



Ministério da Saúde

**FIOCRUZ**  
**Fundação Oswaldo Cruz**



Bruno Amorim de Souza

**Análise comparativa da qualidade da água de chuva escoada por um telhado convencional e percolada por um sistema vegetado**

Rio de Janeiro

2020

Bruno Amorim de Souza

**Análise comparativa da qualidade da água de chuva escoada por um telhado convencional e percolada por um sistema vegetado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, na Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Gestão e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Renato Castiglia  
Feitosa

Coorientador: Prof. Dr. Jaime Lopes da  
Mota Oliveira

Rio de Janeiro

2020

**Comparative analysis of the quality of rainwater drained by a conventional roof and percolated by a vegetated system**

Catálogo na fonte  
Fundação Oswaldo Cruz  
Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde  
Biblioteca de Saúde Pública

S729a Souza, Bruno Amorim de.

Análise comparativa da qualidade da água de chuva escoada por um telhado convencional e percolada por um sistema vegetado / Bruno Amorim de Souza. -- 2020.

109f. : il. color. ; graf. ; mapas ; tab.

Orientador: Renato Castiglia Feitosa.

Coorientador: Jaime Lopes da Mota Oliveira.

Dissertação (mestrado) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2020.

1. Água de Chuva. 2. Consumo de Água (Saúde Ambiental). 3. Abastecimento de Água. 4. Qualidade da Água. 5. Captação de Águas de Chuva. 6. Telhado Verde. 7. Aproveitamento não potável. 8. Fontes alternativas de água. I. Título.

CDD – 23.ed. – 628.13

Bruno Amorim de Souza

**Análise comparativa da qualidade da água de chuva escoada por um telhado convencional e percolada por um sistema vegetado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente, da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, na Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Gestão e Saneamento Ambiental.

Aprovado em: 22 de julho de 2020

Banca Examinadora

Prof.<sup>a</sup> Dra. Sylvia Meimaridou Rola  
Universidade Federal do Rio de Janeiro - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Prof. Dr. Paulo Rubens Guimarães Barrocas  
Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca

Prof. Dr. Jaime Lopes da Mota Oliveira (coorientador)  
Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca

Prof. Dr. Renato Castiglia Feitosa (Orientador)  
Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca

Rio de Janeiro

2020

Ao pequeno Martin,

Amor e esperança que nasce junto a esse trabalho.

## AGRADECIMENTOS

O poeta Raul Seixas, na letra de uma canção intitulada por “Prelúdio”, imortalizou os versos “o sonho que se sonha só é só um sonho que se sonha só, mas, o sonho que se sonha junto é realidade” e o desenvolvimento desse trabalho corrobora sua veracidade. Por essa razão, é imperioso compartilhar a alegria pelo desfecho com todos aqueles que participaram, direta ou indiretamente, do seu desenvolvimento.

Agradeço inicialmente ao colega e coorientador, Jaime Oliveira, que durante uma conversa propositiva e desafiadora despertou meu lado pesquisador. Ouso dizer que sem sua atuação ativa essa pesquisa não seria possível. Outrossim, agradeço ao orientador, Renato Castiglia, por compartilhar mais que o aparato experimental, compartilhar conselhos, experiências, conhecimentos e angústias.

Gratulo a minha amiga, companheira e esposa, Talita Barroco, pela compreensão, incentivo e colaboração diários dos últimos 15 anos, mas, em especial, pelo protagonismo assumido nesse momento de profunda mudança em nossa vida à dois. Agora à três.

Ao pequeno Martin, por me motivar a ser uma pessoa melhor.

Aos meus pais, Carlos (*in memoriam*) e Thereza, pela vida de privações a que se submeteram para que eu pudesse ter melhor capacitação e oportunidades.

Igualmente, agradeço aos meus irmãos, Mauricio e Juliana, pelas conversas e momentos que tornam essa jornada mais leve e agradável.

À Fundação Oswaldo Cruz, em especial ao corpo docente e profissionais de apoio do programa de Saúde Pública e Meio Ambiente da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, por toda orientação e aprendizado.

Agradeço amplamente a equipe do laboratório do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental, em especial aos colegas Maicon Machado, Maria Denise Neves, Marcelo Sampaio, Priscila Martins e Ana Maria da Silva, pelo desenvolvimento das análises laboratoriais, reflexão sobre os resultados e empatia.

Agradeço aos amigos e chefes, Paulo Correa e Vivian Falcão, pela compreensão, empatia e flexibilidade da agenda e entregas laborais.

Àqueles que de alguma forma me apoiaram e incentivaram, ainda que por pensamento e orações.

Por fim, agradeço a Deus pela oportunidade de conhecimento e aprendizado recebida nesse processo de capacitação para a defesa da Saúde Pública.

“Pois não é verdadeiramente ilógico que a superfície inteira de uma cidade não seja utilizada, mas apenas reservada pra que as ardósias dos telhados e as estrelas se contemplem mutuamente?”

Le Corbusier

## RESUMO

A urbanização vem trazendo alguns desafios para a população em relação ao abastecimento de água e a reposição de áreas verdes responsáveis pelo bem-estar nesses ambientes. A captação da água de chuva e a implantação de telhados verdes são algumas das alternativas que ajudam no equilíbrio entre a urbanização e a saúde. No entanto, pouco se sabe sobre a possibilidade de aproveitamento da água proveniente de um telhado naturalizado. Esse estudo avaliou a viabilidade do aproveitamento da água de chuva captada por um telhado verde que foi implantado há nove anos, comparando a qualidade das águas resultantes com as águas de chuva coletadas diretamente da atmosfera e após escoadas por um telhado metálico. Essa avaliação foi realizada a partir da coleta de amostras de água desses três sistemas entre os meses de abril de 2019 e fevereiro de 2020, com base em análises físico-químicas e microbiológicas. Em linhas gerais, a água de chuva coletada no Campus da Fiocruz apresentou excelente qualidade. Em alguns parâmetros a qualidade da água do telhado metálico foi semelhante à da chuva. Entretanto a água percolada pelo telhado verde apresentou diferenças significativas em relação às demais. As concentrações de turbidez, sólidos (totais e dissolvidos), condutividade, matéria orgânica (DBO e COT) e nitrogênio foram maiores nas águas percoladas pelo telhado verde do que nas águas de chuva e nas escoadas pelo telhado comum. No que diz respeito a cor as diferenças foram ainda mais significativas. Em relação ao aspecto microbiológico, a água do telhado verde apresentou uma menor contaminação fecal (concentração de *E. coli*) do que a obtida pelo telhado metálico provavelmente devido à presença de matéria fecal animal nesta cobertura. Comparando com a norma vigente, as águas das duas coberturas podem ser reaproveitadas. A água do telhado metálico poderia ser utilizada para diversos usos não potáveis, enquanto que a do telhado verde teria seu uso mais restrito em sistemas de rega. Entretanto, esses meios de reaproveitamento recomendados devem ser preliminarmente avaliados no sentido de identificar medidas tecnológicas a serem adotadas para a redução de alguns dos contaminantes encontrados em elevadas concentrações, garantindo maior aproveitamento com menores riscos associados.

Palavras-chave: Águas pluviais; Usos da água; Telhado verde; Aproveitamento não potável; Fontes alternativas de água.



## ABSTRACT

The urbanization process has been a challenge in terms human water supply and the reestablishment of green areas aiming to provide social welfare in urban environments. The use of rainwater and green roof set up comprise alternatives aiming to match the balance between urbanization and health. However, to knowledge about the use of rainwater that flows through the green roofs is still incipient. Thus, the present study assessed the technical viability of rainwater use by a green roof system assembled during a nine-year period, comparing the quality of the resulting water with the rainwater collected directly from the atmosphere and after drained through a metal roof. This assessment was performed from April 2019 to February 2020, considering physical-chemical and microbiological analysis. In general, the rainwater collected in the Fiocruz presented excellent quality. The water quality collected from metallic roof presented similarities to rainwater for some parameters analyzed. However, the water collected from green roofs presented significant differences compared to rainwater and to metallic roof. The concentrations of turbidity, solids (total and dissolved), conductivity, organic matter (BOD and TOC), and nitrogen were higher than the observed in rainwater and in the metallic roof. Regarding the color the differences appeared to be more significant. Based on the microbiologic aspects the green roof waters presented a lower *E. coli* concentration mostly due to the presence of animal feces in the metallic roof. Compared to current standards waters from both green and metallic roofs can be reused. In the case of the metallic roof the water use for non-drinkable purposes would be acceptable, whereas the green roof has more restrictive use conditions, such as watering plants. However, these types of water reuse must be prior evaluated aiming to reduce eventually high concentrations of contaminants in order to insure greater reuse of these waters with less associated risks.

Keywords: Rainwater; Water uses; Green roof; Non-potable use; Alternative sources of water.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Ciclohidrológico .....	19
Gráfico 1 -	Relação entre impermeabilização do solo e qualidade da água ....	20
Gráfico 2 -	Distribuição da água doce por região do Brasil .....	21
Figura 2 -	Tipos de uso da água e a distribuição do consumo médio nas residências .....	24
Figura 3 -	Isoietas nacionais .....	28
Figura 4 -	As instalações do projeto P1MC na região do semiárido brasileiro	29
Figura 5 -	Detalhamento do sistema predial de drenagem pluvial .....	30
Quadro 1-	Parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e radioativos .....	32
Quadro 2 -	Comparativo entre a Portaria de consolidação (PC) nº 05 e NBR 15.527 .....	34
Quadro 3 -	Fatores internos e externos que alteram a qualidade das chuvas ..	35
Figura 6 -	Tipos de formação de chuvas .....	37
Figura 7 -	Primeiras coberturas vegetadas .....	41
Figura 8 -	Desenho esquemático de um templo da idade antiga.....	42
Quadro 4 -	Legislação sobre os telhados verdes .....	44
Figura 9 -	Perfil esquemático comparativo entre sistemas de telhado verde intensivo e extensivo.....	47
Figura 10 -	Tipos de constituição dos telhados verde.....	48
Figura 11 -	Camadas que constituem o telhado verde .....	51
Figura 12 -	Efeitos positivos obtidos pela implantação do sistema de telhados verdes.....	52
Quadro 5 -	Principais desvantagens do sistema de telhados vegetados	53
Figura 13 -	Visão superior do local do experimento.....	58
Figura 14 -	Estruturas de alvenaria utilizadas para coletadas amostras .....	59
Figura 15 -	Evolução da condição da natureza inicialmente instituída (2011) e no momento deste estudo (2019).....	60
Figura 16 -	Módulo intertravado utilizado neste estudo.....	61
Figura 17 -	Aparato experimental utilizado para este estudo .....	62
Quadro 6 -	Método usado para a determinação dos parâmetros analíticos das amostras da água da chuva .....	64

Figura 18 -	Presença de fezes de pássaros no funil .....	65
Figura 19 -	Cor característica das amostras da água coletada .....	73
Gráfico 3 -	Valores de cor e pH das amostras .....	77
Gráfico 4 -	Valores de turbidez, sólidos totais e sólidos totais dissolvidos das amostras .....	79
Gráfico 5 -	Valores de condutividade das amostras .....	81
Gráfico 6 -	Valores de demanda bioquímica de oxigênio, carbono orgânico total e nitrogênio total das amostras .....	82
Gráfico 7 -	Valores de coliformes totais e <i>E.Coli</i> .....	85
Quadro 7 -	Semelhança estatística entre os parâmetros das amostras .....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Distribuição da população por região do Brasil.....	22
Tabela 2	População residente nas diferentes mesorregiões do Estado do Rio de Janeiro .....	22
Tabela 3	Características gerais dos diferentes sistemas de telhado verde.....	47
Tabela 4	Fatores internos que podem alterar a qualidade da água percolada pelo telhado verde.....	55
Tabela 5	Características da qualidade da água de chuva que caíram no Campus Manguinhos da Fiocruz .....	67
Tabela 6	Características da qualidade da água captada pelo sistema de telhado comum .....	70
Tabela 7	Características da qualidade da água captada pelo sistema de telhado verde .....	74
Tabela 8	Teste estatístico entre as amostras AC e TC .....	87
Tabela 9	Teste estatístico entre as amostras AC e TV .....	88
Tabela 10	Teste estatístico entre as amostras TV e TC .....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Grau Celsius
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Água da chuva
ANA	Agência Nacional de Água
APHA	<i>Standard Methods for water and wastewater</i>
C x L x H	Comprimento x largura x altura
cm	Centímetros
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono orgânico total
CWP	<i>Center for Watershed Protection</i>
CT	Carbono Total
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
<i>E. Coli</i>	<i>Escherichia Coli</i>
Ensp	Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca
Fiocruz	Fundação Oswaldo Cruz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGRA	<i>International Green Roof Association</i>
Km	Quilômetros
l/dia/hab	Litros por dia por habitante
M	Metros
M <sup>2</sup>	Metros quadrados
M <sup>3</sup>	Metros Cúbicos
mg/l	Miligrama por litro
MM	Milímetros
mm/ano	Milímetros por ano
MS	Ministério de Saúde
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NMP	Número mais provável
NT	Nitrogênio total
OD	Oxigênio dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde

PC	Portaria de Consolidação
PEAD	Poliétileno de alta densidade
pH	Potencial hidrogeniônico
SDT	Sólidos dissolvidos totais
ST	Sólidos totais
TC	Telhado comum
TV	Telhado verde
uH	Unidade Hazen
USEPA	United States <i>Environmental Protection Agency</i>
uT	Unidade de turbidez
VMP	Valor máximo permitido
µs/cm	Micro Siemens por centímetro

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3.REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
3.1. A ÁGUA DE CHUVA.....	18
<b>3.1.1. Os conflitos pela água .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.2. Usos múltiplos da água .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.3. Aproveitamento da água de chuva .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.4. A qualidade da água de chuva .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.5. Aspectos legais.....</b>	<b>38</b>
3.2. TELHADOS VERDES .....	40
<b>3.2.1. Um breve histórico e suas funções .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.2. Aspectos legais e técnicos .....</b>	<b>43</b>
3.3. TELhado VERDE ASSOCIADO AO APROVEITAMENTO DE CHUVA.....	55
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>58</b>
4.1. PRINCÍPIOS METODOLÓGICOS .....	58
4.2. MODELO EXPERIMENTAL .....	58
4.3. COLETA E ANÁLISE DAS AMOSTRAS .....	64
4.4. ANÁLISE DE DADOS.....	65
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>66</b>
5.1. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	66
<b>5.1.1. Água da chuva (AC).....</b>	<b>67</b>
<b>5.1.2. Telhado comum (TC).....</b>	<b>69</b>
<b>5.1.3. Telhado verde (TV).....</b>	<b>72</b>
5.2. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS SISTEMAS .....	76
<b>5.2.1. Cor aparente e pH.....</b>	<b>76</b>
<b>5.2.2. Turbidez e Sólidos.....</b>	<b>78</b>
<b>5.2.3. Condutividade .....</b>	<b>80</b>
<b>5.2.4. Matéria orgânica e Nutrientes .....</b>	<b>81</b>
<b>5.2.5. Coliformes Totais e <i>E. coli</i> .....</b>	<b>84</b>
<b>5.2.6. Relevância estatística dos dados .....</b>	<b>85</b>

5.2.6.1.AC x TC .....	86
5.2.6.2.AC x TV .....	86
5.2.6.3.TC x TV .....	86
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>92</b>
<b>7. RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>94</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO A – TABELA DE ANÁLISE POR PARÂMETRO.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO B – DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS.....</b>	<b>107</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A água em estado líquido é essencial ao fenômeno da vida como a conhecemos e o homem possui intrínseca necessidade desta substância, não só para manter sua sobrevivência como para o desenvolvimento de diversas atividades. Isto porque a água é usada na produção de alimentos, no abastecimento público, pelo setor industrial e na geração de energia. Além disso, a água é protagonista em diferentes culturas e religiões (TELLES; GÓIS, 2013).

Apesar de ser a substância mais abundante do globo terrestre, somente 0,06% de toda água do planeta tem possibilidade e viabilidade de exploração sob o ponto de vista tecnológico e econômico (BRAGA, 2007). Este cenário pode ser ainda mais crítico por não se conhecer a fração de água que se encontra livre de contaminação em decorrência das atividades antrópicas.

O crescimento populacional acelerado, a urbanização não planejada e a consequente alteração do meio natural são fatores que reduzem a disponibilidade de água para o abastecimento humano. Mais de um bilhão de pessoas não tem acesso à água potável (TELLES; GÓIS, 2013) e, diante da estimativa do crescimento dos ambientes urbanos, a sua demanda tende a ser maior, tornando difícil e onerosa a prática para obter fontes seguras de água para o consumo humano (ONU, 2018). Diante dessa demanda expressiva, é necessária a busca por fontes alternativas de água para o uso em atividades que tenham menor exigência de sua qualidade. No entanto, como a água está inteiramente associada às necessidades antrópicas, o nível de zelo pela sua qualidade pode interferir na saúde humana e, assim, essa busca por fontes alternativas deve se balizar no seu uso em áreas que não afetam a condição de saúde da população.

Dentre as diferentes alternativas de água, destaca-se o aproveitamento das precipitações atmosféricas. O uso da água de chuva já está registrado na história da humanidade e ela se manifesta como importante alternativa para suprir parte desta demanda, uma vez que sua captação é gratuita e a utilização em fins não potáveis mostra-se simples e eficaz (ANNECCHINI, 2005). Uma das técnicas mais comuns para a coleta da água da chuva é através da superfície dos telhados por ser de fácil implantação e fornecer uma água de boa qualidade (LEE et al., 2000). Além disso, as coberturas das edificações representam em média 25% da área total das superfícies urbanas, conferindo às coberturas condição ímpar para adoção da prática de aproveitamento pluvial (ROWE; GETTER, 2010).

O crescimento populacional e o acelerado processo de urbanização não planejado,

além de aumentarem a demanda por recursos hídricos, têm provocado à alteração do meio natural. A adoção dos telhados verdes sobre as coberturas das edificações apresenta-se como alternativa capaz de abrandar parte desses problemas, além de trazer outros benefícios que englobam o conforto térmico e acústico e os ganhos em relação à saúde ambiental (RIBEIRO, 2010). No entanto, o uso integrado de coberturas vegetadas e sistemas de aproveitamento de chuva para fins não potáveis deve ser avaliado para que os benefícios adquiridos em cada uma dessas práticas isoladas não sejam conflitantes entre si (FERREIRA; MORUZZI, 2007). É importante destacar que poucos trabalhos foram realizados acerca da qualidade da água percolada por sistemas vegetados (RAZZAGHMANESH; BEECHAM; KAZEMI, 2014). Deste modo, pouca informação sobre o tema está disponível (ZHANG et al., 2015). Assim, esta pesquisa buscou realizar uma avaliação da interferência da cobertura urbana não vegetada e vegetada na qualidade da água de chuva.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Este trabalho realizado no campus da Fundação Oswaldo Cruz (Manguinhos, RJ) avaliou comparativamente as alterações na qualidade da água da chuva após escoar sobre uma cobertura vegetada e outra não vegetadas (um telhado verde e um telhado convencional).

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar a qualidade físico-química e microbiológica da água de chuva obtida pelos diferentes sistemas: captada diretamente da atmosfera, sem escoar por nenhuma superfície; após seu escoamento por um telhado metálico; e após sua percolação pelo solo de um sistema modular vegetado;
- Comparar a qualidade da água obtida pelos diferentes sistemas;
- Avaliar a possibilidade de aproveitamento da água obtida pelos diferentes sistemas;
- Identificar fatores críticos na conjugação das coberturas vegetadas à técnica de aproveitamento da água de chuva.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. A ÁGUA DE CHUVA

##### 3.1.1. Os conflitos pela água

A presença de água na forma líquida é um dos diferenciais da Terra em relação aos demais planetas que compõem o sistema solar e o que o torna capaz de promover a vida sob as formas que se conhece. Essa característica poderia ser suficiente para descrever a relevância dessa substância à espécie humana. Isto porque, a água é usada para o abastecimento público, na produção de alimentos, no setor industrial, bem como na geração de energia. Além disso, ela está associada as mais diversas expressões socioculturais, políticas e religiosas, tais como na mitologia, no desenvolvimento das civilizações e nos batismos religiosos (TELLES; GÓIS, 2013).

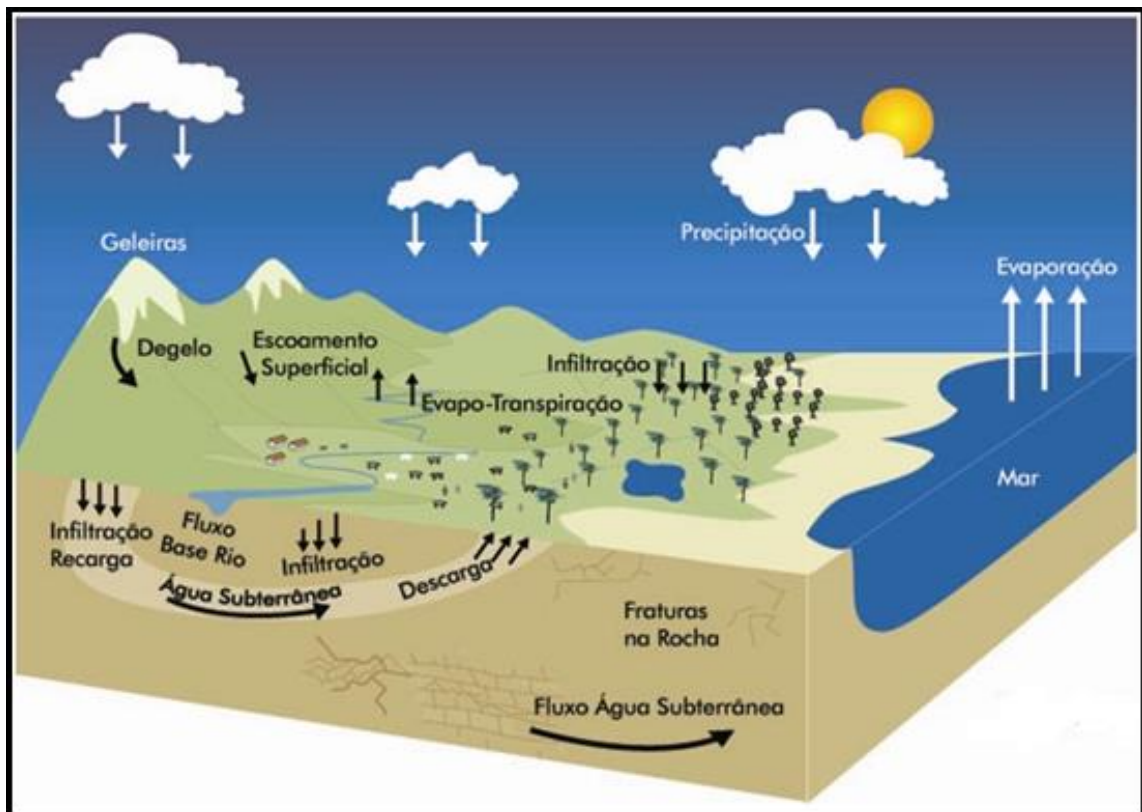
A água é a substância mais abundante do globo terrestre, cobrindo dois terços da superfície (VON SPERLING, 2005), no entanto, apenas 2,5% de toda água do planeta é doce (TOMAZ, 2003). De toda água doce presente na Terra, 68,9% encontram-se na forma de gelo e 30% compõem as águas subterrâneas que, no ponto de vista tecnológico e econômico, são fontes de baixa viabilidade quanto à exploração (BRAGA, 2007). Com isso sobram 1,1% do quantitativo de água doce superficial disponível para os seres vivos. Se forem computadas somente as fontes hídricas livres de contaminação em decorrência das atividades antrópicas, esse cenário é ainda mais crítico.

A palavra água refere-se a um recurso natural renovável e pode ter diferentes significados dependendo da área profissional ou acadêmica que a defina. Já o termo recurso hídrico refere-se à utilização deste recurso natural como um bem econômico (REBOUÇAS, 1999). Desse modo, ainda que o recurso água seja renovável, ele é um bem natural finito cujas reservas estão cada vez mais escassas (DANTAS, 2015) e dotado de valor econômico, logo torna-se um bem que deve ser utilizado de forma racional.

O ciclo hidrológico inicia a partir dos vapores de água presentes na atmosfera que, em condições meteorológicas favoráveis, condensam formando gotículas muito pequenas capazes de se manterem suspensas no ar. O agrupamento dessas gotículas de poeira dá origem as nuvens e nevoeiros que, quando associada a dinâmica das massas de ar, possibilitam as precipitações atmosféricas. A precipitação compreende toda a água que cai da atmosfera na superfície da Terra sob a forma de chuva, orvalho, granizo e neve (VON SPERLING, 2005). Ao atingir o solo, a água percorre diferentes caminhos como mostra a **Figura 1**. Em superfícies permeáveis do solo, ela pode infiltrar indo compor os reservatórios subterrâneos. Após a saturação do solo ou ao cair em superfícies

impermeabilizadas, a água escoada impulsionada pela gravidade para cotas mais baixas dando origem aos mananciais superficiais. A umidade do solo e a água presente na cobertura vegetal retroalimentam a atmosfera pela evapotranspiração fechando o ciclo das águas. Devido a este fenômeno é possível afirmar que a água não se altera em quantidade, mas em distribuição e qualidade (TUCCI, 2009).

Figura 1 - Ciclo hidrológico mostrando as precipitações retornando a água para sua forma líquida nos diferentes ambientes e os sistemas de retroalimentação da água para a atmosfera.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente(BRASIL, 2018)

A distribuição de água entre os diferentes continentes é heterogênea. As Américas e a Ásia detêm mais de 70% de toda a água doce disponível, enquanto a África é o continente que apresenta maior escassez (TOMAZ, 2003). Este cenário também ocorre no Brasil, onde a maior concentração de água doce está na região norte em contraste com a região nordeste de maior escassez (TELLES; GÓIS, 2013).

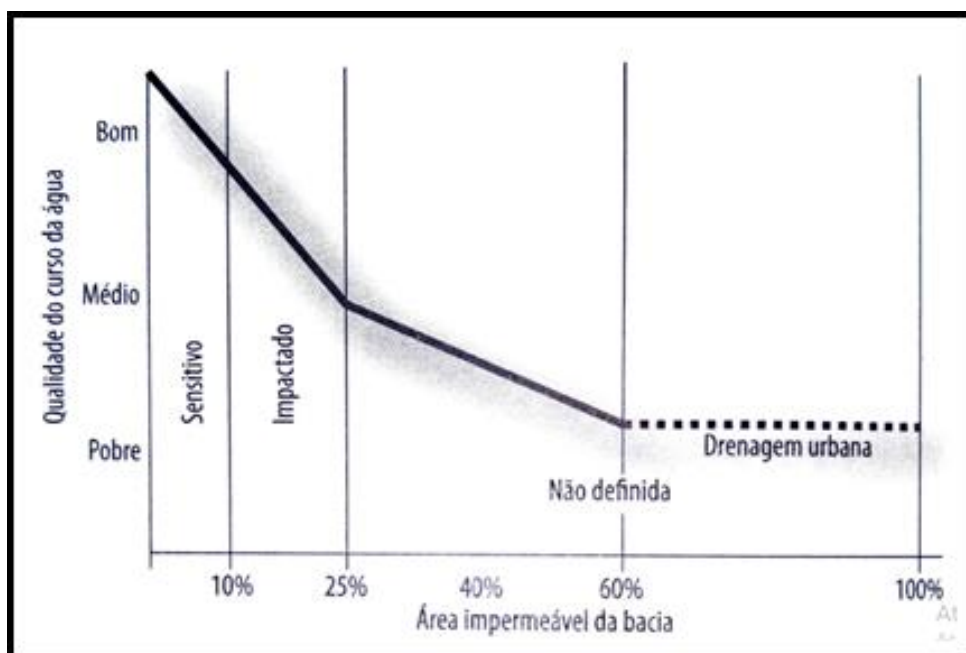
A qualidade da água pode ser fortemente influenciada pelo crescimento populacional e pelo nível de urbanização. Além disso, esses dois fenômenos refletem diretamente no aumento de sua demanda. Entre 1950 e 2002, a população mundial cresceu de 2,5 a 6,2 bilhões de habitantes e se estima que possa chegar a 10 bilhões até 2050.

