasileiro.

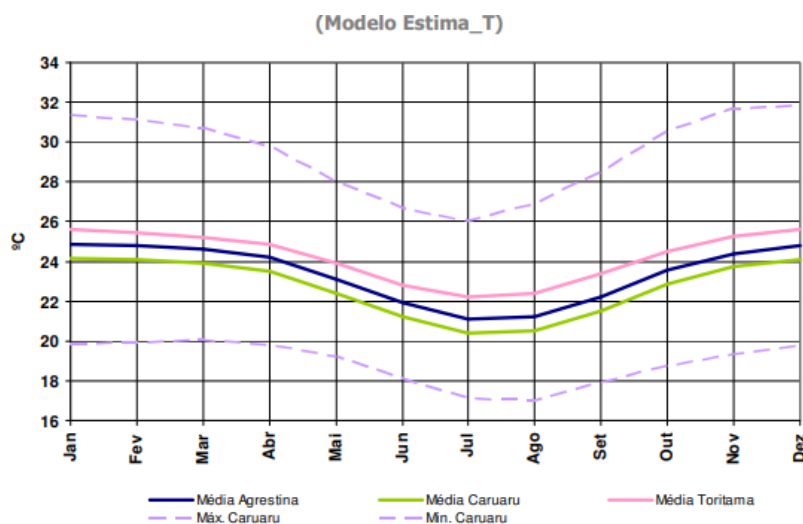
Figura 13 - Caruaru pertencente ao semiárido brasileiro



Fonte: Adaptado de SUDENE (2021).

Caruaru é classificado com um clima semiárido quente devido à irregularidade e as baixas precipitações ocorrentes na região com temperaturas média anual do ar maior que 18 °C, entre o mês de dezembro e janeiro é quando ocorrem as maiores temperaturas médias mensais e julho a agosto as menores (SETRA, 2009). Na Figura 14, contém um gráfico com as temperaturas médias mensais da cidade de Agrestina, Caruaru e Toritama.

Figura 14 - Temperaturas médias mensais da cidade de Agrestina, Caruaru e Toritama



Na Figura 15, mostra-se a localização do município de Caruaru, no Estado de Pernambuco.

Figura 15 - Localização do município de Caruaru



Fonte: Adaptado do Google Earth (2023).

- **Local de instalação da estrutura**

A grade de proteção produzida foi utilizada na primeira etapa das coletas individuais das garrafas e posicionada na área externa próxima ao Laboratório de Química (LQ) da UFPE, no CAA, conforme a Figura 16.

Figura 16 - Ambiente utilizado na primeira etapa das coletas



Fonte: Autora (2023).

A segunda etapa das coletas ocorreu em períodos quinzenais. Já na armazenagem da segunda coleta para análises mensais, foram realizadas em uma estufa, localizada na instituição, como observado na Figura 17, para evitar possíveis precipitações não prevista no estudo, não necessitando da utilização da grade de proteção.

Figura 17 - Estufa da UFPE/CAA



Fonte: Autora (2023).

4.2 Estrutura da unidade experimental do telhado ecológico

Construiu-se um sistema de madeira de fácil manutenção com uma inclinação de 15°. Adequado para acomodação de 20 garrafas PET de 2 L em sua base, além de uma estrutura de proteção contra possíveis danos por animais. Os materiais cruciais para a construção estão listados na Tabela 2. Optou-se por materiais recicláveis e de baixo custo a fim de popularizar a implementação de telhado verde.

Os suportes de madeira utilizados no momento da irrigação, comportam 5 garrafas de 1 L, foi feito por um marceneiro por precisar de ferramentas específicas para a sua confecção.

Tabela 2 - Materiais utilizados na confecção do protótipo, estrutura de proteção e estrutura de irrigação

Material	Quantidade	Valor unitário	Total	Especificações
Garrafa de 2 L	20 unid.	0,00	0,00	Recicladas no bairro
Ripas do protótipo	6 unid.	0,00	0,00	Reaproveitadas de um lastro de cama descartada
Caibros do protótipo	Retraços	0,00	0,00	Reaproveitados de móveis danificados e descartados
Madeira	Retraços	0,00	0,00	Reaproveitados de móveis danificados e descartados
Joelho de 90° 3/8	9 unid.	2,00	18,00	Adquirido no comércio de agropecuário de Caruaru – PE
T 3/8	16 unid.	2,50	40,00	Adquirido no comércio de agropecuário de Caruaru – PE
Tubo de Mangueira ½	3 m	1,20	3,60	Adquirido no comércio de agropecuário de Caruaru – PE
Pregos	Não definido		6,00	Adquirido em armazém de construção
Parafusos	16 unid.	0,20	3,20	Adquirido em armazém de construção
Arrame Galvanizado	15 m	1,70	25,5	Adquirido em armazém de construção
Silicone	50 g	10,00	10,0	Adquirido em armazém de construção
Tela de nylon	9 m	4,00	36,00	Adquirido em loja de tecido
Ripas	14 m	2,50	35,00	Adquirido em armazém de construção
Caibros	4 m	4,50	22,00	Adquirido em armazém de construção
Verniz	900 ml	45,90	45,90	Adquirido em armazém de construção
Pregos	100 g	2,00	2,00	Adquirido em armazém de construção
Linha de nylon	2 m	2,50	5,00	Adquirido em armazém de construção
Pincel	1 uni	2,50	2,50	Adquirido em armazém de construção
Gotejador	25 unid.	0,75	18,75	Adquirido em loja de construção
Estrutura de irrigação	2 unid.	25,00	50,00	Confeccionado em marcenaria
Valor Total (R\$)			323,45	

Fonte: Autora (2023).

Na Tabela 3, contém o material que foi utilizado, a quantidade, como também os valores unitários e o custo total de cada material utilizados no estudo.

Tabela 3 - Custo com a montagem do substrato

Material	Quantidade	Valor unitário	Total	Especificações
Solo	2 sacos	7,00	14,00	Sementeira
Argila expandida	4 kg	7,98	31,90	Adquirido em loja de construção
Vegetação	Mudas	0,00	0,00	Cultivadas em casa
Manta	2 metros	26,90	53,80	Adquirido em loja de construção
Valor total (R\$)			99,70	

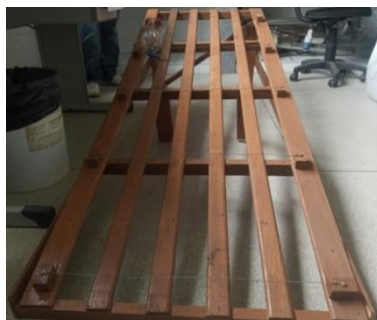
Fonte: Autora (2023).

Para este estudo, o custo total foi de R\$423,15 devido à montagem de uma estrutura de suporte dos arranjos, proteção e irrigação, sem estes elementos o valor seria apenas o do substrato R\$99,70 ou utilizando o sistema de mangueiras, T e joelhos para realizar as coletas da água daria um custo de R\$161,30. Aplicando esse tipo de telhado sem a estrutura, o custo é em torno de R\$11,40/m², fora a mão de obra, levando em consideração que o local tenha condições adequadas para a implantação.

- **Estrutura de madeira**

Foi construída uma estrutura simples com caibros e ripas (reaproveitadas de um lastro de cama), fixados no caibro com prego a uma distância de aproximadamente 7 cm entre uma ripa e outra. As distâncias entre as ripas foram baseadas na largura da garrafa para seu sustento e ao mesmo tempo pudesse apoiar e evitar movimentos rotacionais. Foram utilizadas 6 ripas verticais para a base. Para a sustentação foram distribuídos na base cinco caibros na horizontal com uma distância de 47 a 48 cm entre um e o outro. Na Figura 18 observa-se a estrutura de madeira para as garrafas PET.

Figura 18 - Estrutura do suporte de madeira para o protótipo do telhado ecológico

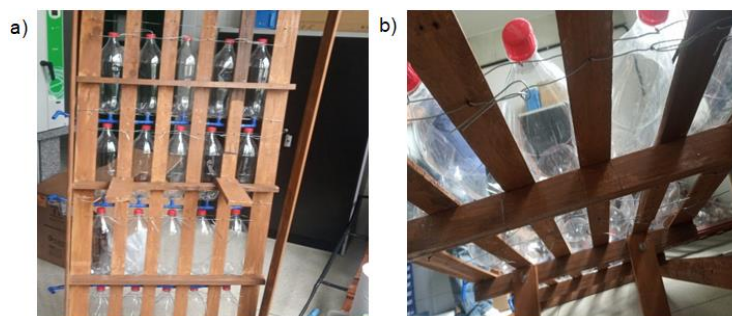


Fonte: Autora (2023).

Na superfície foram fixadas com parafusos pedaços de caibros que serviram para amarração do arame galvanizado disposto para cada fileira de garrafa na horizontal, para dar sustentação a parte inferior das garrafas de 2 L, como observado na Figura 19. Foi feita a aplicação de tinta verniz, gerados para uniformização da estrutura e proteção contra umidade na madeira. Para dar uma maior sustentação evitando assim o deslocamento vertical e rotacional, fizeram-se furos, com o auxílio de uma furadeira, no comprimento de todas as ripas na parte superior no comprimento das garrafas, com objetivo de fixar e amarrar a parte

superior das garrafas PET, como observado na Figura 19.

Figura 19 - Fixação das garrafas com arame galvanizado



Fonte: Autora (2023).

Então, as garrafas estão fixadas na estrutura montada, com todas as conexões interligadas por tubos até a lateral, e no final de cada tipo de telhado foi colocado um joelho para facilitar a coleta da água. Na Figura 20 vê-se o protótipo finalizado.

Figura 20 - Estrutura com o sistema para a cobertura ecológica finalizado



Fonte: Autora (2023).

- **Garrafas PETs**

Foram coletadas 20 garrafas PET de 2 L, estas substituirão a camada de membrana impermeável, essencial para um sistema de drenagem e a membrana anti-raíz de um projeto tradicional de um telhado verde. Comportará a camada de drenagem, manta, substrato e a vegetação, e a água percolada pelas camadas serão conduzidas por conexões e tubos até o ponto de coleta. As garrafas foram lavadas com detergente neutro e em seguida com água corrente. Em cada garrafa, foi elaborado uma abertura retangular medindo 9x18 cm com o uso de um estilete e uma tesoura. Para facilitar o processo, tomaram-se como base as linhas existentes na própria garrafa facilitando o corte. Na Figura 21 vê-se a marcação feita para o

corde.

Figura 21 - Garrafa PET de 2 L utilizada no telhado ecológico, antes e depois do corte



Fonte: Autora (2023).

Com um ferro esquentado em fogo, foram feitos furos na parte inferior de todas as garrafas, para poder instalar as conexões, conforme mostra a Figura 22.

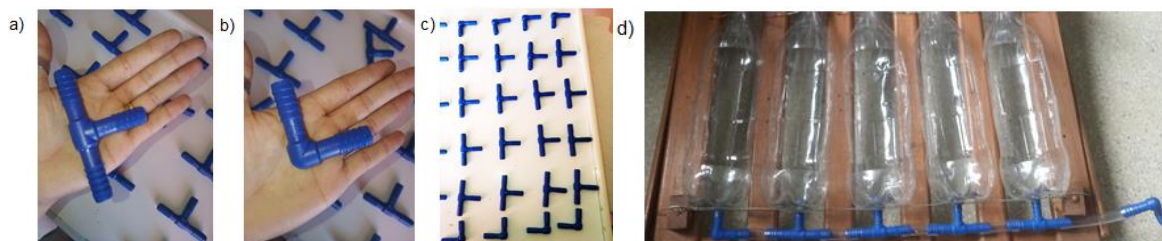
Figura 22 - Furos nas garrafas para colocação das conexões



Fonte: Autora (2023).

As conexões foram fixadas nas garrafas com silicone para evitar vazamentos nos orifícios. “Utilizou-se joelhos 3/8” de PVC no início de cada fileira e nas demais utilizaram tê de 3/8” de PVC, entre uma conexão e outra foram colocados tubos de mangueiras transparentes sendo estes responsáveis por conduzir a água escoada até um recipiente para posterior coleta e análise em laboratório. A Figura 23 demonstra as conexões utilizadas e montagem.

Figura 23 - Conexões e fixação nas garrafas



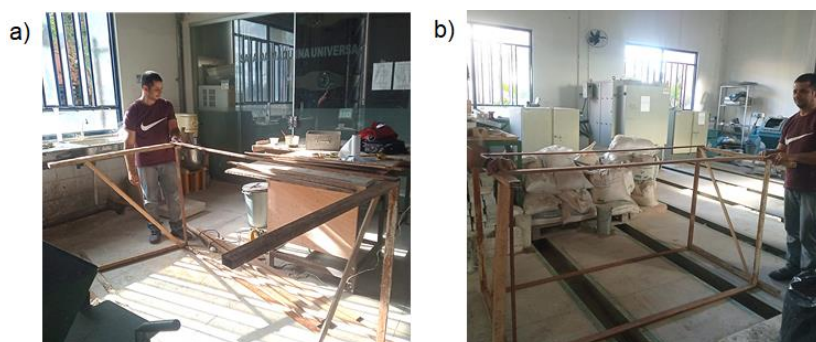
a) tê 3/8” b) joelho de 90° 3/8” c) simulação da distribuição das conexões d) conexões fixadas nas garrafas PET de 2 L finalizadas.

Fonte: Autora (2023).

- **Estrutura de proteção**

Foi necessária a colocação de proteção entorno da estrutura de madeira utilizando telas, para evitar que animais possam interferir na qualidade da água. Também foi construída uma grade com caibros e ripas adquiridas em armazém de construção, com largura e comprimento de 1 m x 2 m e 1 m de altura, de modo que a estrutura de madeira fique no seu interior. A Figura 24 mostra os estágios da confecção da estrutura de proteção.

Figura 24 - Montagem da estrutura de proteção



a) fixação das ripas nos caibros com pregos na parte superior b) fixação das ripas nos caibros com pregos na parte inferior.
Fonte: Autora (2023).

Foram colocadas ripas diagonais para reforçar a estrutura. A Figura 25 mostra a estrutura finalizada sem a tela de proteção. A tela utilizada para realizar o fechamento da estrutura foi uma tela mosquiteira de nylon – malha 16x16 fio.

Figura 25 - Estrutura montada sem a tela de proteção



Fonte: Autora (2023).

- **Substrato**

Foi utilizado solo tratado adquirido em uma sementeira em Caruaru - PE, tanto o telhado de referência como os demais foram montados com o mesmo tipo de

substrato, composto por areia, calcário e esterco. O telhado é considerado extensivo devido à profundidade do substrato variar de 2 a 15 cm de profundidade. Na Figura 26 encontram-se as etapas de montagem do substrato nas garrafas PETs, todos os conjuntos foram preparados da mesma forma.

Figura 26 - Montagem do substrato



Fonte: Autora (2023).

Depois da estrutura já montada no local, iniciou-se a montagem do substrato. Primeiro, no comprimento de cada garrafa foi colocado 170g de argila expandida vendida em comercio local. Depois foi colocada a manta geotêxtil, onde foram cortadas no formato da garrafa de forma a comporta todo o solo. E por fim foi colocado 1100g de solo comercial em cada garrafa.

- **CrITÉRIOS de seleção e manutenção da vegetação**

Para a escolha das vegetações a serem utilizadas, foram levadas em consideração a região semiárida, e a profundidade do substrato, de fácil manutenção e de adaptação, além de fácil propagação das mudas servindo podendo servir como fonte de renda. Foram definidos três tipos de vegetações sendo elas: *Brasilliopuntia brasiliensis* (mini palma) pertencente à família *Cactaceae*; *Sansevieria trifasciata* (mini espada de São Jorge) e *Echeveria Peacockii*. O crescimento da *Brasilliopuntia brasiliensis* e *Sansevieria trifasciata* vária de acordo com a profundidade do substrato principalmente a *Brasilliopuntia brasiliensis* que pode atingir até 16 m de altura. Cada sistema contará com um tipo de vegetação

além do sistema de referência, na Tabela 4, são apresentadas as vegetações selecionadas para este estudo e suas principais características. Nas Figuras 27, 28 e 29 observa-se a vegetação que foi escolhida para os 3 arranjos na realização da pesquisa.

Quadro 1 - Vegetações selecionadas para o protótipo de telhado ecológico e suas principais características

Vegetação	Característica
Brasiliopuntia brasiliensis (mini palma)	Planta Cactaceae nativa do Brasil, encontrada nas formas de arbusto, árvore, e suculenta necessita de pouca manutenção e com capacidades de adapta-se a diversos ambientes. Quando plantada irrigação deve ser realizada a cada quinze dias no mínimo, depois dos três meses só quando faltar água e no segundo ano não há necessidade de se preocupar com a irrigação. Os cladódios (palmas) podem ser retirados e plantados facilmente criam raízes, o período mais apropriado para plantar é entre o mês de agosto e outubro à medida que cresce a sua estrutura vai se modificando criando troncos mais resistentes, possuem espinhos que consegue chegar a 5,5 cm de comprimento além de na fase adulta surgem flores nas bordas dos artículos e frutos comestíveis. A semente quando plantada a sua germinação acontece entre 40 e 60 dias. O solo ideal é o orgânico e arenoso bem drenado. Essa planta cresce 30 cm em 9 meses. Tem um círculo de vida perene.
Sansevieria Trifasciata	Planta extremamente resistente de fácil adaptação a diferentes condições climáticas, e requer pouca manutenção, pertencente à família Asparagaceae, nativa da África. Requerendo pouca irrigação podendo ficar semanas sem, não dá frutos pode ser cultivada tanto em sol pleno como em meia sombra. Dependendo da espécie pode atingir até 90 cm de altura a mini espada atinge 15 a 20 cm e não consumam florescer. Multiplica-se por divisão das suas raízes onde formam torceras ou, pelo processo de estacas feitas a partir das suas folhas, basicamente pedaços das folhas são enterrados. Em clima tropical e subtropical são ideias para cultivá-las, possui toxidade onde nenhuma parte pode ser consumida. Tem um círculo de vida perene, há uma infinidade de espécies que mudam o seu visual e unas podem resistir mais ao sol do que outras. Consegue se desenvolver em solos pobres, mas que tenha drenagem. Conhecida principalmente como planta contra mau olhado por algumas culturas. Ela tem capacidade de purifica o ar absorvendo toxinas relacionadas à poluição atmosférica (óxidos de nitrogênio e formaldeído) e no período da noite produz oxigênio.
Echeveria Peacockii (Suculenta)	Planta do tipo suculenta e que adora o sol e pouca água, ou seja, é resistente a seca e pertence à família Crassulaceae. De origem mexicana, com um ciclo de vida perene chegando a uma altura máxima de 30 cm, preferem climas mais quentes em sol pleno ou com boa iluminação além de uma boa ventilação, podendo ser cultivada em meia sombra, mas com um desenvolvimento pouco menor, não é amigável para locais frios, necessitando de pouca água para a sua irrigação, sendo muito tolerante a secas, não necessita de muito fertilizantes. A sua propagação pode ser feita de várias formas, por sementeira, que é difícil germinar, sendo mais comum utilizar a suas folhas o período da primavera e outono são as melhores épocas para realizar o cultivo.

Fonte: Autora (2023).

Figura 27 - *Brasiliopuntia brasiliensis* (mini palma)



Fonte: Autora (2023).

Figura 28 - *Sansevieria trifasciata* (mini espada de São Jorge)



Fonte: Autora (2023).

Figura 29 - *Echeveria peacockii* (suculenta)



Fonte: Autora (2023).

Foram utilizadas 40 mudas de plantas desenvolvidas em todo o conjunto, sendo 15 suculentas, 15 mini palma e 10 mini espada de São Jorge, que foram distribuídas conforme os tamanhos e de forma que todas as garrafas ficassem uniformes. Antes de serem plantadas, as raízes foram lavadas para retirar o máximo

possível do solo, em seguida plantadas no novo substrato, na Figura 30 pode-se observar essa etapa.

Figura 30 - Diferentes tipos de raiz



Fonte: Autora (2023).

Percebe-se na Figura 29 que cada vegetação possui um tipo diferente de raiz, a mini espada de São Jorge é a que mais possui raiz, e a mini espada possui pouca raiz e ao mesmo tempo longa.

4.3 Caracterização do solo

4.3.1 Densidade

O ensaio foi realizado no laboratório de Engenharia Civil da UFPE do campus CAA. O ensaio foi realizado em triplicata, foi utilizado 1 kg de solo passante na peneira de malha 19 mm (ASTM 3"/4) para o quarteamento, em seguida preencheu-se uma proveta de 500 mL até a marca de 300 mL. Depois aplicou-se 10 golpes consecutivos de uma altura de 10 cm, e em seguida nivelou-se com uma espátula e anotou-se o valor em ml obtido, e o peso. Para obtenção da densidade úmida e seca aplicou-se as Equações 1 e 2.

$$D_{\text{úmida}} = \frac{\text{massa úmida (g)}}{\text{volume (mL)}} \times 100 \quad (1)$$

$$D_{seca} = D_{úmida} \times \frac{100 - \text{umidade atual (\%)}}{100} \quad (2)$$

Na Tabela 4 tem-se os resultados obtidos do solo utilizado.

Tabela 4 - Valores obtidos no ensaio de densidade para as amostras de solo

Peso da proveta	132,08	
Umidade atual	7,50%	
Amostras	Volume	Peso
Amostra 1	230	164,6
Amostra 2	230	163,32
Amostra 3	230	165,75

Fonte: Autora (2023).