(BRAGA, 2007), tornando imprescindíveis investimentos a fim de garantir o fornecimento de água às gerações futuras.

O crescimento populacional traz consigo a ampliação dos centros urbanos. Embora isso seja necessário por permitir uma melhora nas condições de vida, saúde e desenvolvimento socioeconômico (NIEMELÄ, 1999), quando ele é realizado de maneira acelerada e desordenada, decorrem em consequências indesejáveis. Dentre tais consequências destacam-se o aumento de áreas impermeáveis no solo, a ocupação irregular de margens de rios e áreas inundáveis, alterações no ciclo hidrológico, aumento do escoamento superficial, alagamentos e o deságue das sujidades das cidades nos corpos hídricos o que contribui para a piora da qualidade das águas (ROLA, 2008).

Estima-se que em 2025, 83% da população mundial irá residir em grandes aglomerações urbanas (HASHEMI; MAHMUD; ASHRAF, 2015). De acordo com CzemielBerndtsson(2010)a Austráliaestá entre os países mais urbanizados do mundo, onde oito em cada dez habitantes residem em zona urbana e sofrem com as consequências decorrentes da supressão das áreas verdes. O Centro de Proteção de Bacias Hidrográficas (*Center for WasteshedProtection* - CWP) dos Estados Unidos verificou que a degradação dos indicadores de qualidade nos rios se acentua à medida que a impermeabilização da bacia é superior à 25%, conforme é possível verificar no **Gráfico 1**.

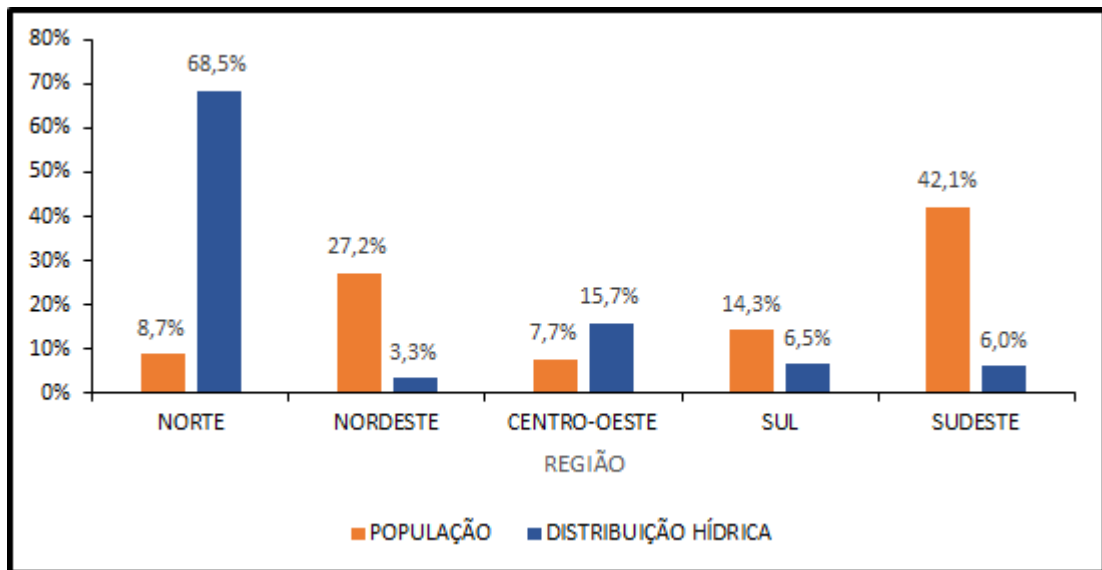
Gráfico 1 – Relação entre impermeabilização do solo e qualidade da água.



Fonte: Telles e Góis (2013)

No Brasil este cenário não é diferente. Apesar de privilegiado de possuir 53% de toda a água doce disponível da América do Sul (TELLES; GÓIS, 2013), existe um desequilíbrio entre a oferta de água e a sua distribuição geográfica para a população brasileira, como pode ser observado no **Gráfico 2**. As três regiões que juntas concentram 83,5% da população nacional (Sudeste, Nordeste e Sul) detêm somente 15,8% da água doce nacional disponível, enquanto somente a região Norte que comporta menos de 9% da população nacional possui quase 70% de toda a água doce do território nacional.

Gráfico 2 - Distribuição da água doce por região do Brasil



Fonte: Tomaz (2003) modificado pelo autor.

O crescimento populacional e a urbanização no Brasil também representam um problema no balanço entre a oferta e a demanda de água. Segundo o último censo de 2010 (IBGE, 2010), o país possui uma população de mais de 190 milhões de habitantes onde 42% residem na região sudeste, que ocupa somente 11% do território nacional, como mostra a **Tabela 1**. Isto mostra o problema que esta região vem enfrentando em relação a demanda hídrica. Pinto (2017) destaca o embate ocorrido entre autoridades dos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo durante a crise hídrica nos anos 2013/2014. Autoridades paulistas decidiram transpor as águas da represa Jaguari que pertence à bacia do rio Paraíba do Sul e que, por sua vez, é afluente do rio Guandu, rio responsável por abastecer quase que integralmente a região metropolitana do Rio de Janeiro. Diante da possível diminuição da oferta à população fluminense e da crise vivenciada em São Paulo, os estados travaram intenso debate que coube ao governo federal a resolução do impasse.

Tabela 1 –Distribuição da população por região do Brasil.

Região	População		
	Urbana	Rural	Total
Norte	11.633.184	4.202.494	15.835.678
Nordeste	38.816.895	14.261.242	53.078.137
Sudeste	74.661.877	5.691.847	80.353.724
Sul	23.257.880	4.126.935	27.384.815
Centro-Oeste	12.479.872	1.570.468	14.050.340
<b>Total</b>	<b>160.849.708</b>	<b>29.852.986</b>	<b>190.702.694</b>

Fonte: IBGE (2010) modificado pelo autor.

A Região Metropolitana da cidade do Rio de Janeiro (RMRJ) é um exemplo dessa urbanização acelerada e não planejada. A ocupação irregular de áreas livres, íngremes, de mangues e/ou margens inundáveis e o aumento das aglomerações subnormais (favelas) são alguns dos elementos característicos do crescimento desordenado observado na RMRJ (ROLA, 2008) e que podem estar ocorrendo em outras regiões brasileiras. Atualmente oito em cada dez habitantes do Estado do Rio de Janeiro residem nas áreas urbanas da RMRJ como mostra a **Tabela 2** (IBGE, 2010). Portanto, o adensamento populacional do RMRJ interfere na sua demanda e distribuição hídrica. Mecanismos devem ser criados e sugeridos para remediar tais problemas.

Tabela 2 – População residente nas diferentes mesorregiões do Estado do Rio de Janeiro.

Mesorregiões	População residente		
	Total	Situação do domicílio	
		Urbana	Rural
	Total	Total	Total
Baixadas	700.842	622.249	78.593
Centro Fluminense	481.357	397.462	83.895
<b>Metropolitana</b>	<b>12.578.485</b>	<b>12.424.829</b>	<b>153.656</b>
Noroeste Fluminense	317.493	262.335	55.158
Norte Fluminense	849.515	748.680	100.835
Sul Fluminense	1.062.237	1.008.684	53.553
<b>Total</b>	<b>15.989.929</b>	<b>15.464.239</b>	<b>525.690</b>

Fonte: IBGE (2010) modificado pelo autor.

### 3.1.2. Usos múltiplos da água

Os recursos hídricos podem ser destinados a diferentes usos, podendo ser consuntivos ou não consuntivos. O primeiro corresponde aquele que extrai a água do manancial reduzindo a oferta, tais como o abastecimento, a irrigação e o uso industrial. Já os não consuntivos referem-se aos usos temporários da água sem que ocorra a sua



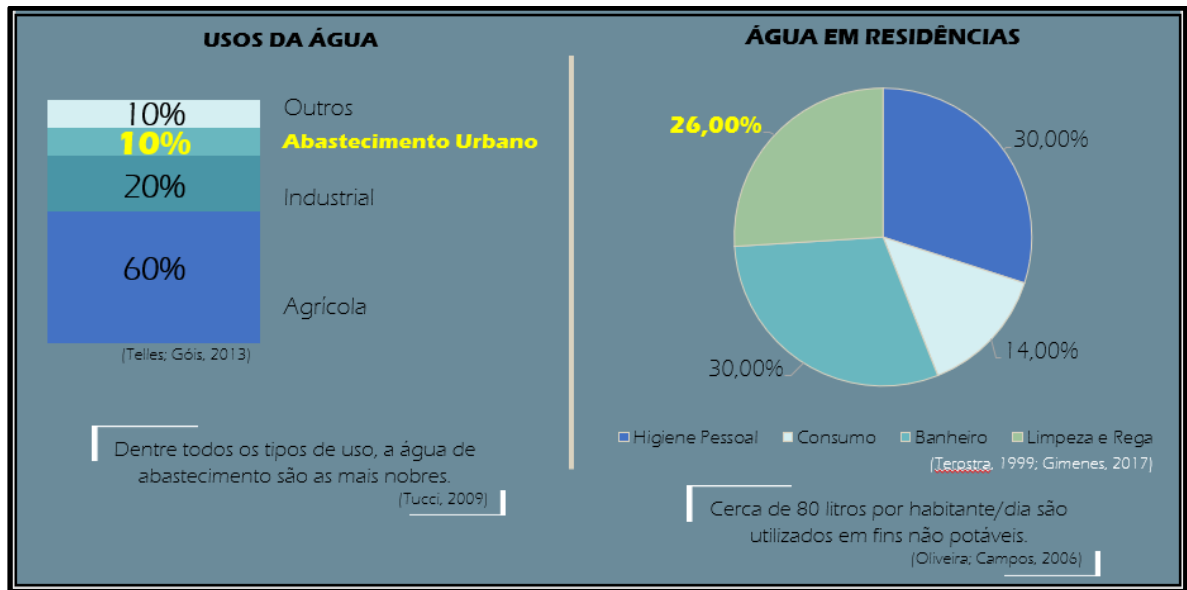
extração, mas esporadicamente podem promover alterações em sua qualidade, tais como na navegação, recreação e as hidroelétricas (TUCCI, 2009).

Os recursos hídricos podem ser explorados em quantidades distintas pelos diferentes setores consuntivos. O maior consumidor de água doce é o setor agrícola (TELLES; GÓIS, 2013) chegando a 60% de toda água no Brasil; no entanto, estima-se que a metade deste valor corresponde a desperdícios em função dos mecanismos usados para irrigação (REBOUÇAS, 1999). O setor industrial é o segundo maior consumidor de água e o abastecimento público pode corresponder a menos de 10 % de toda água doce brasileira (TELLES; GÓIS, 2013)(**Figura 2**).

Cada um dos setores consuntivos requer qualidades distintas da água. A maior parte das indústrias exige uma água de baixa dureza devido ao seu uso na produção de vapor e nos sistemas de refrigeração. No entanto, esta exigência depende de cada unidade fabril. A agricultura requer uma água livre de substâncias químicas prejudiciais ao solo e as plantações, bem como para os profissionais que têm contato direto com essa água. Mais uma vez destaca-se os diferentes níveis de exigência, que são balizados em função do tipo de planta cultivada, que podem ser desde plantas que são consumidas cruas àquelas que podem ser processadas antes do consumo. Nestes os riscos da água estão associados aos riscos inerentes de saúde pública que inclusive norteiam as atividades de reuso de água residuárias. Tucci (2009) salienta que dentre todos os tipos de uso, as águas de abastecimento são os considerados “mais nobres”, pois precisam atender a uma exigência de modo a evitar a transmissão de doenças de veiculação hídrica. No entanto, diversos usos associados ao abastecimento humano não se traduzem em água para ser ingerida, mas para outros usos domésticos tais como higiene pessoal e das habitações, combate à incêndios, entre outros como mostra a **Figura 2**.

De modo geral, a água utilizada nas residências pode ser dividida em quatro grupos: higiene pessoal, descarga de banheiros, consumo e limpeza (TERPSTRA, 1999). O chuveiro, seguido pelo vaso sanitário e da pia da cozinha são os aparelhos hidráulicos que mais utilizam água dentro de uma residência. Estima-se ainda que a cada 4 litros, 1 litro de água tratada é utilizado na rega de plantas ou na limpeza(GIMENES, 2017)(**Figura 2**). Oliveira e Campos (2006) estimam que cerca de 80 L/hab/dia são utilizados em fins onde a água usada poderia ser não potável.

Figura 2 –Tipos de uso da água e distribuição do consumo médio nas residências.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A água destinada ao consumo humano necessita atender a exigentes parâmetros físicos, químicos e microbiológicos que estão descritos no anexo XX da Portaria MS de Consolidação nº 05 de 28/09/2017 (BRASIL, 2017). Para atingir esse nível de exigência torna-se constante a necessidade por tratamento e o emprego de recursos humanos, tecnológicos e financeiros. Brito (2015) alerta que, devido ao declínio contínuo da qualidade das águas captadas na bacia da represa do Guarapiranga, entre os anos de 1996 e 2010, o custo para tratamento da água captada passou de US\$ 2.58 para US\$ 16.11 por cada mil metros cúbicos tratados. Isto mostra que os efeitos na qualidade da água podem interferir não só na sua oferta como nos custos para atingir um nível aceitável de qualidade para o seu consumo.

Ao chegar ao consumidor, a água tratada atende aos mais diversos fins, desde aqueles considerados “mais nobres” até os ditos “menos nobres” (Figura 2). Estima-se que em algumas regiões paulistanas, os desperdícios e a utilização de água tratada em descarga de aparelhos sanitários e limpeza em geral, que são considerados “menos nobres”, possa chegar a 40% do consumo total de água tratada produzida (MACEDO; SANTOS, 2003; ZERBINATTI, 2011).

Desse modo, é importante a identificação de possíveis fontes alternativas que sejam capazes de suprir a demanda de consumo para os usos denominados “menos nobres” da água. Nesse sentido, o reúso de águas servidas (águas cinzas e negras e águas de processos industriais), a dessalinização da água do mar e o aproveitamento da água de chuva podem ser exemplos dessas fontes alternativas capazes de serem disponibilizadas às

edificações(BRAGA, 2007).

### **3.1.3. Aproveitamento da água de chuva**

O aproveitamento da água de chuva não trata de uma inovação tecnológica. Os registros da existência de reservatórios para armazenamento da chuva na história são inúmeros. Todavia, não se conhece ao certo sobre quando a técnica foi utilizada pela primeira vez. Muito provavelmente a água de chuva acumulada em grandes folhas foi uma das primeiras formas de uso da água pelo homem primitivo. À medida que o homem deixou de ser nômade e passou a se organizar em comunidade, desenvolvendo a agricultura e a criação de animais, quando distantes de fontes superficiais de água, se provia de armazenamento das precipitações atmosféricas (ROLA, 2008).

De fato, o primeiro registro por escrito de que se tem conhecimento está gravado na Pedra Moabita que é uma das inscrições mais antigas do mundo, datada de 830 a.C..Lá consta um dispositivo utilizado pelo rei Mesha para declarar as conquistas de seu império com registros de criação de reservatórios para o aproveitamento da água da chuva nas casas (TELLES; GÓIS, 2013).No entanto, acredita-se que os povoados na Palestina e na Jordânia já se serviam da água de chuva como suprimento muito antes desse registro, ainda por volta do ano 3.000a.C. (WAHLIN, 1995). Tomaz (2003) relata que as primeiras práticas de aproveitamento de água de chuva podem ter ocorrido na mesopotâmia em 2.750 a.C. e na Grécia em 2.000a.C. onde o palácio de Knossos, localizado na ilha de Creta, destinava a água de chuva para a descarga de bacias sanitárias.

A prática de aproveitamento de água da chuva ocorreu quase simultaneamente nas diferentes civilizações humanas. Na província Chinesa de Ganzúa técnica possibilitou a superação da escassez e promoveu melhores condições socioeconômicas na região (GLADLINGER, 2000 APUD ROLA, 2008). A fortaleza de Masada, em Jerusalém, possuía reservatórios escavados nas rochas para a acumulação de até quarenta mil metros cúbicos da água de chuva para abastecer a população.Os povos andinos do período pré-colombiano reservavam água de chuva para o consumo e uso agrícola.Um convento Templário português, na cidade de Tomar, supria suas necessidades internas por água com os 360 mil litros captados das precipitações atmosféricas (TOMAZ, 2003).

Tais medidas foram sendo perdidas em função das novas formas de cultivo agrícola, do advento da revolução industrial (final do século XVIII) e do desenvolvimento tecnológico que incluíamo aperfeiçoamento das técnicas de captação, tratamento e distribuição das águas superficiais e a serventia das águas subterrâneas (ANNECCHINI,

2005).

Contemporaneamente, o aproveitamento das precipitações atmosféricas retorna ao cerne da questão, sendo inserido no plano de gestão das águas de países como: Japão, Alemanha, Inglaterra e Tailândia. Para Dornelles e Alegre(2012)esse aumento decorre principalmente da sua utilidade ambiental, uma vez que a espécie humana suscita atenuar as alterações antrópicas que gera aos ambientes naturais. Pela literatura existem algumas recomendações quanto às principais aplicações da água de chuva tais como os usos para fins não potáveis e/ou potáveis (localidades onde há pouco ou nenhum acesso a fontes seguras de água), na irrigação, no abastecimento de aquíferos subterrâneos e para a atenuação de enchentes (MACHADO; CORDEIRO, 2004).

Em virtude do processo simplificado e o baixo custo de implantação, esta fonte possui potencial para diminuição do consumo de água tratada em até 30% (TOMAZ, 2003).No entanto, em regiões com pouco ou nenhum acesso a outras fontes seguras de água, como na Tailândia, no Quênia e no semiárido brasileiro, esta é uma das principais formas de acesso à água(ANNECCHINI, 2005).

Na Holanda, 60% da sua população está situadas abaixo do nível do mar e a água de chuva é armazenada com o propósito de impedir que os canais à voltado país transbordem. Essa águaobtida é normalmente destinada à irrigação e à alimentação de fontes ornamentais (PNUMA, 2001 APUD MAY, 2004). Na Alemanha, a utilização da água da chuva para fins não potáveis é incentivada pelo governo e, desta forma as águas subterrâneas, principal fonte de abastecimento público do país, são preservadas para os fins potáveis (HANSEN, 1996).

Em Tóquio, no Japão, obtém destaque decorrente da quantidade de reservatórios pluviais existentes. Kita et al (1999) e Fendrich e Oliynik (2002) expõem duas principais motivações para o fato de Tóquio possuir esses reservatórios: a primeira seria devido a distância existente entre reservatórios públicos de abastecimento e os consumidores (cerca de 190km) e a segunda referente à elevada taxa local de impermeabilização do solo, que dificultam infiltração e amplificam os escoamentos superficiais. Essa água armazenada é normalmente aproveitada em fontes decorativas, rega de jardins, combate ao incêndio e descarga sanitária (HANSEN, 1996). Nos projetos dos centros de competição construídos para os jogos Olímpicos de 2020 estão contemplados com estruturas para captação da água de chuva. O governo local implementou medidas de incentivo financeiro em 16 cidades a fim de promover a aproveitamento da chuva (O PARANÁ, 2018).

A Tailândia é um país com águas subterrâneas altamente salinizadas e elevado

potencial pluviométrico entre fevereiro e setembro (cerca de 1.300mm/ano). É também um país altamente dependente das precipitações atmosféricas (GOMES et al., 2014) e que utiliza a água da chuva para o desenvolvimento da agricultura (FONG; NAZARUDDEN, 1996). Em Singapura, que possui baixo provimento de reservatórios naturais de água doce, toda a água precipitada é reservada e utilizada inclusive para o consumo humano. Na Indonésia, onde a água de abastecimento provém de aquíferos subterrâneos, é obrigatória a infiltração das chuvas como forma de manter o ressuprimento das reservas subterrâneas (BELLA CALHA, 2002).

Markset al (2001) destaca a economia gerada nas residências australianas que adotam o sistema de aproveitamento e aponta que são raros os casos de novas construções onde o projeto de captação de água pluvial não esteja na fase de planejamento da obra. Para os Jogos Olímpicos realizados em Sidney, em 2000, os aparelhos sanitários dos banheiros na vila dos atletas e das arenas das competições utilizavam água de chuva para descarga (BELLA CALHA, 2002). Segundo o Ministério da Saúde da Nova Zelândia, 11% da população do país, cerca de 450 mil pessoas, têm na água da chuva a principal fonte de água para consumo (MINISTRY OF HEALTH, 2006 APUD GOMES et al, 2014).

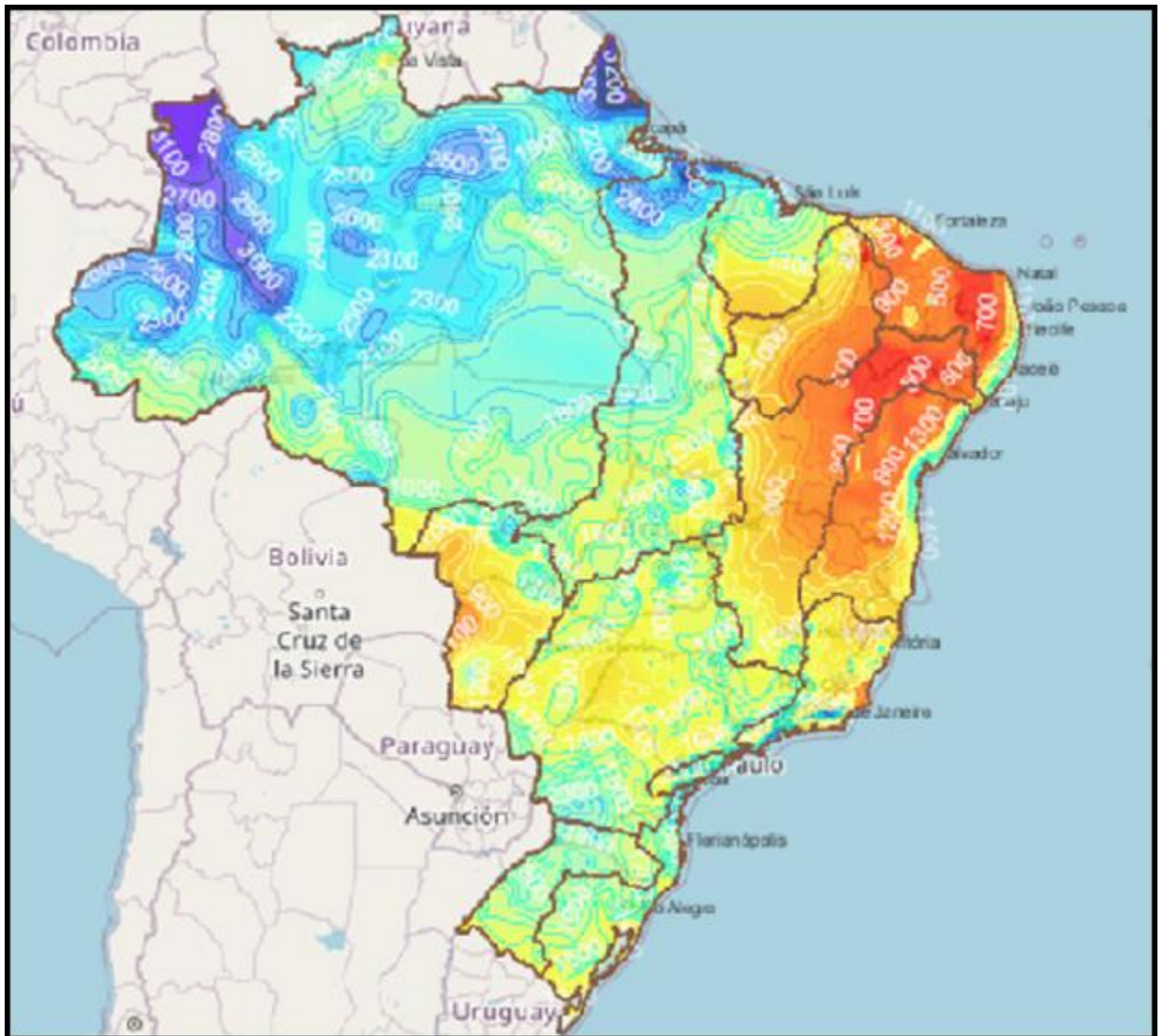
A África também registra aplicações merecedoras de destaque. No Quênia, onde é pequena parcela da população que tem acesso à água canalizada e as fontes naturais são longínquas, o governo local, em parceria com organizações não governamentais (ONG's) financiaram a construção de cisternas coletivas que captam água de chuva (HANSEN, 1996). Em Botswana, país com poucas reservas de água doce e que recebe em média 416mm de chuva por ano, traduz a relevância da chuva no nome de sua moeda local, o Pula, e sua fração, o Thebe, que significam, em português, chuva e gota, respectivamente (FERREIRA, 2009).

Nas Américas o aproveitamento contemporâneo da chuva não é menor. Gelt (2002) descreve a utilização da chuva na descarga de sanitários, lavagem de veículos, sistemas de resfriamento, irrigação de jardins nos Estados Unidos. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency* – USEPA) tem mapeado mais de duzentos mil reservatórios de água de chuva (GELT, 2002). Vale destacar que muitas das iniciativas de normatização da qualidade da água de chuva e de reuso foram iniciadas pela EPA em função das várias iniciativas nos diferentes Estados Americanos (USEPA, 2004).

O Banco Mundial (The World Bank) disponibiliza dados baseados na série pluviométrica histórica dos diversos países do mundo. De posse disso é possível organizar os países quanto ao volume médio de precipitação recebida ao longo do período de um

ano. Constata-se que o Brasil apresenta índice pluviométrico anual médio de 1.780mm, flutuando entre 800 (na região semiárida) e 2.500mm/ano (região amazônica) como mostra a **Figura 3**(ANA, 2010).

Figura 3 – Isoietas nacionais mostrando as médias anuais de índices pluviométricos. Observe que na região amazônica esses índices anuais médios chegam a 2.500 mm enquanto no semiárido estes índices atingem os 800 mm.



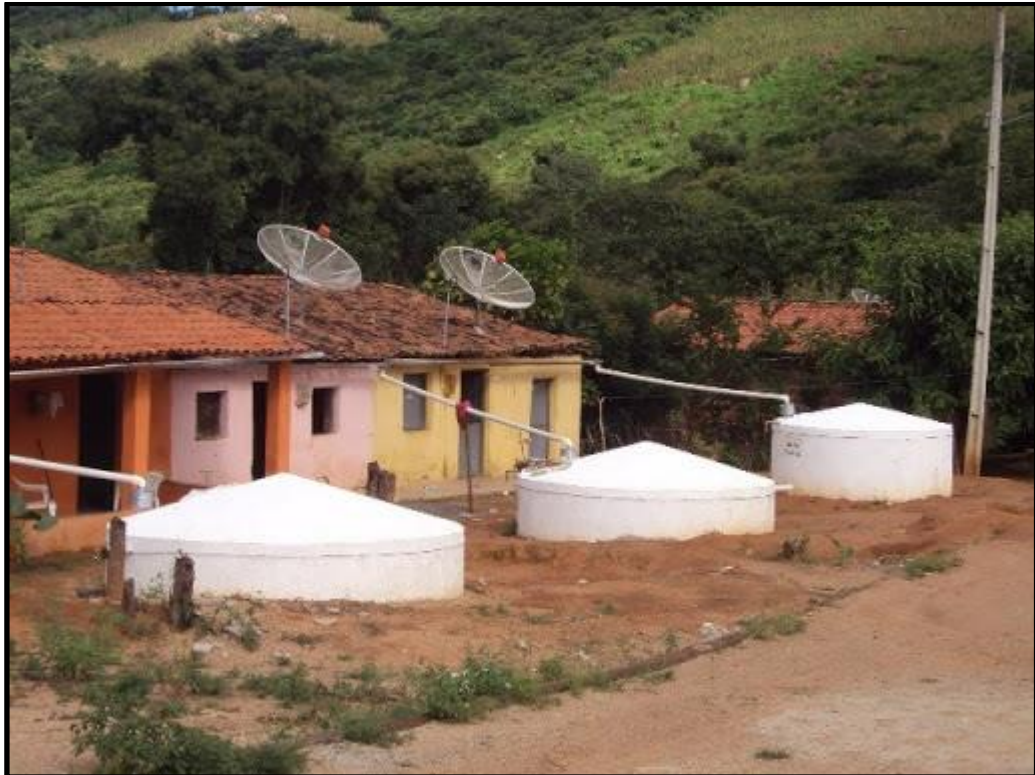
Fonte: ANA (2020)

A distribuição dos reservatórios naturais de água doce e os índices pluviométricos apontam para que um dos meios de se aportar água em regiões mais críticas seria a implantação de mecanismos para o aproveitamento da água de chuva. No entanto, ainda são escassas as iniciativas para tal propósito. Em 2003, a partir da articulação de diferentes instituições com e sem fins lucrativos, foi proposto o projeto PIMC. Ele tem o objetivo de

construção de um milhão de cisternas de 16.000 litros para o armazenamento da água de chuva na região semiárida brasileira, como ilustrado na **Figura 4**. O custo de tal projeto está estimado em R\$2.400,00 por cisterna instalada (GOMES, 2012).

Neste projeto, de maneira geral, a chuva é captada após escoar pela superfície dos telhados sendo direcionada aos reservatórios de acumulação e então destinada aos diversos fins. Até o ano de 2020, foram construídas 619.943 cisternas com capacidade para 16 mil litros de água nas residências e 6.848 cisternas com capacidades de 30 e 52 mil litros nas escolas locais, atendendo um pouco mais de 2,5 milhões de pessoas (ASA Brasil, 2020).

Figura 4 – As instalações do projeto P1MC na região do semiárido brasileiro.



Fonte: <http://www.webpiaui.com.br>

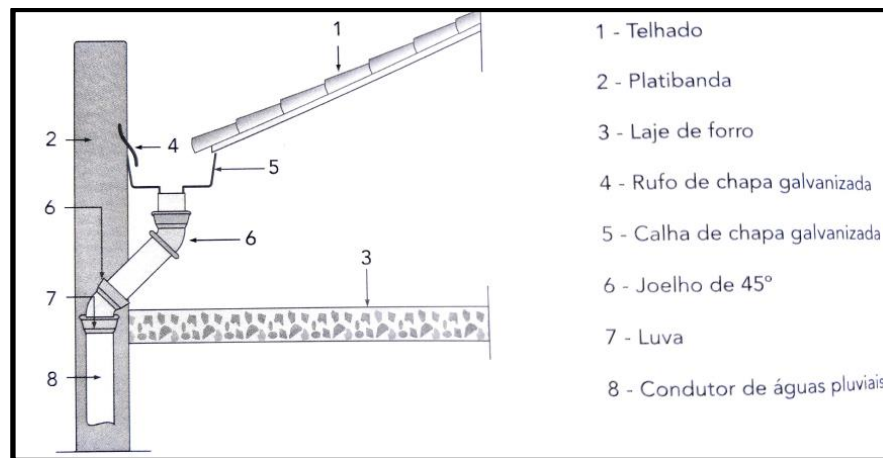
Os meios de aproveitamento de água da chuva podem decorrer de outras formas de captação além das coberturas prediais como água escoada através de superfícies rochosas, calçadões, pisos impermeáveis, cacimbas e barreiros como destacam Schistek (1999), Jalfim (2003), Almeida e Lima (2007) e Malvezzi (2007). No entanto, ainda que sejam descritas como alternativas viáveis, Lee et al (2000) afirmam que a maneira mais simples para o aproveitamento da chuva é por meio da superfície dos telhados, por apresentar, na maioria das vezes, uma água de melhor qualidade. Telles e Gois (2013) corroboram quando

afirmam que a água que escoar pelo piso é até 12 vezes mais poluída que a do telhado.

A Norma Técnica Brasileira que descreve requisitos de aproveitamento em fins não potáveis da água de chuva é a ABNT NBR nº 15.527 (ABNT, 2007). Ela descreve que os telhados são a única superfície prevista para escoamento e coleta da água de chuva. O aproveitamento desta água está sujeita a algumas condições específicas da cobertura: a ausência de circulação de pessoas, de veículos e animais de portes médio e grande (ABNT, 2007).

Não obstante, a água de chuva após escoar pela superfície das coberturas entra em contato com todo o sistema predial de drenagem, ou seja, suas calhas, condutores e reservatórios conforme detalhe na **Figura 5**, o que pode alterar a sua qualidade (SANTOS, 2003). Robertson (2005) afirmam que para além das sujidades presentes nas superfícies por onde acontece o escoamento, a chuva tem a capacidade de capturar partículas e elementos químicos suspensos no ar.

Figura5 - Detalhamento do sistema predial de drenagem pluvial



Fonte: Carvalho Júnior (2011)

Independentemente do uso ao qual se destina, é imprescindível que a fonte de suprimento se apresente isentas de substâncias deletérias em quantidades prejudiciais a que se propõe o uso. Dependendo da sua qualidade, é recomendado o tratamento específico para alcançar o padrão de qualidade referente aos tipos de uso (BRAGA, 2007).

#### 3.1.4. A qualidade da água de chuva

Com o propósito de afastar-se da subjetividade atinente ao termo qualidade e conferir segurança aos usuários/consumidores são analisados diversos parâmetros



divididos em quatro classes: físicos, químicos, microbiológicos e radioativos (MMA, 2019), detalhados no **Quadro 1**. As análises laboratoriais permitem a comparação com valores máximos e mínimos recomendados pelas diferentes normas, legislações e portarias, classificando a água analisada conforme sua utilização pretendida.

Enquanto a água de consumo humano demanda rígidos padrões estabelecidos no anexo XX da Portaria de Consolidação nº 05 de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), a Norma Técnica que versa sobre os requisitos de aproveitamento da água de chuva, que era lacônica em sua versão inicial, tornou-se ainda menos restritiva na revisão sofrida no ano de 2019 conforme apresentado na **Quadro 2**.

A Norma ABNT NBR nº 15.527/2019 é objetiva quanto aos fins à que se destinam a água coletada (descarga de sanitários, lavagens de veículos, de pisos, reserva técnica de incêndio, irrigação, uso ornamental ou para sistemas de resfriamento). Entretanto cabe ao projetista a responsabilidade pela definição do sistema de tratamento necessário sempre que a utilização atenda a outros fins.

A qualidade das águas está diretamente relacionada à sua fonte e exposição a contaminantes durante o processo de deslocamento (CZEMIELBERNDTSSON, 2010) e armazenamento (IBIAPINA et al., 2010). A chuva é considerada não poluída, entretanto, essa condição está associada a fatores atmosféricos, climáticos, topográficos, ao tipo de superfícies de captação e a presença de vegetação (IBIAPINA et al., 2010). Para Lye (2009) a superfície de captação representa a maior fonte de contaminação das precipitações e cita exemplo de um surto de indisposição gastrointestinal, associado à outros sintomas, onde a causa provável fora a *Salmonella Arechevalta*, presente nas fezes de aves, que foram encontradas sobre a cobertura de residências que utilizavam as chuvas em fins de consumo direto (usos mais nobres). Por sua vez, o tempo de armazenamento da água e o material que constitui o reservatório podem igualmente alterar a qualidade da água coletada (IBIAPINA et al., 2010).

Quadro 1: Parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e radioativos

Parâmetro		Observação
Físico	Temperatura	- Unidade de medida de calor; - Associada a solubilidade de gases na água.
	Condutividade	- Capacidade de conduzir corrente elétrica; - Mede a dissolvência de íons na água;
	Cor	- Associada à redução que a luz sofre ao atravessar a água - Indica presença de sólidos dissolvidos na água; - Subdividida em aparente (devido à interferência da turbidez) e verdadeira.
	Turbidez	- Descreve o comportamento da luz ao atravessar a água; - Alta turbidez pode representar abrigo para microrganismos e reduz a ação desinfetante do cloro; - Está associada a presença de sólidos em suspensão.
	Sólidos	- Podem estar suspensos ou dissolvidos na água; - Matéria Orgânica e partículas maiores que 1,2µm, normalmente ficam em suspensão, contribuem para o aquecimento da água e prejudicam a fotossíntese; - Partículas menores que 1,2µm ficam dissolvidas.
Químicos	pH	- Revela a concentração de Íons H <sup>+</sup> (em escala logarítmica); - Varia em uma faixa entre 0 e 14; - Potencialmente corrosivo para valores menores que 7;
	Alcalinidade	- Avalia a eficácia de neutralização dos ácidos pela presença de íons;
	Dureza	- Mede a presença de íons de Calcio e Magnésio; - Pode ser temporária (carbonatos) ou permanente (não carbonato) - Águas duras causam incrustação nas tubulações e dificultam a formação de espumas;
	Cloretos	- Resultam da dissolução de sais; - Podem conferir sabor à água
	Ferro e Manganês	- Decorrentes da decomposição do solo; - Na forma insolúvel são potenciais causadores de cor, podendo causar manchas em roupas e aparelhos sanitários.

Parâmetro		Observação
Químicos	Fósforo	- Originário de compostos orgânicos e fezes de animais; - Apresenta-se nas formas de ortofosfato (estrutura mais simples), polifosfatos (estrutura mais complexa) e fosfatos orgânicos.
	Nitrogênio	- Tem origem nas proteínas, compostos orgânicos e fezes de animais; - Apresenta-se nas formas: molecular, orgânico, de amônias, nitrito e nitrato; - A forma predominante pode indicar poluição recente ou avançada.
	Sulfatos	- Podem ser indicadores de uma das fases de depuração da matéria orgânica; - Podem alterar a regularidade gastrointestinal em humanos
	Matéria Orgânica	- De origem natural ou antropogênica; - Avaliada pela quantidade e consumo de oxigênio dissolvido; - Apresenta fração biodegradável (DBO) e outra não biodegradável (DQO); - Na DQO a oxidação da matéria orgânica ocorre através de um agente oxidante.
Microbiológicos	Coliformes Totais	- Bactérias do grupo coliforme indicam contaminação, geralmente não patogênicos; - Podem indicar a presença de patógenos;
	Coliformes Termotolerantes	- Bactéria proveniente, em geral, de fezes de animais de sangue quente; - <i>Escherichia Coli</i> é a principal; - Indica contaminação fecal; - Em geral, são patogênicas.
Radioativos	Rádio-226 e Rádio-228	- Gerados do decaimento radioativo, principalmente, do Urânio e do Tório. - Ra-226 é emissor alfa de meia vida de 1602 anos; - Ra-228 é emissor alfa de meia vida de 5,75 anos; - Tem efeitos similares ao cálcio e concentram-se nos ossos; - São carcinogênicos.

Fonte: Von Sperling (2005) e Lauriae Godoy (2000) com modificações do próprio autor

Quadro 2 - Comparativo entre a Portaria de Consolidação (PC) nº 05 e NBR 15.527.

Parâmetros	PC nº 05/2017*	NBR 15527/2007		NBR 15527/2019	
	VMP	VMP	Periodicidade	VMP	Periodicidade
<b>pH</b>	6,0 a 9,5	6,0 a 8,0	Mensal	6,0 a 9,0	Semestral
<b>Turbidez</b>	5 uT	5 uT	Mensal	5 uT	Semestral
<b>Cor aparente</b>	15 uH	15 uH	Mensal	-	-
<b>SDT</b>	1.000 mg/L	-	-	-	-
<b>Dureza</b>	500 mg/L	-	-	-	-
<b>Nitrato (como N)</b>	10,0 mg/L	-	-	-	-
<b>Nitrito (como N)</b>	1,0 mg/L	-	-	-	-
<b>Amônia (como NH<sub>3</sub>)</b>	1,5 mg/L	-	-	-	-
<b>Sulfato</b>	250 mg/L	-	-	-	-
<b>Cloretos</b>	250 mg/L	-	-	-	-
<b><i>E. coli</i></b>	Ausente/100 ml	-	-	200/100 ml	Semestral
<b>Coliformes Totais</b>	Ausente/100 ml	Ausente/100 ml	Semestral	-	-
<b>C. Termotolerantes</b>	-	Ausente/100 ml	Semestral	-	-
<b>Chumbo</b>	0,01 mg/L	-	-	-	-
<b>Merúrio</b>	0,001 mg/L	-	-	-	-
<b>Benzeno</b>	5 µg/L	-	-	-	-
<b>Cloro residual livre</b>	5 mg/L	0,5 a 3,0 mg/L**	Mensal	-	-
<b>Alumínio</b>	0,2 mg/L	-	-	-	-
<b>Cloreto</b>	250 mg/L	-	-	-	-
<b>Ferro</b>	0,3 mg/L	-	-	-	-
<b>Gosto e Odor</b>	Intensidade 6	-	-	-	-
<b>Sódio</b>	200 mg/L	-	-	-	-

Notas: VMP Valor Máximo Permitido; \*parâmetros resumidos; \*\*somente para os casos em que é feita a desinfecção

Fonte: Próprio autor com base na Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde nº 05 e nas edições de 2007 e 2019 da NBR 15527.

A precipitação atmosférica pode ser alterada por fatores locais, tanto internos quanto externos à estrutura da edificação, conferindo ao produto final características específicas da região onde precipita. Alguns dos principais fatores e condições ambientais que alteram a qualidade final das chuvas e que podem interferir na qualidade de sua estão detalhados no **Quadro 3**.

O ar é considerado poluído quando possui uma ou mais substâncias patogênicas em concentrações suficientes para causar danos à saúde humana, fauna, flora e minerais (BRAGA, 2007). Além de estar associada às doenças do trato respiratório, a qualidade do ar é outro fator determinante à qualidade final das precipitações atmosféricas (ROLA, 2008).

Os poluentes presentes no ar podem ser classificados em primários ou secundários. Os poluentes primários são aqueles lançados diretamente no ar por fontes naturais ou antropogênicas, como as erupções vulcânicas e as indústrias. Já os secundários são aqueles produzidos na atmosfera em função da presença de substâncias no ar e condições

favoráveis para a sua formação como o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) que é formado pela presença dos gases de enxofre e que forma a chuva ácida (FORNARO, 1991).

Quadro 3 - Fatores internos e externos que alteram a qualidade das chuvas

<b>Ambiente</b>	<b>Condições</b>	<b>Fatores</b>
Externos	Ambientais, Geográfico e Meteorológicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poluição do ar;</li> <li>- Presença de animais e insetos;</li> <li>- Localização geográfica (proximidade do oceano);</li> <li>- Relevo;</li> <li>- Temperatura;</li> <li>- Intervalos entre dias chuvosos;</li> <li>- Intensidade da chuva;</li> <li>- Tipo de chuva (convectivas, orográficas ou frontais);</li> <li>- Chuva ácida;</li> </ul>
Internos	Material constituinte da cobertura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concreto;</li> <li>- Cerâmico;</li> <li>- Metálico;</li> <li>- Vegetado;</li> </ul>
	Sistema pluvial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presença de sujidades;</li> <li>- Idade da estrutura;</li> <li>- Material constituinte (barbará, PVC, Galvanizado);</li> <li>- Tempo de estocagem;</li> <li>- Trânsito de pessoas</li> </ul>

Fonte: Autor, baseado em (IBIAPINA et al., 2010)

Grande parte desses poluentes tem origem nos processos de queima de combustíveis fósseis, materiais carbonados, solventes e enxofre, sendo os principais: o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), os óxidos de enxofre ( $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$ ), o óxido de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), os hidrocarbonetos, oxidantes fotoquímicos, poeiras, amianto, metais, gás fluorídrico (HF), amônia ( $\text{NH}_3$ ), o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), pesticidas, herbicidas e substâncias radioativas (BRAGA, 2007).

A poluição atmosférica pode ser avaliada ainda pelo alcance atingido, sendo seus efeitos sentidos em escala local ou global. Os efeitos locais estão relacionados à fonte de

emissão e sua respectiva capacidade dispersão no ar. Essa capacidade está intimamente associada às condições climáticas e geográficas do local, uma vez que o relevo e a circulação dos ventos podem representar bloqueio à dispersão de poluentes (FARIAS, 2012). Os efeitos em escala global estão associados à destruição da camada de ozônio, responsável por obstruir a entrada de radiações solares na Terra, à produção de gases que elevam a temperatura média global (efeito estufa) e as chuvas ácidas.

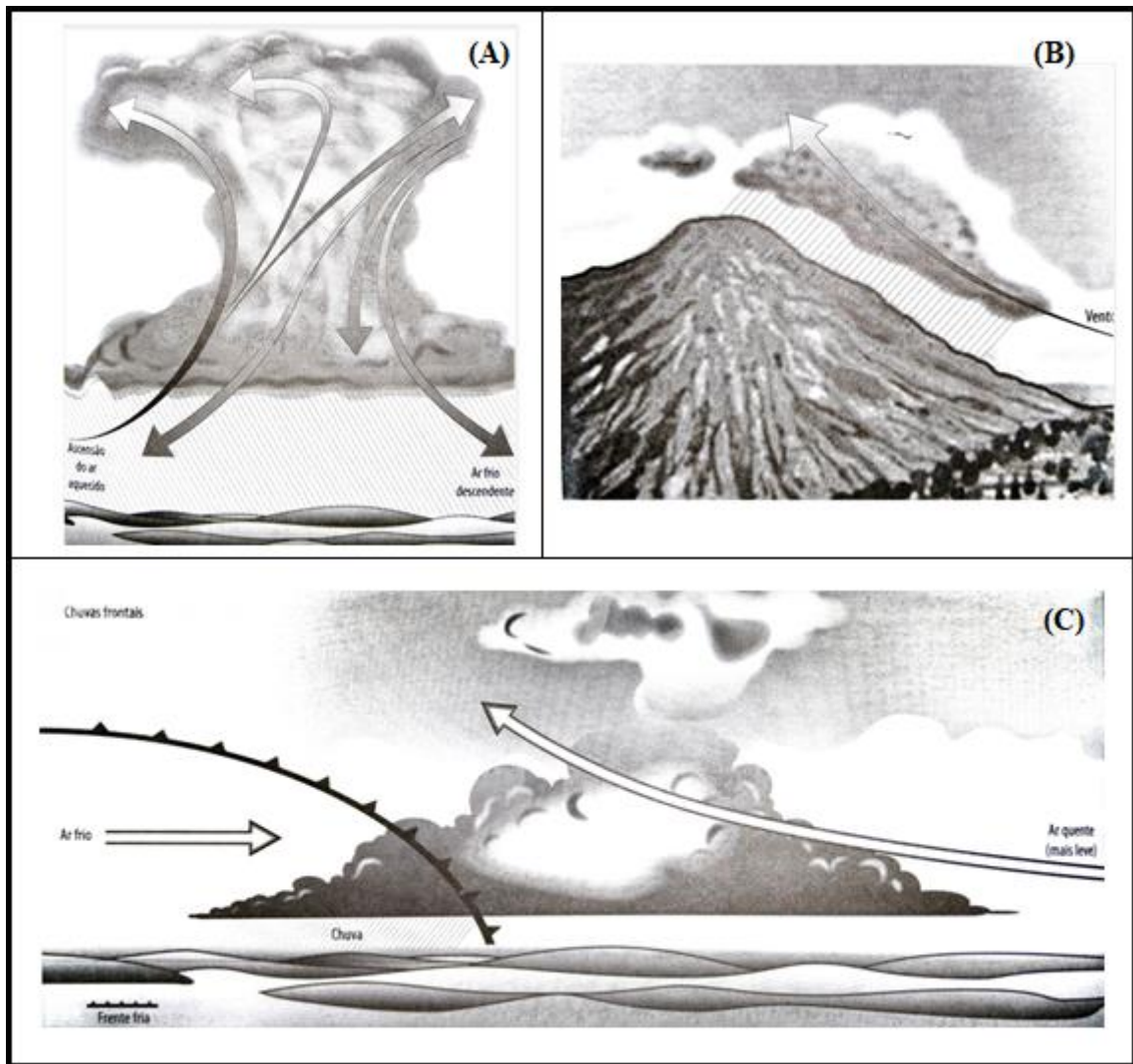
A formação das chuvas e a sua qualidade tem relação com a geografia, a topografia e a climatologia locais. Fatores como a proximidade com o mar, a altitude, o relevo e a estação do ano. Essas características contribuem para classificar a predominância dos tipos de chuva como frontais, convectivas ou orográficas. Ainda há outras 4 grandezas que caracterizam um evento chuvoso como altura (volume precipitado em milímetros), duração (período da chuva – hora, dia ou ano), intensidade (relaciona altura e duração – mm/h) e frequência (tempo de retorno para que outro evento igual se repita).

As chuvas convectivas, conhecidas popularmente como chuvas de verão, têm duração curta e grande intensidade. As altas temperaturas aquecem o ar úmido de baixa altitude que sobem e resfriam rapidamente, condensando o vapor presente na atmosfera e precipitando. Essas precipitações são características das regiões equatoriais com ventos fracos e movimentos verticais do ar (TUCCI, 2009).

As chuvas frontais ou ciclônicas nascem do choque das massas de ar quente com a fria. A massa de ar fria empurra a massa de ar quente para maiores altitudes e essa, por sua vez, esfria, condensa e forma a precipitação. Essas chuvas são de duração e intensidades entre média e longa (TELLES; GÓIS, 2013).

As chuvas orográficas, também conhecidas como “de relevo” por ocorrerem devido a influência da topografia, são formadas pelo deslocamento de ventos úmidos de baixa altitude provenientes dos oceanos que, ao encontrarem obstáculos geográficos nos continentes (serras), são forçados a ganhar altitude, resfriando rapidamente, condensando e precipitam. Em geral elas têm duração e intensidade curtas (BRAGA, 2007). Os tipos de formação de chuva estão representados na **Figura 6**.

Figura 6 - Tipos de formação de chuva ondeem (A) mostra a chuva convectiva, (B) a chuvaorográfica e em (C) a chuva frontal.



Fonte: Telles e Góis (2013)

Assim, em regiões costeiras observa-se constantemente a presença de elementos como sódio, potássio, magnésio, cloro e cálcio em quantidades similares às águas marinhas. Em cidades do interior verifica-se uma maior presença de ferro, alumínio, materiais particulados do solo, além de nitrogênio, fósforo e enxofre (TOMAZ, 2003). Em áreas urbanizadas e polos industriais é comum a presença de metais, hidrocarbonetos de petróleo, sólidos em suspensão, nutrientes e microrganismos patogênicos, enquanto em regiões rurais detectam-se a presença de pesticidas e fósforo nas águas das chuvas (CZEMIEL BERNDTSSON, 2010).

Os fatores ambientais interferem tanto na qualidade quanto na quantidade das

precipitações. Entretanto, a literatura aponta que a qualidade da água de chuva é dependente do material constituinte das coberturas. Terry et al. (2001) e Ghanayem (2001) mostraram que telhados metálicos alteram menos a qualidade final das chuvas do que de fibrocimento e cerâmico. Esta classificação tem relação com a porosidade da superfície e sua capacidade de retenção de sujidades. Dentre as sujidades encontradas com frequência, destacam-se as fezes de aves e roedores, animais em decomposição, insetos, folhas de árvores, gravetos, poeiras e material do próprio revestimento do telhado que podem representar fontes de contaminação por agentes químicos e patogênicos (HAGEMANN, 2009).

Vale destacar ainda que além das características intrínsecas da chuva e o tipo de cobertura usado, a qualidade da água de chuva pode ser influenciada pelos tipos de reservatórios utilizados e até nos próprios pontos de utilização. A construção de reservatório deve seguir recomendações específicas, sendo pertinente que estejam abrigados da luz do sol, não possuam ligação cruzada com a entrada de água da rede de abastecimento, possuam tampa de inspeção hermeticamente fechada e serem desinfetados anualmente (TOMAZ, 2003). Por todo o exposto, o aproveitamento das precipitações atmosféricas é, em geral, recomendado na literatura em áreas urbanas para os fins não potáveis. Sob essas condições, em geral, verifica-se utilização segura deste recurso nos centros urbanos. No entanto, a sua utilização nos grandes centros no Brasil ainda carece de medidas de incentivo tais como observadas em outros países, onde os governos liberam recursos financeiros ou oferecem descontos em taxas e impostos a fim de fomentar a construção das estruturas de aproveitamento (GOMES et al., 2014).

### **3.1.5. Aspectos legais**

O Estado do Rio de Janeiro é extremamente dependente de sua principal fonte de abastecido de água, o Rio Guandu. O estado possui uma das maiores taxas nacionais de urbanização e concentração demográfica em sua região metropolitana. Com isso, ele sofre constantemente os impactos dos grandes eventos meteorológicos e apresenta elevado potencial pluviométrico (média anual de 2.365mm na Zona Norte da cidade) (INMET, 2020). Apesar disso, este recurso é constantemente desperdiçado quase que integralmente devido à falta de incentivo e interesse.

A prefeitura do Rio de Janeiro realizou estudo recente onde demonstrou a existência de um pouco mais 1,5 milhão de edificações que ocupam uma área total de cobertura de 170.390.135 metros quadrados (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2020). Estes locais



representam um potencial de redução no consumo de água tratada na ordem de 25%. Entretanto, o arcabouço legal ainda é insipiente e pouco abrangente, tanto na esfera estadual quanto municipal. As leis existentes, ainda que comentem a importância do aproveitamento pluvial, não apresentam qualquer diretriz sobre como fazê-la.

Não se tem conhecimento de Leis ou Portarias Nacionais que definam parâmetros de qualidade para a água de chuva. Mesmo a Lei das Águas (BRASIL, 1997), que teve sua última atualização em 2017 pela Lei Federal nº 13.501/2017, exclusivamente acrescentou em seus objetivos “incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais” sem orientar quaisquer valores máximos toleráveis para os devidos fins (BRASIL, 2017). A definição de indicadores é pertinente, uma vez que diversos contaminantes e patógenos podem ser encontrados na água causando risco à saúde.

No âmbito do Estado do Rio de Janeiro podem ser encontradas as seguintes leis que possuem associação com água de chuvas: lei nº 4.393/2004, que obriga empresas de arquitetura e engenharia a prever a captação de água de chuva nos projetos de empreendimentos residenciais com mais de 50 famílias ou comerciais com mais de 50 metros quadrados de área construída; lei nº 316/2013 que versa sobre a obrigatoriedade da adoção de práticas e métodos sustentáveis na construção civil e orienta a utilização da chuva para fins não potáveis; lei nº 7.307/2016, que autoriza a captação de água das chuvas nos estádios e arenas esportivas; e lei nº 8.429/2019, que obriga novos postos de combustíveis a possuírem dispositivos para captação de água da chuva para irrigação de jardins, descarga de sanitários, limpezas e lavagens de automóveis.