Aplicando-se a Equação 2 o solo tem uma densidade seca de 720,13.

$$D_{seca} = D_{úmida} \times \left(\frac{100 - \text{umidade atual (\%)}}{100} \right) = \left(\frac{165,75}{230} \times 1000 \right) \times \left(\frac{100 - 7,5}{100} \right)$$

$$D_{seca} = 720,13$$

4.3.2 Umidade atual e perda ao fogo

O equipamento utilizado foi a múfla 1800 3P da EDG e balança analítica para pesagem do material, estufa e dessecador. Foram utilizadas 3 amostras de 100 g de solo, colocados em cardinhos previamente secos na múfla a 550° durante 1 h para tirar toda umidade após colocados em dessecador até esfriar e assim pesar, colocou-se 100 g de solo que ficou em estufa a 105° por 24 h e depois retirado e colocado em dessecador até esfriar para a nova pesagem. Aplicando-se a Equação 3 e assim obter a umidade atual do solo.

$$\text{Umidade atual } \left(\% \frac{m}{m} \right) = \frac{\text{massa úmida (g)} - \text{massa seca (g)}}{\text{massa úmida (g)}} \times 100 \quad (3)$$

Aplicando-se a Equação 3 a umidade atual encontrada no solo foi de 6,96%.

Para análise de perda ao fogo foram utilizadas as amostras do ensaio anterior, continuando o procedimento após a pesagem colocou-se as 3 amostras em

múfla durante 3h em uma temperatura de 900°C depois colocado em dessecador para esfriar e posteriormente realizou-se a pesagem. Com esta análise é possível identificar a quantidade de matéria orgânica permitindo correlacionar o grau de intemperismo presente nas amostras. Para identificar a quantidade em porcentagem de material orgânico e carbonatos utiliza-se a Equação 4.

$$PF(\%) = \left(\frac{M_s - M_q}{M_s} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde: $PF(\%)$ é a perda de fogo;

M_s é a massa do corpo de prova após secagem a 110 °C (g);

M_q é a massa do corpo de prova após queima (g).

A perda ao fogo após a realização dos procedimentos citados e aplicando-se a Equação 4 foi de 3,79%.

4.3.3 Análises espectrofotométrica FRX

As análises foram realizadas no Laboratório de Química da Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste (UFPE/CAA).

O equipamento utilizado foi o espectrômetro Primini da marca RIGAKU, com análises quantitativas foi obtido resultados em porcentagens dos seguintes óxidos: óxido de magnésio (MgO); alumínio (Al₂O₃); dióxido de silício (SiO₂); fósforo (P₂O₅); trióxido de enxofre (SO₃); cloro (Cl); potássio (K₂O); óxido de cálcio (CaO); ferro (Fe₂O₃); ZrO₂. Os valores obtidos em porcentagem estão demonstrados na Tabela 6.

Tabela 5 - Resultado em porcentagem dos óxidos no solo analisados no espectrômetro

MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	ZrO ₂
0,1639	15,0671	79,6810	0,3968	0,2232	0,2152	0,7639	0,6025	2,7765	0,1098

Fonte: Autora (2023).

Percebe-se que o dióxido de silício é o principal componente deste solo seguido de alumínio. Os demais apresentaram pequenas concentrações.

4.3.4 pH do solo

O ensaio foi realizado de acordo com a metodologia descrita no Manual de Métodos de análise de solo da Embrapa (2017), que consistem em coletar 10 g de solos e misturados em 25 mL de água destilada a leitura foi realizada potenciômetro, o procedimento foi realizado no solo antes de aplicado ao substrato (Tabela 6) e após as percolações sendo coletada amostras de três garrafas de cada arranjo do: arranjo de referência (sem vegetação só substrato); arranjo 1 (mini espada de São Jorge); arranjo 2 (mini palma); arranjo 3 (suculenta), demonstrados na Tabela 7, assim identificar se houve alguma variação com o decorrer das precipitações sofridas e dos diferentes tipos de vegetações. O método foi realizado em triplicata para ter-se uma maior precisão dos resultados.

Tabela 6 - pH do solo utilizado nos arranjos

	pH	Temperatura
pH₁	6,90	26,7°
pH₂	6,74	26,8°
pH₃	6,55	26,9°
Média	6,645	26,8°

Fonte: Autora (2023).

O pH do solo antes das percolações foi de 6,65 e após as simulações de todas as precipitações o pH do Arranjo de Referência, Arranjo 1, Arranjo 2 e Arranjo 3 foram respectivamente: 5,85; 6,5; 6,63; e 6,10 demonstrando-se que houve variações entre os arranjos e um decréscimo no valor, principalmente no solo de referência.

Tabela 7 - Análises do pH do substrato nas garrafas dos telhados utilizados

Garrafa	Arranjo referência	Arranjo 1	Arranjo 2	Arranjo 3
G1	5,93	6,60	6,50	6,03
G2	5,80	6,50	6,70	6,04
G3	5,81	6,40	6,70	6,23
Média	5,85	6,50	6,63	6,10

Fonte: Autora (2023).

4.3.5 Retenção de água no solo

Foi analisado durante todas as precipitações a quantidade de água utilizada no evento de simulação da chuva, que ocorria pelo processo de gotejamento, durante um intervalo de 1h, e depois eram esperados há cerca de 15 minutos e assim a água percolada era coletada e em seguida. Utilizou-se uma proveta de plástico para medir o volume obtido para cada um dos arranjos, os eventos em todos os arranjos eram feitos todos no mesmo dia para que não houvesse variação na umidade de um arranjo para outro. Para a análise anotou-se o tempo de início da percolação após o início da precipitação.

Nas simulações das garrafas individuais foi utilizado um volume de 900 mL de água destilada na precipitação para cada garrafa do arranjo. O volume coletado e retido das 3 garrafas sofreu variações os resultados estão demonstrados no Apêndice B.

Para as análises quinzenais o volume precipitado foi de 4500 mL sendo 900 mL para cada garrafa do arranjo, os dados estão no Apêndice A durante os 6 eventos de precipitação o valor retido e coletado não teve grandes variações nos arranjos e com relação ao outro, o Arranjo 1 foi o que teve o maior índice de retenção em média 50,08% e o Arranjo 2 foi o que apresentou a menor retenção com 47,61%, o de Referência 49,70%, seguido do Arranjo 3 com 49,65%.

4.4 Aquisição dos dados pluviométricos e simulações da chuva

A coleta dos dados pluviométricos foi obtida através do site de sistemas de monitoramento da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), criada com a intenção de executar a Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como realizar o monitoramento do tempo e clima no Estado de Pernambuco (APAC, 2019). Com dados diários de precipitações e o acumulado mensal, o valor é dado em milímetro (mm), os dados coletados da cidade de Caruaru foram da Estação 24 administrada diretamente pelo órgão do Estado o Instituto Agrônomico (IPA). Dentre os instrumentos com vários sensores que a estação possui há o pluviômetro responsável pela medida da quantidade de precipitação (APAC, 2023). O período selecionado foi de 01 de janeiro de 1972 a Dezembro de 2021.

A irrigação foi feita de forma controlada, com um auxílio de um suporte de madeira feito para comportar 5 garrafas de 1 L com gotejadores na tampa e um furo na parte inferior para entrada de ar (Figura 31). Cada garrafa do arranjo, foi irrigada

com a mesma quantidade de água destilada durante o período de 1 hora, por meio precipitação simulada.

Figura 31 - Sistema de irrigação



Fonte: Autora (2023).

A Equação 5 utilizada para calcular o volume de água foi conforme Mousinho et al. (2023), para evento com duração de 1 hora, onde o período de retorno utilizado foi para 15 anos Equação 6.

$$i = \frac{505,941 \times T^{0,2502}}{(t+10)^{0,7407}} \quad (5)$$

$$i = \frac{505,941 \times 15^{0,2502}}{(60+10)^{0,7407}} = 42,825 \text{ mm/h} \quad (6)$$

A área para o cálculo foi com base na área de incidência da precipitação, que foi de 10 cm de largura e 21 cm de comprimento, multiplicando pela intensidade da chuva tem-se o volume precipitado por garrafa conforme a Equação 7.

$$V = A_{\text{largura} \times \text{comprimento}} \times i_{\text{intensidade da chuva}} \quad (7)$$

$$V = (0,10 \times 0,21) \times 42,825 = 0,900 \text{ mm}$$

São consideradas as características do clima e precipitações do semiárido para os eventos de simulações de chuva das garrafas individuais onde foram selecionadas 3 garrafas de cada arranjo, quinzenais em cada tipo de arranjo as

análises mensais foram realizadas com a armazenagem da água coletada do segundo evento quinzenal, deixadas em garrafas PETs no mesmo ambiente (estufa) dos arranjos.

4.5 Determinação e análise dos parâmetros de qualidade da água

Para a determinação da análise dos parâmetros de qualidade da água antes e depois de escoada dos telhados verdes ecológicos, foi realizada nos laboratórios do CAA da UFPE, Laboratório de Química (LQ), Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA). Os eventos de chuva controlada utilizarão a intensidade de precipitação calculada em relação aos dados de pluviometria dos últimos 50 anos do município.

A água escoada dos telhados por meio das conexões e tubos instalados será coletada por um recipiente (garrafa) de plástico colocada ao lado da estrutura. Os recipientes serão devidamente higienizados com água destilada antes de cada coleta para cada tipo de telhado, conforme Liu *et al.* (2019) que utilizaram garrafas pré-limpas para coletar o material em cada simulação de chuva.

Foram realizados 6 eventos de simulações e estiagem de chuva, além de 3 coletas realizadas em 3 garrafas individuais e 3 análises mensais utilizando a segunda coleta dos eventos quinzenais para cada tipo de arranjo realizados entre os meses de outubro de 2022 e março de 2023. O Quadro 4 mostra como se procedeu essa etapa. A água utilizada em todas as irrigações foi livre de contaminantes (água destilada).

Após a simulação da chuva, a água coletada foi levada ao laboratório de química, para análise dos parâmetros físico-químicos apresentados no Quadro 5.

Quadro 4 - Períodos e características das simulações com chuvas controladas

Data	Simulação	Arranjo
10/10/2022	Individual	A. Ref.
13/10/2022	Individual	A. 1
17/10/2022	Individual	A. 2 e 3
21/11/2022	1ª quinzenal	Todos
06/12/2022	2ª quinzenal	Todos
19/12/2022	3ª quinzenal	Todos
10/01/2023	4ª quinzenal e 1ª mensal	Todos
14/02/2023	5ª quinzenal e 2ª mensal	Todos
02/03/2023	6ª quinzenal	Todos
07/03/2023	3ª mensal	Todos

Fonte: Autora (2023).

Quadro 5 - Parâmetros físico-químicos usados para análise de qualidade da água escoada nos arranjos

Equipamento/método	Parâmetro
Espectrofotometria	• Cor (aparente e verdadeira)
Gravimetria	• Sólidos dissolvidos totais
Turbidímetro	• Turbidez
Sonda multiparâmetro	• pH • Condutividade elétrica (CE)
Titulação com EDTA	• Dureza • Cálcio
Titulação com nitrato de prata	• Cloreto
Volumetria	• Alcalinidade • Carbonato • Bicarbonato • Hidróxidos
Kits de reagentes comerciais da Alfakit®	• Amônia • Fósforo • Fosfato • Nitrato • Nitrito • Sulfato • Ferro (total, II e III)

Fonte: Autora (2023).

Na determinação dos parâmetros fósforo, fosfato, amônia, nitrito, nitrato, sulfato, ferro total, II, e III utilizou-se os kits de reagentes da empresa Alkakit®, seguiu-se as instruções conforme indicado pelo fabricante para cada tipo de parâmetro. A condutividade elétrica e o pH foram determinados in loco e os demais parâmetros foram determinados no Laboratório, conforme metodologia de referência o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2018). As análises foram realizadas em triplicatas para maior confiabilidade e precisão dos resultados.

3.6 Análise estatística

A análise de variância (ANOVA) é uma ferramenta de comparação de vários grupos que estão associados a procedimentos usados para analisar a existência de diferenças significativas entre as médias dos grupos em uma amostra que foi estudada (HOSSAIN *et al.*, 2019; LEONARDO *et al.*, 2021). De acordo com Leonardo (2021), há duas hipóteses a nula e as alternativas utilizadas para dados

amostrais que são separados em grupos segundo um fator (tratamento) e, inicialmente, a hipótese alternativa onde as médias não são iguais havendo pelo menos um grupo de média diferente das demais tendo como influência do fator. Já a hipótese nula é aquela em que não há médias de grupos diferentes e que não sofrem a influência do fator. Sendo assim, a análise leva em consideração a razão entre o quadrado médio e o quadrado médio do grupo, chamada de estatística F. O valor de F sendo próximo de 1, não há razão para rejeitar a hipótese nula (FAN *et al.*, 2017).

Utilizando-se o software Microsoft Excel (2010) para a realização do teste de Análise de variância (ANOVA) com o nível de significância de 0,05, nas análises das garrafas individuais, quinzenais e mensais com relação aos resultados obtidos dos parâmetros de qualidade da água escoada dos arranjos. Onde foi verificado o valor - p de todos os conjuntos e correlacionando os que apresentavam as médias próximas com o intuito de verificar os arranjos que apresentavam maior nível de semelhança com relação ao parâmetro que estava sendo analisado. Os resultados estão expostos em tabelas e gráficos do tipo box-plot.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises dos parâmetros físico-químicos da água antes e após a percolação nos arranjos

Os resultados das análises de qualidade da água obtidos com as amostras coletadas antes e depois da percolação, tanto nas análises das garrafas individuais estão contidos nos Apêndices de D a H, os quinzenais nos Apêndices de I a M e os mensais são apresentados nos Apêndices de N a Q. Os limites estabelecidos pelas normativas tomadas como base para destinação correta da água coletada estão no Apêndice C, e os resultados da análise de variância (ANOVA) do Apêndice R a T.

Na primeira etapa foi feita análises individuais de 3 garrafas de cada arranjo com o intuito de verificar a discrepâncias entre as garrafas que podem ser influenciados devido ao preenchimento (substrato colocado e o desenvolvimento das mudas), na segunda etapa foram feitas 6 coletas quinzenais do arranjo completo (a junção das 5 garrafas), e a terceira etapa armazenou-se a água da segunda coleta quinzenal e analisada 1, 2 e 3 meses depois da coleta, para assim acompanhar se houve alterações nas concentrações dos parâmetros analisados, já que o intuito é armazenar essa água para uso posterior. A segunda e terceira etapa ocorreram de forma simultânea.

Inicialmente, fez-se o comparativo entre o arranjo e posteriormente com os demais arranjos, juntamente com as análises estatísticas.

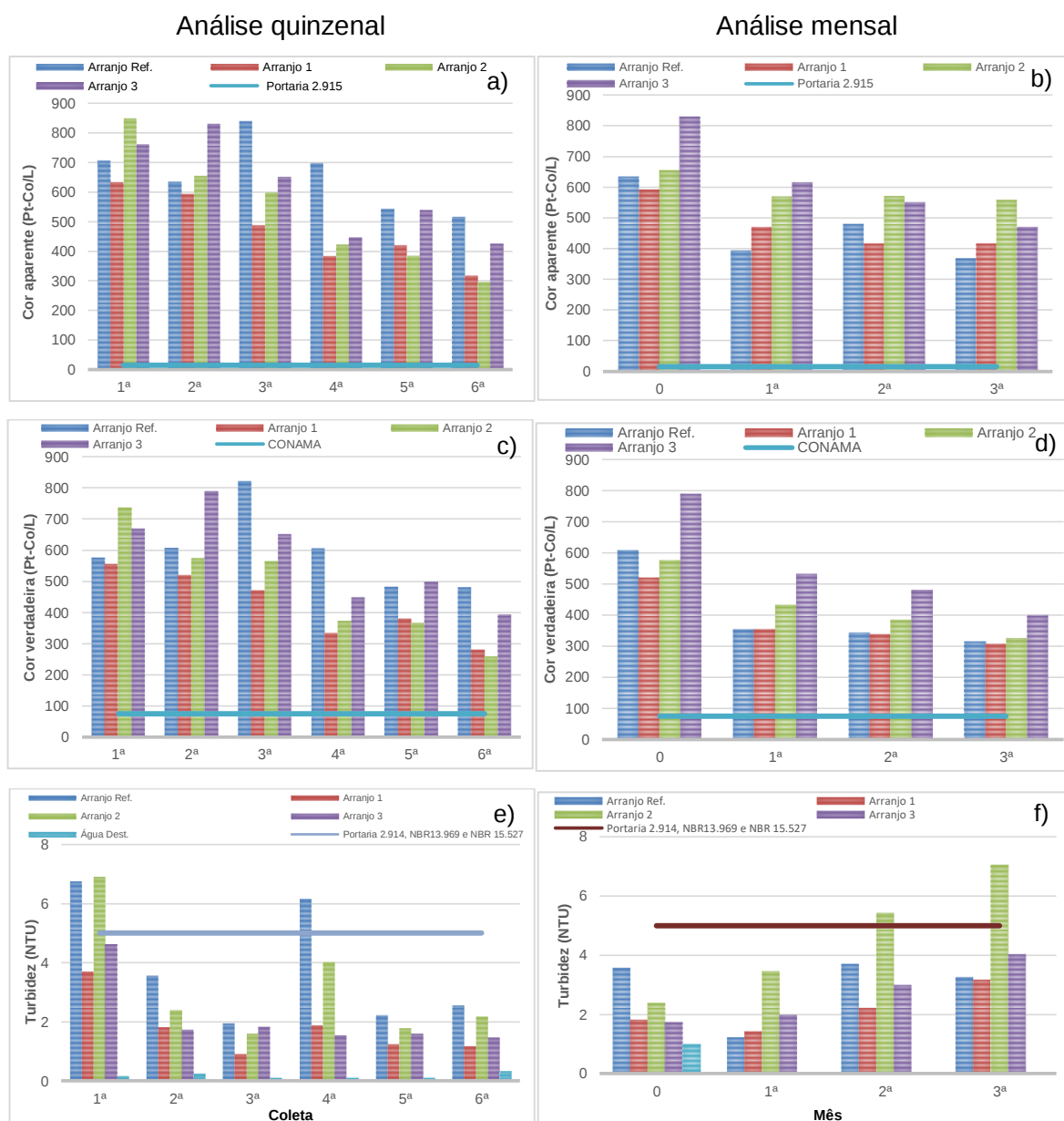
4.1.1 Cor aparente, cor verdadeira e turbidez

No primeiro momento, foram analisadas três garrafas individuais de cada arranjo. A cor aparente apresentou variações, sendo o arranjo de referência o que apresentou uma aproximação entre os valores Apêndice E ao H.

Com relação às análises quinzenais de cor aparente, notou-se que a cada simulação a cor foi diminuindo em todos os arranjos (Figura 32a). O AR (Arranjo de Referência, sem vegetação) na primeira coleta teve um valor de 706 Pt/Co e a na última 517 Pt/Co uma redução de 26,77%. O Arranjo A1 (arranjo de vegetação mini espada de São Jorge) foi de 631 para 318 Pt/Co redução de 49,60%, A2 (arranjo de

vegetação mini palma) de início obteve 849 Pt/Co e na última análise 297 Pt/Co redução de 65,02% e o A3 (arranjo de vegetação suculenta) foi de 762 na primeira análise para 427 Pt/Co na última análise redução 43,96%. O Arranjo A2 foi o que conseguiu obter uma maior redução na cor seguido do A1 e o de AR foi o que manteve-se com maior índice Tabela 8.

Figura 32 - Parâmetros de cor e turbidez das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais.



- a) cor aparente das análises quinzenais b) cor aparente das análises mensais c) cor verdadeira das análises quinzenais d) cor verdadeira das análises mensais e) turbidez das análises quinzenais f) turbidez das análises mensais.

Fonte: Autora (2023).

Nas análises mensais, com o passar do tempo houve um decréscimo nos

valores obtidos na coleta e após se passarem 3 meses foram de: AR 635-369 Pt/Co redução de 41,89%, A1 593-416 Pt/Co redução de 29,85%, A2 655-559 Pt/Co redução de 14,66%, e A3 830-471 Pt/Co redução de 43,25% Tabela 8. O de AR foi o que apresentou o menor valor conforme verificado na Figura 32b.

Esses resultados demonstram que a vegetação interferiu na cor verdadeira à medida que ela se desenvolvia. A água apresentou sinais de melhoras nos telhados com vegetação quando comparada ao arranjo sem vegetação, mesmo assim, todos ficaram acima do permitido pela NBR 15.527 (ABNT, 2007). A análise ANOVA dos valores quinzenais comprova que os arranjos não são semelhantes apresentando valor-p de 0,22. Quando comparado todos os telhados, o que apresentou uma maior semelhança, apesar de não ser ótima, foi o AR e A3 com um valor-p de 0,59 (Apêndice S). Para a análise mensal, os que apresentaram semelhanças foi o AR com o A1 e A2 com o A3.

Com a cor verdadeira, ocorreu o mesmo comportamento da cor aparente, nas primeiras simulações quinzenais o valor reduziu consideravelmente, mesmo assim o menor valor obtido nos arranjos foi de 260 Pt/Co do A2 Figura 32c. Da mesma forma, se deu na análise mensal, visualizado na Figura 32d. Os valores decaíram com o passar do tempo e quando comparados a cor aparente, na análise estática, o valor-p foi de 0,16 não havendo semelhança entre os grupos, o AR e A3 apresentaram o valor-p de 0,80 demonstrando que há semelhança.

Tabela 8 - Diferença entre a 1ª e 6ª simulação dos parâmetros cor e turbidez

	Arranjo	Quinzenal			Mensal		
		1ª análise	6ª análise	Diferença %	0 mês	3ª mês	Diferença %
Cor Aparente	Arranjo Ref.	706,00	517,00	-26,77	635,00	369,00	-41,89
	Arranjo 1	631,00	318,00	-49,60	593,00	416,00	-29,85
	Arranjo 2	849,00	297,00	-65,02	655,00	559,00	-14,66
	Arranjo 3	762,00	427,00	-43,96	830,00	471,00	-43,25
	Portaria 2.915	15					
Cor Verdadeira	Arranjo Ref.	576,00	481,00	-16,49	608,00	315,00	-48,19
	Arranjo 1	556,00	282,00	-49,28	520,00	307,00	-40,96
	Arranjo 2	738,00	260,00	-64,77	575,00	326,00	-43,30
	Arranjo 3	669,00	394,00	-41,11	789,00	399,00	-49,43
	CONAMA	75					
turbidez	Arranjo Ref.	6,76	2,56	-62,13	3,57	3,26	-8,68

Arranjo 1	3,70	1,18	-68,11	1,82	3,16	73,63
Arranjo 2	6,91	2,19	-68,31	2,40	7,06	194,17
Arranjo 3	4,64	1,47	-68,32	1,74	4,02	131,03
Água Dest.	0,15	0,32	113,33	10,00	10,00	0,00
NBR 15.527	5					
NBR13.969	5 ou 10					
Portaria 2.914	5					
CONAMA	40/100					

Fonte: Autora (2023).

A turbidez analisada nas garrafas individuais apresentaram valores diferentes. O arranjo A1 foi o que teve maior discrepância, onde uma garrafa apresentou um valor de 64,4 NTU quase o triplo das demais garrafas. Nos demais arranjos uma das garrafas também apresentou valor diferente, mas com uma discrepância Apêndice E ao H.

A cada precipitação realizada, os valores de turbidez reduziram da 1ª até 3ª coleta. Na 4ª coleta, os valores aumentaram, e depois voltaram a diminuir como mostrado na Figura 32e. Entre a terceira simulação, realizada no dia 19/12/2022, e a quarta, realizada no dia 10/01/2023, houve um período de 22 dias sem ocorrência de simulação da precipitação. De acordo com o teste da Anova, os arranjos não apresentam semelhanças com um valor-p de 0,15. O arranjo AR e A2 apresentaram uma melhor semelhança com o valor-p de 0,56. Já nas análises mensais houve uma variação, o AR no primeiro mês teve uma queda, no segundo mês teve um aumento e no último mês voltou a diminuir um pouco. O A1 diminuiu só no primeiro mês nos dois seguintes os valores subiram, o A2 e A3 foram os que aumentaram com o passar dos meses, sendo o A2 que teve o maior aumento iniciando com 2,4 NTU e no final chegou a 7,06 NTU aumento de 194,17% (Tabela 8), Figura 32f com os dados obtidos.

Fica evidente na Anova, com valor-p de 0,15, que não há semelhança entre os arranjos, apesar do AR e A2 apresentar um valor-p de 0,56. Apenas o AR na primeira e quarta simulação e o A2 na primeira simulação apresentaram valores acima do permitido por norma. As demais análises quinzenais dos arranjos estavam dentro do limite estabelecido de 5 NTU. Na mensal, apenas o A2 no 2º e 3º mês ficou acima. Em estudos realizados por Gomes (2019) e Lima (2013) foram

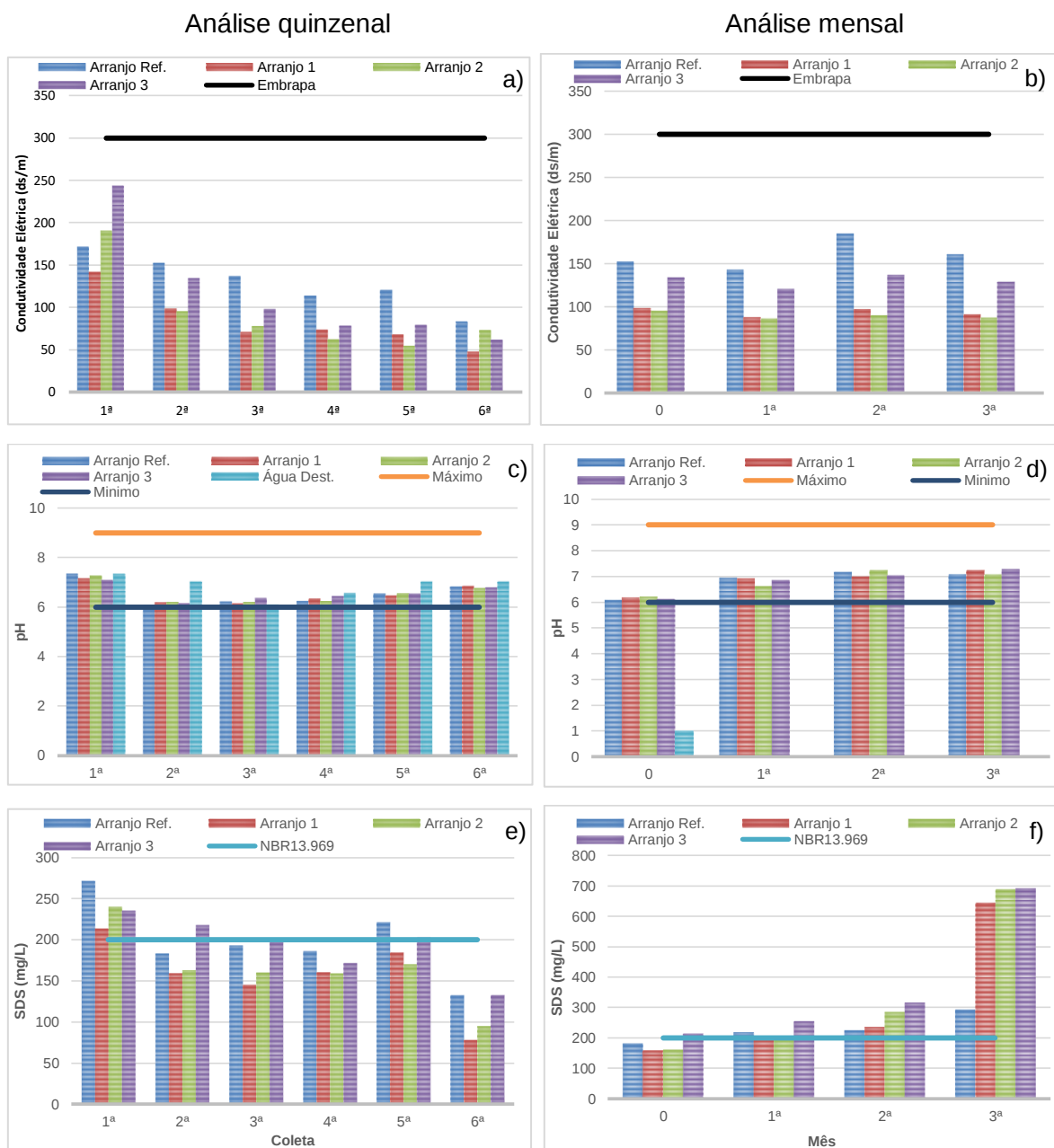
observadas concentrações mais altas em telhados com vegetações do que os de controle, o que não ocorreu nesse sistema. A manta colocada envolveu todo substrato dificultando o carreamento do material. A turbidez de acordo, com Morgan *et al.* (2011), está associada com o tipo de substrato o que não justifica as variações ocorridas já que em todo o sistema foi utilizado o mesmo substrato.

4.1.2 Condutividade elétrica (CE), pH e sólidos dissolvidos totais (SDT)

A cada simulação de precipitação, percebeu-se uma diminuição dos valores da CE. O AR iniciou com 171,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e na 6ª simulação obteve 83,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ redução de 51,54%, A1 foi de 141,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para 47,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 66,31% de redução; o A2 iniciou com 189,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e terminou com 73,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ reduziu 61,38% e o A3 243 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para 61,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ reduziu 74,53% Tabela 9. O A1 iniciou e finalizou com o menor valor CE dentre todos. O que apresentou a maior CE foi o A3 na primeira simulação. Nas demais simulações o AR foi o que se manteve com o valor de CE Figura 33a. Com teste da Anova o valor-p demonstrou que todos os arranjos são diferentes quando comparados, o A1 e A2 são os que apresentam uma maior semelhança com o valor-p de 0,73 seguido do AR e A3 com valor-p de 0,65.

Nas análises mensais, houve pequenas variações entre os meses, mas os valores permaneceram semelhantes ao inicial (Figura 33b). De acordo com a Anova, percebeu-se que não há semelhanças entre os arranjos. Em todas as análises os valores de condutividade elétrica estiveram muito abaixo do limite estabelecido pela Embrapa. Da mesma forma ocorreu com Gomes (2019), onde os telhados verdes apresentaram valores de CE inferiores ao da norma ao contrário do telhado de controle estudado por ele que obteve valores acima. Silva (2017) também obteve valores bem abaixo do limite da norma e conseguiu reduzir ainda mais utilizando filtros.

Figura 33 - Parâmetros CE, pH e SDT das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais



a) Condutividade elétrica quinzenal b) condutividade elétrica mensal c) pH quinzenal pH mensal
e) sólidos dissolvidos totais quinzenais f) sólidos dissolvidos totais mensais.

Fonte: Autora (2023).

As garrafas individuais apresentaram resultados de pH semelhantes comparados entre si (Figura 33c), o menor valor foi do AR e o maior do A3. Nas análises quinzenais durante os seis eventos o pH sofreu poucas variações (Tabela 9). Na mensal, percebeu-se que os valores aumentaram, entre 2º e 3º mês de armazenamento teve uma pequena estabilização (Figura 33d). Todos os dados não

ultrapassaram os limites determinados pelas normas NBR 15.527 (ABNT, 2007), NBR 13.969 (ABNT, 1997) e Embrapa (Almeida, 2010), no intervalo de 6,0 a 9,0. De forma geral, os arranjos conseguem trazer uma neutralização do pH assim como para (Razzaghmanesh *et al.*, 2014; Vijayaraghavan; Joshi, 2014; Buffam; Michell; Durtsche, 2016) que apesar de terem utilizado diferentes tipos de substrato e vegetação tratam-se de estudos realizados no semiárido e tropical de Pernambuco (Farias, 2012; Lima, 2013; Silva, 2017; Gomes, 2019). Através da ANOVA comprova-se que os arranjos são semelhantes quanto a este parâmetro durante as análises quinzenais e mensais com valor-p de 0,990, apenas nas garrafas individuais que não demonstrou similaridade com valor-p de 0,0012.

Tabela 9 - Diferença entre a 1ª e 6ª simulação dos parâmetros condutividade elétrica, pH e sólidos dissolvidos totais

	Arranjo	Quinzenal			Mensal		
		1ª análise	6ª análise	Diferença %	0 mês	3ª mês	Diferença %
Condutividade Elétrica	Arranjo Ref.	171,90	83,30	-51,54	152,70	160,80	5,30
	Arranjo 1	141,90	47,80	-66,31	98,80	91,50	-7,39
	Arranjo 2	189,80	73,30	-61,38	95,10	87,40	-8,10
	Arranjo 3	243,00	61,90	-74,53	134,30	129,30	-3,72
	Embrapa	300					
pH	Arranjo Ref.	7,33	6,81	-7,09	6,07	7,06	16,31
	Arranjo 1	7,15	6,83	-4,48	6,17	7,23	17,18
	Arranjo 2	7,26	6,75	-7,02	6,20	7,07	14,03
	Arranjo 3	7,06	6,77	-4,11	6,14	7,28	18,57
	Água Dest.	7,32	7,00	-4,37	9,00	9,00	0,00
	NBR 15.527	6,0 a 9,0					
	NBR13.969	6,0 a 9,05					
	Embrapa	6,0 a 8,5					
	CONAMA	6,0 a 9,0					
Sólidos Dissolvidos Totais	Arranjo Ref.	271,00	132,00	-51,29	183,00	293,00	60,11
	Arranjo 1	213,00	78,00	-63,38	159,00	644,00	305,03
	Arranjo 2	240,00	95,00	-60,42	163,00	688,00	322,09
	Arranjo 3	235,00	132,00	-43,83	217,00	692,00	218,89
	NBR13.969	200					
	Portaria 2.914	1000					
	Embrapa	2000					
	CONAMA	500					

Fonte: Autora (2023).

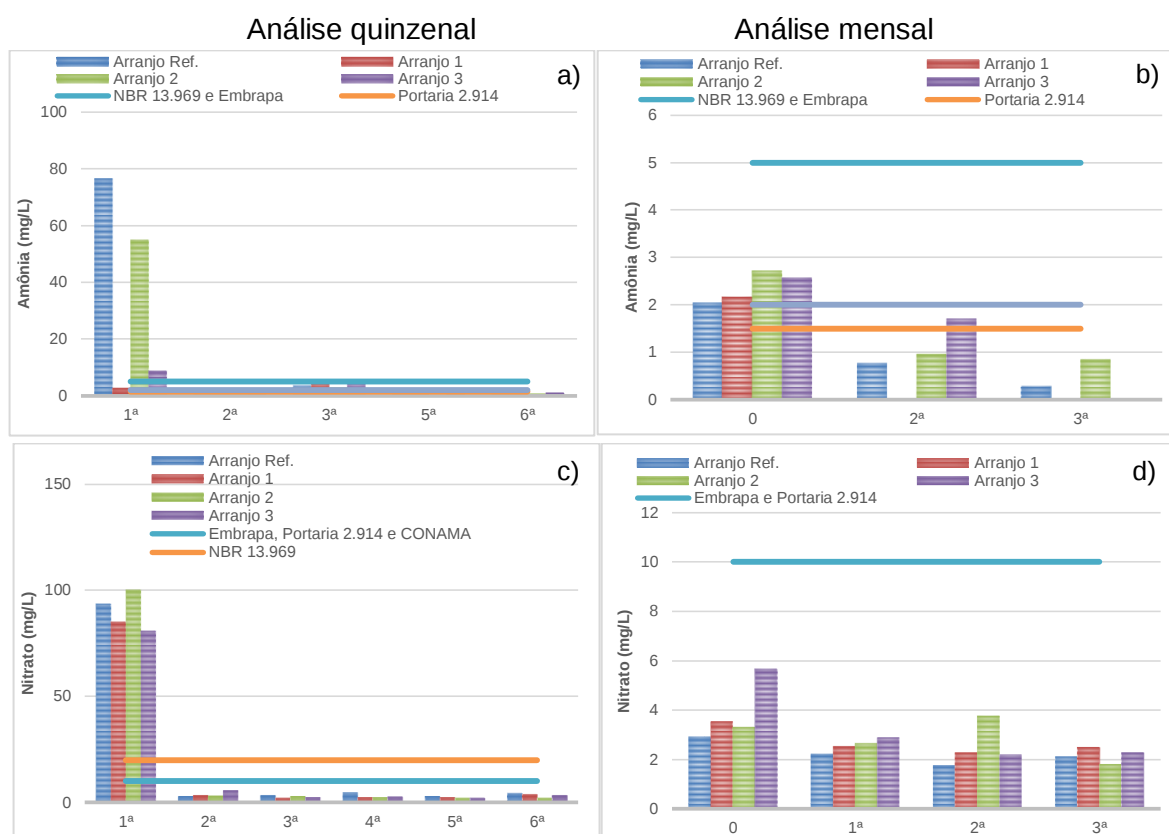
Quanto ao parâmetro STD, nas garrafas individuais, observa-se que o AR foi o que teve o maior valor além dos valores das três garrafas estarem bem próximos em média 901,33 mg/L; os outros arranjos apresentaram valores menores, mas com muita variação entre as garrafas. Durante o período das 6 precipitações, houve redução nos valores de STD, onde os valores iniciais e finais foram: AR 271-132 mg/L redução de 51,29%; A1 213-78 mg/L redução de 63,38%; A2 240-95 mg/L redução de 60,42%; e A3 235-132 mg/L redução de 43,83% conforme a Tabela 9 e a Figura 33e. O A1 foi o que teve maior redução nesse período. Já nas análises mensais, os valores aumentaram saindo de: AR 183-293 mg/L aumento de 60,11%; A1 159-644 mg/L aumento de 305,03%; A2 163-688 mg/L aumento de 322,09%; e A3 217-692 mg/L aumento de 218,89% (Tabela 9 e Figura 33f), percebe-se que os arranjos com vegetação foram os que tiveram aumento principalmente no último mês analisado. A vegetação influenciou de forma positiva para utilização imediata, mas no quesito de armazenagem atuou de forma negativa. Apenas para a análise mensal a Anova demonstrou que os arranjos se comportaram de forma semelhante. Com relação aos limites estabelecidos pela Portaria MS 2.914/2011 e Embrapa” (Almeida, 2010) todos os arranjos não ultrapassaram os valores máximos, mesmo com o aumento obtido no armazenamento da água, ficaram acima só do estabelecido pela NBR 13.969 (ABNT, 1997) assim como para as análises quinzenais na primeira coleta todos ficaram acima. Já na segunda, o A3 e na quinta, o AR e A3 foram os arranjos que tiveram valores superiores ao estabelecido. Silva (2017) relata que mesmo utilizando filtro não teve uma redução significativa nos valores de STD, mesmo com o filtro de areia que é utilizado para tratamento de efluentes.

4.1.3 Amônia, nitrato, nitrito e ferro

As concentrações de amônia variaram nas análises das garrafas individuais em todos os arranjos, e comparados um com o outro não apresenta similaridade por meio do teste da Anova. Nas análises quinzenais, houve uma redução nos valores de amônia presente na água. O A1 foi o que teve menos variações durante as 5 análises realizadas com redução de 63,22%. O AR na primeira simulação obteve um valor de 76,54 mg/L e na última 1,63 mg/L redução de 97,87%. O A2 foi de 54,78 mg/L para 0,89 mg/L, redução de 98,38% (Tabela 10 e Figura 34a). De forma geral,

os arranjos não apresentam uma boa semelhança com um valor-p de 0,629. Os que apresentaram maior semelhança foi AR e A2 com o valor-p de 0,800. A análise mensal teve redução significativa no terceiro mês. O A2 foi o que teve o maior índice de amônia com cerca de 0,85 e o A1 não apresentou sinais de amônia desde do segundo mês de armazenamento (Figura 34b). Ao realizar o teste da Anova há semelhança entre os arranjos com valor-p de 0,810 e principalmente entre os arranjos A2 e A3 com valor-p de 0,940, o que difere dos demais é o A1 o AR, A2 e A3 apresentam uma melhora no valor-p de 0,850. As concentrações estiveram acima do limite estabelecido por norma apenas na primeira coleta de quase todos os arranjos, nas demais a maioria ficou abaixo ao nível de detecção, apesar de haver algumas situações de aumento.

Figura 34 - Parâmetros de amônia, nitrato, nitrito e ferro das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais





a) Amônia quinzenal b) amônia mensal c) nitrato quinzenal d) nitrato mensal e) nitrito quinzenal f) nitrito mensal g) ferro total quinzenal h) ferro total mensal i) ferro II quinzenal j) ferro II mensal k) ferro III quinzenal l) ferro III mensal.

Fonte: Autora (2023).

Ao analisar o parâmetro nitrato das garrafas individuais, observa-se que não apresentaram valores semelhantes de acordo com teste da Anova com valor-p de 0,053, entre as garrafas do mesmo arranjo. Os valores tiveram variações, 1 das garrafas teve o valor distinta das demais. Já nas análises quinzenais houve uma redução significativa da primeira coleta para a última onde os arranjos obtiveram AR 93,42-4,35 mg/L redução de 95,5%; A1 84,84-3,83 mg/L redução de 95,49%; A2 99,86-2,11 mg/L redução de 97,88% e A3 80,55-3,40 mg/L redução de 95,78% Tabela 10. Dentre os arranjos, o AR na última análise teve o maior valor e o A2 foi o que iniciou com maior concentração de nitrato (Figura 34c). Com o teste da Anova, comprovou-se que os arranjos são semelhantes com valor-p de 1,000. Para as análises mensais, os valores não tiveram grandes alterações apesar de todos terem tido uma redução com o passar dos meses, o A3 foi o que teve a maior redução passando de 5,65 mg/L para 2,28 mg/L redução de 59,58% conforme a Tabela 10. Apesar de apresentarem valores próximos (Figura 34d), com o teste da Anova demonstra que a semelhança é pouca entre os arranjos com valor-p de 0,560. O A1 e A2 apresentaram um valor-p melhor de 0,760. As concentrações de nitrato só estiveram acima do estabelecido por norma nas análises das garrafas individuais e na primeira simulação quinzenal.

As concentrações de amônia e nitrato ficaram dentro do limite estabelecido por norma, esses valores podem não ser alterados ou diminuir da mesma forma que ocorreu com Berndtsson, Bengtsson e Jinno (2009) e Gomes (2019), em seus ensaios com telhado verde.

Nas análises quinzenais (Figura 34e) e mensais (Figura 34f), os valores do parâmetro de nitrito não ultrapassaram 1 mg/L, determinado pela Portaria MS 2.914/2011. O máximo que atingiu foi de 0,068 mg/L na segunda coleta do A3. Nas duas últimas simulações realizadas, os valores reduziram. Ocorreu o mesmo comportamento com a água armazenada. A cada mês, os valores decaíam. O teste da Anova para análise quinzenal demonstrou que há similaridade entre os arranjos com valor-p de 0,840, já para a mensal o valor-p foi de 0,500, sendo que o que mais se diferenciou foi o A1, apresentando valor-p 0,840.