Ainda no âmbito local, os municípios do Rio de Janeiro e Niterói possuem leis semelhantes como os decretos nº 23.940/2004 e a lei nº 2.626/2008, respectivamente. Entretanto, apenas Niterói dispõe de lei capaz de fomentar a sua população quanto a intenção de construir um sistema de aproveitamento pluvial de forma voluntária. Ainda que a Lei Municipal nº 2.626/2008 se aplique ao aproveitamento em grandes construções com área impermeabilizada acima de 500m<sup>2</sup> ou em prédios públicos, as edificações que adotam medidas de reaproveitamento da água de chuva recebem descontos em tributos. O Município do Rio de Janeiro tem um Projeto de Lei similar (PL 1.027/2014) que encontra-se arquivado desde 2014. Apesar disso, a cidade carioca possui outras duas leis com a temática da chuva: a lei municipal nº 5.279/2011 que cria o programa de conservação e uso racional da água nas edificações e orienta o aproveitamento não potável da chuva e a lei municipal nº 7463/2016 que fornece informações complementares ao decreto 23.940 de 2004.

Portanto, o aproveitamento da água de chuva para fins “menos nobres” é uma atividade relativamente simples. Além disso, é uma fonte gratuita de água (ANNECCHINI, 2005) que tem potencial de reduzir as demandas urbanas pela água (AZEVEDO NETO, 1991), razões pelas quais sua adoção deveria ser incentivada.

No entanto, os efeitos da urbanização não recaem somente nas fortes pressões sobre os recursos hídricos. Medidas de recomposição urbanística dos elementos naturais que foram extraídos para dar lugar aos centros urbanos devem ser realizadas. Um dos meios constantemente adotado é a utilização de coberturas verde, os denominados telhados verdes.

## 3.2. TELHADOS VERDES

### 3.2.1. Um breve histórico e suas funções

A função principal de uma cobertura consiste em proteger a edificação da ação das intempéries. No entanto, ela assume paralelamente funções: utilitárias, como a impermeabilização e o conforto térmico; arquitetônicas, ao conferir forma e estética ao conjunto; e econômicas, uma vez que influencia diretamente no orçamento da construção e no plano de manutenção dada a solução e os materiais utilizados (LYE, 2002).

Um tipo de cobertura há muito conhecido é o telhado verde. Igualmente encontrado na literatura como telhado vegetado, telhados plantados, telhados ecológicos, telhados vivos, jardins suspensos e naturezação, ele é definido pela utilização de vegetação sobre a cobertura das edificações. O telhado verde representa uma estrutura viva construída em camadas (vegetação, substrato, drenagem e impermeabilizante) que ficam dispostas sobre as edificações (PECK et. al., 1999). Este telhado está preparado para suportar a sobrecarga gerada, contribuindo para a restituição de uma parte da vegetação suprimida durante a construção do imóvel (ROWE, 2011).

Segundo Rola et al. (2003) a palavra naturezação é um termo contemporâneo que expressa a recuperação do protagonismo da natureza através do cultivo de espécies vegetais em ambientes alterados pela raça humana. Enquanto técnica pode ser aplicada em qualquer superfície construída tais como coberturas, fachadas, praças, viadutos e outros.

A utilização da naturezação como agente promotor de melhorias ao ambiente é promissora à engenharia e à arquitetura (SANTOS, 2011), entretanto não se trata de uma inovação tecnológica. A adoção da prática é percebida em diversos momentos da história podendo cumprir o papel estético e paisagístico ou de demonstração de riqueza e poder. Ele agrega conceitos socioambientais de conforto termoacústico com a recuperação de

áreas verdes, atenuação das ilhas de calor (fenômeno de absorção do calor pelas estruturas edificadas que reduz a umidade do ar e eleva a temperatura), promovendo inclusive novos habitats (ALMEIDA; BRITO; SANTOS, 2018). Contemporaneamente, há uma tendência entre os arquitetos a buscarem essas soluções construtivas para os problemas urbanos atuais (MINKS, 2013).

Ainda no período pré-histórico, os primeiros caçadores já construíaam pequenas cabanas utilizando o relevo e a vegetação disponíveis nas redondezas. Elas tinham o objetivo de manter o conforto térmico no interior das edificações e aprimorar sua camuflagem como mostra a **Figura 7**(REBOLLAR, 2017).

Figura 7– Primeiras coberturas vegetadas

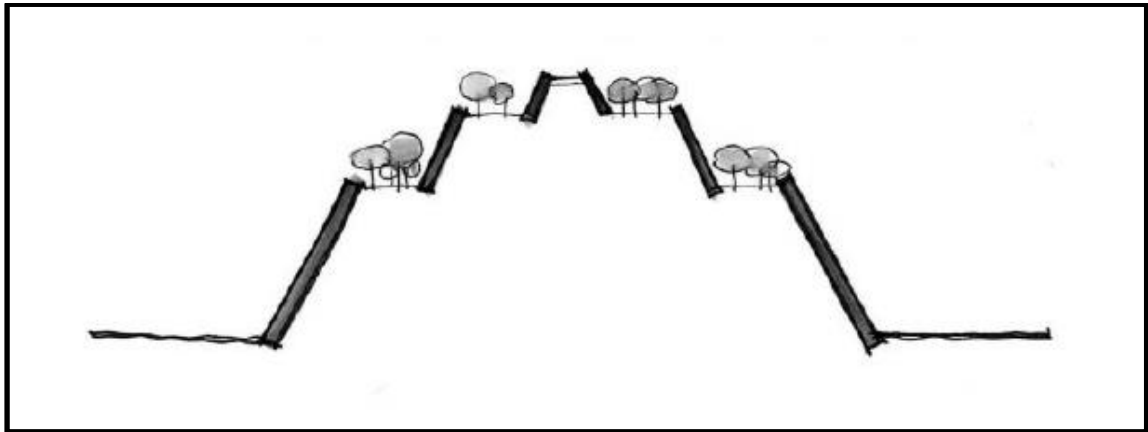


Fonte: Rebolllar(2017)

Os dois exemplos mais imponentes e conhecidos dentre os registros do uso de telhados vegetados da Idade Antiga são os Jardins Suspensos da Babilônia e a Torre de Babel. Esses Templos foram construídos pelas civilizações ocupantes das margens dos rios Tigres e Eufrates e possuíam uma camada vegetal constituindo o revestimento de suas coberturas (OSMUNDSON, 1999).

Os Jardins Suspensos da Babilônia teriam sido construídos pelo Rei Nabucodonosor II com o desejo de alegrar sua esposa acometida por saudades dos campos e florestas de sua terra natal, a Pérsia. Já a Torre de Babel foi construída para que os homens pudessem se elevar e igualar-se a Deus (BIBLA, GENESIS, 11-4)e possuíam formato escalonado onde a vegetação teria sido aplicada como mostra a **Figura 8**.

Figura 8 – Desenho esquemático de um templo da Idade Antiga



Fonte: Filho et. al.(2015)

Diversos exemplos são descritos no continente europeu por Rebollar (2017). Entretanto, o Monte Saint-Michel, construído na França durante a Idade Média, é destacado por Rola (2008) como um dos mais expressivos, dada sua arquitetura e imponência.

Na Itália, principalmente durante o período Renascentista, encontra-se a maior quantidade de estruturas com coberturas vegetadas. São exemplos da proeminência italiana o mausoléu do Imperador Adriano (Século II), o Palazzo Piccolomini (Século XV), o Jardim de Medici (Século XV) e a torre de Guinigi (Século XIV) que, além de exibir seus jardins à 36 metros de altura do nível da cidade, é irrigado por um sistema subterrâneo próprio (OSMUNDSON, 1999).

O desenvolvimento científico e tecnológico observado no período subsequente culmina na Revolução Industrial, período histórico transformador à raça humana dada as mudanças impostas ao comportamento humano em suas relações sociais, de trabalho, moradia e alimentação. Nesse período verifica-se vasto crescimento populacional e dos núcleos urbanos (BLAINEY, 2015). Desta forma, Cavalcante (2012) encontra relação do período com o estabelecimento de telhados verdes, uma vez que o crescimento das cidades resultava na supressão de áreas verdes e em impactos ambientais e à saúde humana.

No entanto, os materiais utilizados na impermeabilização as coberturas ainda desencorajavam as construções, fosse pela sobrecarga excessiva ou por sua ineficiência em

deter infiltrações. A substituição do chumbo e do cobre pelo concreto permitiu a construção de telhados verdes sobre coberturas planas e impulsionou novos projetos (OSMUNDSON, 1999; FILHO et al., 2015)

Um marco da arquitetura Moderna foi o projeto do Arquiteto Le Corbusier, na década de 1920 conhecido como *Villa Savoye*, onde alça os terraços jardins a posição de destaque, sendo inserido como um dos cinco princípios do Movimento Modernista. Ele agregafuncionalidade às coberturas das edificações e reconquista o espaço ocupado no solo pela edificação (ROLA, 2008).

A Semana de Arte Moderna, ocorrida em São Paulo durante o mês de fevereiro de 1922, aproximou artistas nacionais e europeus, apresentando ideias e impulsionando o Modernismo no Brasil. Assim, um dos primeiros e mais expressivos exemplo de terraço jardim nacional foi inaugurado em 1945, no centro da cidade do então Estado da Guanabara. A antiga sede do Ministério da Educação e Saúde, que atualmente abriga serviços da Secretaria de Cultura e do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, ostenta o belo jardim projetado por Burle Max.

A partir da década de 1970, a Alemanha ampliou o entendimento dos benefícios ambientais decorrentes da implantação das coberturas vegetadas na mitigação dos impactos ambientais. Dentre as principais desta técnica são: a redução da sobrecarga nos sistemas de drenagem causados pela impermeabilização, a promoção de novos habitat nas cidades, a redução da amplitude térmica nas edificações e da poluição do ar (FERREIRA; MORUZZI, 2007). O país germânico possui legislações específicas para que sejam adotadas as coberturas vegetadas nas edificações, autorizando deduções de até 80% do valor do imposto predial. Em alguns casos, esses telhados são construídos por instituições privadas a fim de remediar prejuízos ambientais decorrentes de suas atividades (LOPES; VITALLI; VECCHIA, 2007). Como consequência dessas ações, atualmente mais de 15% das coberturas do país são verdes (ROCHA, 2018). Demais países como a Holanda, Canadá e Austrália também aderiram a este movimento.

Portanto, os telhados verdes ou vegetados são medidas ambientais que podem melhorar a condição da vida urbana. No entanto, são necessárias a edição de lei e/ou regulamentações que orientem e incentivem o seu uso.

### **3.2.2. Aspectos legais e técnicos**

No Brasil, há uma maior atenção legislativa aos “Telhados Verdes” do que ao “Aproveitamento da Água de Chuva” como mostra o **Quadro 4**. Entretanto, as leis de

maior potencial ao incentivo e disseminação da técnica ainda aguardam tramitação. Além disso, o país carece de uma norma técnica que seja capaz de orientar profissionais, proteger o consumidor/usuário e definir condições de manutenção e segurança.

Quadro4– Legislação sobre os telhados verdes

<b>Lei ou PL</b>	<b>Descrição</b>	
<b>Esfera Federal</b>		
PL nº622/2008	Prevê 15% de desconto no valor do imposto predial para edificações com telhado verde.	
PL nº 7.162/2010	Prevê 5% de desconto no imposto predial para as edificações que implantarem cobertura verde em, pelo menos, 50% de sua área.	
PL nº 47/2013	Propõe desconto no imposto predial para as edificações que adotarem medidas de proteção ambiental	
PL nº 388/2013	Prevê 25% de desconto no imposto predial nos edifícios com mais de 04 pavimentos que adotarem telhado ou fachada verde	
PL nº 1.703/2015	Prevê incentivo fiscal para as edificações que instalarem telhado verde em, pelo menos, 65% da sua área de cobertura.	
<b>Esfera Estadual, Distrital ou Municipal</b>		
<b>Bahia</b>		
Decreto nº29.100/2017	Salvador	Institui o Programa de Certificação Sustentável e prevê descontos no imposto predial.
<b>Ceará</b>		
PL nº104/2015	Fortaleza	Dispõe sobre a implantação de telhados verdes na cidade de Fortaleza
<b>Goiás</b>		
PL nº235/2012	Goiânia	Prevê desconto de 20% no imposto predial ao imóvel que tenha instalado um telhado verde
<b>Paraíba</b>		
Lei nº10.047/2013	JoãoPessoa	Obriga a instalação de telhados verdes.
<b>Pernambuco</b>		
Lei nº18.112/2015	Recife	Prevê obrigatoriedade de instalação de telhados verdes em edificações residenciais com mais de 04 pavimentos e não residenciais com mais de 400m <sup>2</sup> de área.
<b>Rio de Janeiro</b>		
Lei nº6.349/2012	Rio de Janeiro	Prevê obrigatoriedade de instalação de telhados verdes nas obras de construção de novos prédios públicos
Decreto nº35.745/2012	Rio de Janeiro	Projetos e obras que incluam tecnologias verdes ganharão um selo ambiental e preferência no processo de licenciamento da obra
PL nº1.354/2015 (Arquivado)	Rio de Janeiro	Prevê obrigatoriedade de instalação de telhados verdes nas novas edificações com área superior à 400m <sup>2</sup> , sem definir benefícios fiscais.
PL nº3579/2017	Rio de Janeiro	Prevê a instituição de incentivos para a disseminação dos telhados verdes
<b>Rio Grande do Sul</b>		
Lei nº5.840/2014	Canoas	Permite a construção de telhados verdes como medida compensatória para as novas construções.

<b>Lei ou PL</b>	<b>Descrição</b>	
<b>Rio Grande do Sul</b>		
Instrução nº22/2007	Rio Grandedo Sul	Decreta que edificações com mais de 150m <sup>2</sup> de área devem atender diferentes percentuais de área mínima.
<b>Santa Catarina</b>		
Lei nº1.174/2018	Blumenau	Permite a construção de telhados verdes como medida compensatória para as novas construções, sendo admitida proporção máxima de 50%.A cidade exige que 20% da área de piso seja permeável.
Lei nº14.243/2007	Santa Catarina	Permite o poder executivo a criar parcerias e incentivos para promover a criação de telhados verdes em área urbana.
<b>São Paulo</b>		
Lei nº6.793/2010	Guarulhos	Prevê desconto de 3% no imposto predial pelo período de 5 anos, para os imóveis que adotem duas ou mais medidas de proteção ambiental.
Lei nº531/2013	Jundiaí	Permite a construção de telhado verde
Lei nº 913/2015	Santos	Prevê descontos de até 10% no imposto predial para condomínios com mais de 03 unidades agrupadas.
Lei nº622/2008	São Paulo	Prevê desconto de 15% no imposto predial dos imóveis com telhado verde
PL nº115/2009	São Paulo	Prevê obrigatoriedade de instalação de telhados verdes em edificações com 3 andares ou mais.
PL nº47/2013	São Paulo	Prevê desconto de 10% no imposto predial para as edificações que mantenham 30% de sua superfície permeável, com telhado verde ou outra solução.
Lei nº 16.277/2015	São Paulo	Torna obrigatória a instalação de telhados verdes em prédios com três ou mais pavimentos.
Decreto nº55.994/2015	São Paulo	Possibilita a compensação ambiental com a utilização de telhados verdes e jardins verticais.

Fonte: Elaborado pelo Autor com informações dos sites Agência Câmara de Notícias, Assembleias legislativas, Ecotelhado (2019) e Vertical Garden (2019)



Vale destacar, que é possível organizar a legislação brasileira em 4 categorias: **(1)** aquelas que enquadram o telhado verde como medida de compensação ambiental, com destaque para as regiões de Canoas, Porto Alegre e São Paulo; **(2)** aquelas que preveem incentivo fiscais para as edificações optantes pela implantação da cobertura vegetada, com destaque para as cidades de Goiânia, Guarulhos, Salvador e Santos; **(3)** aquelas que promovem a obrigatoriedade de implantação, sendo observados em Recife, Guarulhos e João Pessoa e; **(4)** aquelas que promovem o uso através de selos de edificação amiga do meio ambiente, com destaque para os município do Rio de Janeiro e de Salvador (VERTICAL GARDEN, 2019).

A Associação Internacional do Telhado Verde (*International Green Roof Association - IGRA*) classifica as estruturas vegetadas em três sistemas: intensivo, semi-intensivo e extensivo (IGRA, 2010). De modo geral, os sistemas diferem entre si em decorrência da espessura do substrato, altura da vegetação, necessidade de manutenção, custo total da solução e tipo de uso do telhado.

Os telhados verdes intensivos são semelhantes ao paisagismo natural, pois permitem acesso de pessoas, são multifuncionais e apresentam maiores profundidades da camada de substrato, suportando maiores espécies vegetais (ROLA, 2008). Entretanto, essa condição requer maior robustez da estrutura da edificação, elevando gastos com projetos e obra. Essas estruturas são denominadas de intensivas por demandarem necessidades “intensivas” de manutenção, fertilização e rega (GETTER; ROWE, 2006).

Os telhados verdes extensivos são caracterizados pela aplicação de vegetação de pequeno e médio porte em coberturas que não permitirem o trânsito de pessoas. Eles exigem menos estrutura de edificação quando comparadas à intensivas, assim como demandam menores custos de manutenção e implantação (IGRA, 2010). Em geral, o suprimento de água e os nutrientes existentes nas camadas da estrutura são suficientes para manter viva as espécies vegetais adotadas, razão pela qual é adequado às espécies vegetais que não demandem rega e possuam baixo crescimento (BRITO, 2015; IGRA, 2010). Estes tipos de sistemas podem ser instalados a partir de tapetes pré-fabricados, plantio de mudas ou vegetação espontânea (CZEMIELBERNDTSSON, 2010). Jobim (2013) alerta para a necessidade de prevenir o escorregamento quando instalados em coberturas com maiores inclinações (mais de 20°).

Os sistemas semi-intensivos ou intensivo simples reúne características tanto dos sistemas intensivos como dos extensivos, sendo coberto por vegetação de tamanho intermediário e demandam manutenção, rega e fertilização periódica (CZEMIEL

BERNDTSSON, 2010). A **Tabela 3** e a **Figura 9** mostram os diferentes sistemas de estruturas vegetadas.

Tabela3 – Características gerais dos diferentes sistemas de telhado verde.

Características	Sistema de Telhado Verde		
	Extensivo	Semi-Intensivo	Intensivo
Necessidade de Manutenção	Baixa ou nenhuma	Média ou periódica	Alta ou intensa
Necessidade de Irrigação	Não	Periódica	Regular
Comunidades Vegetais	Herbáceo Extensivo	Arbustos	Arbóreo
Espessura do Substrato	Menores que 100mm	Entre 100mm e 200mm	Maiores que 200mm
Sobrecarga	Até 100 Kg/m <sup>2</sup>	Entre 120 Kg/m <sup>2</sup> e 700kg/m <sup>2</sup>	Acima de 700Kg/m <sup>2</sup>
Custo	Baixo	Médio	Alto
Utilização	Camada de proteção ecológica	Projeto Telhado Verde	Parque como jardim
Tráfego de Pessoas	Não	Parcial	Sim

Fonte: Rola et al. (2003), Basso (2013) e IGRA (2010) com adaptações do autor.

Figura9 – Perfil esquemático comparativo entre sistemas de telhado verde intensivo e extensivo



Fonte: Dilly(2016)

As coberturas vegetadas podem ainda ser classificadas quanto a sua constituição em sistemas completos, modulares ou em manta (TEIXEIRA, 2013). O sistema completo é aquele onde todas as camadas são construídas diretamente sobre a estrutura das edificações. Já o sistema modular é composto por artefatos que reúnem em si as camadas do sistema completo, exceto o sistema de impermeabilização. Estes módulos podem ser montados diretamente sobre a superfície dos telhados após a fixação da vegetação. Como são formados por estruturas móveis, eles podem ser facilmente removidos para eventual manutenção dos módulos e/ou das coberturas. Por fim, o sistema em manta é composto por uma manta pré-cultivada fora do telhado que é colocada sobre a cobertura após a formação vegetal (ROLA, 2008). A **Figura 10** ilustra esses diferentes sistemas.

Figura 10 – Tipos de constituição dos telhados verde. Em (A) Sistema Completo; (B) Sistema Modular e; (C) Sistema em Manta.



Fonte: Duarte (2017); Rola (2008)

Uma peculiaridade das coberturas vegetadas está na composição estrutural. Independentemente da classificação quanto ao tipo (extensiva, intensiva ou semi-intensiva) ou sistema de construção (completo, modular ou em manta), esses modelos são divididos em camadas que incluem: vegetação, substrato, manta filtrante, manta drenante e superfície impermeabilizada (VIJAYARAGHAVAN, 2015). A sequência construtiva dessas camadas

é o fator crítico para que não ocorram problemas estruturais à edificação e redução do desempenho do telhado verde (BASSO, 2013).

A primeira camada é o elemento da supra estrutura da edificação, sobre a qual todas as demais camadas estarão sobrepostas. Segundo Getter, Rowe e Andersen(2007), a capacidade dessa camada em suportar a sobrecarga gerada pelo sistema vegetado é condição limitante para determinar a profundidade máxima de substrato. O concreto e os diversos tipos de telhas existentes (metálicas, cerâmicas, plásticas) são, em geral, os principais materiais constituintes (ARAÚJO, 2007).

A camada seguinte é uma camada de proteção à estrutura da edificação. Geralmente ela é formada por materiais plásticos, como a manta asfáltica e o PVC, para impedir a percolação da água e a formação de infiltrações na estrutura (BALDESSAR, 2012). Quando o elemento da estrutura é produzido com materiais resistentes à água, ele poderá cumprir, ao mesmo tempo, o papel das duas primeiras camadas, como é o caso das telhas.

A Terceira camada é uma barreira anti-raíz cuja função principal é impedir que as raízes alcancem a camada de impermeabilização e, assim, danificá-la. Na sequência há uma camada drenante que é encarregada por escoar o excesso de água do telhado, evitando o apodrecimento das raízes, ao mesmo tempo que reserva parte da chuva para a manutenção do sistema. LichteLundholm (2006) e Filho et al. (2015) destacam que a espessura da camada drenante encontra relação direta com a capacidades de retenção da água e com a atenuação do pico de enchentes. Com destaque para os sistemas modulares onde os elementos drenantes são compostos de materiais plásticos de alta resistência, mas podem ser usados argila expandida, tijolos triturados e fibra de coco (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

Acima da camada drenante existe o elemento filtrante, muitas vezes composto por uma fibra sintética (manta geotêxtil) com boa resistência à tração gerada pela sobrecarga do substrato. O elemento filtrante tem a função de escoar o excesso de água que percola pelo substrato, prevenir que partículas do solo sejam arrastadas para fora do sistema durante esse processo e ajudar a conter o crescimento das raízes (HENEINE, 2008) (VIJAYARAGHAVAN, 2015).

Sobre todas essas camadas (do elemento supra estrutura à drenante) está o substrato ou meio de cultura. Este é o local onde encontra-se disponíveis as condições para o desenvolvimento da camada vegetal. Sua composição está diretamente associada ao tipo de vegetação aplicado; entretanto, é recomendado que possua boa capacidade drenante, seja

leve, poroso, barato e composto de parte orgânica e inorgânica (SAVI, 2012) (VIJAYARAGHAVAN; JOSHI, 2014).

A última camada é a camada da vegetação. Ela é definida com base nos fatores tipológicos e morfológicos dos vegetais. Para a escolha das espécies é necessário considerar o clima local, necessidade de manutenção e rega, tipo de substrato, inclinação da cobertura, agressividade das raízes, capacidade de fitoremediação, demanda por nutrientes, comportamento em situação de estresse hídrico (excesso de calor e pouca de água ou vice-versa), estética, velocidade de estabelecimento e a capacidade de cobertura do solo (ROWE, 2011; SAVI, 2012; VIJAYARAGHAVAN, 2016). Rowe (2011) destaca que a combinação de espécies permite melhor promoção da biodiversidade quando comparada a monoculturas e Silva (2014) recomenda adoção de espécies nativas uma vez que promovem a fauna e a flora local.

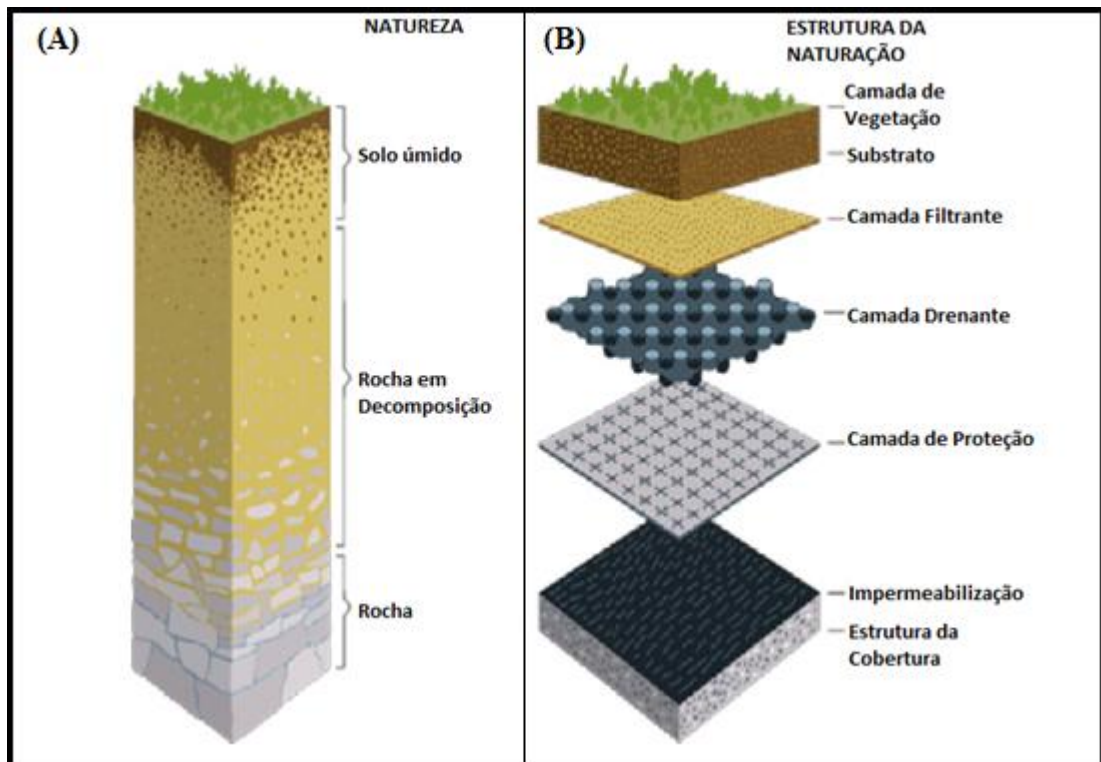
A composição e a profundidade do substrato são fatores preponderantes na dinâmica de escoamento (DUNNETT et al., 2008b; MONTERUSSO et al., 2004; VANWOERT et al., 2005). No entanto, existem pesquisas que alertam para a escolha do tipo de vegetação, pois acreditam ser igualmente relevante na capacidade de retenção de água pelo sistema, principalmente em períodos de extremo calor e pouca chuva (DUNNETT et al., 2008b, STEUSLOFF, 1998; WOLF; LUNDHOLM, 2008).