Tabela 10 - Diferença entre a 1ª e 6ª simulação dos parâmetros amônia, nitrato, nitrito e ferro

Arranjo	Quinzenal			Mensal		
	1ª análise	6ª análise	Diferença %	0 mês	3ª mês	Diferença %

Amônia	Arranjo Ref.	76,54	1,63	-97,87	2,04	0,29	-86,06
	Arranjo 1	2,72	1,00	-63,22	2,16	0,00	-100,00
	Arranjo 2	54,78	0,89	-98,38	2,72	0,85	-68,89
	Arranjo 3	8,64	1,22	-85,87	2,57	0,02	-99,12
	NBR 13.969			5			
	Portaria 2.914			1,5			
	Embrapa			0-5			
	CONAMA			2			
Nitrato	Arranjo Ref.	93,42	4,35	-95,35	2,91	2,11	-27,31
	Arranjo 1	84,84	3,83	-95,49	3,53	2,50	-29,18
	Arranjo 2	99,86	2,11	-97,88	3,29	1,81	-44,95
	Arranjo 3	80,55	3,40	-95,78	5,65	2,29	-59,58
	NBR 13.969			20			
	Portaria 2.914			10			
	Embrapa			10			
	CONAMA			10			
Nitrito	Arranjo Ref.	0,06	0,01	-86,78	0,05	0,00	-98,55
	Arranjo 1	0,05	0,00	-99,44	0,05	0,34	569,86
	Arranjo 2	0,06	0,01	-85,46	0,05	0,02	-65,38
	Arranjo 3	0,05	0,01	-72,56	0,07	0,00	-94,26
	NBR 13.969			20			
	Portaria 2.914			10			
	Embrapa			10			
	CONAMA			10			
Ferro Total	Arranjo Ref.	1,29	0,72	-43,70	0,95	0,62	-35,17
	Arranjo 1	0,99	0,48	-51,28	0,79	0,67	-15,23
	Arranjo 2	1,35	0,51	-62,31	0,99	1,07	8,10
	Arranjo 3	1,09	0,62	-43,16	1,07	0,75	-29,96
	Portaria 2.914			0,3			
Ferro II	Arranjo Ref.	0,08	0,05	-33,33	0,07	0,04	-39,94
	Arranjo 1	0,01	0,04	199,93	0,03	0,03	0,11
	Arranjo 2	0,00	0,04		0,11	0,07	-37,54
	Arranjo 3	0,00	0,04		0,00	0,01	
Ferro III	Arranjo Ref.	1,21	0,67	-44,40	0,88	0,58	-34,79
	Arranjo 1	0,98	0,44	-54,72	0,76	0,64	-15,76
	Arranjo 2	1,35	0,47	-65,28	0,88	1,10	24,21
	Arranjo 3	1,09	0,58	-46,86	1,07	0,74	-31,21

Fonte: Autora (2023).

Com relação ao ferro, a Portaria MS 2.914/2011 estabelece apenas o valor permitido de ferro total que é de 0,3 mg/L. Durante as análises quinzenais, a cada coleta, os valores diminuíram (Figura 34g). No entanto, ainda estão acima do estabelecido pela norma. O menor valor na 6ª simulação foi de 0,48 mg/L do A1 e o máximo foi do AR com 0,72 mg/L. A água armazenada no último mês dos arranjos AR, A1 e A3 tiveram seus valores reduzidos e o A2 teve um pequeno aumento (Figura 34h). Anova nas análises quinzenais demonstrou que os arranjos A2 e A3 foram os que mais tem semelhança (valor-p de 0,930), quando comparado todos o valor-p é de 0,470. Retirando o A1, o valor-p é de 0,800 demonstrando que o que difere do conjunto é o A1. Já na mensal, não há semelhanças entre os arranjos.

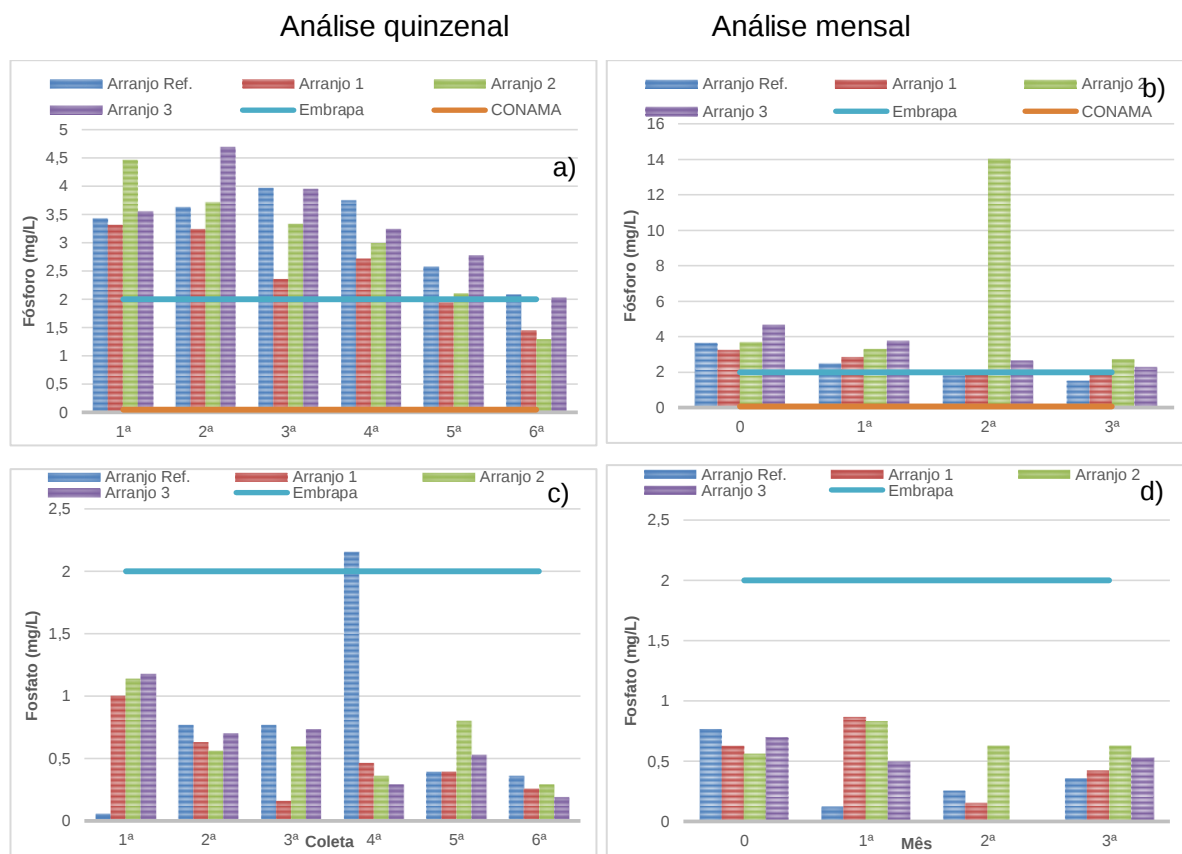
O mesmo comportamento ocorreu com o ferro III (Figura 34k). Os valores também reduziram a cada coleta com valores iguais ao de ferro total, o que difere é com relação a Anova para as análises quinzenais. Nestas análises, o valor-p para todos os arranjos foi de 0,600. O valor melhora quando A1 é retirado ficando um valor-p de 0,850 demonstrando que estes apresentam semelhanças. Na análise mensal, o A2 teve um aumento e os demais diminuíram (Figura 34l). Pelo teste da Anova não há semelhanças entre os arranjos (valor-p de 0,060). Já o ferro II, sofreu variações tanto nas análises quinzenais (Figura 34i) quanto nas mensais (Figura 34j). Observa-se que os valores aumentaram e diminuíram conforme ocorriam as coletas e tempo de armazenamento, mas com índices inferiores quando comparados com ferro total e ferro III. O teste da Anova para as coletas demonstram que os arranjos AR e A2 são semelhantes, assim como o A1 e A3, e para a água armazenada o que apresenta semelhança é o AR e A2 os demais diferem.

4.1.4 Fósforo e fosfato

Os limites determinados para fósforo e fosfato pela Embrapa é de 2 mg/L. Na primeira coleta, o índice de fósforo em todos os arranjos estava acima do permitido pela norma. A cada simulação, os índices diminuíram, apesar das variações em algumas coletas. Na última coleta, o AR e o A3 continuaram com o índice mais acima e o A2 teve a maior redução de 70,89% (Tabela 11 e Figura 35a). Para a água armazenada, os valores também diminuíram com o passar dos meses. O AR foi o que ficou abaixo do exigido pela norma (Figura 35b). De acordo com a Anova,

as análises quinzenais de AR e A3 e, as análises mensais de AR e A1 apresentaram uma maior semelhança.

Figura 35 - Parâmetros de fósforo e fosfato das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais



a) Fósforo quinzenal b) fósforo mensal c) fosfato quinzenal d) fosfato mensal.

Fonte: Autora (2023).

O parâmetro fosfato, em todas as precipitações e nos meses de armazenamento, não teve índice acima do permitido pela norma. Nas análises quinzenais, os valores na maioria dos casos decaíam a cada simulação (Figura 35c), e, para a análise mensal, houve variações onde o A2 no terceiro mês teve um valor maior do que o inicial (Figura 35d). O valor-p de 0,800 para o conjunto quinzenal demonstrou que os arranjos têm semelhança. Os arranjos A2 e A3 apresentaram maior semelhança com valor-p de 0,910. Já para o mensal, não há similaridade entre os arranjos, apesar do A1 e A3 apresentarem valor-p de 0,690.

Tabela 11 - Diferença entre a 1ª e 6ª simulação dos parâmetros fósforo e fosfato

	Arranjo	Quinzenal			Mensal		
		1ª análise	6ª análise	Diferença %	0 mês	3ª mês	Diferença %
Fósforo	Arranjo Ref.	3,43	2,09	-39,15	3,63	1,52	-58,24
	Arranjo 1	3,31	1,46	-56,05	3,24	2,03	-37,27
	Arranjo 2	4,46	1,30	-70,89	3,71	2,76	-25,57
	Arranjo 3	3,55	2,03	-42,85	4,68	2,31	-50,70
	Embrapa	2					
	CONAMA	0,05					
Fosfato	Arranjo Ref.	0,06	0,36	529,44	0,77	0,36	-52,86
	Arranjo 1	1,00	0,26	-74,07	0,63	0,43	-32,08
	Arranjo 2	1,14	0,29	-74,18	0,56	0,63	11,98
	Arranjo 3	1,17	0,19	-83,57	0,70	0,53	-24,15
	Embrapa	2					

Fonte: Autora (2023).

O substrato, a adubação e a fertilização têm influência na qualidade da água demonstrando a importância de realizar análises de fósforo e nitrogênio. De acordo com Savi (2015), o aumento de algas e biomassa pode ser relacionada ao excesso de nutrientes, nitrogênio e fósforo, causando a eutrofização da água. Com o aumento da biomassa pode ocasionar a diminuição do oxigênio fazendo ter uma menor qualidade.

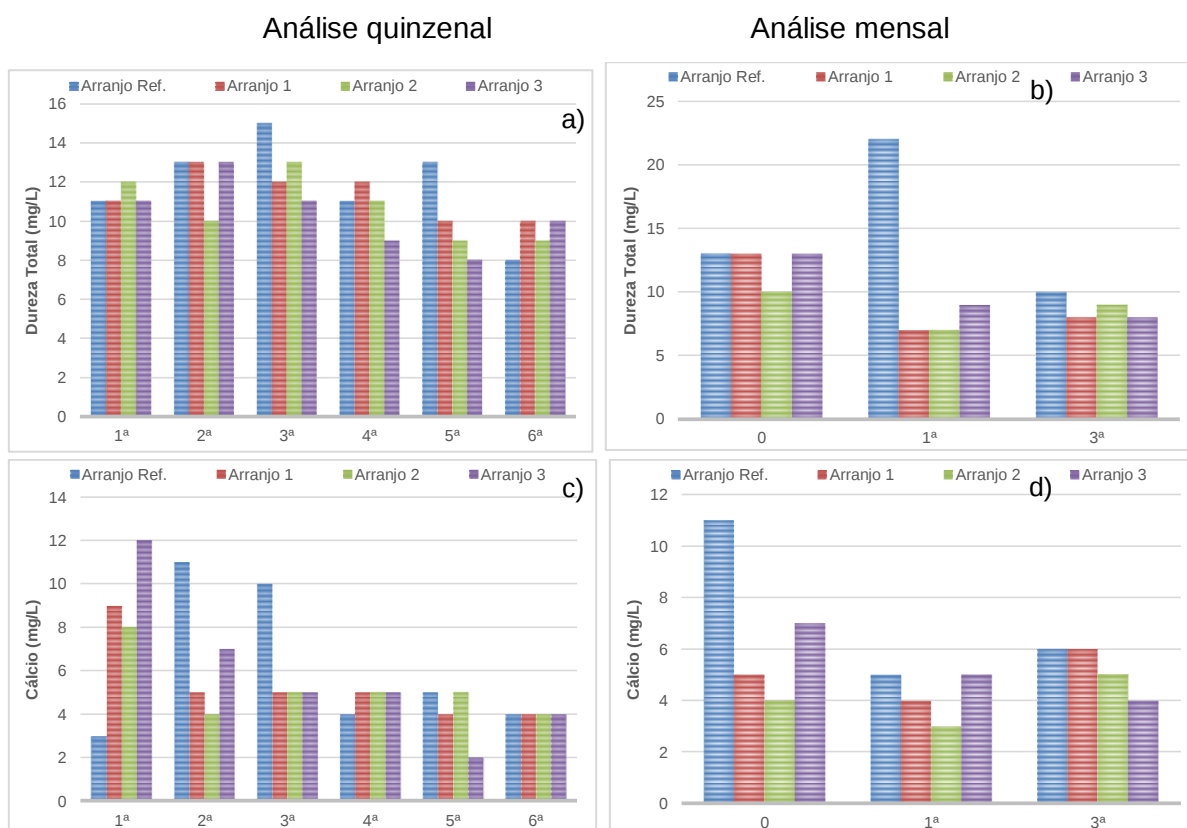
4.1.5 Dureza total, cálcio, cloreto e sulfato

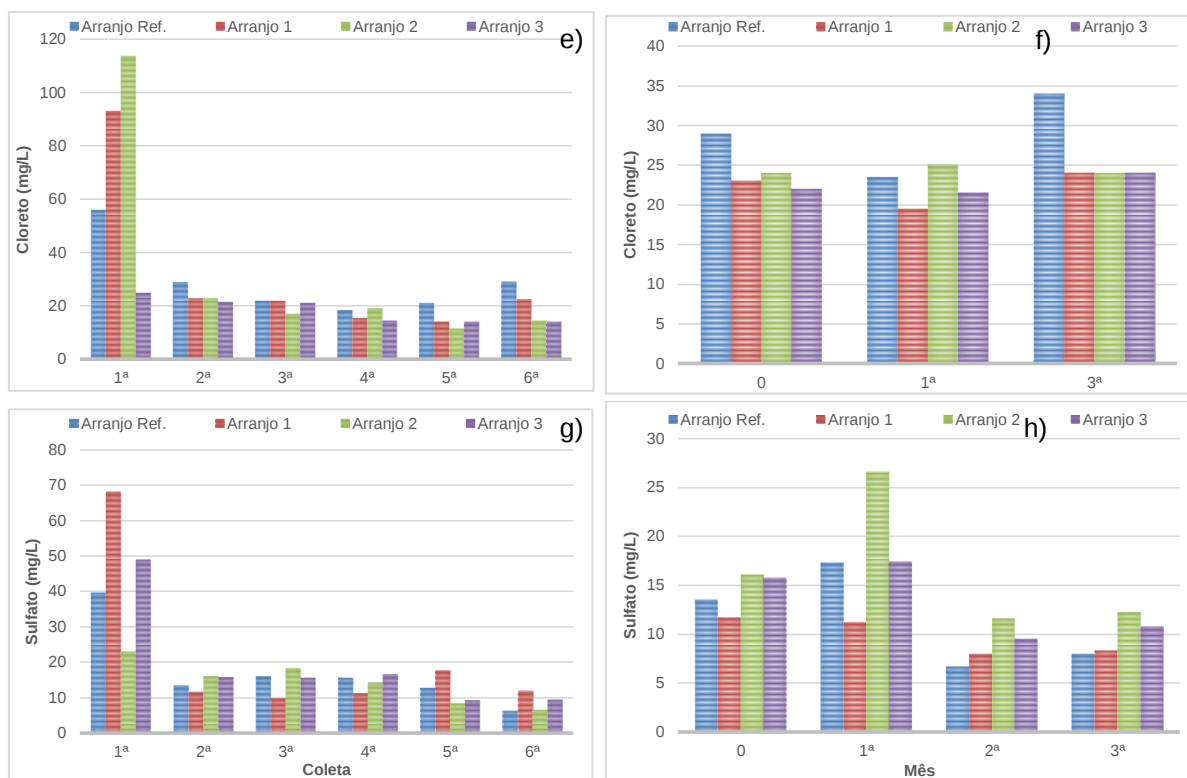
Foram observadas poucas diferenças nas análises quinzenais de dureza total realizadas na 1ª e 2ª coletas de todos os arranjos estudados. Valores semelhantes foram observados apenas para o arranjo A2 (Figura 36a). O mesmo ocorreu com a água armazenada dos telhados, onde se observou que os valores entre o segundo e terceiro mês tiveram uma pequena variação (Figura 36b). O arranjo AR das análises quinzenais foi o que teve maior redução (cerca de 27,27%) e na mensal foi o arranjo A3 com 38,46% de redução nas concentrações (Tabela 12). Mesmo com valores próximos, o teste da anova demonstra que não há semelhanças entre os arranjos, apenas os arranjos A2 e A3 apresentaram um valor-p melhor. Na análise mensal, os arranjos A1, A2 e A3 apresentaram uma boa semelhança. Em todos os momentos,

os índices de dureza total ficaram abaixo do limite exigido pela Portaria MS 2.914 (500 mg/L).

Da mesma forma se deu para a dureza de cálcio. Os arranjos AR e A3 foram os que tiveram maior variação nas análises quinzenais (Figura 36c) e mensais (Figura 36d). Os valores máximos foram 12 mg/L (na primeira análise) do A3 e o menor foi de 2 mg/L do A3 na 5ª simulação. Todos os arranjos tiveram o mesmo valor de 4 mg/L na última simulação. Na análise mensal, os arranjos AR e A1 no terceiro mês tiveram o mesmo nível de 6 mg/L e o A2 e A3 valores próximos de 5 mg/L e 4 mg/L, respectivamente. O índice de redução foi maior nas análises quinzenais. Apenas o arranjo AR na coleta mensal obteve uma redução maior do que nas análises quinzenais (Tabela 12). No teste da Anova quinzenal, observa-se que há uma boa similaridade entre os arranjos. Já na análise mensal, apenas os arranjos A1 e A3 apresentaram semelhança. Os valores estiveram bem abaixo do limite máximo recomendado pela Embrapa, da mesma forma que ocorreu com Gomes (2019).

Figura 36 - Parâmetros de dureza total, cálcio, cloreto e sulfato das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais





a) Dureza total quinzenal b) dureza total mensal c) cálcio quinzenal d) cálcio mensal e) cloreto quinzenal f) cloreto mensal g) sulfato quinzenal h) sulfato mensal.

Fonte: Autora (2023).

O parâmetro cloreto também está abaixo dos limites da Portaria MS 2.914/2011 de 250 mg/L, e da Embrapa de 1.063,80 mg/L, nas análises quinzenais e mensais. Da primeira até a quarta precipitação, os valores de cloreto diminuíram, principalmente comparados com a 1ª primeira coleta dos arranjos AR, A1 e A2 (Figura 36e). Na análise mensal, apenas o arranjo A2 aumentou de valor no 1º mês. Os demais arranjos tiveram uma redução. Já no 3º mês, as concentrações voltaram a aumentar e o arranjo AR foi o que obteve valor diferente e maior dentre os demais (Figura 36f). Nas análises quinzenais teve-se redução na concentração do cloreto das amostras escoadas nos arranjos, já na mensal houve aumento nesses valores. O arranjo A2 manteve o mesmo valor (Tabela 9). Conforme análise Anova, os arranjos quinzenais apresentam semelhanças, o valor-p melhora quando o arranjo A3 é retirado, já na mensal apenas os arranjos A1 e A3 apresentaram semelhanças.

Tabela 12 - Diferença entre a 1ª e 6ª simulação dos parâmetros dureza total, cálcio, cloreto e sulfato

	Arranjo	Quinzenal			Mensal		
		1ª análise	6ª análise	Diferença %	0 mês	3ª mês	Diferença %
Dureza Total	Arranjo Ref.	11,00	8,00	-27,27	13,00	10,00	-23,08
	Arranjo 1	11,00	10,00	-9,09	13,00	8,00	-38,46
	Arranjo 2	12,00	9,00	-25,00	10,00	9,00	-10,00
	Arranjo 3	11,00	10,00	-9,09	13,00	8,00	-38,46
	Portaria 2.914	500					
Cálcio	Arranjo Ref.	3,00	4,00	33,33	11,00	6,00	-45,45
	Arranjo 1	9,00	4,00	-55,56	5,00	6,00	20,00
	Arranjo 2	8,00	4,00	-50,00	4,00	5,00	25,00
	Arranjo 3	12,00	4,00	-66,67	7,00	4,00	-42,86
	Embrapa	400,8					
Cloreto	Arranjo Ref.	55,98	29,00	-48,20	28,99	33,99	17,24
	Arranjo 1	92,97	22,50	-75,80	22,99	23,99	4,35
	Arranjo 2	113,46	14,50	-87,22	23,99	23,99	0,00
	Arranjo 3	24,99	14,00	-43,98	21,99	23,99	9,09
	Portaria 2.914	250					
	Embrapa	1063,8					
Sulfato	Arranjo Ref.	39,53	6,23	-84,25	13,49	8,02	-40,56
	Arranjo 1	67,92	11,98	-82,36	11,70	8,30	-29,03
	Arranjo 2	22,92	6,60	-71,19	16,04	12,26	-23,53
	Arranjo 3	48,87	9,43	-80,69	15,75	10,75	-31,74
	Embrapa	960,6					
	CONAMA	250					

Fonte: Autora (2023).

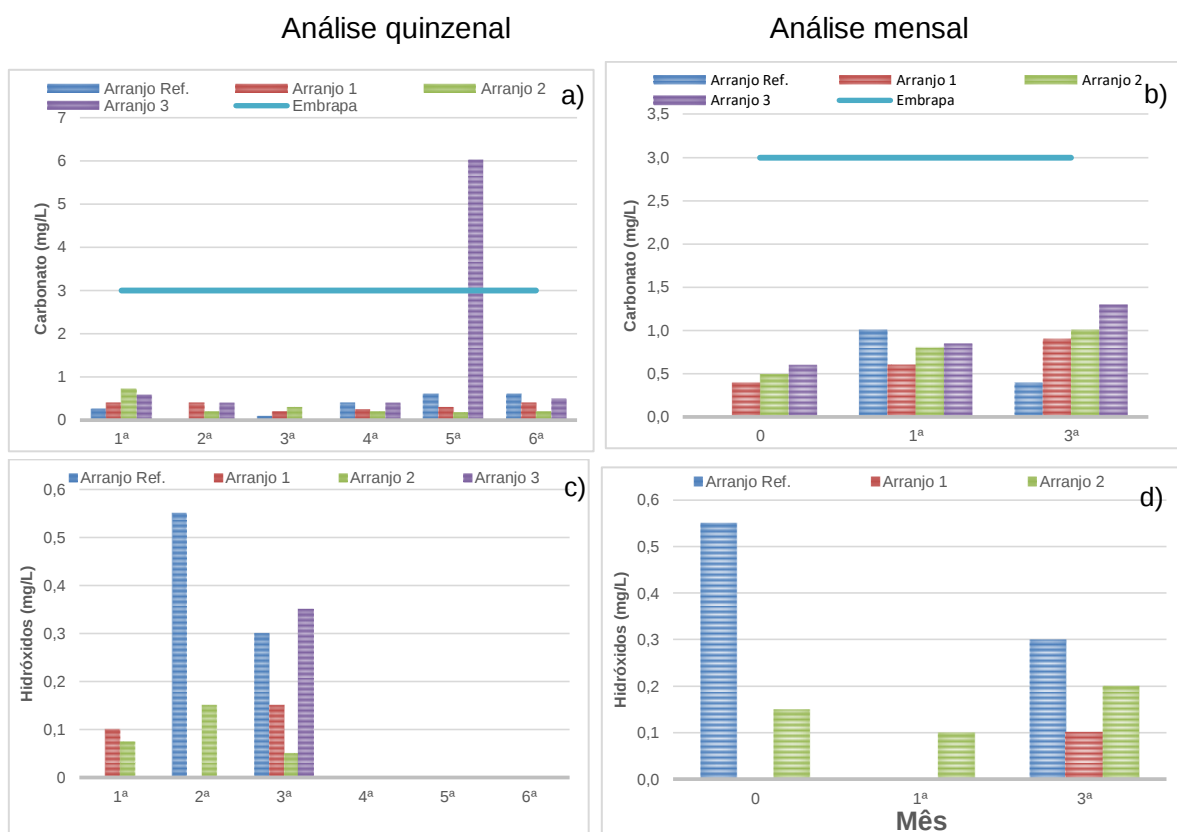
O limite estabelecido pela Embrapa para sulfato é até 960,6 mg/L, não atingido em nenhuma das análises realizadas. Os valores da maioria dos arranjos foram diminuindo conforme as precipitações ocorriam (Figura 35g). O mesmo ocorreu com a água armazenada (Figura 36h). Quando comparado o dia da coleta com o 3º mês, no primeiro mês houve aumento nos valores, exceto para o arranjo A1. O teste Anova mostra que os arranjos nas análises quinzenais têm semelhanças, o valor-p consegue aumentar mais quando o A2 é retirado chegando a 0,900, mas quanto ao mensal isso não ocorre.

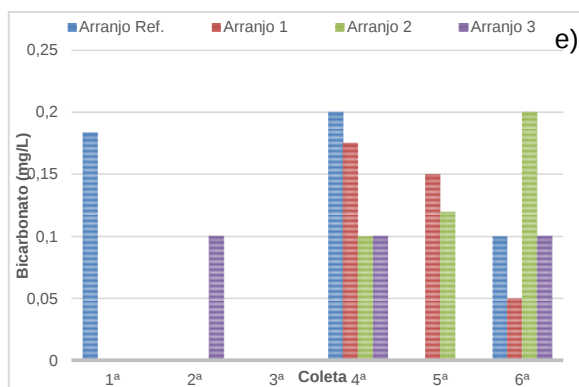
4.1.6 Carbonato, bicarbonato e hidróxidos

De acordo com a Embrapa, o índice de carbonato máximo é 3 mg/L. Nas análises quinzenais e mensais os valores não ultrapassaram o limite de 0,70 mg/L. Com exceção da quinta análise da quinzenal do arranjo 3 que atingiu um valor de 6,02 mg/L (Figura 37a). Na análise mensal, o valor máximo ocorreu no terceiro mês nos arranjos A1, A2 e A3 (Figura 37b). Anova demonstrou que não há semelhanças entre todos os telhados apenas o AR e A1 ou retirando o A3 houve semelhanças entre os demais se tratando das análises quinzenais, na mensal todos deram indiferentes.

Quase não houve bicarbonato na maioria das amostras de águas escoadas quinzenais (Figura 37e). Na análise mensal, não foi detectada a presença de bicarbonato nas amostras mensais. A Anova demonstrou que há semelhança entre os arranjos para as análises quinzenais. A quantidade de hidróxidos também foi baixa entre a 4ª e a 6ª coleta (Figura 37c). A mensal, o 3º mês todos apresentaram índices baixos (Figura 37d).

Figura 37 - Parâmetros de carbonato, bicarbonato e hidróxidos das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais





a) Carbonato quinzenal b) carbonato mensal c) hidróxidos quinzenal d) hidróxidos mensal e) bicarbonato quinzenal.

Fonte: Autora (2023).

O teste da Anova para as análises de hidróxidos quinzenais demonstraram que os arranjos A1 e A2 que apresentaram semelhanças, não sendo observada semelhança na análise mensal. Em todas as análises, as concentrações estão bem abaixo do limite máximo (610,2 mg/L) estabelecido pela Embrapa.

De acordo com Gomes (2019), os principais contribuintes para a alcalinidade da água é o carbonato, bicarbonato e hidróxidos. Em presença de ácidos fracos a alcalinidade tem a capacidade de neutralizá-los em um sistema aquoso.

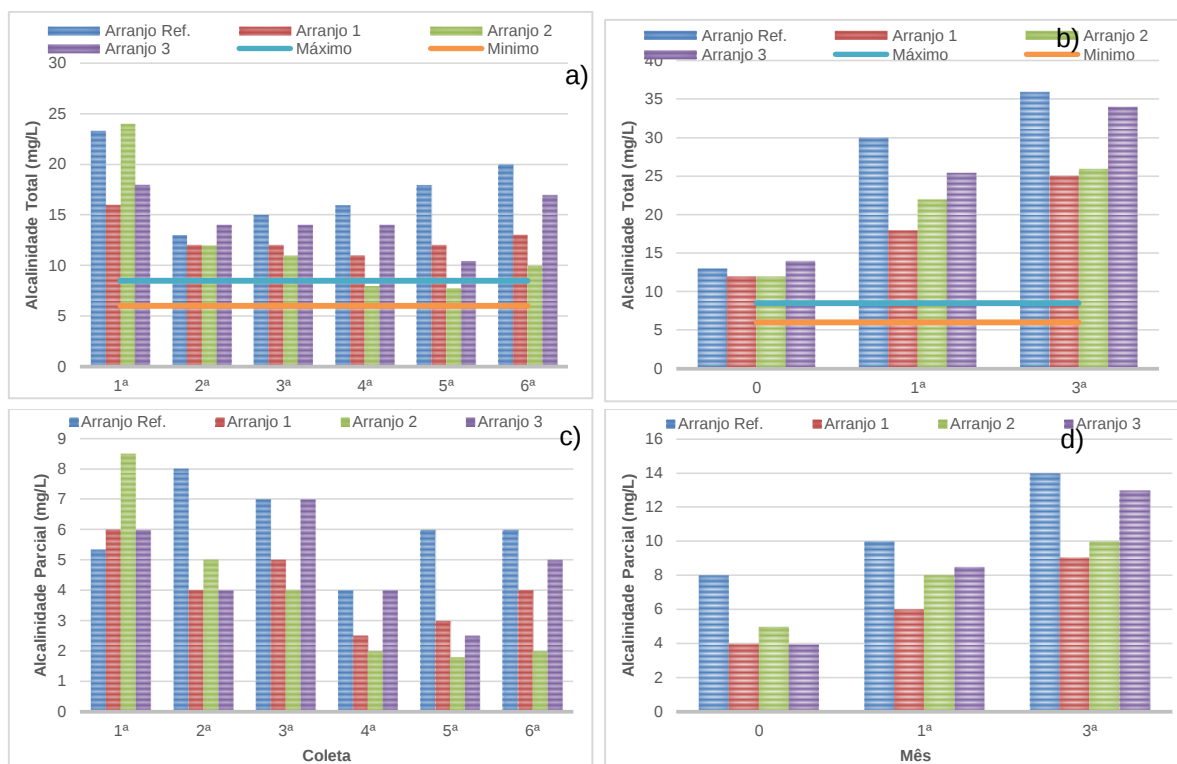
4.1.7 Alcalinidade total e parcial

A alcalinidade total sofreu alterações ao longo das precipitações. Na 1ª análise, os arranjos tiveram os maiores valores, na 2ª, 3ª e 4ª diminuíram, e nas duas últimas voltaram a aumentar. O A2 na 4ª e 5ª coleta esteve dentro do estabelecido pela Embrapa (6,0-8,5) (Figura 38a). A mensal teve um aumento considerável saiu de: AR 13,00-35,93 mg/L; A1 11,98-24,95 mg/L; A2 11,98-25,95 mg/L e o A3 13,97-33,93 mg/L, à medida que o tempo passou os índices aumentaram principalmente no arranjo AR e A3 (Figura 38b). Tanto nas análises quinzenais e mensais o teste da anova demonstra que não similaridade em todos os arranjos apenas o A1 e A2 de ambos que apresentam semelhanças.

Figura 38 - Parâmetros de alcalinidade total e parcial das análises quinzenal (à esquerda) e mensal (à direita) das águas escoadas nos arranjos vegetais

Análise quinzenal

Análise mensal



Fonte: Autora (2023).

Da mesma forma, foi observado que para o parâmetro alcalinidade parcial, o arranjo A2 foi o que teve maior concentração inicial nas coletas, e o menor na última. O arranjo AR foi o que apresentou maior concentração durante as 6 simulações. Da mesma, forma ocorreu com a mensal os valores aumentaram de um mês para o outro e AR continuou com valores mais elevados. De acordo com o teste Anova, há semelhança entre os arranjos A1 e A2 para o quinzenal, e entre o A1, A2 e A3 na análise mensal.

Tabela 13 - Diferença entre a 1ª e 6ª simulação dos parâmetros alcalinidade total e parcial

	Arranjo	Quinzenal			Mensal		
		1ª análise	6ª análise	Diferença %	0 mês	3ª mês	Diferença %
Alcalinidade Total	Arranjo Ref.	23,29	19,96	-14,29	13,00	35,93	176,37
	Arranjo 1	15,97	12,97	-18,78	11,98	24,95	108,33
	Arranjo 2	23,95	9,98	-58,33	11,98	25,95	116,67
	Arranjo 3	17,96	16,97	-5,56	13,97	33,93	142,86
	Embrapa	6 - 8,5					
Alcalinidade Parcial	Arranjo Ref.	5,32	5,99	12,50	7,98	13,97	75
	Arranjo 1	5,99	3,99	-33,33	3,99	8,98	125
	Arranjo 2	8,48	2,00	-76,47	4,99	9,96	99,60
	Arranjo 3	5,99	4,99	-16,67	3,99	12,97	225

Fonte: Autora (2023).

CONCLUSÕES

O intuito desse modelo de telhado verde ecológico é se torna acessível é poder abranger o maior número de edificações, principalmente as mais carentes, cuja população de baixa renda, mas que podem ter uma qualidade de vida melhor, tanto no conforto térmico e possibilidade de coleta de água para usos menos nobres, principalmente em regiões semiáridas que sofrem com a escassez hídrica. O custo desse modelo ficou em torno de R\$ 11,40 / m², (podendo haver variações de região para região), além de não requer mão de obra especializada para instalação e manutenção, ou edificação reforçada

As vegetações analisadas influenciaram no escoamento da água precipitada, na capacidade de retenção da água. Elas conseguiram se desenvolver mesmo com uma camada de substrato de 7cm, todas as mudas se adaptaram não havendo perdas. Se demonstraram bem resistentes ao estresse hídrico.

Com relação à retenção de água no solo, o arranjo A1 foi o que teve maior índice de retenção, mas de forma geral todos os arranjos retiveram praticamente metade do volume precipitado. Durante a precipitação, os tempos médios para iniciar a percolação para o AR e A1 foram semelhantes (15,2 e 15,7 min) e os arranjos A2 e A3 tiveram a mesma média (13,7 min) de tempo. Foi observado que inicialmente a percolação ocorre de forma lenta, o fluxo aumenta depois que o solo está todo úmido.

Com relação à qualidade da água escoada dos telhados verdes ecológicos, a partir de precipitações controladas, observou-se que, os valores dos parâmetros cor aparente, cor verdadeira, turbidez, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, amônia, nitrato, nitrito, cloreto, sulfato, ferro total, ferro III, e fósforo reduziam à medida que ocorriam as simulações. Todos os arranjos apresentaram o mesmo nível de cálcio na 6ª coleta. Os hidróxidos não apresentou nenhum valor nas 3 ultimas coletas. Para o parâmetro carbonato, o Arranjo de Referência subiu na última simulação. O bicarbonato foi detectado nos arranjos a partir da 3ª coleta. A alcalinidade total, comparando a 1ª e a 6ª simulação, tiveram reduções apesar da 2ª até a 5ª terem tido valores menores do que na 6ª. A alcalinidade parcial e o fosfato aumentaram apenas no Arranjo de Referência. O parâmetro ferro II teve aumento apenas no A1. O pH foi o parâmetro mais constante em todos os arranjos. Assim, concluímos que a idade do telhado pode influenciar nos níveis de concentrações.

Foi observado que os parâmetros que estavam dentro do limite estabelecido pelo EMBRAPA foram: condutividade elétrica (CE); sólidos dissolvidos totais (SDT); pH; amônia e nitrato (depois da primeira simulação); fosfato; cálcio; cloreto; carbonato; bicarbonato e sulfato. Entre os parâmetros analisados, apenas fósforo e alcalinidade ultrapassaram os limites estabelecidos.

Com relação aos limites estabelecidos pelo CONAMA, foi observado que estavam dentro dos valores permitidos: turbidez; sólidos dissolvidos totais; pH; amônia (a partir da quinta simulação); nitrato (depois da primeira simulação); nitrito; cloreto e sulfato. A cor verdadeira e fósforo foram os que ficaram acima dos valores aceitáveis.

Diante dos parâmetros que ficaram acima tanto para o sistema de irrigação (Embrapa) como para o descarte em mananciais, é possível utilizar a água realizando tratamentos, para a redução destes. O mais comum para remover a cor é adsorção usando filtro de carvão ativado, assim como filtros de areia para remoção do fósforo e alcalinidade.

A água armazenada sofreu pouca influência com o passar do tempo, alguns parâmetros tiveram seus valores reduzidos. A cor foi um deles, sendo a maior redução observada para os arranjos que não possuíam vegetação. Para CE e dureza total não houve muita variação dos valores. O parâmetro pH aumentava um pouco conforme com as simulações. A concentração de amônia nitrato, nitrito, ferro total e ferro III também tiveram seus valores reduzidos. A concentração de fósforo do AR foi o que teve a maior redução atingindo limite estabelecido por norma. Os arranjos tiveram concentrações de cálcio igual ou aproximado, cloreto teve reduções e aumentos, mas sem grande variação. Sulfato, carbonato, hidróxidos tiveram reduções e o bicarbonato não teve nenhum indicio de concentração. Durante o período de armazenamento os parâmetros que tiveram aumentos foram a turbidez principalmente o A2, sólidos dissolvidos totais aumentaram a medida que o tempo passou principalmente dos arranjos que possuíam vegetação, e a alcalinidade total e parcial tiveram aumentos significativos o AR foi o que teve maior índice de concentração.

Nas análises estatísticas utilizando-se ANOVA, se observar apenas o valor de F e F crítico nas análises das coletas quinzenais, todos os parâmetros tiveram semelhança significativa. Nas garrafas individuais apenas o SDT e pH que tiveram

diferença significativa. Com relação as análises mensais, apenas a CE apresentou diferença significativa.

No entanto, ao analisar o valor-P, os parâmetros que apresentaram semelhanças nas análises quinzenal e mensal foi: pH; SDT; amônia (mensal); nitrato (quinzenal); nitrito (quinzenal); fosfato (quinzenal); cálcio (quinzenal); cloreto (quinzenal); sulfato (quinzenal); e bicarbonato. Já, cor aparente; cor verdadeira; turbidez; CE; amônia (quinzenal); nitrato (mensal); nitrito (mensal); ferro total; ferro II; ferro III; fósforo; fosfato (mensal); dureza total; cálcio (mensal); cloreto (mensal); sulfato (mensal); carbonato; hidróxidos; alcalinidade Total; e alcalinidade parcial demonstram que não há semelhanças entre os arranjos, apenas em alguns casos há semelhanças quando comparado separados.

5.2 Sugestões para pesquisas futuras

É necessário que sejam realizados ~~haja~~ mais estudos com relação a água que percola os telhados verdes ecológicos na região do semiárido brasileiro, com o intuito de demonstrar os benefícios e as possíveis formas de aproveitamento. Sugere-se ainda:

- Analisar a influência de outros tipos de vegetação na qualidade da água;

- Variar a intensidade da chuva afim de verificar se há influências na qualidade da água;

REFERÊNCIAS

ABIPET - Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens PET. [Infográfico Censo 2019]. Disponível em: <https://abipet.org.br/publicacoes/>. Acessado em: 10 de Maio de 2022.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969 – Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 8p., 1997.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15527 – Água de chuva- Aproveitamento de cobertura em áreas urbanas para fins não potáveis- Requisitos. Rio de Janeiro, 60p., 2007.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Dados eletrônicos, Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010, 228 p.

ALEPE LEGIS, 2021. **DECRETO Nº 51.296, DE 3 DE SETEMBRO DE 2021**. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=57591&tipo=TEXTORIGINAL>>. Acesso em: 04 Set. 2022.

ALEPE LEGIS, 2021. **DECRETO Nº 51.341, DE 14 DE SETEMBRO DE 2021**. Disponível em:< <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=57810&tipo=>>. Acesso em: 04 Set. 2022.

ANDENAES, E.; KVANDÉ, T.; MUTHANNA, T. M.; LOHNE, J. Performance of Blue-Green Roofs in Cold Climates: A Scoping Review. **Building**, 8, 55, 2018.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/>. Acesso em: 11 Abr. 2022.

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/institucional/38-institucional/94-institucional-2>. Acessado em: 20 de Maio de 2023.

APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed., Washington DC, 2017.

ARARAQUARA. **Lei Municipal No 7.152/09**. Câmara Municipal de Araraquara – SP, 3 p., 2009.

ARAÚJO, S. M. S. A Região Semiárida do Nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidade de uso Sustentável dos Recursos. **Revista Científica da FASETE**, 2011.

ARANHA, K. C. **Tecnologias Sustentáveis: a importância dos telhados verdes na amenização microclimática**. Dissertação (mestrado) programa regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba / Universidade Estadual da Paraíba. João Pessoa- PB, 102 p., 2016.

AZEVEDO, R. C. M. **Uso de tecnologias sociais para adequação da qualidade da água armazenada em cisternas para consumo humano.** Dissertação (mestrado), programa de Pós-Graduação em engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru-PE, 93 p., 2014.

BÄR, B. V. **Influência de diferentes camadas de drenagem no desempenho hidrológico de telhados verdes extensivos na cidade de Curitiba – PE.** Dissertação (mestrado), programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 172 p., 2019.

BASTOS, S.M.S.L. **Seleção de Plantas para uso em Telhados Verdes Extensivos na Zona da Mata de Pernambuco.** Dissertação (mestrado) programa de Pós-Graduação em Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE, 50 p., 2017.

BATISTA, Luiz Lázaro Franco. **Estudo em comunidade microbiana de bactérias redutoras de sulfato in vitro com água produzida de petróleo.** Dissertação (mestrado) programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 74 p., 2013.

BAUER, L.A. **Materiais de construção.** 5.ed. – (Reimpr). Rio de Janeiro: LTC, 2012, v. 2, 538p.

BAIRD, R.; BRIDGEWATER, L. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Edition).** Washington DC: American Public Health Association, 2017.