A interposição das camadas protege a edificação e permite que a chuva percole pela estrutura do telhado de maneira análoga a forma como ocorre em meio natural como mostra a **Figura 11(A)**. As estruturas das diferentes camadas e a comparação com os constituintes naturais podem ser observadas na **Figura 11(B)**.

Dentre as principais vantagens socioambientais proporcionadas pelos telhados verdes em meio urbano destacam-se: **(1)** potencial promoção de uma reforma urbana capaz de ampliar as áreas verdes (ROLA, 2008); **(2)** contribui para a redução da acidez das chuvas, preservando a biota das águas superficiais, monumentos e estruturas urbanas (ROLA, 2008); **(3)** propicia a integração entre ambiente construído e natural através do desenvolvimento de novos habitats (BUTTSCARDT, 2001); **(4)** reduzem o escoamento superficial urbano por meio da retenção parcial das chuvas (OSMUNDOSN, 1999); **(5)** reduzem a sobrecarga ao sistema de geração e transmissão de energia em decorrência da economia com a climatização de ambientes (TOMAZ, 2003); **(6)** promovem a melhoria da qualidade do ar através do consumo do dióxido de carbono e produção de oxigênio, durante a fotossíntese (MIRANDA, 1999); **(7)** absorção dos ruídos pela vegetação gera uma zona de amortecimento mitigando a poluição sonora (IBIAPINA et al., 2010); **(8)** promove

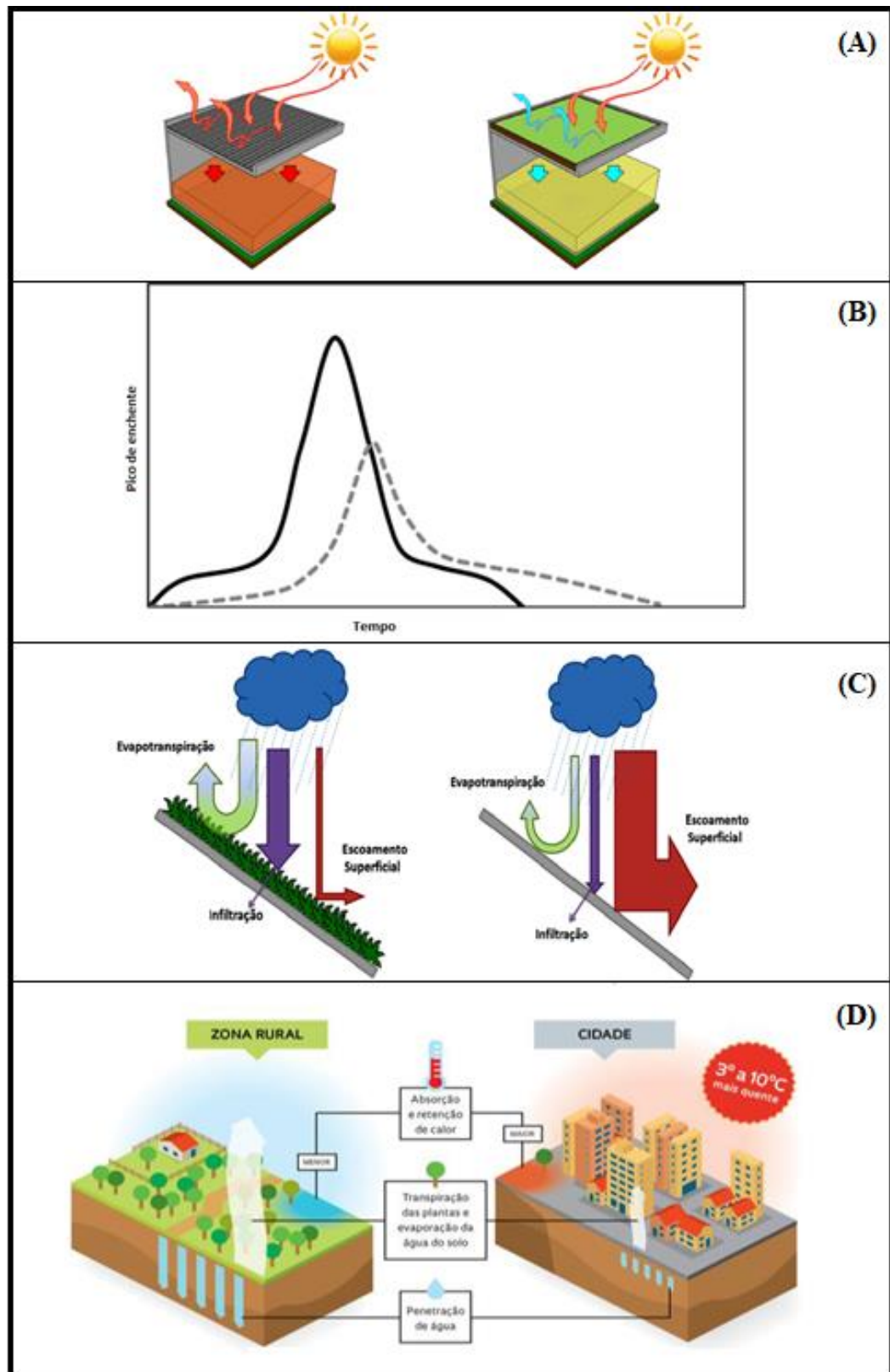
o aumento da circulação natural da água entre solo e atmosfera (LAAR et al, 2001);(9) promove melhorias ao microclima local em decorrência do aumento da umidade do ar e da redução do efeito das ilhas de calor (HENENINE, 2008; WONG et al., 2003); (10) existência de jardins urbanos promove a integração humana em espaços públicos, melhores condições de vida e saúde (OSMUNDSON, 1999); (11) aumento da vida útil das coberturas proporciona menor resíduos sólidos da construção civil destinados à aterros sanitários (ROWE; GETTER, 2010). Os mecanismos que promovem alguns desses benefícios estão ilustrados na **Figura 12**.

Figura11 – Camadas que constituem o Telhado Verde. Em (A) um corte do sistema vegetado natural mostrando o solo e o subsolo e em (B) o sistema de telhado verde simulando as camadas naturais.



Fonte: Adaptado pelo autor de Coelho e Rios (2020)

Figura12– Efeitos positivos obtidos pela implementação do sistema de telhados verdes. Em **(A)** a redução da temperatura interna das edificações; **(B)** a redução do pico de enchentes; **(C)** a redução do escoamento superficial, alívio as redes de drenagem e promoção do ciclo hidrológico e; **(D)** a redução nas ilhas de calor.



Fontes: (A) Dilly (2016); (B) CzemielBerndtsson (2010); (C) Lima (2013); (D) Revista Pesquisa (2012).

Ainda que os benefícios encontrados na literatura sejam numerosos, não é incomum encontrar limitações descritas pelos pesquisadores a fim de garantir o uso consciente e seguro da técnica. Osmundson (1999) lembra que nem toda estrutura é capaz de suportar a



sobrecarga gerada pelas camadas do sistema de naturalização. O custo inicial de implantação supera em cerca de 30% a cobertura convencional e o tempo de retorno do investimento é superior a 10 anos (NIE et al., 2010). Os diferentes designs existentes podem maximizar ou minimizar determinado benefício (CZEMIEL BERNDTSSON, 2010) e quando utilizado para o cultivo de hortaliças e plantas medicinais para consumo podem representar riscos à saúde (SILVA, 2014). A fim de facilitar o entendimento, o **Quadro 5** sintetiza as desvantagens de cada tipo de sistema de telhado verde (ROLA, 2008).

Quadro 5 – Principais desvantagens do sistema de telhados vegetados

Tipo de sistema		
Intensivo	Semi-intensivo	Extensivo
Sobrecarga estrutural alta	Sobrecarga estrutural intermediária	Não são projetados para o uso intensivo do público
Requer reforço estrutural, o que carece a obra		Materiais leves mais caros
Requer manutenção intensa, aumentando consideravelmente os custos		O plantio deve ser realizado em um clima mais ameno
Requer irrigação intensa ao longo de todo o seu ciclo de vida		Irrigação diária nos 3 primeiros meses de implantação. Após esse período, a rega fica por conta das chuvas
Necessita de fertirrigação intensa, promovendo a lixiviação de NPK e, com isso, poluindo as águas pluviais		
Dependendo do tipo de vegetação implantada pode promover a proliferação de insetos indesejáveis		
Mudança na aparência da vegetação em função das estações do ano		
Adaptação dos telhados existentes, que não sejam formados por lajes, para receber o sistema		
Alto custo prévios com a avaliação das espécies autóctones capazes de serem utilizadas na cobertura vegetal, bom como dos materiais próprios para a instalação do sistema. Esta avaliação é fundamental para o sucesso e durabilidade do sistema		
Alto custo inicial podendo ser recuperado em até 3 anos		

Fontes: Rola (2008) com modificações do autor.

Embora no passado os telhados verdes tenham cumprido anseios estéticos, nos dias atuais seus benefícios são reiteradamente comprovados em diversos estudos. Não obstante ser mais onerosa que outros tipos de cobertura, seu principal benefício consiste na orientação por uma sociedade mais atenta ao equilíbrio da relação cidade-fauna-flora diante do avanço das cidades e supressão de áreas verdes.

A representatividade espacial das superfícies das edificações assume papel relevante para mitigar problemas decorrentes das atividades antrópicas. No entanto, é basilar que o poder legislativo e a entidade brasileira de normatização compreendam esses aspectos e promovam incentivos para a adoção, segura da técnica pela sociedade civil, superando a resistência comercial, o desconhecimento e as desconfianças.

Portanto, o aproveitamento das águas de chuvas e o uso de telhados verdes são medidas que podem amenizar os efeitos da urbanização. No entanto, pouco se sabe sobre a concomitância dessas duas técnicas no que se refere ao melhor uso dessas águas que percolam um telhado vegetado.

### 3.3. TELHADO VERDE ASSOCIADO AO APROVEITAMENTO DE CHUVA

Na tentativa de minimizar os impactos consequentes do processo de urbanização, acelerado e não planejado, é imperativo que se aperfeiçoem diferentes tecnologias que ajudem a recuperar o espaço verde suprimido das cidades, aprimorando a qualidade ambiental e preservando os recursos hídricos disponíveis (VIJAYARAGHAVAN; JOSHI, 2014). Logo, a integração da tecnologia do telhado verde com a oportunidade de aproveitamento da água de chuva é proeminente.

A conjugação do telhado verde ao sistema de aproveitamento de chuva para fins não potáveis parte do pressuposto que os benefícios decorrentes da adoção da prática não devem ser excludentes entre si. Ou seja, as vantagens decorrentes da adoção da técnica do telhado verde devem incorporar os benefícios inerentes à prática de aproveitamento da água de chuva. Entretanto cuidados adicionais aos observados e inerentes às chuvas devem ser avaliados tais como: o tipo de substrato, vegetação e sistema de coleta.

O volume final da água de chuva coletado e disponível para ser usado é presumivelmente menor nos telhados vegetados do que naqueles não vegetados. Isto porque, parte da água fica reservada entre as camadas do telhado para sua autopreservação. Tomaz (2003) calcula que o volume não aproveitamento é da ordem de até setenta por cento. No entanto, este percentual pode variar em decorrência da intensidade e do intervalo entre eventos chuvosos.

A altura da camada de substrato encontra relação proporcional com a retenção de água nos telhados. Telhados intensivos e com espécies vegetais maiores possuem maior capacidade para reter as águas das chuvas (IBIAPINA et al., 2010). No entanto, os estudos conduzidos por Nagase e Dunnett (2011) mostraram que gramíneas tiveram desempenho alto na retenção de água do que outras já utilizadas.

Pouco se sabe sobre a qualidade da água percolada pelo telhado verde com vistas ao seu aproveitamento (FERREIRA; MORUZZI, 2007). Teixeira et. al. (2017) afirmam que a qualidade da água da chuva depende das características do telhado por onde a água escoar, logo o sistema composto pelo solo e planta devem influenciar na qualidade dessa água. Stovin, Vesuviano e Kasmin (2012) afirmaram que os telhados verdes têm o potencial

de filtrar a água fazendo desse tipo de cobertura uma oportunidade para a engenharia trabalhar em harmonia com os processos naturais do ambiente. No entanto, Ferreira e Moruzzi (2007) afirmam que o telhado verde pode tanto reter quanto carrear poluentes, e que a composição do substrato, tipo de cobertura vegetal e o tempo de estabelecimento da vegetação são fatores determinantes neste balanço.

Em geral, as características da água de chuva podem ser afetadas pelas condições ambientais da atmosfera e pelas características da cobertura (telhado). Desse modo, características intrínsecas dos telhados vegetados como tipo de vegetação, idade das plantas, inclinação do telhado, composição e profundidade do substrato podem afetar a quantidade e qualidade da água atmosférica como mostra a **Tabela 4**.

Tabela 4 – Fatores internos que podem alterar a qualidade da água percolada pelo telhado verde

Fator	Problema
Idade	Com o tempo o substrato tende a perder sua capacidade de neutralizar chuvas mais ácidas.
Falta de manutenção	Entupimentos; Vazamentos; Proliferação de vetores.
Composição do substrato	Quanto maior o teor de matéria orgânica pior a qualidade da água obtida; O pH pode interferir na qualidade da água e na sobrevivência da vegetação; Adição de fertilizantes pode comprometer a qualidade da água percolada;
Profundidade do substrato	Quanto maior a profundidade maior a capacidade filtrante e maior o carreamento de substâncias do solo pela água percolada
Composição vegetal	Quanto maior a proteção física, melhor a qualidade da água percolada; Algumas plantas tem o potencial de sorção de poluentes e melhor capacidade filtrante.

Fonte: Gimenez (2017)

Em alguns estudos, o telhado verde atenuou a acidez da chuva e a água obtida por estes sistemas apresentou qualidade superior quando comparada a outros tipos de coberturas (VAN SETERS et al., 2009). Na Suécia, CzemiellBerndtsson (2010) verificou a retenção de diversas formas de nitrogênio pelos telhados vegetados, constatando que a este sistema funcionou como um filtro natural retendo impurezas presentes na chuva (TOMAZ, 2003). Embora Vijayarahavan (2016) concorde com a capacidade de filtração dos telhados verdes, salienta-se que outros contaminantes podem ser liberados na água pelos telhados

verde. Em experimentos realizados em 2012, o autor identificou a presença de íons inorgânicos e metais leves na água que percola o solo dos telhados verdes (VIJAYARAHAVAN et al., 2012). Contrário a isso, Castro (2011) constatou o aumento de sólidos totais, de nutrientes, da turbidez e da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) da água após sua percolação pelo telhado verde e Teixeira et al. (2011) chamam atenção para os indicadores de cor, fosforo e coliformes, muitas vezes encontrados acima dos limites estabelecidos na água obtida por telhados vegetados.

Alguns estudos mostraram que a qualidade da água obtida pelos telhados verdes pode alterar em função do período coletado. Köhler e Schmidt (2003) observaram que os primeiros milímetros de chuva podem carrear maior quantidade de impurezas, logo eles recomendam o descarte do volume inicial precipitado para o melhor aproveitamento da sua água. Razzaghmanesh, Beecham e Kazemi(2014)presumem que a quantidade de contaminantes liberados pelo telhado verde decai durante a extensão do evento chuvoso e recomenda o aproveitamento da chuva para fins menos restritivos. Para Czemiell Berndtsson, Emilsson e Bengtsson(2006) a liberação de poluentes na água encontra relação em dois fatores principais: a idade dos telhados e sua rotina de fertilização. Segundo constatou, telhados jovens e recém-plantados apresentam maior liberação de poluentes do que os telhados plantados a mais tempo, em decorrência da liberação da matéria orgânica presente no substrato.

Ainda que as pesquisas desenvolvidas sobre a temática tenham aumentado nos últimos anos, a utilização de diferentes métodos para coleta e análise dos dados tornam incerto certificar a qualidade da água obtida pelos telhados verdes (CZEMIEL BERNDTSSON; EMILSSON; BENGTTSSON, 2009). Portanto, são necessários a realização de mais estudos sobre a qualidade da água a partir da percolação dos telhados verdes para dar maior subsídio na segurança na integração dessas duas tecnologias.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. PRINCÍPIOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento de estudos qualitativos exige do observador uma ação íntima com o objeto em estudo, uma vez que se estabelece a partir de relações dinâmicas entre o indivíduo e as condições que o cerca. Seu caráter exploratório e não quantificável admite conclusões baseadas nos aspectos relevantes à pesquisa desenvolvida, tais como pesquisas de opinião, de percepção de situações ambientais e de dados pré-estabelecidos. (STRAUSS; CORBIN, 1998).

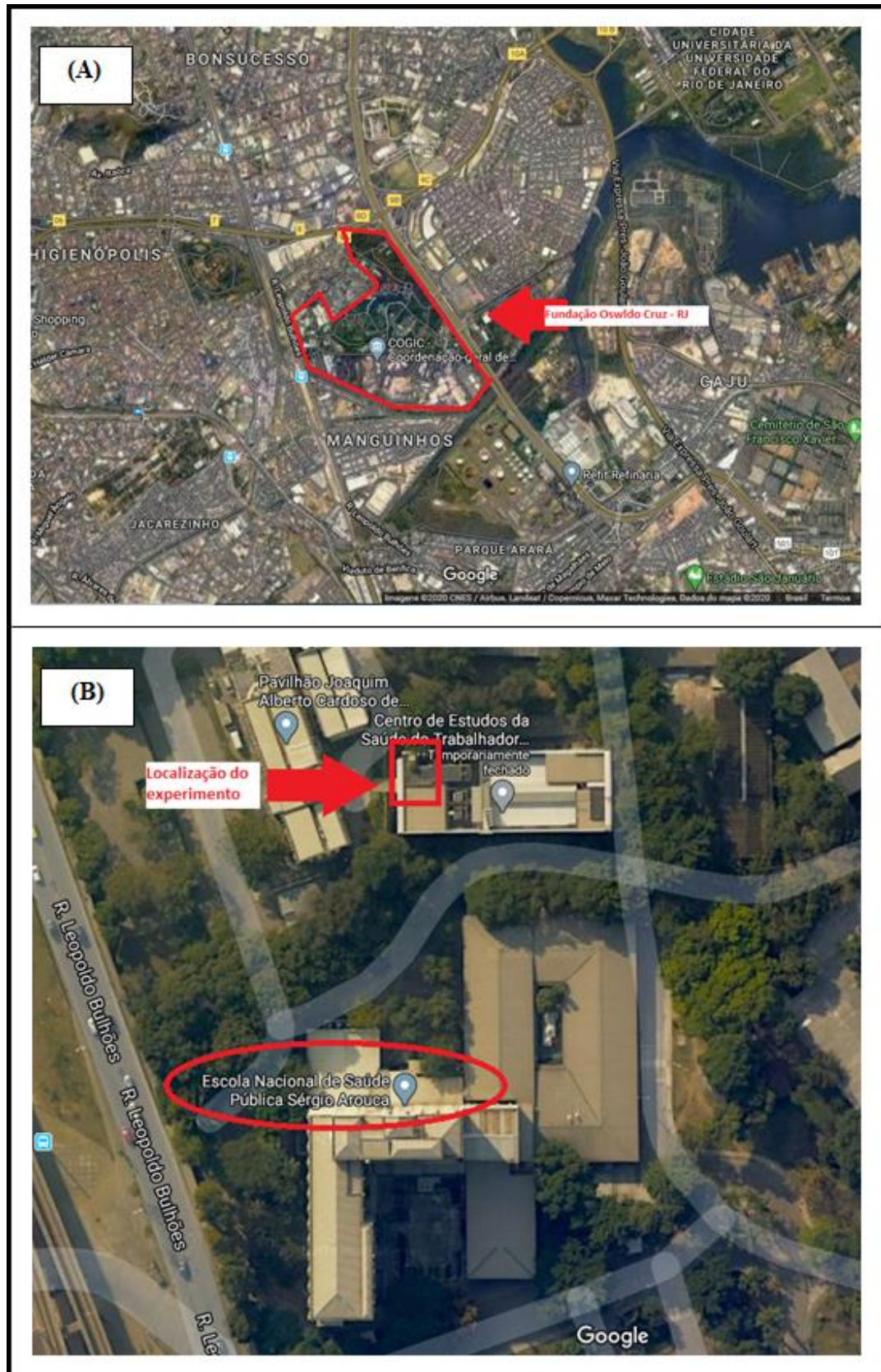
Por sua vez, em uma pesquisa quantitativa é possível traduzir em números as informações e dados levantados em campo, orientando as conclusões. Essa modalidade, no entanto, requer inferências estatísticas, como por exemplo cálculo de porcentagem, média e análise de variância (RIBEIRO; ECHEVESTE; DANILEVICZ, 2001). Portanto, esta pesquisa é classificada como quali-quantitativa e foi desenvolvida a partir de um modelo experimental (protótipo).

### 4.2. MODELO EXPERIMENTAL

A realização desse experimento beneficiou-se da pré-existência de duas estruturas já construídas. Cada estrutura foi construída em alvenaria com dimensões de 1,50m x 1,20m x 1,50m (C x L x H) e colocada sob uma parte descoberta do piso técnico de uma das edificações pertencente à Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca da Fundação Oswaldo Cruz (Ensp- Fiocruz) no Rio de Janeiro como mostra a **Figura 13**. O local tem acesso restrito às pessoas, entretanto, está exposto à ação de intempéries e presença de pássaros, insetos e a copa de árvores.

O telhado utilizado sobre as estruturas de alvenaria compreende de uma telha ondulada feita em aço galvanizado composta por liga de zinco e alumínio, com inclinação de 6°. O material é resistente à oxidação, às altas temperaturas e tem larga aplicação em projetos residenciais e industriais (BARRETO, 2020) como mostra a **Figura 14**. Sobre uma das estruturas foram colocados os módulos vegetados (Telhado Verde) enquanto que a outra permaneceu sem vegetação (Telhado Comum).

Figura 13 – Visão superior do local do experimento. Em (A) mostra a localização do Campus da Fiocruz na cidade do Rio de Janeiro e em (B) o prédio onde foram instaladas as estruturas com telhado.



Fontes: Imagens obtidas pelo *Google Maps* e adaptação feita pelo autor

Figura 14 –Estruturas de alvenaria utilizadas para coleta das amostras das águas de chuva. O detalhe do telhado sem vegetação e a calha com o frasco para a coleta da água em (A) e (B), respectivamente. Em (C) e (D) mostra o telhado com os módulos vegetados. Detalhe para a cobertura da calha para impedir que a água captada pela percolação da camada vegetada seja contaminada por substâncias presentes na atmosfera.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

A fim de possibilitar a captura das águas das chuvas foi construído um sistema de águas pluviais, conforme orientações NBR 10.844 (ABNT, 1989). Desta forma, a água que escoou pela telha galvanizada foi captada por uma calha e conduzida pelo conduto vertical, ambos feitos em PVC, até o reservatório de coleta (**Figura 14**).

O sistema vegetado foi estabelecido na estrutura em 2011 e não recebeu nenhum artifício de manutenção, fertilizantes ou rega desde a sua montagem até a realização desse estudo. A **Figura 15** mostra a evolução das plantas no início de sua instalação e após 9 anos. A natureza utilizada é do tipo extensiva, modular, construídas sobre bandejas drenantes intertraváveis em polietileno de alta densidade (PEAD) 100% reciclado, medindo 40cm de largura, por 50cm de comprimento e 7,5cm de altura cada peça, conforme ilustrado na **Figura 16**. Este sistema conta com todos os níveis necessários para a natureza, exceto da camada impermeabilizante. Ele admite a movimentação individual das bandejas, mesmo após o desenvolvimento da vegetação, o que é relevante em casos de manutenção da estrutura do telhado ou da camada vegetal. Sua altura útil comporta uma camada de substrato de 5cm, tornando-o leve (80kg/m<sup>2</sup>, quando saturado), prático e ideal para grandes áreas onde não haja trânsito humano (CIDADE JARDIM, 2018). Ao todo foram utilizados 9 módulos para cobrir o telhado metálico.

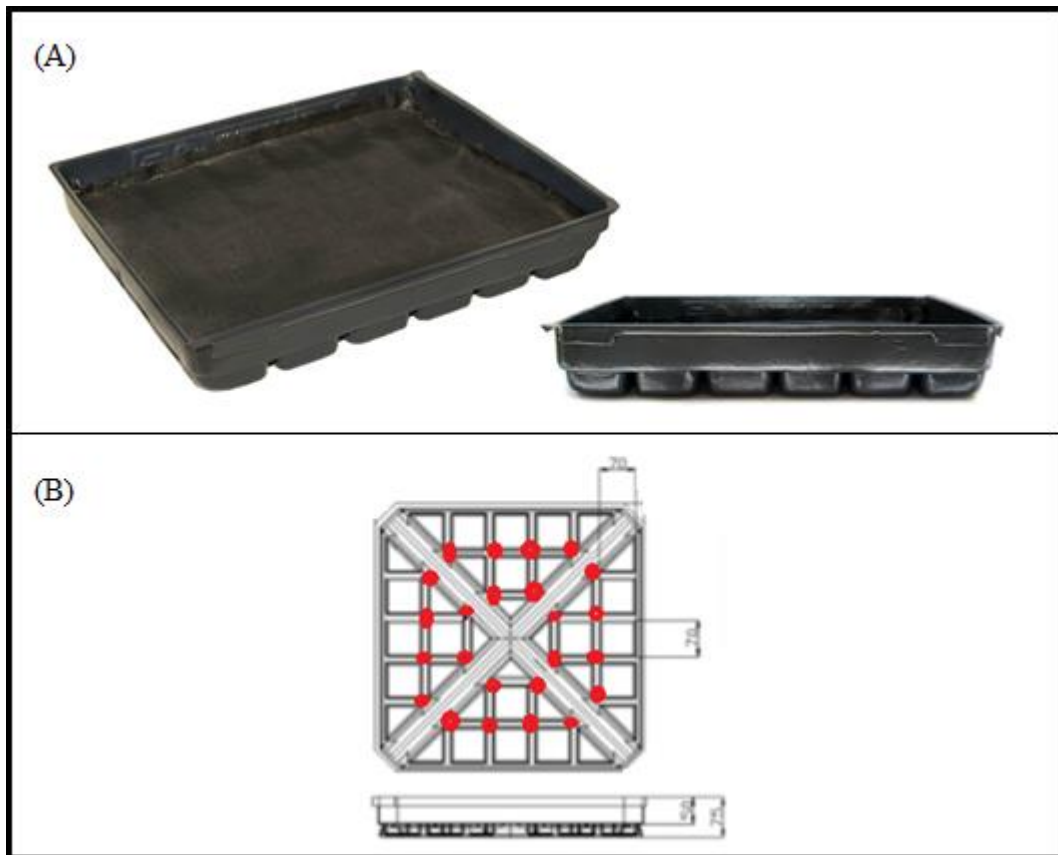
Figura 15 –Evolução da condição da natureza inicialmente instituída (2011) e no momento deste estudo (2019).



Fonte: Acervo pessoal do autor



Figura 16 -Módulo intertravado utilizado neste estudo que foi construído pelo Instituto Cidade Jardim em (A). No detalhe em (B) o sistema de macro e microdrenagem dos módulos.



Fonte: Instituto Cidade Jardim (2012)

A coleta da água das calhas foi realizada em garrafas de vidro âmbar com capacidade para quatro litros. A abertura superior foi protegida para que a água da chuva não tivesse acesso direto ao recipiente, sem escoar pela cobertura (detalhe da **Figura 14**). A água da chuva diretamente da atmosfera foi coletada com a utilização de um funil metálico de composição similar ao telhado. Após procedimento de lavagem em laboratório com detergente neutro tipo extran (Merck) a 5% e água tipo I, nos dias que antecederam aos eventos chuvosos o funil era colocado a poucos metros das estruturas com telhados, como mostra a **Figura 17**, afim de medir a interferência causada pelas coberturas dos telhados.