BECK, D. A.; JOHNSON, G. R.; SPOLEK, G. A. Amending greenroof soil with biochar to affect runoff water quantity and quality. **Environmental Pollution**, v. 159, p. 2111-2118, 2011.

BEECHAM, S.; RAZZAGHMANESH, M. Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate. **Water Research**, v. 70, p. 370 – 384, 2015.

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

Berndtsson JC.; Bengtsson L.; Jinno K. Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. **Ecol Eng** 35:369–380, 2009.

BERNARDES, F. F.; MENDES, P. C.. A urbanização e sua eficiência no aumento da temperatura média no município de Uberlândia/MG. **Revista Geonorte**. v. 2, n. 5, p. 77 – 88, 2012.

BUDEL, Marcel Aramis. **Estudo comparativo da qualidade da água de chuva coletada em cobertura convencional e em telhado verde.** Dissertação (mestrado), programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, Paraná, 128p., 2014.

BUFFAM, I.; MITCHELL, M. E.; DURTSCHKE, R. D. Environmental drivers of seasonal variation in green roof runoff water quality. **Ecological Engineering**, v. 91, p. 506 – 514, 2016.

BRASIL, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/orgaos/agencia-nacional-de-aguas>. Acessado em: 28 de Abril de 2022.

BBC NEWS/ BRASIL. Mortes por chuvas em 2022 já superam ano passado inteiro. Acessado em: 1 de junho de 2022. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-61651974>

BLANUSA, T.; Monteiro, M.M.V.; Fantozzi, F.; Vysini, E.; Li, Y.; Cameron, R.W. Alternatives to Sedum on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better ‘cooling service’? **Build. Environ.** 2013, 59, 99–106.

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., MIERZWA, J. G., BARROS, M. T. L., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., ELGER, S.. Introdução à Engenharia Ambiental. 2.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 336 p., 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. - Brasília: Funasa, 2014. 112p.

CARVALHO, G. C. **Avaliação de sistemas de telhados verdes**: Análise térmica e hídrica nos diferentes sistemas cultivados com *Callisia repens*. Dissertação (mestrado) programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Sorocaba, São Paulo, 117 p., 2018.

CARPENTER, C. M.G.; TODOROV, D.; DRISCOLL, C. T.; MONTESDEOCA, M. Water quantity and quality response of a green roof to storm events: Experimental and monitoring observations. **Environmental Pollution**, v. 2018, p. 664 – 672, 2016.

CETESB. **Drenagem Urbana: manual de projeto. Departamento de Águas e Energia Elétrica Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**. 2. ed. Corrigida. São Paulo: DAEE/CETESB, 1980, 492 p.

CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. Germain Corneel (Ed.). Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste. Brasília, DF: MMA, 2018.

CORTÉS, C. F.; CASTILLO, C. A. D.. Mejora de las condiciones de habitabilidad y del cambio climático a partir de ecotechos extensivos. **Cuaderno de Viviendas y Urbanismo**, v. 4, n.8, p.316-329, 2011.

CIDADE-BRASIL, Município de Caruaru. Disponível em: https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-caruaru.html#a_pagina. Acessado em: 28 de Março de 2022. CURITIBA. **Lei Municipal No 9.806/00**. Câmara Municipal de Curitiba, Curitiba-PR, 15 p., 2000.

CHEN, H.; MA, J.; WEI, J.; GONG, X.; YU, X.; GUO, H.; ZHAO, Y. Biochar increases plant growth and alters microbial communities via regulating the moisture and temperature of green roof substrates. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 333–342, 2018.

CHEN, Chi-Feng; KANG, Shyh-Fang; LIN, Ji-Hao. Effects of recycled glass and different substrate materials on the leachate quality and plant growth of green roofs. **Ecological Engineering**, v. 112, p. 10 – 20, 2018.

CHEN, Z.; LI, L. Robust multimaterial decomposition of spectral CT using convolutional neural networks. **Optical Engineering**, v. 58, n. 01, p. 1, 2019.

CRISTIANO, E.; DEIDDA, R.; VIOLA, F. The role of green roofs in urban Water-Energy- Food-Ecosystem nexus: A review. **Science of the Total Environment**, vol. 756, p., 2021.

DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. **Plantio de telhados verdes e paredes vivas**. Portland, OR [etc.]: madeira. Disponível em: <<https://library.wur.nl/WebQuery/titel/1939498>>. Acesso em 20 de Maio de 2021.

“DDC Cool and Green Roofing Manual.” Preparado para o Departamento de Design & Construção de Design Sustentável da cidade de Nova York, por Gruzen Samton Architects LLP com Amis Inc., Flack & Kurtz Inc., Mathews Nielsen Landscape Architects P.C., e SHADE Consulting, LLC (2007).

DROZ, A. G.; COFFMAN, R. R.; BLOCKWOOD, C. B. Plant diversity on green roofs in the wild: Testing practitioner and ecological predictions in three midwestern (USA) cities. **URban Forestry e Urban Greening**, v. 60, 2021.

EKSI, M.; SEVGI, O.; AKBURAK, S. YURTSERVEN, H. ESIN, L. Assessment of recycled or locally available materials as green roof substrates. **Ecological Engineering**, v. 156, 2020.

EKSI, M.; ROWE, D. B.; FERNÁNDEZ-CAÑERO, R.; CREGG, B. M. Effect of substrate compost percentage on green roof vegetable production. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 14, n. 2, p. 315–322, 2015.

FAN, Z. “A comparison of hydrogen-enriched natural gas (HCNG) and compressed natural gas (CNG): Based on ANOVA models”. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 42, edição 50, p. 30029-30036, 2017.

FARIAS, M. M. M. W. E. C.. **Aproveitamento de águas de chuva por telhados: aspectos quantitativos e qualitativos**. Dissertação (mestrado) programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, Caruaru – PE, 115 p., 2012.

FUNFGELT, K.; SOUZA, A. G.; TONET, E. A.; FACHINI, S. Telhado verde e a influência no conforto térmico em uma edificação de madeira no IFC campus Rio do Sul. In: **5ª Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnologia Interdisciplinar**. 2012, Camboriú. Anais[...]. Camboriú: Instituto Federal Catarinense, 6 p., 2012.

FRANÇA, L. C. J. O uso do telhado verde como alternativa sustentável aos centros urbanos: Opção viável para a sociedade moderna do século XXI. **Revista Húmus**, n. 4, p.105 – 113, 2012.

Development and Construction Society (FLL), 2018. Introduction to the FLL Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing. Disponível em: https://shop.fll.de/de/downloadable/download/sample/sample_id/44/ Acessado em: 24 de Maio de 2021.

GETTER, K. L.; ROWE, D. B. The role of green roofs in sustainable development. **HortScience**, v. 41 (5), p. 1276 e1285, 2006.

GOMES, Y. R. M. **Telhado verde em clima tropical úmido**: investigação da qualidade da água. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, 68 p., 2019.

GOMES, S. T.; SILVA, C. A.. Dourados: Urbanização e dinâmica climática. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 844 – 856, 2012.

GONG, Y.; ZHANG, X.; LI, H.; ZHANG, X.; HE, S.; MIAO, Y. A comparison of the growth status, rainfall retention and purification effects os four green roof plant species. **Jounal of Environmental Management**, v. 278, 2021.

GONG, Y. et al. Factors affecting runoff retention performance of extensive green roofs. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 9, p. 12–14, 2018.

GONG, Y. YIN, D.; LI, J.; ZHANG, X.; WANG, W.; FANG, X.; SHI, H.; WANG, Q. Performance assessment of extensive green roof runoff flow and quality control capacity based on pilot experiments. **Science of the Total Environment**, v. 687, p. 505–515, 2019.

GIACOMELLO, E.; GASPARI, J. Hydrologic performance of an extensive green roof under intensive rain events: Results from a rain-chamber simulation. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 6, p. 1–23, 2021.

GUARULHOS. **Lei Municipal No. 6.793/10**. Disponível em: http://www.leismunicipais.com.br/le_gislacao-de-guarulhos/1394041/lei-6793-2010-guarulhos-sp.html. Acesso em: 13 julh. 2013.

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

G1, 2022 G1, Rio de Janeiro. O que se sabe sobre as chuvas do RJ deste final de semana, 2022. Acessado em: 01 de Junho de 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2022/04/02/o-que-se-sabe-sobre-as-chuvas-no-rj-deste-final-de-semana.ghtml>

HAKIMDAVAR, R.; CULLINGAN, P. J.; FINAZZI, M. BARONTINI, S.; RANZI, R. Scale dynamics of extensive green roofs: Quantifying the effect of drainage area and rainfall characteristics on observed and modeled green roof hydrologic performance. **Ecological Engineering**, v. 73, p. 494–508, 2014.

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

HOSSAIN, M. S. “Application of ANOVA method to study solar energy for hydrogen production”. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, edição 29, p. 14571-14579, 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/caruaru.html>. Acessado em: 28 de Marco de 2022.

JOBIM A. L.. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo de água pluvial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria- UFSM, Rio Grande do Sul, 76 f, 2013.

KAZEMI, F.; MOHORKO, R. Review on the roles and effects of growing media on plant performance in green roofs in world climates. **Urban Forestry e Urban Greening**, v. 23, p. 13-26, 2017.

KREBS, L. F.; JOHANSSON, E. Influence of microclimate on the affect of green roofs in Southern Brasil – A study coupling outdoor and indoor termal simulations. **Energy e Buildings**, v. 241, p. 110963, 2021.

LAAR, M.; GRIMME, F. W.. Thermal comfort and reduced flood risk through green roofs in the Tropics. 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, **Anais...**, Geneva, Switzerland, 2006.

LEONARDO, H. R. A. L. **Desempenho de Telhados Ecológicos em Área Urbana**. Dissertação (mestrado) Programa de Pós-Gaduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 148 p., 2021.

LIMA, G. C. O. **Avaliação do Desempenho de Telhados Verdes: Capacidade de Retenção Hídrica e Qualidade da Água Escoda**. Dissertação (mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru – PE, 128 p., 2013.

LIMA, A. F. Qualidade da água: piscicultura familiar. Embrapa, (2013) Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93111/1/agua.pdf>. Acessado em: 01 de Abril de 2022.

LIU, H.; KONG, F.; YIN, H.; MIDDEL, A.; ZHENG, X.; HUANG, J.; XU, H.; WANG, D.; WEN, Z. Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: A bibliometric review. **Building and Environment**, v. 196, p. 107794, 2021.

LIU, L.; CAO, J.; ALI, M.; ZHANG, J.; WANG, Z. Impact of green roof plant species on domestic wastewater treatment. **Journal Pre-proof**, v. 4, p.100059, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100059>

LIU, W.; WEI, W.; CHEN, W.; DEO, R. C.; SI, J.; XI, H.; LI, B.; FRENG, Q. The impacts of substrate and vegetation on stormwater runoff quality from extensive green roofs. **Journal of Hydrology**, v. 576, p. 575-582, 2019.

LOIOLA, C.; MARY, W.; PIMENTEL DA SILVA, L. Hydrological performance of modular-tray green roof systems for increasing the resilience of mega-cities to climate change. **Journal of Hydrology**, v. 573, p. 1057–1066, 2019.

MACIVOR, J. S.; LUNDHOLM, J. Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 3, p. 407–417, 2011.

MAHMOUD, Abubakar S.; ASIF, M.; HASSANAIN, M. A.; BABSAIL, M. O.; SANNI-ANIBIRE, O. Energy and Economic Evaluation of Green Roofs for Residential Buildings in Hot-Humid Climates. **Buildings**, v. 7, 2017.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a Polímeros**. São Paulo, Editora Edgard BlucherLtda, 2ª edição, 2004.

MANHÃES, G. S.; ARAÚJO, R. S. Sustentabilidade nas construções. *Ciências Humanas Sociais Aplicadas*, v.11, n.4, p. 15-24, 2014.

MARTINS, L. S.; PINTO, J. S.. Avaliação quali-quantitativa de telhado verde extensivo em escala piloto. **Disciplinarium Scientia**, v.17, n.2, p. 245-257, 2016.

MECHELEN, C. V.; HERMY, M.; THIERRY, D.; Vegetation development on different extensive green roof types in a Mediterranean and temperate maritime climate. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 82, p.571-582, set. 2015.

MENDONÇA, T N. M. **Telhado Verde Extensivo em Pré-Moldado de Concreto EVA (Acetado Etil Vinila)**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal da Paraíba, 234 p. João Pessoa – Paraíba, 2015.

MENESES, Zildiany Ibiapina. **Extração de boro de água produzida sintética por sistema microemulsionado**. Dissertação (mestrado), programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 104p. Natal – RN, 2011.

MOLINEUX, C. J.; GANGE, A. C.; CONNOP, S. P.; NEWPORT, D. J. Using recycled aggregates in green roof substrates for plant diversity. **Ecological Engineering**, v. 82, p. 596–604, 2015.

MOTA, S.. **Urbanização e Meio Ambiente**. ABES. Rio de Janeiro, 1999.

MORAKINYO, T. E.; DAHANAYAKE, K. W. D. K. C.; NG, E.; CHOW, C. L. Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates

and urban densities: A co-simulation parametric study. **Energy and Buildings**, v. 145, p. 226–237, 2017.

MOURA, R. G.; LOPES, P. L.; SILVA, L. V.; BALDEZ, P. P. Logística reversa das garrafas pet, sua reciclagem e a redução do impacto ambiental. XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Rio de Janeiro, 2015.

MOUSINHO, F. H.; LIMA, J. M. S.; PEREIRA, M. M. A.; PESSOA, J. O.; OLIVEIRA, L. M. M.; SANTOS, S. M.; PAIVA, A. L. R. Caracterização pluviométrica dos últimos 50 anos em Caruaru – PE, com análise de tendências, máximas diárias, curvas IDF e distribuição Gumbel. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n.2, p. 958 – 973, 2024.

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

NAGASE, A. Novel application and reused materials for extensive green roof substrates and drainage layers in Japan–Plant growth and moisture uptake implementation. **Ecological Engineering**, v. 153, p. 105898, 2020.

NARANJO, A.; COLONIA, A.; MESA, J.; MAURY-RAMÍREZ, A. Evaluation of semiintensive green roofs with drainage layers made out of recycled and reused materials. **Coatings**, v. 10, n. 6, p. 525, 2020.

NEKTARIOS, P. A. NTOULAS, N.; NYDRIOTI, E.; KOKKINO, I.; BALI, E. M.; AMOUNTZIAS, I. Drought stress response of Sedum sediforme grown in extensive green roof systems with different substrate types and depths. **Scientia Horticulturae**, v. 181, p. 52–61, 2014.

NIU, H.; CLARK, C. ZHOU, J. ANDRIAENS, P. Scaling of economic benefits from green roof implementation in Washington, DC. **Environmental science & technology**, v. 44, n. 11, p. 4302-4308, 2010.

NOGUEIRA, Joyce Daiane de Lima. **Qualidade da água de telhados verdes na cidade de Natal/RN: análise do pH, condutividade elétrica e turbidez**. Dissertação (mestrado), programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 83p., 2018.

OBERNDORFER, E.; LUNDHOLM, J.; BASS, B.; CONFFMAN, R. R.; DOSHI, H.; DUNNETT, N.; GAFFIN, S.; KOHLER, M.; LIU, K. K. Y.; ROWE, B. Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. **BioScience**, v. 57, n. 10, p. 823–833, 2007.

PANZIERA, A. G.; CALIL, V. S.; AMARAL, F. D.; SWAROVSKY, A.. Desempenho de diferentes tipos de telhado verde no conforto térmico urbano na cidade de Santa Maria, RS. **Disciplinarum Scientia**, v.16, n.3, P. 445-457, 2016.

PATERNIANI, J.E.S.; PINTO, J.M. Qualidade da Água. MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. de M. (Ed.). Irrigacao. Piracicaba: FUNEP, 2001 disponível em:

[file:///C:/Users/jessi/Downloads/Qualidade-Da-Agua%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/jessi/Downloads/Qualidade-Da-Agua%20(3).pdf). Acessado em: 31 de Março de 2022.

Peregrinacultural's Weblog. Pensando o espaço urbano verde: escola de design e mídia em Cingapura. Disponível em: <https://peregrinacultural.wordpress.com/2012/06/21/pensando-o-espaco-urbano-verde-escola-de-design-arte-e-midia-em-cingapura/>. Acessado em: 15 de Agosto de 2022.

PEREIRA, Daniela Carneiro; DUARTE, Letícia Rodrigues; SARMENTO, Antover Panazzolo. Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de Ipameri – Goiás. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. Vol. 13, nº 2,233-246, p.14, 2017.

Perfil Municipal. Caruaru. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/ArquivosPerfilMunicipal/CARUARU.pdf>. Acessado em: 28 de Março de 2022.

PESSOA, J. O. **Qualidade e quantidade de águas pluviais escoadas a partir de telhados verdes extensivos em Santa Maria-RS**. Dissertação (mestrado) do programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, 161p., 2016.

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W.G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. Ambiente e água- **An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. ISSN 1980-993X, p. 435 – 456, 2017.

Portal Contnews. 11 de setembro de 2019. Prefeitura de São Paulo é a primeira autoridade de certificação digital em governo. Disponível em: <https://www.portalcontnews.com.br/prefeitura-de-sao-paulo-e-a-primeira-autoridade-de-certificacao-digital-em-governo-do-pais/>. Acessados em: 08 de Junho de 2022.

PORTARIA Nº 2.914/2011. Ministério da Saúde.

Razzaghmanesh, M.; Beecham, S.; Kazemi, F. Impact of green roofs on stormwater quality in a South Australian urban environment. **Sci. Total Environ**. 470 e 471, 651 e 659, 2014.

RECIFE. **Lei Nº 18.112** - que dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências. 12 de janeiro de 2015.

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

Resolução CONAMA 357/05. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_con

ama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acessado em: 30 de Março de 2022.

REYES, R.; BUSTAMANTE, W.; GINONÁS, J.; PASTÉN, P. A.; ROJAS, V.; SUÁREZ, F.; VERA, S.; VICTORERO, F.; BONILLA, C. A. Effect of substrate depth and roof layers on green roof temperature and water requirements in a semi-arid climate. **Ecological Engineering**, v. 97, p. 624–632, 2016.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. 1. Ed. 7. Reimpressão (2007). São Paulo: Blucher, 1991. P.

RIGHI, D. P.; KOHLER, L. G.; ANTOCHEVES, R.; SANTOS NETO, A. B. S.; MOHAMAD G.. Cobertura verde: Um uso sustentável na construção civil. *Mix Sustentável*, 2 (2): 29-36, 2016.

RODRIGUES, Taynara Tatiane. **Polímeros nas Indústrias de Embalagens**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2018.

ROCHA, Ranny Scarllet Tavares Marcolino. **Desempenho Térmico de Telhado Verde Ecológico de Baixo Custo em clima Semiárido**. Dissertação (mestrado), programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 134 p. Caruaru – PE, 2020.

ROWE, D. B.; MONTERUSSO, M. A.; RUGH, C. L. Assessment of heat-expanded slate and fertility requirements in green roof substrates. **HortTechnology**, v. 16, n. 3, p. 471–477, 2006.

ROWE, D. B.; GETTER, K. L. The role of extensive green roofs in sustainable development. **HortScience**, v. 41, n. 5, p. 1276–1285, 2006.

SÁ, R. A. B.; RODRIGUES, C. O. M. O telhado verde no clima semiárido: um estudo de viabilidade para construções em pau dos ferros. Editora Realize, 12 p., 2018.

SÃO VICENTE. **Lei Municipal No 634/10**. Câmara Municipal de São Vicente, São Vicente – SP, 6 p., 2010.

SANTOS, G. C. **Desempenho térmico de telhados verdes no agreste pernambucano**. Dissertação (mestrado), programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, Pernambuco, 96 p., 2016.

SANTOS, S. M.; FARIAS, M. M. M. W. E. C.. Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. **Journal of Cleaner Production**, 164: 1007-1015, 2017.

SANTOS, S. M.; SILVA, J. F. F.; SANTOS, G. C.; MACEDO, P. M. T.; GAVAZZA, S.. Integrating conventional and green roofs for mitigating thermal discomfort and water scarcity in urban areas. **Journal of Cleaner Production**, 219: 639-648, 2019.

SANTOS, S. M.; PAIVA, A. L. R.; SANTOS, G. C; SILVA, T. F. Desempenho térmico de telhados verdes no semiárido brasileiro. Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, 13 Silusba. Feup, Porto, 13-15 de Setembro de 2017.

SAVI, Adriane Cordon. **Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais no seu desempenho na cidade de Curitiba**. Dissertação (mestrado) do programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 200p., 2015.

SEIDL, M.; GROMAIRE, M. C.; SAAD, M.; DE GOUVELLO, B. Effect of substrate depth and rain-event history on the pollutant abatement of green roofs. **Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)**, v. 183, p. 195–203, 2013.

SETRA - Secretaria de Transportes do Governo do Estado de Pernambuco. Estudo e Relatório de Impacto Ambiental do Empreendimento “Adequação de Capacidade da Rodovia BR-104” - Trecho: Entroncamento PE 160 (Pão de Açúcar) e Entroncamento DAPE 149 (Agrestina), com Extensão aproximadamente de 51,4km, no Estado de Pernambuco. Volume 2/4 – **Diagnóstico e Avaliação Ambiental**. 264 p., 2009.

SEYEDABADI, M. R.; EICKER, Ursula; KARIMI, Saghar. Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint. **Journal Pre-proof**, 2021.

SILVA, F. C. M.; SIQUEIRA, J.P.; ARAGÃO, S. F.. Telhados Verdes e seus Benefícios à Sociedade e ao Meio Ambiente, 20 p., 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/122448226-Telhados-verdes-e-seus-beneficios-a-sociedade-e-ao-meio-ambiente.html>. Acessado em 20/06/2022.

SILVA, Jhonata Fernandes Ferreira. **Alternativas para controle de alagamentos urbanos utilizando telhados verdes e pavimentos permeáveis em um bairro da cidade do Recife**. Dissertação (mestrado), programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, 115p., 2019.

SILVA, N. C.. Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 63 f., 2011.

SILVA, Thomas Fernandes. **Tecnologia alternativa em drenagem urbana: Telhado verde**. Dissertação (mestrado), programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Caruaru, Pernambuco, 136p., 2017.

SOROCABA. **Lei Municipal No 9.571/11**. Município de Sorocaba. Publicação Oficial da Prefeitura de Sorocaba, Sorocaba – SP, 2011.

SOTO, F. R. C.; BUENO, J. J. P.; LÓPEZ, M. L. M.; RAMOS, M. E. P.; ARAIZA, J. L. R.; JIMÉNEZ, R. R.; MANZANO-RAMÍREZ, A. Evaluating the Thermal Behavior of a Sustainable Room and Roof Prototype Using Recycled Waste Materials. **Recycling**, v. 5, n. 1, p. 2, 2020.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Delimitação do Semiárido – 2021: Relatório Final. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acessado em: 24/10/2023.

SHAFIQUE, M.; KIM, R.; KYUNG-HO, K. Green roof for stormwater management in a highly urbanized area: The case of Seoul, Korea. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 3, p. 1–14, 2018.

SCHARF, Bernhard; ZLUWA, Irene. Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof system. **Energy and Buildings**, v.151 56-573, 2017.

SMOP. Secretaria Municipal de Obras Públicas. Diretrizes para Drenagem Urbana. São Carlos: Prefeitura Municipal de São Carlos, 2014.

Teemusk, A., Mander, U., 2007. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: the effects of short-term events. **Ecological Engineering** 30, 271e277.

TEIXEIRA, C. A.; BUDEL, M. A.; CARVALHO, K. Q.; BEZERRA, S. M. C.; GHISI, E. Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto e em telhado verde para usos não potáveis. ISSN 1678-8621 Associação Nacional do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 135-155, 2016.

TODOROV, D.; DRISCOLL, C. T.; TODOROVA, S.; MONTESDEOCA, M. Water quality function of an extensive vegetated roof. **Science of the Total Environment**, v. 625, p.928-939, 2018.

TRAN, S.; LUNDHOLM, J. T.; STANIEC, M.; ROBINSON, C. E.; SMART, C.C.; VOOGT, J. A.; O'CARROLL, D. M. Plant survival and growth on extensive green roofs: distributed experiment in three climate regions. **Ecological Engineering**, v. 127, n. September 2018, p. 494–503, 2019.

VESTRELLA, A.; BIEL, C.; SAVE, R.; BARTOLI, F. Mediterranean Green Roof Simulation in Caldes de Montbui (Barcelona): Thermal and Hydrological Performance Test of *Frankenia laevis* L., *Dymondia margaretiae* Compton and *Iris lutescens* Lam. **Applied Sciences**. v. 8, 2018.

VERA, S.; PINTO, C.; TABRES-VELASCO, P. C.; BUSTAMANTE, W.; VICTORERO, F.; GIRONÁS, J.; BONILLA, C. A. Influence of vegetation, substrate, and thermal insulation of an extensive vegetated roof on the thermal performance of retail stores in semiarid and marine climates. v. 146, p. 312 - 321 2017.

VIJAYARAGHAVAN, K.; REDDY, D. H. K.; YUN, Y. S. Improving the quality of runoff from green roofs through synergistic biosorption and phytoremediation techniques: A review. **Sustainable Cities and Society**, v. 46, n. September 2018, p. 101381, 2019.

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

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

VIJAYARAGHAVAN, K.; RAJA, F. D. Design and development of green roof substrate to improve runoff water quality: plant growth experiments and adsorption. **Water Research**, v. 63, p. 94 – 101, 2014.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M.; BALASUBRAMANIAN, R. A field study to evaluate runoff quality from green. **Water Research**, v. 46, p. 1337–1345, 2012.

VILARIM, M. B.; ROCHA, R. S. T. M.; LEONARDO, H. R. A.L.; SANTOS, S. M. Telhados Verdes de baixo custo: uma revisão bibliográfica. XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 14 p. 2020.

VISENTIN, T. G.; NECKEL, A.; BREDAS, A.. Telhados verdes como um meio sustentável nas cidades: Propostas recicláveis de produção. In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2015, Porto Alegre. Anais[...]. Rio Grande do Sul. IBEAS, 5p., 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WANG, Xiaoou; TIAN, Yimei; ZHAO, Xinhua. The influence of dual-substrate-layer extensive green roofs on rainwater runoff quantity and quality. **Science of the Total Environment**, v. 592, 465-476, 2017.

WWF, World Wide Fund for Nature (Fundo Mundial para a Natureza). **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico**. 2019. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>. Acessado em: 20 de abril de 2022.

APÊNDICE A – RETENÇÃO DE ÁGUA DOS ARRANJOS

Arranjo referencial						Arranjo 1			
Evento	Precipitado	Coletado	Retido	Retido (%)	Percolação (min)	Coletado	Retido	Retido (%)	Percolação (min)
1º	4500	2220	2280	50,67	19	2260	2240	49,78	7
2º	4500	2180	2320	51,56	10	2270	2230	49,56	16
3º	4500	2250	2250	50,00	15	2170	2330	51,78	16
4º	4500	2190	2310	51,33	16	2140	2360	52,44	19
5º	4500	2250	2250	50,00	13	2230	2270	50,44	16
6º	4500	2260	2240	49,78	18	2200	2300	51,10	20
Média		2225	2275	50,6	15,2	2211,7	2288,3	50,9	15,7
DP		33,91	33,91	0,75	3,31	51,14	51,14	1,14	4,59

Arranjo 2						Arranjo 3			
Evento	Precipitado	Coletado	Retido	Retido (%)	Percolação (min)	Coletado	Retido	Retido (%)	Percolação (min)
1º	4500	2340	2160	48,00	13	2290	2210	49,11	12
2º	4500	2330	2170	48,22	12	2230	2270	50,44	12
3º	4500	2290	2210	49,11	13	2200	2300	51,11	9
4º	4500	2300	2200	48,89	14	2210	2290	50,90	14
5º	4500	2310	2190	48,67	12	2230	2270	50,44	14
6º	4500	2350	2150	47,78	18	2210	2290	50,90	21
Média		2320	2180	48,4	13,7	2228,2	2271,8	50,5	13,7
DP		23,66	23,66	0,53	2,25	32,6	32,6	0,72	4,03

APÊNDICE B – RETENÇÃO DE ÁGUA DAS GARRAFAS INDIVIDUAIS

Garrafa	Precipitado	Arranjo referencial			Arranjo 1		
		Coletado	Retido	Retido (%)	Coletado	Retido	Retido (%)
1º	900	465	435	48	528	372	41
2º	900	484	416	46	411	489	54
3º	900	446	454	50	476	424	47
Média		465	435	48	471,7	428,3	47,3
DP		19	19	2	58,6	58,6	6,5

Evento	Precipitado	Arranjo 2			Arranjo 3		
		Coletado	Retido	Retido (%)	Coletado	Retido	Retido (%)
1º	900	570	330	37	480	420	47
2º	900	507	393	44	480	420	47
3º	900	581	319	35	482	418	46
Média		552,7	347,3	38,7	480,7	419,3	46,7
DP		39,9	39,9	4,7	1,2	1,2	0,6

APÊNDICE C – LIMITES ESTABELECIDOS POR LEGISLAÇÃO

Parâmetros	Unidade	NBR 15.527	NBR 13.969	Portaria MS 2.914	Embrapa	CONAMA 357/2005
Cor aparente	Pt/Co			15		
Cor verdadeira	Pt/Co					75
Turbidez	NTU	5,0 uT	$\frac{5uT^{1,2}}{10uT^3}$	$5uT$		$\frac{40}{100}$
Condutividade elétrica	$\mu S/cm$				0-300	
Sólidos dissolvidos totais	mg/L		200	1000	0-2000	500
pH		6,0 a 9,0	6,0 a 9,05 / 6,0 a 8,01		6,0 a 8,5	6-9
Amônia	mg/L		5	1,5	0-5	2
Fósforo	mg/L				2	0,020/0,03/0,05
Fosfato	mg/L				2	
Nitrato	mg/L		20	10	10	10
Nitrito	mg/L		20	10	10	10
Dureza total	mg/L CaCO ₃ /L			500		
Cálcio	mg/L				0-400,8	
Cloreto	mg/L Cl-/L			250	1.063,80	250
Magnésio	mg/L				0-60,8	
Carbonato	mg/L				0-3	
Bicarbonato	mg/L				0-610,2	
Hidróxidos	mg/L					
Sulfato	mg/L				0-960,6	250
Ferro total	mg/L			0,3		
Ferro II	mg/L					
Ferro III	mg/L					
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L				6-8,5	
Alcalinidade parcial	mg CaCO ₃ /L					

**APÊNDICE D – VALORES DAS ANÁLISES DE ÁGUA UTILIZADA NAS
SIMULAÇÕES DAS GARRAFAS INDIVIDUAIS**

Parâmetros	Unidade	Água destilada			
		10/10/2022	13/10/2022	17/10/2022	
Cor aparente	Pt/Co	0,0	0,0	0,0	0,0
Cor verdadeira	Pt/Co	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez	NTU	0,1	0,1	0,33	0,24
Condutividade elétrica	dS/m	89,0	158,0	93,0	113,0
		24,1 °C	26,1 °C	26,1 °C	26 °C
pH		6,0	5,6	7,55	8,45
		23,2 °C	24,1 °C	26,1 °C	26 °C

**APÊNDICE E – VALORES OBTIDOS DA ÁGUA EXCEDENTE DAS GARRAFAS
DO ARRANJO DE REFERÊNCIA**

Parâmetros	Unidade	Arranjo de referência		
		G2	G3	G5
Cor aparente	Pt/Co	1052,0	771,0	932,0
Cor verdadeira	Pt/Co	665,0	413,0	457,0
Turbidez	NTU	40,9	22,5	25,7
Condutividade elétrica	dS/m	93,0	96,0	89,0
		24,1 °C	24,5 °C	25,7 °C
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	905,0	901,0	898,0
pH		6,5	6,4	6,4
		24,1 °C	24,5 °C	25,3 °C
Amônia	mg/L	-1,9	3,5	11,4
Fósforo	mg/L	5,3	3,3	3,5
Fosfato	mg/L	0,6		0,4
Nitrato	mg/L	24,3	20,4	35,5

**APÊNDICE F – VALORES OBTIDOS DA ÁGUA EXCEDENTE DAS GARRAFAS
DO ARRANJO 1**

Parâmetros	Unidade	Arranjo 1		
		G2	G3	G4
Cor aparente	Pt/Co	1657,0	830,0	674,0
Cor verdadeira	Pt/Co	954,0	488,0	385,0
Turbidez	NTU	64,4	23,9	22,6
Condutividade elétrica	dS/m	104,0	70,0	709,0
		23,7 °C	24,3 °C	24,5 °C
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	892,0	608,0	497,0
pH		6,8	6,3	6,3
		24,1 °C	24,3 °C	24,6 °C
Amônia	mg/L	17,9	27,7	3,1
Fósforo	mg/L	0,8		
Fosfato	mg/L	4,4		
Nitrato	mg/L	31,8	21,0	22,1

**APÊNDICE G – VALORES OBTIDOS DA ÁGUA EXCEDENTE DAS GARRAFAS
DO ARRANJO 2**

Parâmetros	Unidade	Arranjo 2		
		G1	G4	G5
Cor aparente	Pt/Co	1052,0	1470,0	1559,0
Cor verdadeira	Pt/Co	665,0	852,0	852,0
Turbidez	NTU	26,2	42,3	35,1
Condutividade elétrica	dS/m	80,0	76,0	73,0
		25,9 °C	26,6 °C	25,8 °C
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	422,0	582,0	708,0
pH		7,1	7,1	6,8
		25,9 °C	26,6 °C	26,2 °C
Amônia	mg/L	2,1	2,9	0,7
Fósforo	mg/L	4,2	6,7	7,9
Fosfato	mg/L	0,3	0,5	1,4
Nitrato	mg/L	13,1	13,0	16,0

**APÊNDICE H – VALORES OBTIDOS DA ÁGUA EXCEDENTE DAS GARRAFAS
DO ARRANJO 3**

Parâmetros	Unidade	Arranjo 3		
		G1	G4	G5
Cor aparente	Pt/Co	639,0	987,0	488,0
Cor verdadeira	Pt/Co	402,0	702,0	339,0
Turbidez	NTU	22,0	23,2	7,2
Condutividade elétrica	dS/m	82,0	82,0	87,0
		25,6 °C	26,6 °C	25,8 °C
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	401,0	652,0	401,0
pH		7,4	7,2	7,2
		25,6 °C	26,6 °C	25,8 °C
Amônia	mg/L	0,5		6,8
Fósforo	mg/L	3,1	4,9	1,6
Fosfato	mg/L		0,0	
Nitrato	mg/L	12,1	21,4	14,0

**APÊNDICE I – VALORES OBTIDOS DA ÁGUA UTILIZADA NAS SIMULAÇÕES
QUINZENAIS DA CHUVA**

Parâmetros	Unidade	Simulações					
		1	2	3	4	5	6
		21/11/2022	06/12/2022	19/12/2022	10/01/2023	14/02/2023	02/03/2023
Cor aparente	Pt/Co	0	0	0	0	0	0
Cor verdadeira	Pt/Co	0	0	0	0	0	0
Turbidez	NTU	0,15	0,24	0,1	0,1	0,1	0,32
Condutividade elétrica	dS/m	166,2	66,8	1,7	7,61	1,03	3,44
		26°	26,2°	24°	-	25°	-
pH		7,32	7,01	6,09	6,55	7,0	7,0

**APÊNDICE J – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES QUINZENAIS DA ÁGUA
EXCEDENTE DO ARRANJO DE REFERÊNCIA**

Parâmetros	Unidade	Simulações					
		1	2	3	4	5	6
		21/11/2022	06/12/2022	19/12/2022	10/01/2023	14/02/2023	02/03/2023
Cor aparente	Pt/Co	706,0	635,0	838,0	698,0	543,0	517,0
Cor verdadeira	Pt/Co	576,0	608,0	822,0	606,0	483,0	481,0
Turbidez	NTU	6,8	3,6	2,0	6,2	2,2	2,6
Condutividade elétrica	dS/m	171,9 μ S	152,7	137,4	114,2	121,0	83,3
		26°	26,3°	25°	28,2°	25°	-
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	271,0	183,0	193,0	186,0	221,0	132,0
pH		7,3	6,1	6,2	6,2	6,6	6,8
Amônia	mg/L	76,5	2,0	3,8	-	1,6	1,6
Fósforo	mg/L	3,4	3,6	4,0	3,7	2,6	2,1
Fosfato	mg/L	0,1	0,8	0,8	2,2	0,4	0,4
Nitrato	mg/L	93,4	2,9	3,4	4,6	2,8	4,3
Nitrito	mg/L	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Dureza total	mg/L CaCO ₃ /L	11,0	13,0	15,0	11,0	13,0	8,0
Cálcio	mg/L	3,0	11,0	10,0	4,0	5,0	4,0
Cloreto	mg Cl-/L	56,0	29,0	22,0	18,5	21,0	29,0
Carbonato	mg/L	0,3	-0,3	0,1	0,4	0,6	0,6
Bicarbonato	mg/L	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1
Hidróxidos	mg/L	0,0	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0
Sulfato	mg/L	39,5	13,5	16,0	15,6	12,7	6,2
Ferro total	mg/L	1,3	1,0	1,0	-	0,8	0,7
Ferro II	mg/L	0,1	0,1	0,0	-	0,1	0,1
Ferro III	mg/L	1,2	0,9	1,0	-	0,7	0,7
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L	23,1	13,0	15,0	16,0	18,0	20,0
Alcalinidade parcial	mg CaCO ₃ /L	5,3	8,0	7,0	4,0	6,0	6,0

**APÊNDICE K – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES QUINZENAIS DA ÁGUA
EXCEDENTE DO ARRANJO 1**

Parâmetros	Unidade	Simulações					
		1	2	3	4	5	6
		21/11/2022	06/12/2022	19/12/2022	10/01/2023	14/02/2023	02/03/2023
Cor aparente	Pt/Co	631,0	593,0	487,0	384,0	420,0	318,0
Cor verdadeira	Pt/Co	569,0	520,0	472,0	335,0	381,0	282,0
Turbidez	NTU	3,7	1,8	0,9	1,9	1,2	1,2
Condutividade elétrica	dS/m	141,9	98,8	71,1	73,9	68,1	47,8
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	213,0	159,0	145,0	160,0	184,0	78,0
pH		7,2	6,2	6,1	6,3	6,5	6,8
		27°	25,9°	24,3°	27,9°	28,2°	28,2°
Amônia	mg/L	2,7	2,2	4,4	-	0,8	1,0
Fósforo	mg/L	3,3	3,2	2,4	2,7	2,0	1,5
Fosfato	mg/L	1,0	0,6	0,2	0,5	0,4	0,3
Nitrato	mg/L	84,8	3,5	2,3	2,4	2,5	3,8
Nitrito	mg/L	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Dureza total	mg/L CaCO ₃ /L	11,0	13,0	12,0	12,0	10,0	10,0
Cálcio	mg/L	9,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0
Cloreto	mg Cl-/L	93,0	23,0	22,0	15,5	14,0	22,5
Carbonato	mg/L	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4
Bicarbonato	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1
Hidróxidos	mg/L	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
Sulfato	mg/L	67,9	11,7	9,8	11,2	17,7	12,0
Ferro total	mg/L	1,0	0,8	0,6	-	0,7	0,5
Ferro II	mg/L	0,0	0,0	0,0	-	0,1	0,0
Ferro III	mg/L	1,0	0,8	0,6	-	0,6	0,4
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L	16,0	12,0	12,0	11,0	12,0	13,0
Alcalinidade parcial	mg CaCO ₃ /L	6,0	4,0	5,0	2,5	3,0	4,0

**APÊNDICE L – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES QUINZENAIS DA ÁGUA
EXCEDENTE DO ARRANJO 2**

Parâmetros	Unidade	Simulações					
		1	2	3	4	5	6
		21/11/2022	06/12/2022	19/12/2022	10/01/2023	14/02/2023	02/03/2023
Cor aparente	Pt/Co	849,0	655,0	599,0	423,0	386,0	297,0
Cor verdadeira	Pt/Co	738,0	575,0	566,0	374,0	367,0	260,0
Turbidez	NTU	6,9	2,4	1,6	4,0	1,8	2,2
Condutividade elétrica	dS/m	189,8	95,1	77,8	62,3	54,8	73,3
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	240,0	163,0	160,0	159,0	170,0	95,0
pH		7,3	6,2	6,2	6,2	6,5	6,8
Amônia	mg/L	54,8	2,7	2,9	-	0,2	0,9
Fósforo	mg/L	4,5	3,7	3,3	3,0	2,1	1,3
Fosfato	mg/L	1,1	0,6	0,6	0,4	0,8	0,3
Nitrato	mg/L	99,9	3,3	2,8	2,4	2,2	2,1
Nitrito	mg/L	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Dureza total	mg/L CaCO ₃ /L	12,0	10,0	13,0	11,0	9,0	9,0
Cálcio	mg/L	8,0	4,0	5,0	5,0	5,0	4,0
Cloreto	mg Cl-/L	113,5	24,0	17,0	19,0	11,5	14,5
Carbonato	mg/L	0,7	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
Bicarbonato	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2
Hidróxidos		0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
Sulfato	mg/L	22,9	16,0	18,3	14,2	8,3	6,6
Ferro total	mg/L	1,4	1,0	0,8	-	0,7	0,5
Ferro II	mg/L	0,0	0,1	0,0	-	0,1	0,0
Ferro III	mg/L	1,4	0,9	0,7	-	0,6	0,5
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L	24,0	12,0	11,0	8,0	7,8	10,0
Alcalinidade parcial	mg CaCO ₃ /L	8,5	5,0	4,0	2,0	1,8	2,0

**APÊNDICE M – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES QUINZENAIS DA ÁGUA
EXCEDENTE DO ARRANJO 3**

Parâmetros	Unidade	Simulações					
		1	2	3	4	5	6
		21/11/2022	06/12/2022	19/12/2022	10/01/2023	14/02/2023	02/03/2023
Cor aparente	Pt/Co	762,0	830,0	672,0	471,0	539,0	427,0
Cor verdadeira	Pt/Co	669,0	789,0	652,0	448,0	499,0	394,0
Turbidez	NTU	4,6	1,7	1,8	1,6	1,6	1,5
Condutividade elétrica	dS/m	243,0	134,3	98,0	78,4	79,3	61,9
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	235,0	217,0	199,0	171,0	202,0	132,0
pH		7,1	6,1	6,4	6,4	6,5	6,8
		26,1°	25,9°	24,0°	28,1°	28,1°	26,9°
Amônia	mg/L	8,6	2,6	5,1	-	1,9	1,2
Fósforo	mg/L	3,6	4,7	3,9	3,2	2,8	2,0
Fosfato	mg/L	1,2	0,7	0,7	0,3	0,5	0,2
Nitrato	mg/L	80,5	5,7	2,4	2,6	2,2	3,4
Nitrito	mg/L	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Dureza total	mg/L	11,0	13,0	11,0	9,0	8,0	10,0
	CaCO ₃ /L						
Cálcio	mg/L	12,0	7,0	5,0	5,0	2,0	4,0
Cloreto	mg Cl-/L	25,0	22,0	21,0	14,5	14,0	14,0
Carbonato	mg/L	0,6	0,4	0,0	0,4	6,0	0,5
Bicarbonato	mg/L	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
Hidróxidos	mg/L	0,0	0,0	0,4	0,0	0	0,0
Sulfato	mg/L	48,9	15,8	15,7	16,7	9,2	9,4
Ferro total	mg/L	1,1	1,1	0,8	-	0,8	0,6
Ferro II	mg/L	0,0	0,0	0,0	-	0,1	0,0
Ferro III	mg/L	1,1	1,1	0,8	-	0,7	0,6
Alcalinidade total	mg						
	CaCO ₃ /L	18,0	14,0	14,0	14,0	70,1	17,0
Alcalinidade parcial	mg						
	CaCO ₃ /L	6,0	4,0	7,0	4,0	5,0	5,0