Portanto, foram obtidas amostras da água de chuva a partir de três matrizes, a primeira diretamente da precipitação atmosférica (Água de Chuva - AC), a segunda a partir do escoamento da água pluvial pela estrutura não vegetada (Telhado Comum - TC) e a terceira a partir da percolação pelo sistema vegetado presente sob a cobertura da estrutura

(Telhado Verde - TV).

Figura 17–Aparato experimental utilizado para este estudo. Em (A) as estruturas de alvenarias com telhado comum, telhado verde e a água de chuva. Em (B) o detalhe do sistema de coleta diretamente da água de chuva. Devido a possibilidade de ventos, foi necessária a colocação de aparatos para evitar a queda do frasco que coletava diretamente a água de chuva.



Fonte: Acervo do autor

#### 4.3. COLETA E ANÁLISE DAS AMOSTRAS

Os frascos âmbar de 4 litros utilizados para a coleta foram lavados com detergente neutro tipo Extran (Merck) à 5%, enxaguados com água ultrapura e secos.

No dia anterior ao evento meteorológico, esses frascos foram colocados na cobertura do prédio e acoplados aos sistemas de coleta. Na manhã do dia seguinte, os frascos eram removidos de cada sistema e imediatamente conduzidos ao laboratório para a realização de algumas análises.

As análises de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais (ST), cor aparente, pH, condutividade, turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli* (*E.Coli*) foram realizadas imediatamente à chegada das amostra. Além disso, foram preparadas as alíquotas para as análises de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e ânions dissolvidos (cloreto, fluoreto, nitrato, nitrito e fosfato). Esta determinação se deu em função das exigências impostas pelo analito a ser determinado. O tempo recomendado e máximo entre a coleta e a análise dos parâmetros usados neste trabalho estão apresentados no Anexo 1.

Foram realizadas coletas mensais entre abril/2019 e fevereiro/2020 totalizando em 10 amostras. Não foi possível a realização da coleta em julho devido ao baixo índice pluviométrico registrado. Em janeiro/2020 foram tomadas duas amostragens, uma no início do mês e outra no final.

Para a realização das análises laboratoriais foram adotados os procedimentos estabelecidos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* – APHA (BRIDGEWATER et al., 2017) e o **Quadro 6** ilustra o método utilizado para cada analito, conforme a numeração adotada pela APHA. O detalhamento do procedimento utilizado para cada analito está apresentado no Anexo 2.

Quadro 6 – Métodos usados para a determinação dos parâmetros analíticos das amostras da água da chuva.

Parâmetro	Método utilizado
Condutividade	Método Potenciométrico (número 2510)
DBO	Método DBO 5 dias (número 5210B)
Cor	Método Espectrofotométrico (número 2120C)
pH	Método Potenciométrico(número 4500B)
Turbidez	Método Nefelométrico(número 2130B)
Nitrito	Método Cromatografia de Íons de Coluna Única com Detecção Direta de Condutividade(número 4110C)
Nitrato	
Fluoreto	
Fosfato	
Nitrogênio Total	Método Oxidação Térmica com detecção por quimioluminescência.
Carbono Orgânico Total	Método Combustão térmica com detecção por infravermelho
Coliformes Totais	Método Substrato enzimático (número 9223B)
<i>E. coli</i>	
ST	Método Gravimétrico (número 2540C)

Fonte: Bridgewater et al. (2017).

#### 4.4. ANÁLISE DE DADOS

Os resultados obtidos das análises quantitativas de qualidade das amostras de cada um dos sistemas: água de chuva, água de telhado comum e água do telhado verde, foram submetidos a testes de normalidade a partir da realização do teste de *Shapiro-Wilk*.

Em seguida, a qualidade da água dos diferentes sistemas foi comparada dois a dois considerando três situações: 1) água de chuva com água do telhado verde; 2) água da chuva com água do telhado comum e; 3) água do telhado verde com água do telhado comum.

Para as situações 1) e 2) os parâmetros foram considerados variáveis dependentes e na condição 3) considerou-se as variáveis como independentes.

Os parâmetros que apresentaram distribuição normal foram testados usando os valores de F para avaliar as variâncias e, por fim, sucedeu-se a execução dos testes *t-student*. Os parâmetros que não apresentaram comportamento normal na distribuição de seus dados, foram comparados a partir dos testes não paramétrico de *Mann-Whitney Wilcoxon*. Todos realizados considerando o intervalo de confiança de 95% ( $p = 0,05$ ).

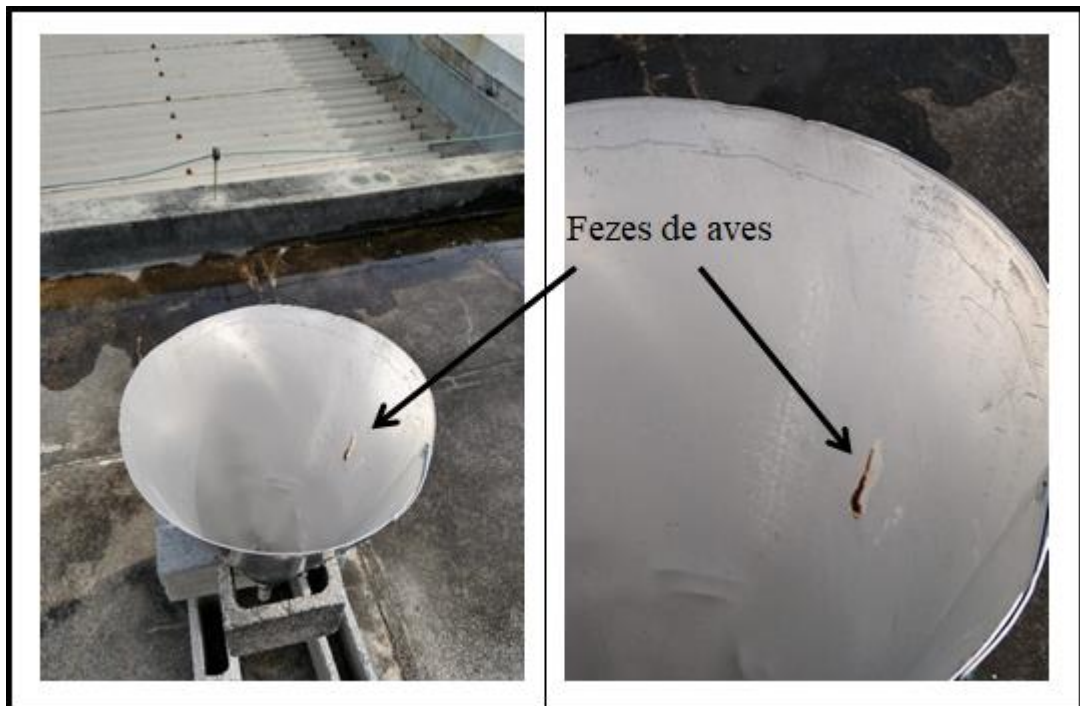
Todos os testes estatísticos foram realizados através dos programas *Microsoft Excel Past* (Versão 2.17C).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram coletadas amostras dos três diferentes sistemas (água de chuva, água do telhado comum e telhado verde) em 11 eventos chuvosos entre 11 de abril de 2019 e 04 de fevereiro de 2020. Destaca-se que no mês de dezembro de 2019 foi constatada a presença de fezes de pássaros no aparato montado para coleta de chuva como mostra a **Figura 18**. Estes fatos podem ter ocorrido devido ao acoplamento do sistema aos frascos para a coleta ter sido realizado ao durante da tarde e a precipitação somente ocorreu ao final da noite.

Figura 18 - Presença de fezes de pássaros no funil utilizado no sistema para a coleta da água de chuvas.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2019)

Em alguns períodos a quantidade coletada não foi suficiente para a realização de todas as análises pretendidas, principalmente nas amostras de água de chuva e de telhado verde. Como o funil utilizado para a coleta de água de chuva era estreito para evitar a entrada de sujeiras atmosféricas (poeira, folhas, etc) e a água do telhado verde resultava da percolação do sistema plantado, isto pode ter prejudicado a coleta de um volume maior de amostras.

### 5.1.1. Água da chuva (AC)

A **Tabela 5** apresenta os resultados da qualidade da água da chuva (AC). Na maior parte das amostragens os valores médios foram próximos à mediana o que mostra que não existiram valores muito discrepantes (outliers), exceto para cor aparente, condutividade elétrica, carbono orgânico total (COT), cloretos e coliformes totais.

Os valores de cor das amostras de abril e agosto de 2019 foram respectivamente 49 e 34 uH. Esses valores discrepantes elevaram a sua média para 16 uH. O alto valor de abril pode ter ocorrido em função da presença de resíduos de fuligens e outras sujidades oriundas da funilaria onde foi fabricado o funil. Este fato foi prontamente observado e corrigido com uma limpeza mais criteriosa e cuidadosa para as demais amostragens. Já o mês de agosto foi marcado pelo baixo índice pluviométrico local e, para contornar este problema, o sistema permaneceu montado por um longo período para a captação da água de chuva. Este artifício pode ter favorecido a entrada de partículas de poeira e outras sujeiras do ar no funil que foram arrastados com a água contribuindo para um aumento no valor da cor desta amostra. Ao desconsiderarmos essas duas amostras, a média de cor das amostras passaria a 10,3 uH, ou seja, próxima a sua mediana. A versão original da NBR 15.527 recomenda a avaliação da cor aparente para o possível uso de água de chuva com o valor máximo de 15 uH. Portanto, desconsiderando as amostras oriundas de possíveis erros de amostragem, a água de chuva local estaria dentro dos padrões para o seu reaproveitamento como recomendado por esta norma.

Em todas as 10 amostras analisadas para a turbidez os valores mensurados foram menores que o limite máximo recomendado pela norma técnica de aproveitamento pluvial, que é de 5UNT. Os valores de turbidez refletem a quantidade de sólidos totais em suspensão presente na água e estes são a diferença entre os sólidos totais (ST) e os sólidos totais dissolvidos (STD). Neste caso, os meses de junho e agosto foram os que apresentaram maiores teores de sólidos totais suspensos e que tiveram as maiores leituras de turbidez (2,0 e 3,0 UNT). Esses meses foram os de baixo potencial pluviométrico, o que pode ter contribuído para uma maior quantidade de sólidos que foram arrastados pela chuva. Em 60% das amostras os valores de turbidez foram iguais ou inferiores à 1,0 UNT.

As chuvas monitoradas durante o período do estudo apresentaram valores de pH variando entre 5,21 e 7,50, sendo 6,2 o valor médio amostral. Esse valor médio enquadra-se na faixa recomendada pela a norma de aproveitamento que é de 6,0 a 9,0.

Tabela 5 – Características da qualidade da água de chuva que caíram no Campus Manguinhos da ENSP/Fiocruz.

Parâmetro (unidade)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Média	Mediana	NBR 15527/19	Coef. Variação
	Abr/19	Mai/19	Jun/19	Ago/19	Set/19	Out/19	Nov/19	Dez/19	Jan/20	Jan/20	Fev/20				
Cor (uH)	<b>49,00</b>	10,00	17,00	34,00	9,00	15,00	9,00	7,66	3,66	19,65	<b>1,78</b>	16,0	10,0	-	88,1%
Turbidez (UNT)	1,32	2,00	<b>3,00</b>	NR	<b>0,20</b>	1,00	1,20	0,65	0,60	0,63	0,40	1,1	0,8	5,0	72,7%
Sólidos Totais (mg/l)	NR	47,00	88,00	<b>99,00</b>	48,00	30,00	40,00	10,00	31,00	NR	<b>ND</b>	43,7	40,0	-	74,4%
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l)	<b>70,00</b>	42,00	38,00	60,00	18,00	37,00	23,00	2,10	16,00	NR	<b>ND</b>	30,6	30,0	-	75,5%
pH	<b>7,50</b>	6,45	6,53	7,06	6,33	6,08	<b>5,34</b>	<b>5,81</b>	<b>5,21</b>	<b>5,87</b>	6,40	6,2	6,3	6,0 a 9,0	11,3%
Condutividade (µs/cm)	45,00	13,00	46,80	<b>77,30</b>	31,70	19,30	17,60	14,20	14,60	19,50	<b>7,00</b>	27,8	19,3	-	75,2%
Oxigênio Dissolvido (mg/l)	NR	NR	NR	<b>9,05</b>	NR	<b>7,08</b>	NR	8,90	7,43	7,56	7,79	7,97	7,68	-	10,0%
DBO 5 (mg/l)	2,10	1,00	1,00	5,90	1,76	0,66	2,12	<b>7,40</b>	2,66	<b>0,06</b>	1,01	2,3	1,8	-	100,0%
Carbono Total (mg/l)	3,58	2,25	3,14	6,76	2,91	3,05	3,76	2,65	<b>10,42</b>	NR	<b>2,23</b>	4,1	3,1	-	63,4%
Carbono Orgânico Total (mg/l)	<b>1,40</b>	1,94	2,21	6,03	2,46	2,77	3,50	2,35	<b>10,67</b>	NR	1,99	3,5	2,4	-	80,0%
Carbono Inorgânico Total (mg/l)	<b>2,18</b>	0,32	0,92	0,74	0,46	0,28	0,26	0,30	0,25	NR	<b>0,24</b>	0,6	0,3	-	100,0%
Nitrogênio Total (mg/l)	0,62	0,45	0,59	1,42	<b>1,62</b>	1,07	1,09	1,19	0,76	NR	<b>0,37</b>	0,9	0,9	-	44,4%
Cloretos (mg/l)	NR	<b>2,50*</b>	8,30	<b>11,27</b>	3,44	2,50*	2,50*	NR	2,50*	NR	2,50*	4,4	2,5	-	77,3%
Fluoretos (mg/l)	NR	<b>ND</b>	ND	ND	<b>0,25*</b>	ND	ND	NR	ND	NR	ND	0,03	ND	-	333,3%
Fosfatos (mg/l)	NR	<b>ND</b>	ND	ND	<b>2,50*</b>	ND	ND	NR	ND	NR	ND	0,3	ND	-	300,0%
Nitrito (mg/l)	NR	<b>ND</b>	0,25*	<b>0,37</b>	ND	ND	ND	NR	ND	NR	ND	0,1	ND	-	200,0%
Nitrato (mg/l)	NR	0,81	0,69	<b>4,44</b>	2,88	2,28	2,06	NR	0,44	NR	<b>0,25*</b>	1,7	1,4	-	88,2%
Sulfato (mg/l)	NR	<b>2,50*</b>	2,50*	<b>4,96</b>	3,11	2,50*	2,50*	NR	2,50*	NR	2,50*	2,9	2,5	-	31,0%
Coliformes Totais (NMP/100ml)	<b>ND</b>	ND	ND	<b>648,80</b>	ND	1,00	32,40	248,10	NR	ND	ND	93,0	ND	-	225,9%
<i>E. Coli</i> (NMP/100ml)	<b>ND</b>	ND	ND	ND	ND	1,00	<b>2,00</b>	ND	NR	ND	ND	0,3	ND	200,0	233,3%

Notas: \* - valor mínimo quantificável pelo método analítico; ND - não detectado; NR – amostra não realizada; Negrito – valores de máximo e mínimo amostral. Em vermelho – valores em desacordo à norma ABNT NBR 15.527/19.

Não foi possível coletar amostras no mês de julho de 2019; foram realizadas duas coletas no mês de janeiro de 2020.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As chuvas podem ser consideradas ácidas quando o valor do pH é menor que 5,6 (TOMAZ, 2003). Essa condição foi constatada por duas vezes (nov/19 = 5,34 e jan-I = 5,21), e ainda em outras duas amostras os valores de pH ficaram abaixo do limite mínimo estabelecido pela norma (dez/19 = 5,81 e jan-II = 5,87). Os valores mais baixos de pH foram observados durante as estações mais quentes e com maior índice pluviométrico do ano, atingindo quase 40% das amostras. A maior incidência de chuvas ácidas durante os meses da primavera e do verão foi evidenciada por Marín et al. (2001). O autor destaca a insolação do período como razão para oxidação do enxofre e outros compostos atmosféricos contribuindo para o aumento da acidez nos eventos chuvosos. Os valores médios de cor, turbidez e pH das águas pluviais coletadas diretamente na atmosfera foram similares aos encontrados por Oliveira (2007), Rola (2008) e Gimenes (2017) em estudos desenvolvidos sobre a temática na mesma região metropolitana e bacia aérea da cidade do Rio de Janeiro.

Na avaliação da matéria orgânica, tanto os parâmetros da DBO (2,3mg/L) quanto do COT (3,5 mg/L) apresentaram valores médios baixos. Anecchini (2005) e Hagemann (2009) igualmente verificaram valores de DBO próximos: 2,7 e 4,0 mg/L, respectivamente.

Somente algumas amostras apresentaram os íons fosfato, fluoreto e nitrito, enquanto em todas foram detectados nitrato, sulfato e cloreto, porém todos em pequenas concentrações. Com detalhe para o cloreto que é característico de águas atmosféricas oriundas de aerossóis marinhos ou salobres de regiões costeiras como já foi descrito por Rola (2008).

Os meses com valores mais discrepantes foram agosto e dezembro de 2019. No mês de agosto o aparato para a coleta de água de chuva permaneceu montado por um período maior que os demais em função da estiagem ocorrida no período. Este procedimento pode ter provocado um maior acúmulo de sujeira no sistema o que corroborou com os altos valores de cor, sólidos totais (inclusive os dissolvidos e em suspensão), condutividade, DBO, nitrogênio total, íons (no geral) e coliformes totais. Já o mês de dezembro foi caracterizado pela presença de fezes de aves no funil usado para a captação da água de chuva o que pode ter sido a origem para os altos valores de DBO e coliformes totais nessa amostra.

Em relação à avaliação microbiológica, os coliformes totais e a *E. coli* foram encontrados em 40% e 20% das amostras, respectivamente. A média de coliformes totais de 232,6NMP/100ml não é representativa para avaliar a qualidade da água da chuva pois este valor foi oriundo da interferência dos valores discrepantes obtidos em agosto e



dezembro. Os baixos valores de coliformes totais e de *E. coli* encontrados nos meses de setembro e outubro podem ter sido característicos da presença de animais no local uma vez que esses meses marcam a primavera que é característica pela floração e atração de várias espécies de polinizadores. O local onde está montado o sistema de coleta possui vegetação no seu entorno que provê habitat a aves, morcegos e insetos que possuem *E. coli* em seu trato gastrointestinal (ALAM e ZUREK, 2004). Pinheiro et al. (2005) e Hagemann (2009) também encontraram *E. coli* na água de chuva e justificaram esta ocorrência a presença de animais no local de coleta.

A recomendação na NBR em relação ao monitoramento microbiológico para reaproveitamento da água de chuva era de ausência/100ml tanto para coliformes totais quanto para termotolerantes. Na atualização dessa norma estes valores foram alterados para um limite máximo de 200NMP/100ml de *E. Coli*. Desse modo a água de chuva atenderia aos requisitos para a seu reaproveitamento.

### 5.1.2. Telhado comum (TC)

A **Tabela 6** mostra os resultados das variáveis físico-químicas e microbiológicas da água obtida pelo telhado comum (TC) e apresenta a estatística descritiva para as amostras de água de coletadas após escoarem por um telhado comum feito em material metálico. A diferença expressiva entre a média e a mediana observada nos parâmetros cor, turbidez, sólidos (dissolvidos e totais) e microbiológicos (coliformes totais e *E. coli*) mostram que tiveram valores discrepantes ao longo do monitoramento. Este sistema estava aberto onde o telhado não recebia nenhuma limpeza prévia antes da coleta, logo agentes externos como animais, folhas e poeira podem ter provocado essa diferença entre os valores ao longo do período amostrado. Tais medidas foram necessárias para que fosse possível avaliar o efeito das coberturas (telhado comum e telhado verde) sobre a qualidade da água da chuva. Vale destacar que neste estudo não houve descarte dos primeiros milímetros de chuva que caíram no telhado como é recomendado quando se propõe o aproveitamento de água de chuvas de telhados.

A maior parte das amostragens (7 de 10) apresentaram valores de cor acima do recomendado pela versão inicial da Norma Técnica referente ao aproveitamento da água de chuva por coberturas residenciais. Os meses com maiores valores de cor correspondem a períodos de menor potencial pluviométrico (inferior a 100mm/mês), o que sugere uma menor diluição dos contaminantes atmosféricos que possam estar depositados no telhado nesse período.

Tabela 6 – Características de qualidade da água captada do sistema de telhado comum.

Parâmetro (unidade)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Média	Mediana	NBR 15527/19	Coef. Variação
	Abr/19	Mai/19	Jun/19	Ago/19	Set/19	Out/19	Nov/19	Dez/19	Jan/20	Jan/20	Fev/20				
Cor (uH)	8,00	12,00	17,00	124,00	58,00	<b>183,00</b>	23,00	<b>5,31</b>	35,63	10,24	22,94	45,4	22,9	-	125,5%
Turbidez (UNT)	0,70	1,80	3,40	NR	<b>5,10</b>	<b>5,10</b>	2,60	<b>0,50</b>	1,19	0,95	1,22	2,3	1,5	5,0	73,9%
Sólidos Totais (mg/l)	NR	<b>214,00</b>	60,00	139,00	83,00	126,00	64,00	24,60	48,00	NR	<b>6,30</b>	85,0	64,0	-	76,11%
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l)	27,00	<b>172,00</b>	50,00	10,00	26,00	47,00	37,00	<b>ND</b>	13,00	NR	5,80	38,8	26,5	-	128,3%
pH	7,00	6,55	6,59	7,06	6,56	6,28	6,24	6,65	<b>7,09</b>	<b>6,23</b>	6,38	6,6	6,6	6,0 a 9,0	4,5%
Condutividade (µs/cm)	20,00	17,30	<b>47,50</b>	30,20	11,40	11,30	25,00	8,30	7,10	7,30	<b>5,00</b>	17,3	11,4	-	74,0%
Oxigênio Dissolvido (mg/l)	NR	NR	NR	<b>8,88</b>	NR	<b>6,82</b>	NR	7,81	7,38	7,82	7,77	7,7	7,8	-	9,0%
DBO 5 (mg/l)	<b>&lt; 2,0</b>	1,90	<b>&lt; 2,0</b>	<b>6,00</b>	<b>&lt; 2,0</b>	1,20	1,20	4,08	1,93	<b>&lt; 2,0</b>	1,28	1,9	1,2	-	89,5%
Carbono Total (mg/l)	4,14	<b>1,72</b>	2,61	3,29	2,78	4,58	2,72	2,55	<b>8,10</b>	NR	2,73	3,5	2,7	-	51,4%
Carbono Orgânico Total (mg/l)	3,89	<b>1,44</b>	1,87	2,66	2,28	4,20	2,34	2,22	<b>7,86</b>	NR	2,49	3,1	2,4	-	61,3%
Carbono Inorgânico Total (mg/l)	0,25	0,28	<b>0,74</b>	0,63	0,50	0,38	0,38	0,34	<b>0,23</b>	NR	0,24	0,4	0,4	-	50,0%
Nitrogênio Total(mg/l)	0,70	0,50	0,68	<b>1,11</b>	0,61	1,00	0,94	0,52	<b>0,38</b>	NR	0,46	0,7	0,6	-	28,6%
Cloretos (mg/l)	NR	<b>2,50*</b>	<b>9,17</b>	3,62	<b>2,50*</b>	<b>2,50*</b>	3,17	NR	<b>2,50*</b>	NR	<b>2,50*</b>	3,6	2,5	-	63,9%
Fluoretos (mg/l)	NR	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	NR	<b>ND</b>	NR	<b>ND</b>	ND	ND	-	-
Fosfato (mg/l)	NR	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	NR	<b>ND</b>	NR	<b>ND</b>	ND	ND	-	-
Nitrito (mg/l)	NR	<b>0,25*</b>	<b>0,25*</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	NR	<b>ND</b>	NR	<b>ND</b>	0,25	ND	-	40,0%
Nitrato (mg/l)	NR	0,63	0,57	<b>ND</b>	0,75	<b>1,43</b>	0,50	NR	0,09	NR	0,25*	0,5	0,5	-	80,0%
Sulfato (mg/l)	NR	<b>2,50*</b>	<b>2,56</b>	<b>2,50*</b>	<b>2,50*</b>	<b>2,50*</b>	<b>2,50*</b>	NR	<b>2,50*</b>	NR	<b>2,50*</b>	2,5	2,5*	-	0,8%
Coliformes Totais (NMP/100ml)	1203,30	<b>3,10</b>	<b>2419,60</b>	<b>2419,60</b>	387,30	<b>2419,60</b>	<b>2419,60</b>	<b>2419,60</b>	NR	<b>2419,60</b>	<b>2419,60</b>	1.853,1	2.419,6	-	51,6%
<i>E. Coli</i> (NMP/100ml)	18,90	<b>ND</b>	2,00	4,10	ND	8,60	<b>1732,90</b>	<b>1986,30</b>	NR	<b>816,40</b>	<b>2419,60</b>	<b>698,9</b>	13,7	200,0	7129,2%

Notas: \* - valor mínimo quantificável pelo método analítico; ND - não detectado; NR – amostra não realizada; Negrito – valores de máximo e mínimo. Em vermelho – valores em desacordo à norma ABNT NBR 15.527/19.

Não foi possível coletar amostras no mês de julho de 2019; foram realizadas duas coletas no mês de janeiro de 2020.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A turbidez da água do telhado comum variou de 0,5uT a 5,10uT, estabelecendo valores médios de 2,3uT. O valor de máximo ocorreu em duas amostragens, nos meses de setembro e outubro de 2019, o que elevou a sua média ao longo do período. No entanto, esses valores extrapolaram somente em 2% o limite máximo estabelecido pela ABNT. Por essa razão, ao se descartar os primeiros milímetros de chuva, é possível que a sua qualidade atenda aos limites exigidos por esta norma.

O pH medido nas amostras do telhado comum foram as que apresentaram menor variação entre os valores de máximo (7,09) e mínimo (6,23) estando sempre próxima da neutralidade, com valor médio de um ácido fraco (6,6). Em todas as 11 análises realizadas os valores medidos estavam dentro dos limites exigidos pela norma para o aproveitamento da água de chuva. Anecchini (2005), no estado do Espírito Santo, e May (2004), em São Paulo, encontraram resultados similares para pH da água da chuva que escoou pelo telhado comum. Uma provável explicação para o observado seria uma reação rápida da água de chuva com os materiais depositados sobre o telhado e com o próprio material que compõe a cobertura, consumindo uma parcela do cátion hidrogênio e reduzindo a acidez das águas (MAY, 2004). Outra hipótese consiste na liberação de gases que promovem a acidez da água como o carbono após o choque da chuva sobre a placa do telhado.

As baixas condutividades encontradas nas amostras do telhado comum reforçam a ideia de provável reação e/ou aeração da água ao passar pelo telhado. A condutividade verificada foi a menor entre os três sistemas e a que apresentou menor amplitude em seus valores. Os íons cloreto, nitrato e sulfato foram os encontrados na maior parte das amostras do telhado comum, enquanto o nitrito, fluoreto e fosfato foram detectados em algumas amostragens. Isto reforça a baixa condutividade medida na água do telhado comum.

Os coliformes totais foram encontrados em todas as amostragens, sendo que em 70% o valor máximo extrapolou o método sem diluição. A *E. coli* não foi encontrada em apenas duas amostras. Nas amostras em que foram detectadas, 60% destas estavam com concentrações abaixo do recomendado pela NBR 15527/19. Nos meses entre novembro e fevereiro, as amostras apresentaram valores de *E. coli* acima do recomendado pela norma. Este resultado pode ter ocorrido devido a presença de aves no local. Este período foi o destaque para as maiores concentrações de coliformes da água do telhado comum o que justifica a disparidade entre a média e a mediana dos valores microbiológicos.

Detalhe para o mês de agosto que teve os valores mais discrepantes entre as amostras em relação aos parâmetros analisados. A DBO foi a maior entre as 11 amostras, além do alto valor de cor, sólidos totais e nitrogênio total.

### 5.1.3. Telhado verde (TV)

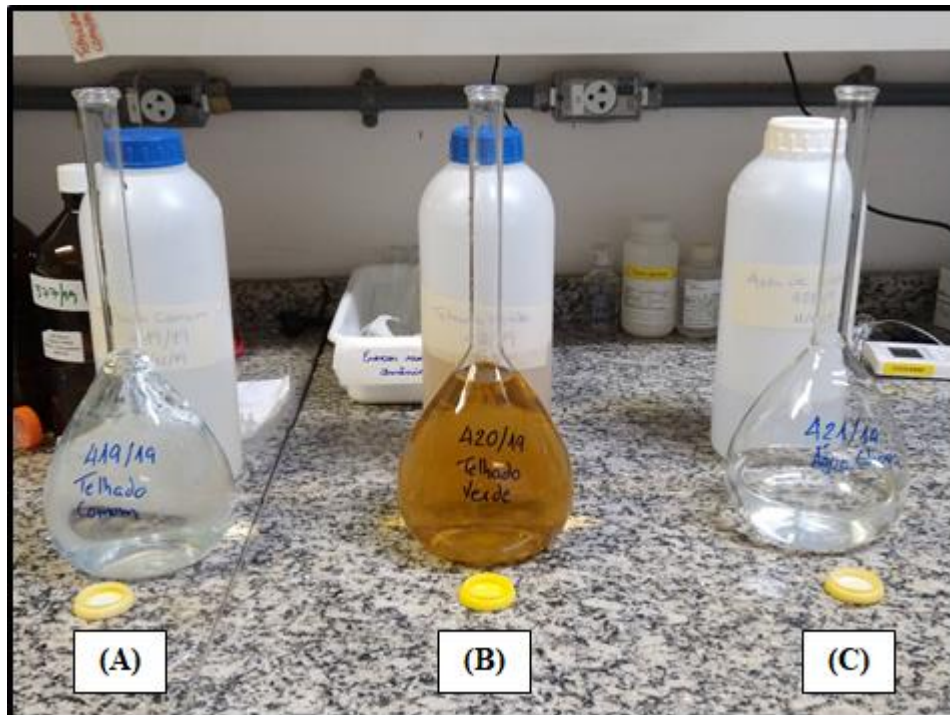
A **Tabela 7** mostra os valores das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de água coletadas após percolação pela camada vegetal colocada sobre a cobertura da edificação (Telhado Verde – TV). A média e a mediana dos valores obtidos pelas análises das amostras no período foram próximos mostrando que tiveram poucos valores discrepantes (outliers). Somente a condutividade e a concentração de *E. coli* foram bastante variáveis nas amostragens da água captada pelo sistema de telhado verde.

Todas as amostras de água coletadas por este sistema tiveram uma cor amarelada intensa como mostra a **Figura 19**. A elevada cor observada pode representar a presença de substâncias húmicas ou de metais na água do telhado verde. Devido ao tempo de implantação do sistema (nove anos) é possível a formação desses compostos no substrato do sistema de naturezação em função da decomposição do material vegetal. A cor é um dos parâmetros organolépticos e que pode ser detectada sem a necessidade de equipamentos quando se apresenta de maneira intensa. Ela é uma possível razão pelos quais muitos usuários podem rejeitar o uso dessa água (FARIAS, 2012). Tomando como base a Norma ABNT 15527/2007, o valor da cor das amostras obtidas pelo telhado verde foi acima do máximo recomendado para aproveitamento.

Os valores de turbidez foram baixos, exceto nas amostragens de junho/2019 e de janeiro/2020 que foram 5,80 e 5,25 NTU, respectivamente. A Turbidez verificada em águas percolada por telhados verdes é altamente dependente da composição do substrato (MORGAN; ALYASERI; RETZLAFF, 2011). O substrato utilizado nesse estudo conferiu valores médios baixos e adequados ao recomendado pela norma de aproveitamento pluvial.

Os valores de pH obtidos das águas que percolam pelo solo vegetado variaram de 5,53 a 7,10. Apesar de o valor médio estar, em escala, dentro da faixa recomendada pela ABNT/NBR 15.527, em 6 amostras, os valores estiveram abaixo do limite inferior recomendado. Os valores do pH da água percolada pelo telhado verde independem da profundidade, do meio de cultivo (RAZZAGHMANESH; BEECHAM; KAZEMI, 2014) e da intensidade da chuva. Neste estudo, o pH apresentou-se levemente ácido, possivelmente em decorrência da formação das substâncias húmicas na camada de substrato.

Figura 19– Cor característica das amostras de água provenientes do telhado comum (A), verde (B) e da chuva (C) mostrando a diferença entre os diferentes sistemas.



Fonte: Acervo pessoal do autor

Os valores de condutividade média da água do telhado verde foram bem inferiores aos obtidos por Farias (2012) e Persh et al. (2011) que foram 300 e 377 $\mu$ S/cm, respectivamente. Este resultado reforça a ideia de que a idade de amadurecimento do telhado tem relação inversamente proporcional com a condutividade. Essa expectativa é reforçada por Santos et al. (2011) ao associar a condutividade elevada à maior presença de matéria orgânica em substratos jovens que são gradualmente liberados com o tempo e por Vijayaraghavan (2014) que afirma os telhados verdes mais jovens contribuem com mais íons para o escoamento do que telhados maduros.

Somente o nitrito teve baixa frequência na água do telhado verde, enquanto os demais íons estiveram presentes em todas as amostras. O fluoreto e o fosfato estavam nos limites analíticos do método. No geral, os valores foram baixos, comparados a águas naturais. O maior valor de cloretos foi encontrado na amostragem de agosto/19 que apresentou valor de 37,38mg/L. No entanto, esse valor representa 2,5% da concentração máxima tolerada para o consumo humano (COSTA FILHO, 1997)

Tabela 7 – Características de qualidade da água captada do sistema de telhado verde.

Parâmetro (unidade)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Média	Mediana	NBR 15527/19	Coef Variação
	Abr/19	Mai/19	Jun/19	Ago/19	Set/19	Out/19	Nov/19	Dez/19	Jan/20	Jan/20	Fev/20				
Cor (uH)	242,00	<b>196,00</b>	270,00	273,00	318,00	<b>382,00</b>	359,00	374,39	320,32	326,67	329,49	308,3	320,3	-	18,1%
Turbidez (UNT)	<b>1,60</b>	3,80	<b>5,80</b>	NR	3,80	4,60	3,40	4,63	3,08	<b>5,25</b>	4,67	4,1	4,2	5,0	29,3%
Sólidos Totais(mg/l)	NR	174,00	225,00	264,00	<b>289,00</b>	179,00	218,00	175,00	172,00	NR	<b>97,00</b>	199,2	179,0	-	28,7%
Sólidos Dissolvidos Totais(mg/l)	<b>79,00</b>	140,00	177,00	244,00	<b>248,00</b>	112,00	200,00	167,00	170,00	NR	90,00	162,7	168,5	-	36,0%
pH	<b>7,10</b>	6,59	6,57	6,56	<b>5,98</b>	<b>5,76</b>	6,08	<b>5,67</b>	6,35	<b>5,95</b>	<b>5,53</b>	6,2	6,1	6,0 a 9,0	8,1%
Condutividade(µs/cm)	34,00	71,00	118,90	<b>229,50</b>	195,80	70,70	120,40	73,40	89,40	79,50	<b>26,90</b>	100,9	79,5	-	62,1%
Oxigênio Dissolvido(mg/l)	NR	NR	NR	7,86	NR	<b>6,85</b>	NR	<b>8,57</b>	6,94	7,71	7,53	7,6	7,6	-	7,9%
DBO 5 (mg/l)	< <b>2,0</b>	6,60	5,40	6,20	3,64	2,47	6,08	<b>8,33</b>	6,56	< <b>2,0</b>	2,00	4,5	5,4	-	55,5%
Carbono Total(mg/l)	29,49	<b>26,00</b>	39,03	42,52	49,16	40,97	49,69	<b>51,29</b>	45,96	NR	33,90	40,8	41,7	-	21,3%
Carbono Orgânico Total (mg/l)	28,96	<b>25,28</b>	37,85	41,67	48,74	40,66	49,11	<b>50,90</b>	45,20	NR	33,62	40,2	41,2	-	21,9%
Carbono Inorgânico Total (mg/l)	0,53	0,72	<b>1,19</b>	0,85	0,43	0,31	0,57	0,39	0,75	NR	<b>0,27</b>	0,6	0,5	-	50,0%
Nitrogênio Total (mg/l)	<b>1,09</b>	1,94	3,10	3,37	<b>3,94</b>	2,47	3,74	3,69	4,23	NR	1,78	2,9	3,2	-	37,9%
Cloretos (mg/l)	NR	6,03	14,77	<b>37,38</b>	31,54	7,36	15,94	NR	7,26	NR	<b>2,50*</b>	15,3	11,1	-	83,0%
Fluoretos (mg/l)	NR	<b>0,25*</b>	<b>0,25*</b>	<b>0,25*</b>	<b>0,25*</b>	<b>0,25*</b>	<b>0,25*</b>	NR	<b>0,25*</b>	NR	<b>0,25*</b>	0,25*	0,25*	-	0,0%
Fosfatos (mg/l)	NR	<b>2,50*</b>	<b>2,50*</b>	<b>2,50*</b>	<b>2,50*</b>	<b>2,50*</b>	<b>2,50*</b>	NR	<b>2,50*</b>	NR	<b>2,50*</b>	2,5*	2,5*	-	0,0%
Nitrito (mg/l)	NR	<b>0,25*</b>	<b>0,25*</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	NR	<b>ND</b>	NR	<b>ND</b>	0,06	ND	-	166,7%
Nitrato (mg/l)	NR	<b>4,74</b>	2,19	4,59	3,24	<b>0,79</b>	3,48	NR	1,30	NR	ND	2,5	2,7	-	72,0%
Sulfato (mg/l)	NR	4,39	9,79	18,45	<b>20,24</b>	6,29	9,90	NR	5,43	NR	<b>2,50*</b>	9,6	8,0	-	67,7%
Coliformes Totais (NMP/100ml)	<b>2419,6</b>	<b>2419,6</b>	<b>2419,6</b>	<b>2419,6</b>	<b>2419,6</b>	<b>2419,6</b>	<b>2419,6</b>	<b>2419,6</b>	NR	<b>435,2</b>	<b>2419,6</b>	2.221,2	2419,6	-	28,2%
<i>E.Coli</i> (NMP/100ml)	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>1732,90</b>	<b>387,30</b>	129,60	<b>ND</b>	14,60	1,00	NR	1,00	1,00	226,7	1,00	200,0	239,6%

Notas: \* - valor mínimo quantificável pelo método analítico; ND - não detectado; NR – amostra não realizada; Negrito – valores de máximo e mínimo. Em vermelho – valores em desacordo à norma ABNT NBR 15.527/19. Não foi possível coletar amostras no mês de julho de 2019;

Foram realizadas duas coletas no mês de janeiro de 2020.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O nitrogênio total foi encontrado em todas as amostras da água do telhado verde, mas em concentrações bastante reduzidas. O mesmo se reflete para as formas oxidadas de nitrogênio (nitrato e nitrito). A concentração desse elemento é menor em telhados verdes maduros (TEEMUSK; MANDER, 2007) uma vez que, muito provavelmente, ele é absorvido pela camada vegetal (ROLA, 2008). A presença em maior ou menor quantidade deste nutriente nas amostras normalmente está associada à intensidade da chuva (TEEMUSK; MANDER, 2011).

Em todas as amostragens, o fósforo, sob a forma de fosfatos, foi encontrado, porém, em concentrações abaixo do limite quantificável pelo método analítico utilizado (< 2,50 mg/L). Este resultado foi semelhante ao encontrado por Speak et al. (2014) aproximando-se da afirmação de Czemieli Berndtsson, Emilsson e Bengtsson (2009) de que existem telhados verdes que não liberam qualquer quantidade de fósforo. Kohler et al. (2002) acompanharam a redução da liberação de fósforo pelo telhado verde com o tempo de sua instalação.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é um indicador de compostos orgânicos liberados pela camada vegetal (TEEMUSK; MANDER, 2011). Os valores médios encontrados foram similares aos obtidos por Teemuske Mander (2011) e ligeiramente inferiores aos reportados por Czemieli Berndtsson (2010) para telhados intensivos. Outro indicador pouco explorado é o carbono orgânico total (COT) que representa a matéria orgânica carbonácea. Diferentemente da DBO que reflete a matéria orgânica degradável bioquimicamente, o COT pode refletir a matéria orgânica pouco degradável. Em todas as amostragens os valores de COT foram superiores à DBO (em média 9 vezes superior). Esta diferença pode indicar a presença de substâncias húmicas, capaz conferir coloração à água justificando o alto valor de cor obtido pela água do telhado verde.

Na avaliação da parcela microbiológica da água percolada pelo telhado verde observou-se a presença de bactérias coliformes totais em todas as amostras. Em apenas uma amostra o valor foi diferente ao máximo quantificado pelo método analítico adotado, sem diluição. Ainda que a versão atualizada da norma NBR 15.527 tenha suprimido a necessidade da avaliação colimétrica da água de chuva aproveitada, os valores foram bem superiores aos anteriormente recomendados (mais de 2.000 vezes superiores). Teixeira, Ilha e Reis apud Gimenes (2017) descrevem que a água drenada por coberturas vegetadas pode apresentar concentração de coliformes superiores aos limites estabelecidos para águas de reuso.

Por outro lado, a partir da análise de *E. coli*, parâmetro associado à contaminação

fecal e a provável existência de microrganismos patogênicos, foi observado que a maior parte das amostras (80%) esteve abaixo de 200NMP/100ml, que é o limite recomendado pela norma ABNT. Apesar disso, o valor médio ficou acima do recomendado. No entanto, a média e a mediana ficaram muito distintas, elucidando valores discrepantes (outliers). As amostragens de em junho e agosto de 2019 que tiveram os maiores valores respectivos de 1.732,9 e 378,3 NMP/100ml elevaram os valores médios para além dos recomendados. Pelo comportamento decrescente das concentrações amostrais verificadas em meses subsequentes, acredita-se que esses valores elevados decorram de alguma fonte pontual de contaminação. Ao contrário dos outros sistemas, não se sabe ao certo o motivo desses meses terem apresentado altos valores para *E. coli*. Essa suspeita ganha força nos achados de Gimenes (2017) e Teixeira (2013), onde os valores de *E. Coli* em seus estudos tenderam a zero. Por se tratar de um bioindicador importante para a garantia da saúde humana, o monitoramento periódico deste parâmetro é recomendado e pode influenciar no aproveitamento da água obtida pelo telhado verde.

## 5.2. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS SISTEMAS

No geral, a água de Chuva (AC), a do Telhado Comum (TC) e a do Telhado Verde (TV) apresentaram diferenças na qualidade e quantidade. Apesar de não ter sido realizada uma medição direta, a quantidade de água gerada pelo sistema vegetado foi menor que as demais devido a pouca amostra coletada principalmente nos meses de maior estiagem. A qualidade foi influenciada pelo ambiente (telhado ou substrato) que a água entrou em contato. Essa alteração não necessariamente pode ter sido representativa e não significa perda na qualidade da água em relação as recomendações normativas.

### 5.2.1. Cor aparente e pH

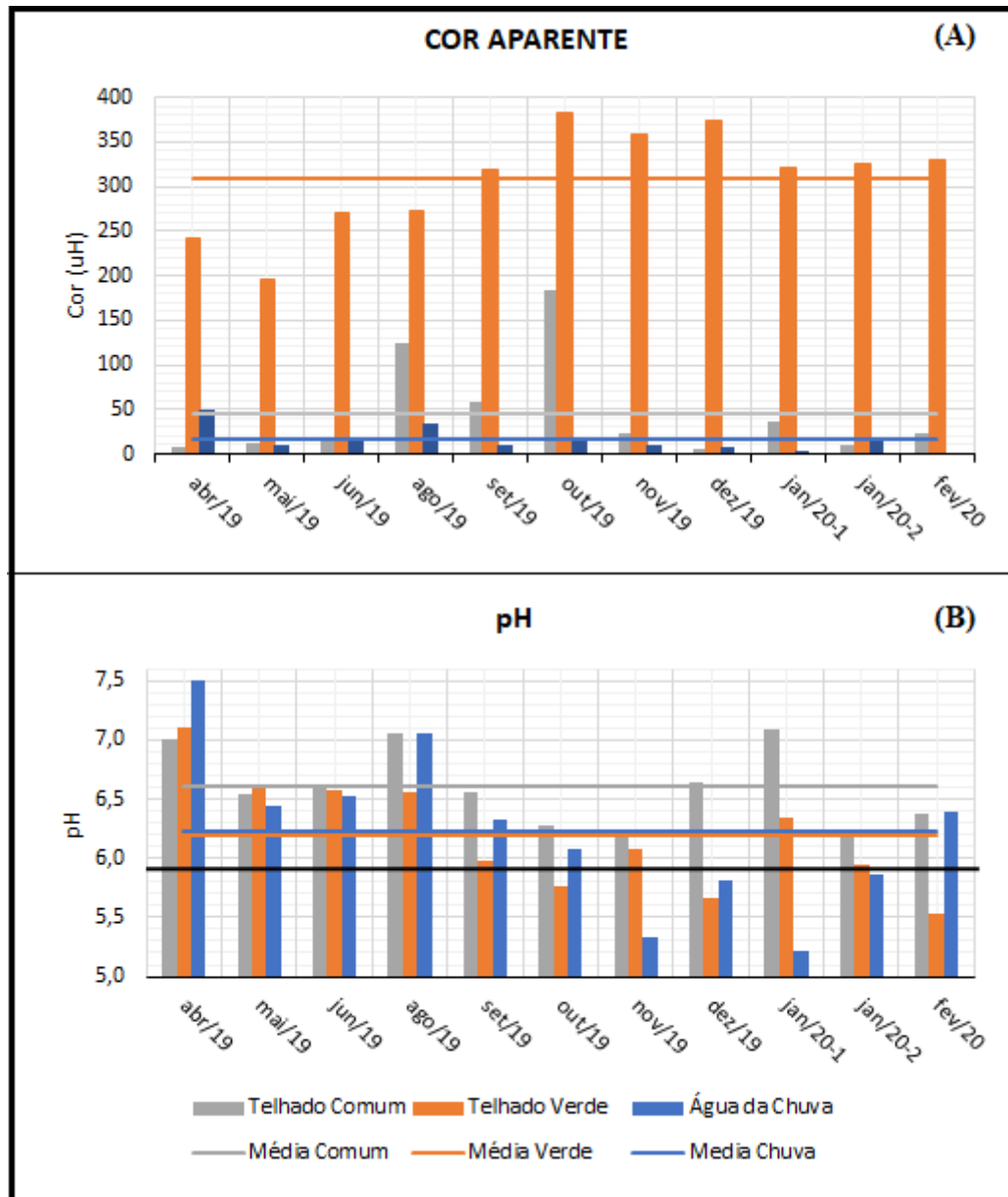
O tom amarelo esverdeado foi característico de todas as amostras da água do TV (**Figura 19**) e essa concentração foi superior à encontrada nos sistemas TC e AC. O **Gráfico 3** mostra a variação da cor aparente da água obtida pelos diferentes sistemas bem como a o valor médio de cada um (linha). A concentração elevada de cor nas amostras de água obtidas pelo telhado verde é uma característica marcante já observada por outros autores (TEIXEIRA et al., 2011; SPEAK et al., 2014 e RAZZAGHMANESH; BEECHAM; KAZEMI, 2014).

Mesmo as amostras do TC apresentaram concentrações de cor acima da 15uH, valor recomendado pela Norma Técnica ABNT/NBR 15.527. No entanto, os primeiros



milímetros das amostras obtidas por este sistema não foram inicialmente descartados como é recomendado quando se pensa em aproveitamento pluvial, logo, este descarte pode ser uma estratégia que reduza a cor da água.

Gráfico 3 – Valores de cor (A) e pH (B) nos diferentes sistemas (água de chuva, telhado comum e telhado verde). A linha cheia representa a média entre as 11 amostras coletadas de cada sistema ao longo do monitoramento.



Nota 1: A linha escura no gráfico de pH corresponde ao valor mínimo recomendado pela norma ABNT/NBR 15.527/19.

Nota 2: A norma ABNT/NBR 15.527/19 não preconiza valores máximos para Cor aparente.

Fonte: Elaborado pelo autor

Em estudo realizado na cidade de Manchester, Inglaterra, com um telhado verde intensivo plantado há 43 anos, Speak et al. (2014) verificaram que a cor resultante do

telhado vegetado foi duas vezes maior do que na cobertura não vegetada. No entanto, no presente estudo os valores de cor do TV foi seis vezes superior ao do TC. Vale destacar que no verão (período de maior pluviosidade) esta diferença foi ainda maior. Esta diferença entre o estudo de Speak et al. (2014) pode estar associada ao diferente índice pluviométrico e/ou as condições climáticas das duas regiões. É possível que nas condições climáticas de um país tropical favoreça a degradação da matéria orgânica vegetal promovendo a formação de substâncias húmicas que contribuem para a intensidade da cor. O alto índice de chuvas pode favorecer o arraste dessas substâncias. No entanto, é necessária uma avaliação deste sistema depois de um tempo maior de implantação, dada elevada diferença entre as idades dos telhados estudados em Manchester e no Rio de Janeiro (43 e 9 anos, respectivamente).

Em média, o pH das amostras de água de TV foi levemente mais ácida do que os demais sistemas, resultado que também foi observado por Rola (2008). Uma possível razão para este resultado é a oxidação da amônia a nitrato através do processo conhecido como nitrificação. Neste processo a amônia é oxidada a nitrato ocorrendo a liberação de prótons  $H^+$  que pode ter sido o responsável pela queda do pH do meio. De fato, a água obtida pelo sistema TV teve uma maior concentração média de nitrato do que nos demais sistemas (**Tabelas 5, 6 e 7**). Nos meses de novembro e janeiro, a acidez das amostras da chuva foi amenizada pelos dois tipos de cobertura (TC e TV). O aumento do pH ao escoar por superfícies impermeabilizadas também foi observada por Melidis et al. (2006) e Peters (2006).

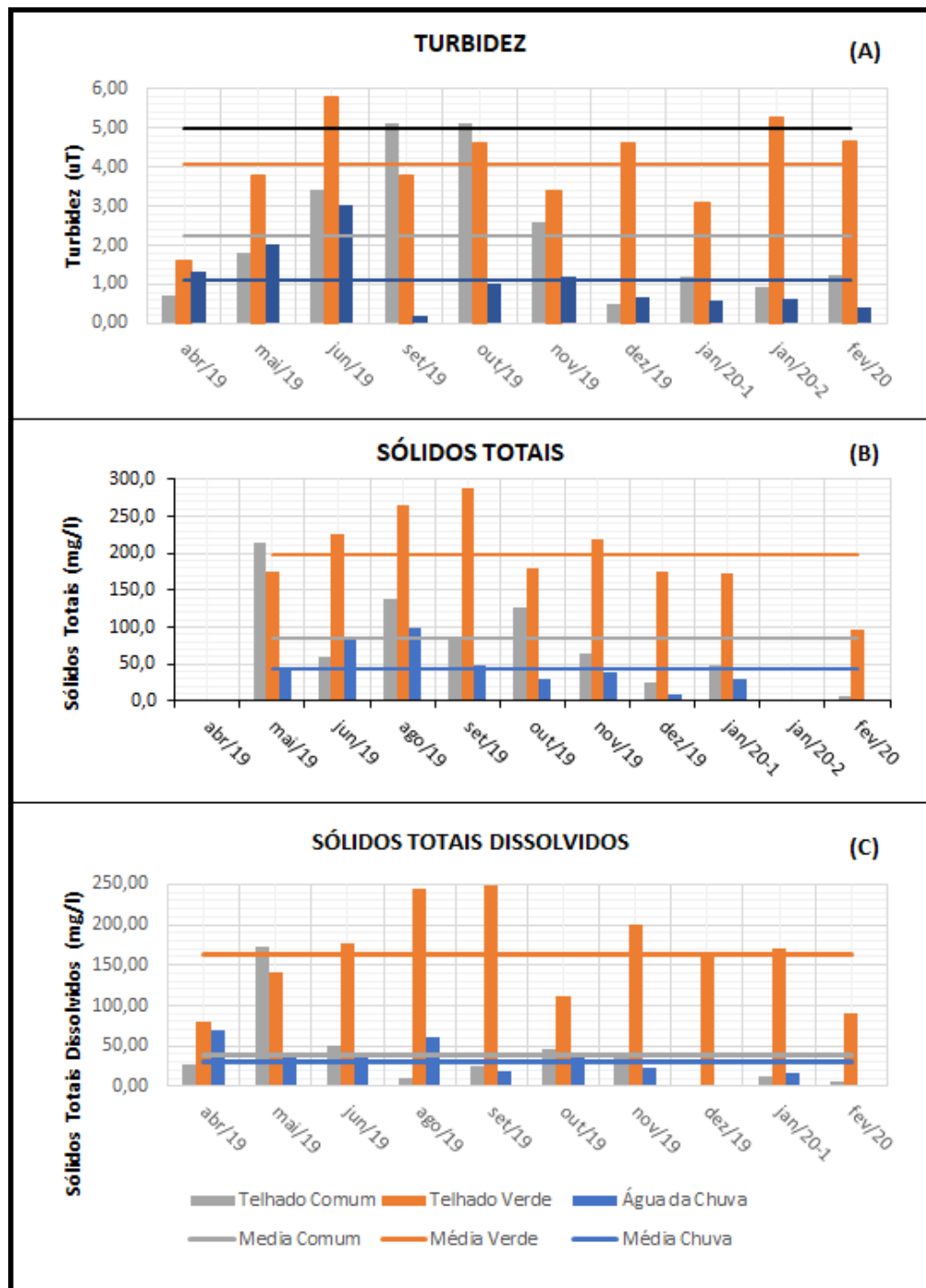
Das 33 amostras, 9 apresentaram pH abaixo de 6,0 que é o limite mínimo aceitável para o aproveitamento, sendo 5 pelo sistema de TV e 4 da AC. O telhado comum atendeu integralmente a este parâmetro. Neste estudo pode ser observado que o aproveitamento da água obtida pelo TV dependerá de ajustes uma vez que este sistema não amenizou a acidez da água de chuva como citado pela literatura (VAN SETERS et al., 2009).

### 5.2.2. Turbidez e Sólidos

A turbidez média da água percolada pelo telhado verde (TV) foi quase o dobro da obtida pelo telhado comum (TC) e quatro vezes a observada na água da chuva como mostra o **Gráfico 4**. Este resultado é similar ao encontrado por Bliss et al. (2009) realizado nos Estados Unidos, onde a turbidez no telhado vegetado foi superior à verificada na água da chuva e nos telhados não vegetados estudados (asfáltico e alumínio). A concentração da turbidez nas águas percoladas pelos telhados verdes é altamente dependente dos materiais

que compõem a camada do substrato (MORGAN; ALYASERI; RETZLAFF, 2011).