**APÊNDICE N – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES MENSAIS DA ÁGUA
ARMAZENADA DO ARRANJO DE REFERÊNCIA**

Parâmetros	Unidade	Simulação	Meses			
		2ª coleta	1	2	3	
		06/12/2022	10/01/2023	14/02/2023	07/03/2023	
Cor aparente	Pt/Co	635,0	395,0	481,0	369,0	
Cor verdadeira	Pt/Co	608,0	354,0	343,0	315,0	
Turbidez	NTU	3,6	1,2	3,7	3,3	
Condutividade elétrica	dS/m	152,7	143,3	184,5	160,8	
		26,3°	27,6°	25°	27,4°	
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	206,0	220,0	276,0	293,0	
pH		6,1	6,9	7,2	7,1	
		26°	27,8°	27,3°	28,2°	
Amônia	mg/L	2,0	-	0,8	0,3	
Fósforo	mg/L	3,6	2,5	1,8	1,5	
Fosfato	mg/L	0,8	0,1	0,3	0,4	
Nitrato	mg/L	2,9	2,2	1,8	2,1	
Nitrito	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	
Dureza total	mg/L CaCO ₃ /L	13,0	22,0	-	10,0	
Cálcio	mg/L	11,0	5,0	0,0	6,0	
Cloreto	mg Cl-/L	29,0	23,5	-	34,0	
Carbonato	mg/L	0,0	1,0	0,0	0,4	
Bicarbonato	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	
Hidróxidos	mg/L	0,55	0,0	0,0	0,3	
Sulfato	mg/L	13,5	17,3	6,7	8,0	
Ferro total	mg/L	1,0	0,3	0,7	0,6	
Ferro II	mg/L	0,1	0,3	0,1	0,0	
Ferro III	mg/L	0,9	-	0,7	0,6	
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L	13,0	29,9	0,0	35,9	
Alcalinidade parcial	mg CaCO ₃ /L	8,0	10,0	0,0	14,0	

**APÊNDICE O – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES MENSIS DA ÁGUA
ARMAZENADA DO ARRANJO 1**

Parâmetros	Unidade	Simulação	Meses			
		2ª coleta	1	2	3	
		06/12/2022	10/01/2023	14/02/2023	07/03/2023	
Cor aparente	Pt/Co	593,0	471,0	417,0	416,0	
Cor verdadeira	Pt/Co	520,0	354,0	338,0	307,0	
Turbidez	NTU	1,8	1,4	2,2	3,2	
Condutividade elétrica	dS/m	98,8	88,0	97,5	91,5	
		25,9°	27°	-	27,6°	
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	159,0	206,0	237,0	644,0	
pH		6,2	6,9	7,0	7,2	
		25,9°	28,2°	27,1°	28,6°	
Amônia	mg/L	2,2	-	0,0	0,0	
Fósforo	mg/L	3,2	2,9	1,9	2,0	
Fosfato	mg/L	0,6	0,9	0,2	0,4	
Nitrato	mg/L	3,5	2,5	2,3	2,5	
Nitrito	mg/L	0,1	0,0	0,0	0,3	
Dureza total	mg/L CaCO ₃ /L	13,0	7,0	-	8,0	
Cálcio	mg/L	5,0	4,0	0,0	6,0	
Cloreto	mg Cl-/L	23,0	19,5	-	24,0	
Carbonato	mg/L	0,4	0,6	0,0	0,9	
Bicarbonato	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	
Hidróxidos	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,1	
Sulfato	mg/L	11,7	11,2	8,0	8,3	
Ferro total	mg/L	0,8	0,3	3,6	0,7	
Ferro II	mg/L	0,03	0,3	2,97	0,03	
Ferro III	mg/L	0,8	-	0,6	0,6	
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L	12,0	18,0	0,0	25,0	
Alcalinidade parcial	mg CaCO ₃ /L	4,0	6,0	0,0	9,0	

**APÊNDICE P – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES MENSAIS DA ÁGUA
ARMAZENADA DO ARRANJO 2**

Parâmetros	Unidade	Simulação	Meses			
		2ª coleta	1	2	3	
		06/12/2022	10/01/2023	14/02/2023	07/03/2023	
Cor aparente	Pt/Co	655,0	570,0	572,0	559,0	
Cor verdadeira	Pt/Co	575,0	433,0	384,0	326,0	
Turbidez	NTU	2,4	3,5	5,4	7,1	
Condutividade elétrica	dS/m	95,1	86,4	90,2	87,4	
		25,9°	27,5°	-	27°	
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	163,0	206,0	285,0	688,0	
pH		6,2	6,6	7,2	7,1	
		26°	27,7°	27,3°		
Amônia	mg/L	2,7	-	1,0	0,8	
Fósforo	mg/L	3,7	3,3	14,0	2,8	
Fosfato	mg/L	0,6	0,8	0,6	0,6	
Nitrato	mg/L	3,3	2,7	3,7	1,8	
Nitrito	mg/L	0,1	0,0	0,0	0,0	
Dureza total	mg/L CaCO ₃ /L	10,0	7,0	-	9,0	
Cálcio	mg/L	4,0	3,0	0,0	5,0	
Cloreto	mg Cl-/L	24,0	25,0	--	24,0	
Carbonato	mg/L	0,5	0,8	0,0	1	
Bicarbonato	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	
Hidróxidos	mg/L	0,15	0,1	0,0	0,2	
Sulfato	mg/L	16,0	26,5	11,6	12,3	
Ferro total	mg/L	1,0	0,4	1,1	1,2	
Ferro II	mg/L	0,1	0,4	0,1	0,1	
Ferro III	mg/L	0,9	-	1,0	1,1	
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L	12,0	22,0	0,0	25,9	
Alcalinidade parcial	mg CaCO ₃ /L	5,0	8,0	0,0	10,0	

**APÊNDICE Q – VALORES OBTIDOS DAS ANÁLISES MENSIS DA ÁGUA
ARMAZENADA DO ARRANJO 3**

Parâmetros	Unidade	Simulação	Meses			
		2ª coleta	1	2	3	
		06/12/2022	10/01/2023	14/02/2023	07/03/2023	
Cor aparente	Pt/Co	830,0	616,0	552,0	471,0	
Cor verdadeira	Pt/Co	789,0	532,0	480,0	399,0	
Turbidez	NTU	1,7	2,0	3,0	4,0	
Condutividade elétrica	dS/m	134,3	120,8	137,1	129,3	
		25,8°	27,5°		27,7°	
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	217,0	256,0	317,0	692,0	
pH		6,1	6,9	7,1	7,3	
		25,9°	28,3°	27,2°	28,2°	
Amônia	mg/L	2,6	-	1,7	0,0	
Fósforo	mg/L	4,7	3,8	2,7	2,3	
Fosfato	mg/L	0,7	0,5	0,0	0,5	
Nitrato	mg/L	5,7	2,9	2,2	2,3	
Nitrito	mg/L	0,1	0,0	0,0	0,0	
Dureza total	mg/L CaCO ₃ /L	13,0	9,0	-	8,0	
Cálcio	mg/L	7,0	5,0	0,0	4,0	
Cloreto	mg Cl-/L	22,0	21,5	-	24,0	
Carbonato	mg/L	0,6	0,9	0,0	1,3	
Bicarbonato	mg/L	0,1	0,0	0,0	0,0	
Hidróxidos	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,25	
Sulfato	mg/L	15,8	17,4	9,5	10,8	
Ferro total	mg/L	1,1	1,1	0,8	0,8	
Ferro II	mg/L	0,0	1,1	0,1	0,01	
Ferro III	mg/L	1,1	-	0,7	0,7	
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L	14,0	25,4	0,0	33,9	
Alcalinidade parcial	mg CaCO ₃ /L	4,0	8,5	0,0	13,0	

APÊNDICE R – ANÁLISE ESTATÍSTICA DA GARRAFA INDIVIDUAL

Parâmetros	α	F	Valor-p	$F_{crítico}$	Resultado
Cor aparente	0,05	2,0676	0,183007	4,066	Semelhança significativa
Cor verdadeira	0,05	1,4129	0,309	4,066181	Semelhança significativa
Turbidez	0,05	1,1215	0,396241	4,066183	Semelhança significativa
Sólidos dissolvidos totais	0,05	4,6675	0,036189	4,066181	Diferença significativa
pH	0,05	15,15	0,001159	4,066181	Diferença significativa
Amônia	0,05	2,4883	0,144624	4,34631	Semelhança significativa
Fósforo	0,05	3,6508	0,083035	4,757063	Semelhança significativa
Nitrato	0,05	3,9628	0,052996	4,066181	Semelhança significativa

APÊNDICE S – ANÁLISE ESTATÍSTICA QUINZENAL

Parâmetros	Combinações	α	F	Valor-p	$F_{crítico}$	Resultado
Cor aparente	Todos	0,05	1,61	0,22	3,10	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	0,31	0,59	4,96	Semelhança significativa
	A1 e A2	0,05	0,42	0,53	4,96	Semelhança significativa
Cor verdadeira	Todos	0,05	1,92	0,16	3,10	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	0,07	0,80	4,96	Semelhança significativa
	A1 e A2	0,05	0,43	0,52	4,96	Semelhança significativa
Turbidez	AR, A2 e A3	0,05	0,99	0,40	3,68	Semelhança significativa
	Todos	0,05	1,97	0,15	3,10	Semelhança significativa
	AR e A2	0,05	0,36	0,56	4,96	Semelhança significativa
Condutividade elétrica	AR, A2 e A3	0,05	1,37	0,28	3,68	Semelhança significativa
	Todos	0,05	1,21	0,33	3,10	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	0,22	0,65	4,96	Semelhança significativa
Sólidos dissolvidos totais	A1 e A2	0,05	0,12	0,73	4,96	Semelhança significativa
	AR, A2 e A3	0,05	0,83	0,45	3,68	Semelhança significativa
	Todos	0,05	1,31	0,30	9,10	Semelhança significativa
pH	AR e A3	0,05	0,04	0,84	4,96	Semelhança significativa
	A1 e A2	0,05	0,09	0,77	4,96	Semelhança significativa
	AR, A2 e A3	0,05	1,03	0,38	3,68	Semelhança significativa
Amônia	Todos	0,05	0,01	1,00	3,10	Semelhança significativa
	Todos	0,05	0,59	0,63	3,24	Semelhança significativa
	AR e A2	0,05	0,07	0,80	5,32	Semelhança significativa
Fósforo	A1 e A3	0,05	1,22	0,30	5,32	Semelhança significativa
	Todos	0,05	1,09	0,38	3,10	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	0,07	0,80	4,97	Semelhança significativa
Fosfato	A1 e A2	0,05	0,75	0,41	4,96	Semelhança significativa
	AR, AR2 e A3	0,05	0,26	0,78	3,68	Semelhança significativa
	Todos	0,05	0,33	0,80	3,10	Semelhança significativa
Nitrato	AR e A2	0,05	0,14	0,71	4,96	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	0,01	0,91	4,96	Semelhança significativa
	A1, A2 e A3	0,05	0,33	0,72	3,68	Semelhança significativa
Nitrito	Todos	0,05	0,01	1,00	3,10	Semelhança significativa
	Todos	0,05	0,27	0,84	3,10	Semelhança significativa
	Todos	0,05	0,84	0,49	3,10	Semelhança significativa
Dureza total	AR e A1	0,05	0,21	0,66	4,96	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	0,12	0,74	4,96	Semelhança significativa
	AR, A1 e A2	0,05	0,62	0,55	3,68	Semelhança significativa
Cálcio	Todos	0,05	0,17	0,91	3,10	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	0,03	0,87	4,96	Semelhança significativa
	A1 e A2	0,05	0,03	0,87	4,96	Semelhança significativa
Cloreto	AR, A1 e A3	0,05	0,12	0,89	3,68	Semelhança significativa
	Todos	0,05	0,40	0,76	3,10	Semelhança significativa
	AR e A1	0,05	0,03	0,86	4,96	Semelhança significativa
	A1 e A2	0,05	0,00	0,95	4,96	Semelhança significativa
	AR, A1 e A2	0,05	0,03	0,98	3,68	Semelhança significativa

Carbonato	Todos	0,05	1,11	0,37	3,10	Semelhança significativa
	Ar e A1	0,05	0,00	0,98	4,96	Semelhança significativa
	AR, A1 e A2	0,05	0,05	0,95	3,68	Semelhança significativa
Bicarbonato	Todos	0,05	0,16	0,92	3,10	Semelhança significativa
	AR e A2	0,05	0,04	0,84	4,96	Semelhança significativa
	AR, A1 e A2	0,05	0,07	0,94	3,68	Semelhança significativa
Hidróxidos	Todos	0,05	0,64	0,60	3,10	Semelhança significativa
	A1 e A2	0,05	0,01	0,91	4,96	Semelhança significativa
	AR, A1 e A2	0,05	0,92	0,42	3,68	Semelhança significativa
Sulfato	Todos	0,05	0,25	0,86	3,10	Semelhança significativa
	A1 e A3	0,05	0,05	0,83	4,96	Semelhança significativa
	AR e A2	0,05	0,29	0,60	4,96	Semelhança significativa
	AR, A1 e A3	0,05	0,10	0,90	3,68	Semelhança significativa
Ferro total	Todos	0,05	0,89	0,47	3,24	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	0,01	0,93	5,32	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	0,41	0,54	5,32	Semelhança significativa
	AR, A2 e A3	0,05	0,23	0,80	3,89	Semelhança significativa
Ferro II	Todos	0,05	0,90	0,46	3,24	Semelhança significativa
	AR e A2	0,05	0,01	0,91	5,32	Semelhança significativa
	A1 e A3	0,05	0,01	0,91	5,32	Semelhança significativa
	AR, A2 e A3	0,05	0,69	0,52	3,89	Semelhança significativa
Ferro III	Todos	0,05	0,64	0,60	3,24	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	0,05	0,83	5,32	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	0,17	0,69	5,32	Semelhança significativa
	AR, A2 e A3	0,05	0,17	0,85	3,89	Semelhança significativa
Alcalinidade total	Todos	0,05	2,39	0,10	3,10	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	2,55	0,14	4,96	Semelhança significativa
	A1 e A2	0,05	0,04	0,84	4,96	Semelhança significativa
Alcalinidade parcial	Todos	0,05	1,79	0,18	3,10	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	2,29	0,16	4,96	Semelhança significativa
	A1 e A2	0,05	0,03	0,87	4,96	Semelhança significativa
	AR, A1 e A3	0,05	2,97	0,08	3,68	Semelhança significativa

APÊNDICE T – ANÁLISE ESTATÍSTICA MENSAL

Parâmetros	Combinações	α	F	Valor-p	$F_{crítico}$	Resultado
Cor aparente	Todos	0,05	2,00	0,17	3,49	Semelhança significativa
	AR e A1	0,05	0,00	0,96	5,99	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	0,12	0,74	5,99	Semelhança significativa
	AR, A1 e A2	0,05	2,35	0,15	4,26	Semelhança significativa
Cor verdadeira	Todos	0,05	1,35	0,30	3,49	Semelhança significativa
	AR e A1	0,05	0,09	0,77	5,99	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	1,46	0,27	5,99	Semelhança significativa
	Ar, A2 e A3	0,05	1,24	0,33	4,26	Semelhança significativa
Turbidez	Todos	0,05	2,43	0,12	3,49	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	0,68	0,44	5,99	Semelhança significativa
	A1 e A3	0,05	0,11	0,75	5,99	Semelhança significativa
	AR, A1 e A3	0,05	0,65	0,55	4,26	Semelhança significativa
Condutividade elétrica	Todos	0,05	43,90	0,00	3,49	Diferença significativa
	AR e A3	0,05	9,92	0,02	5,99	Diferença significativa
	A1 e A2	0,05	1,70	0,24	5,99	Semelhança significativa
	AR, A1 e A3	0,05	34,18	0,00	4,26	Diferença significativa
Sólidos dissolvidos totais	Todos	0,05	0,36	0,79	3,49	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	0,05	0,84	5,99	Semelhança significativa
	A1, A2 e A3	0,05	0,07	0,93	4,26	Semelhança significativa
pH	Todos	0,05	0,01	1,00	3,49	Semelhança significativa
Amônia	Todos	0,05	0,31	0,81	4,07	Semelhança significativa
	AR e A1	0,05	0,12	0,74	7,77	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	0,01	0,94	7,71	Semelhança significativa
	AR, A2 e A3	0,05	0,16	0,85	5,14	Semelhança significativa
Fósforo	Todos	0,05	1,41	0,29	3,49	Semelhança significativa
	AR e A1	0,05	0,05	0,82	5,99	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	0,89	0,38	5,99	Semelhança significativa
	AR, A1 e A3	0,05	1,41	0,29	4,26	Semelhança significativa
Fosfato	Todos	0,05	0,93	0,46	3,49	Semelhança significativa
	A1 e A3	0,05	0,18	0,69	5,99	Semelhança significativa
	AR e A1	0,05	0,49	0,51	5,99	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	0,86	0,46	4,26	Semelhança significativa
Nitrato	Todos	0,05	0,71	0,56	3,49	Semelhança significativa
	A1 e A2	0,05	0,10	0,76	5,98	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	1,59	0,25	5,99	Semelhança significativa
	A1, A2 e A3	0,05	0,25	0,78	4,26	Semelhança significativa
Nitrito	Todos	0,05	0,83	0,50	3,49	Semelhança significativa
	A1, A2 e A3	0,05	0,77	0,49	4,26	Semelhança significativa
	AR, A2 e A3	0,05	0,18	0,84	4,26	Semelhança significativa
Dureza total	Todos	0,05	1,70	0,24	4,07	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	1,63	0,27	7,71	Semelhança significativa
	A1e A2	0,05	0,11	0,76	7,71	Semelhança significativa
Cálcio	A1, A2 e A3	0,05	0,20	0,82	5,14	Semelhança significativa
	Todos	0,05	1,60	0,26	4,07	Semelhança significativa

Cloreto	A1 e A3	0,05	0,10	0,77	7,71	Semelhança significativa
	A1, A2 e A3	0,05	1,00	0,42	5,14	Semelhança significativa
	Todos	0,05	3,20	0,08	4,07	Semelhança significativa
Carbonato	A1 e A3	0,05	0,05	0,84	7,71	Semelhança significativa
	AR e A2	0,05	2,18	0,21	7,71	Semelhança significativa
	A1, A2 e A3	0,05	1,60	0,28	5,14	Semelhança significativa
Sulfato	Todos	0,05	0,87	0,49	4,07	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	0,36	0,58	7,71	Semelhança significativa
	AR e A1	0,05	0,26	0,63	7,71	Semelhança significativa
Ferro total	A1, A2 e A3	0,05	0,72	0,53	5,14	Semelhança significativa
	Todos	0,05	1,53	0,26	3,49	Semelhança significativa
	Ar e A1	0,05	0,35	0,58	5,99	Semelhança significativa
Ferro II	A2 e A3	0,05	0,69	0,44	5,99	Semelhança significativa
	AR, A1 e A3	0,05	0,89	0,44	4,26	Semelhança significativa
	Todos	0,05	0,73	0,56	4,07	Semelhança significativa
Ferro III	A1 e A2	0,05	0,45	0,54	7,71	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	0,79	0,42	7,71	Semelhança significativa
	AR, A2 e A3	0,05	3,11	0,12	5,14	Semelhança significativa
Alcalinidade total	Todos	0,05	0,93	0,47	4,07	Semelhança significativa
	AR e A2	0,05	0,02	0,89	7,71	Semelhança significativa
	AR, A1 e A2	0,05	0,90	0,46	5,14	Semelhança significativa
Alcalinidade parcial	Todos	0,05	3,85	0,06	4,07	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	0,87	0,40	7,71	Semelhança significativa
	A2 e A3	0,05	1,41	0,30	7,71	Semelhança significativa
Alcalinidade total	AR, A1 e A3	0,05	1,45	0,31	5,14	Semelhança significativa
	Todos	0,05	0,50	0,69	4,07	Semelhança significativa
	A1 e A2	0,05	0,88	0,78	7,71	Semelhança significativa
Alcalinidade parcial	AR e A3	0,05	0,04	0,85	7,71	Semelhança significativa
	A1, A2 e A3	0,05	0,47	0,65	5,14	Semelhança significativa
	Todos	0,05	0,94	0,47	4,07	Semelhança significativa
Alcalinidade parcial	A1A2	0,05	0,42	0,55	7,71	Semelhança significativa
	AR e A3	0,05	0,48	0,53	7,71	Semelhança significativa
	A1, A2 e A3	0,05	0,33	0,73	5,14	Semelhança significativa