Gráfico 4 – Valores de turbidez (A), de sólidos totais (B) e de sólidos totais dissolvidos (C) nos diferentes sistemas (água de chuva, telhado comum e telhado verde). A linha cheia representa a média entre as 10 amostras coletadas ao longo do monitoramento.



Nota 1: A linha escura no gráfico de turbidez corresponde ao valor máximo recomendado pela norma ABNT/NBR 15.527/19

Nota 2: A norma ABNT/NBR 15.527/19 não preconiza valores máximos para sólidos.

Nota 3: No caso dos sólidos, a média foi obtida através de 9 amostras e não 10.

Fonte: Elaborado pelo autor

De todas as 30 amostras de água dos diferentes sistemas, somente 4 valores de turbidez foram acima do recomendado pela norma (5UNT). Isto mostra que o TV pode ajudar a reter o material em suspensão que vai conferir a turbidez à água. Nos meses de setembro e outubro, a turbidez da água do TV foi inferior ao do TC, no entanto, suspeita-se que obras com movimento de solo ocorridas próximo ao local do estudo tenham suspendido no ar maior quantidade de material particulado que se depositaram sobre o TC. Por outro lado, o descarte dos primeiros milímetros de água pode mitigar este problema em relação aos dois sistemas, TV e TC.

As concentrações de sólidos totais e totais dissolvidos nas águas do TV e do TC foram maiores do que na água da chuva (AC). Em relação ao TV, este resultado contraria os achados pela literatura (ZHANG et al., 2015). Isto mostra que as coberturas verde e comum contribuíram por material particulado e dissolvido na água e justifica o aumento na cor e na turbidez dessas águas. O material particulado não foi retido pela cobertura verde como citado em outros estudos, além de lixiviar substâncias húmicas presentes no substrato que já foi implantado há algum tempo. Aplicação de uma manta geotêxtil sobre a película de polipropileno poderia reduzir a concentração de sólidos suspensos nas amostras do TV, no entanto, para reduzir a concentração de sólidos dissolvidos faz-se necessário o emprego de outros tratamentos tais como a filtração com carvão ativado, por exemplo.

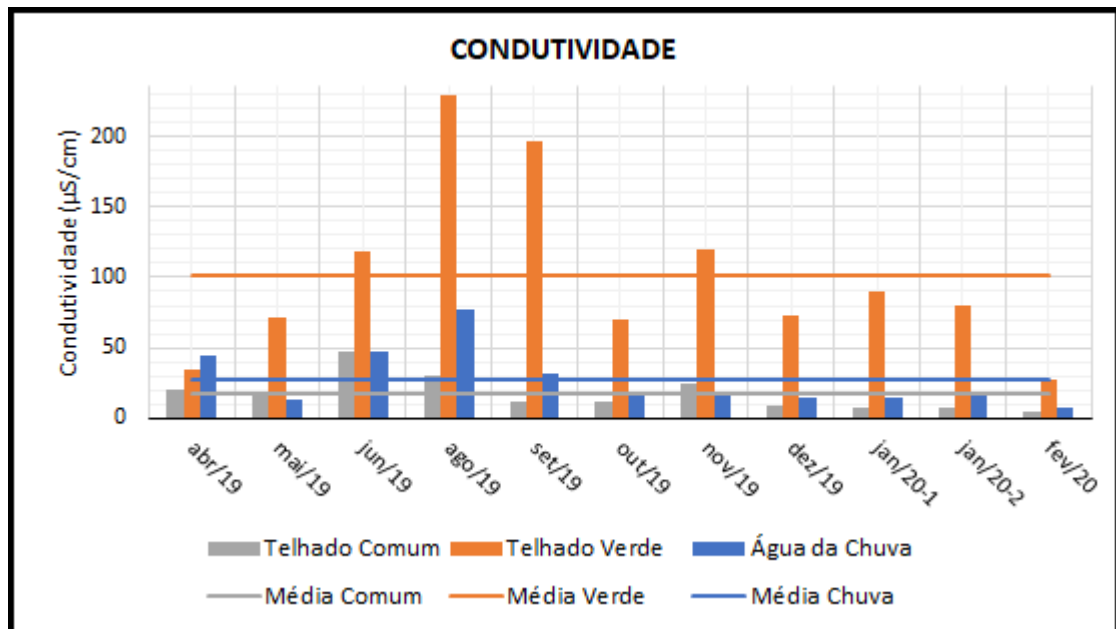
### 5.2.3. Condutividade

O **Gráfico 5** mostra os valores de condutividade das amostras de água dos três diferentes sistemas (AC, TC e TV). Observa-se que a água do telhado verde apresentou uma condutividade média 3,5 vezes superior à água da chuva. Farias (2012) igualmente observou elevação na condutividade após percolação pelo telhado vegetado. No telhado comum os valores de condutividade foram ligeiramente próximo ou até menores do que à AC, o que sugere que as diferentes superfícies de escoamento tenham papel significativo na maior ou menor presença de íons nas águas.

O TV ampliou a concentração dos ânions cloreto, sulfato e, ainda que sutilmente, o fluoreto, resultado que corrobora com estudos realizados por Zhang et al. (2015), Vijayaraghavan (2012), CzemiellBerndtsson, Emilsson e Bengtsson (2009) e Rola (2008).

Os íons presentes na camada da natureza podem ser lixiviados durante a percolação da água durante um evento chuvoso. O aumento verificado nesse estudo, no entanto, não representa risco sanitário. Mesmo as maiores concentrações dos íons cloreto (37,4 mg/L), sulfato (20,2 mg/L) e fluoreto (< 0,25 mg/L) observados na água do TV, são consideravelmente inferiores ao padrão estabelecido pela Portaria de Consolidação nº05/2017 que se refere à qualidade da água para consumo humano. Vale destacar que a norma ABNT/NBR 15.527 não faz menção a estes valores por isso a comparação com a portaria do Ministério da Saúde (**Quadro 2**).

Gráfico 5 – Valores de condutividade nos diferentes sistemas (água de chuva, telhado comum e telhado verde). A linha cheia representa a média entre as 11 amostras coletadas ao longo do monitoramento.



Nota: A norma ABNT/NBR 15.527/19 não preconiza valores máximos para condutividade.

Fonte: Elaborado pelo autor

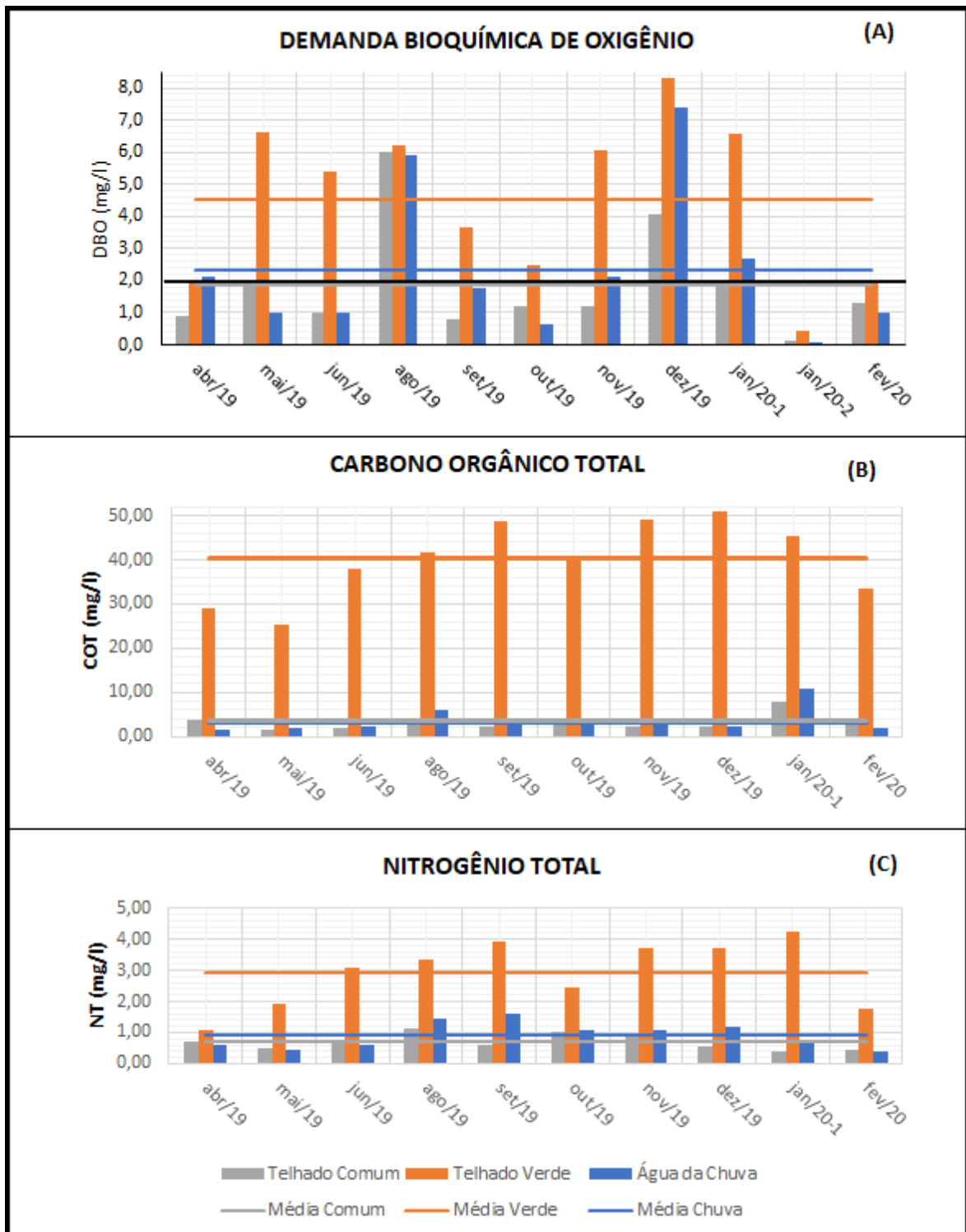
#### 5.2.4. Matéria Orgânica e Nutrientes

O **Gráfico 6** apresenta os valores de concentração de matéria orgânica em termos de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e de carbono orgânico total (COT) e de nitrogênio total (NT) das amostras de água dos diferentes sistemas (AC, TC e TV). As linhas representam os valores médios das amostras durante o monitoramento.

O valor médio de DBO na água do TV foi relativamente maior do que as dos demais sistemas; no entanto esses valores foram muito próximos do limite de quantificação e detecção do método padrão de análise de DBO. Zhang et al. (2015) e Teemusk e Mander

(2011) também tiveram resultados semelhantes ao deste estudo. Uma das possíveis explicações para o este aumento na água do TV reside na carga orgânica lixiviada da camada de naturezação.

Gráfico 6– Valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (A), de carbono orgânico total (COT) (B) e nitrogênio total (NT) (C) nos diferentes sistemas (água de chuva, telhado comum e telhado verde). A linha cheia representa a média das 11 amostras coletadas.



Nota 1: A linha escura no gráfico (A) representa o limite de quantificação do método.

Nota 2: A norma ABNT/NBR 15.527/19 não preconiza valores máximos para DBO, COT e NT.

Nota 3: No caso do COT e NT a média entre 10 amostras.

Fonte: Elaborado pelo autor

Este mesmo comportamento foi observado em relação ao carbono orgânico total dissolvido que foi maior na água do TV do que nos demais sistemas (AC e TC). Dentre as possíveis fontes do carbono orgânico em águas está na decomposição de espécies vegetais e compostos húmicos (ESTEVEZ, 2011), razão pela qual se acredita que a camada vegetal possa servir de origem do elemento.

A água do TV apresentou uma quantidade de nitrogênio total (NT) maior do que os demais sistemas (**Gráfico 6C**), que pode ser atribuído a uma possível liberação desse nutriente pela camada de substrato. Este resultado também foi observado por Zhang et al (2015). A presença de nitrogênio está associada ao uso de fertilizantes e a excreta de animais (GREGORIE; CLAUSEN, 2011). Mas neste caso, ele pode ter ocorrido em função da presença de aves no local, uma vez que o sistema TV não recebeu qualquer tipo de manutenção desde a sua implantação.

Como apresentado na **Tabela 7**, o maior percentual deste nitrogênio lixiviado está na forma de nitrito e de nitrato, e isto sugere a ocorrência de atividade nitrificante presente no sistema vegetal. Os micro-organismos nitrificantes, principalmente os nitrificantes (bactérias oxidadoras de nitrito), possuem uma taxa de crescimento específica muito pequena (VON SPERLING, 2005), logo o tempo de implantação do sistema de nove anos pode ter favorecido esta atividade importante na ciclagem de nutrientes.

A concentração de fosfato ficou abaixo do limite de concentração nas amostras de água dos sistemas AC e TC, e no limite em algumas amostras do TV (limite de 2,50 mg/L). Isto mostra que a água que percola o sistema vegetado pode estar carregado fosfato mesmo não recebendo fertilizantes, o que é contrário ao reportado por CezernielBernedtsson et. al (2009). Isto é um problema quando a água oriunda de telhado verde é direcionada para as redes de drenagem e reservatórios superficiais.

Na norma NBR 15.527/2007 não existe referência de recomendação de matéria orgânica e nutrientes da água de chuva para fins de aproveitamento. Assim buscou-se comparação dos resultados desses parâmetros com a resolução Conama 357 (BRASIL, 2005). As concentrações máximas recomendadas para uma água classe 2, por exemplo, de DBO, fósforo total (tributário de ambientes intermediários) e nitrogênio total (somatório de

nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito) são respectivamente 5, 0,1 e 14,7 mg/L. A água de todos os sistemas (AC, TC e TV) estiveram abaixo desses limites estabelecidos pela resolução, exceto em relação ao fósforo. Destaca-se que a água do TV teve a maior parte de seus resultados no limite de quantificação do método, ou seja, 2,5 mg/L (**Tabela 7**). O problema associado ao descarte da água com essas características é a eutrofização, dependendo do emissário (reservatórios superficiais de água). No entanto, esta água pode ser reaproveitada em situações onde a presença desses componentes em pequenas concentrações possa não interferir, tais como para a rega de jardins ornamentais. Portanto, a água do TV pode não representar um problema ambiental onde a matéria orgânica e os nutrientes dissolvidos poderão suprir necessidades das plantas; no entanto, o descarte de fósforo em galerias pluviais e em corpos d'água necessita de maior atenção.

### 5.2.5. Coliformes Totais e *E. coli*

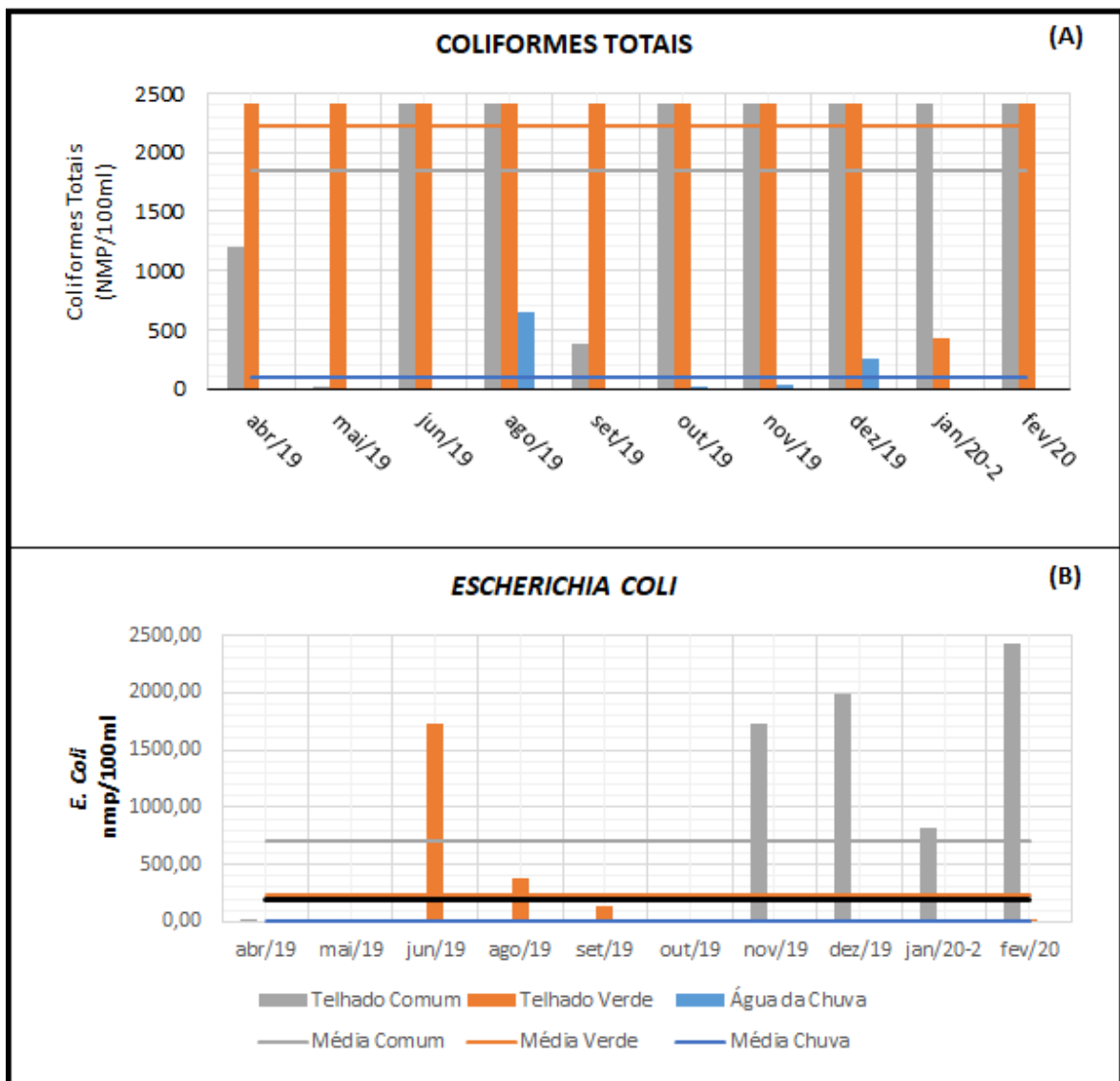
O **Gráfico 7** mostra as concentrações de coliformes totais e de *E. coli* nas amostras de água dos diferentes sistemas (AC, TC e TV) onde as linhas representam os seus valores médios. O grupo coliforme abrange diversas espécies de bactérias que podem habitar desde o intestino de animais homeotérmicos (coliformes termotolerantes) até zona de raízes e solo. Os valores obtidos de coliformes totais na água da chuva em agosto e dezembro foram devido a erro de amostragem e na água do TC pode ter sido oriundo de aves que possam ter posado no telhado. Já em quase todas as amostras de água do TV foi observada a presença de coliformes em quantidades superiores ao limite máximo de leitura do método sem diluição ( $> 2.419$  NMP/100 ml), resultado foi verificado por Budel (2014) e Gimenes (2017) sinalizando necessidade de desinfecção das águas.

Em relação à concentração de *E. coli* na água, o sistema TV teve um valor discrepante (outlier) e a maioria das amostras foi ausente, enquanto no sistema TC os valores foram positivos e em concentrações superiores a 500 NMP/100 ml em 40% das amostras, todas no verão. Em seus estudos Budel (2014) verificou a presença dessa bactéria tanto no sistema vegetado quanto no não vegetado, no entanto, em concentrações inferiores a recomendada pela NBR para o aproveitamento pluvial. A ocorrência da *E. coli* na água do TC pode ter origem nas aves que frequentam a cobertura e, com isso, suas fezes seria carregada pela chuva. Vale lembrar que *E. coli* é uma bactéria presente em intestino de aves, mamíferos e de alguns insetos. Uma possível forma de eliminar este problema é o descarte dos primeiros milímetros de chuva. Outra possibilidade seria a desinfecção por cloração, o que é recomendado na norma NBR 15.527, para o caso de armazenamento de



água de chuva para fins de aproveitamento, no entanto, faz-se necessária a avaliação da presença de matéria orgânica a fim de evitar a formação de compostos organoclorados. Por fim, a água da chuva apresentou concentrações bem baixas para *E. coli* nas amostras de outubro e novembro (1 e 2 NMP/100 ml, respectivamente) provavelmente em função de erros de amostragem ou devido a presença de animais próximos ao aparato experimental.

Gráfico 7 – Valores de coliformes totais (A) e *E. coli* (B) nos diferentes sistemas (água de chuva, telhado comum e telhado verde). A linha cheia representa a média entre as 10 amostras coletadas ao longo do monitoramento.



Nota 1: A linha escura no gráfico de *E. coli* corresponde ao valor máximo recomendado pela norma ABNT/NBR 15.527.

Nota 2: A norma ABNT/NBR 15.527/19 não preconiza valores máximos para coliformes totais.

Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.2.6. Relevância estatística dos dados

Os testes de normalidade dos dados de qualidade da água da chuva (AC), do

telhado comum (TC) e do telhado verde (TV) apontaram que os parâmetros pH, Turbidez, Sólidos Totais, Oxigênio Dissolvido, Nitrogênio Total e Cloreto tiveram seus valores dentro da curva normal (comportamento normal) enquanto que os demais foram mais dispersos (não normais). A partir disso, foi realizado uma comparação dois a dois da qualidade da água obtida a partir dos 3 sistemas: (1) água de chuva com água do telhado comum (AC x TC); (2) água de chuva com água do telhado verde (AC x TV) e; (3) água do telhado comum com a água do telhado verde (TC x TV).

#### 5.2.6.1.AC x TC

As **Tabelas 8A e 8B** apresentam os valores de  $p$  ( $< 0,05$ ) a partir da análise comparativa entre a qualidade da água da chuva com a escoada pelo telhado comum. É possível observar que a qualidade dessas águas foi semelhante e, somente a cor e as características microbiológicas (Coliformes totais e *E. coli*) foram significativamente distintas. Isto mostra que a presença de aves na cobertura pode ter alterado a qualidade desta água. O descarte dos primeiros milímetros de chuva pode ajudar a manter a água desses dois sistemas semelhantes.

#### 5.2.6.2.AC x TV

As **Tabelas 9A e 9B** mostram os valores de  $p$  ( $< 0,05$ ) a partir da análise comparativa entre a qualidade da água de chuva com a percolada pelo telhado verde. Essas águas são significativamente diferentes e, somente o pH e a concentração de nitrito foram semelhantes entre essas matrizes. O substrato utilizado no sistema de natureza bem como as plantas utilizadas alteraram as características da água.

#### 5.2.6.3.TC x TV

Os valores de  $p$  ( $< 0,05$ ) mostrados nas **Tabelas 10A e 10B** foram obtidos a partir da comparação entre a qualidade da água obtida após escoar pela cobertura comum (TC) e percolação pela cobertura vegetada (TV). A partir desta análise pode-se inferir que a qualidade dessas duas águas é significativamente diferente, exceto em relação à qualidade microbiológica (Coliformes totais e *E. coli*) e a concentração de nitrogênio na forma oxidada (nitrito e nitrato).

Tabela 8 – Teste estatístico entre os parâmetros de qualidade da água de chuva (AC) e da água obtida pelo telhado comum (TC). Nos parâmetros normais (A) foi realizada a comparação das médias pelo teste de *t-Student* e os parâmetros não normais (B) foram testados por *Mann-Whitney* e *Wilcoxon*.

Distribuição Normal (A)					
Variáveis Dependentes					
	pH	Turbidez	ST	NT	Cloreto
$t_{\text{calculado}}$	1,92	1,97	2,16	1,93	1,09
$t_{\text{crítico}}$	2,23	2,26	2,31	2,26	2,36
$p_{\text{valor}}$	0,08	0,08	0,06	0,09	0,31

Distribuição Não Normal (B)											
Variáveis Dependentes											
	Coliformes totais	<i>E. coli</i>	Cor	Condutividade	COT	DBO	Fosfato	SDT	Nitrato	Nitrito	Sulfato
$Z_{\text{crítico}}$	-3,56	-2,87	-2,167	-1,31	-0,04	-0,39	-0,87	-0,764	-1,67	-0,07	-0,69
$p_{\text{valor}}$	<b>0,003</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	0,19	0,97	0,69	1,00	0,445	0,09	1,00	0,47

Nota:  $p_{\text{valor}}$  aceitável menor 0,05 ( $\alpha = 95\%$ )

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 9 – Teste estatístico entre os parâmetros de qualidade da água de chuva (AC) e da água obtida pelo telhado verde (TV). Nos parâmetros normais (A) foi realizada a comparação das médias pelo teste de *t-Student* e os parâmetros não normais (B) foram testados por *Mann-Whitney* e *Wilcoxon*

Distribuição Normal (A)					
Variáveis Dependentes					
	pH	Turbidez	ST	NT	Cloreto
$t_{\text{calculado}}$	0,23	7,10	11,65	7,51	2,89
$t_{\text{crítico}}$	2,23	2,26	2,31	2,26	2,36
$p_{\text{valor}}$	0,82	<b><math>5 \times 10^{-5}</math></b>	<b><math>2 \times 10^{-6}</math></b>	<b><math>3 \times 10^{-5}</math></b>	<b>0,02</b>

Distribuição Não Normal (B)											
Variáveis Dependentes											
	Coliformes totais	<i>E. Coli</i>	Cor	Condutividade	COT	DBO	Fosfato	STD	Nitrato	Nitrito	Sulfato
$Z_{\text{crítico}}$	-2,84	-2,198	-2,198	-2,845	-2,805	-2,845	-2,646	-0,764	-2,023	-0,447	-2,366
$p_{\text{valor}}$	<b>0,005</b>	<b>0,028</b>	<b>0,03</b>	<b>0,004</b>	<b>0,005</b>	<b>0,004</b>	<b>0,008</b>	0,445	<b>0,043</b>	0,655	<b>0,018</b>

Nota:  $p_{\text{valor}}$  aceitável menor 0,05 ( $\alpha = 95\%$ )

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 10 – Teste estatístico entre os parâmetros de qualidade da água obtida pelo telhado comum (TC) e pelo telhado verde (TV). Nos parâmetros normais (A) foi realizada a comparação das médias pelo teste de *t-Student* e os parâmetros não normais (B) foram testados por *Mann-Whitney* e *Wilcoxon*

Distribuição Normal (A)					
Variáveis Dependentes					
	pH	Turbidez	ST	NT	Cloreto
$t_{\text{calculado}}$	2,34	2,70	3,97	6,54	2,62
$t_{\text{crítico}}$	2,09	2,10	2,12	2,23	2,31
$p_{\text{valor}}$	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,001</b>	<b><math>6 \times 10^{-5}</math></b>	<b>0,03</b>

Distribuição Não Normal (B)											
Variáveis Dependentes											
	Coliformes totais	<i>E. coli</i>	Cor	Condutividade	COT	DBO	Fosfato	SDT	Nitrato	Nitrito	Sulfato
$Z_{\text{crítico}}$	1,10	1,01	2,93	2,93	2,83	2,93	2,83	2,701	2,02	-	2,36
$p_{\text{valor}}$	0,41	0,36	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,003</b>	<b>0,001</b>	<b>0,01</b>	<b>0,005</b>	0,09	1,00	<b>0,02</b>

Nota:  $p_{\text{valor}}$  aceitável menor 0,05 ( $\alpha = 95\%$ )

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ainda que o estudo tenha ocorrido na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, sob uma bacia aérea III, cujo grau de poluição do ar está entre os mais elevados da cidade (INEA, 2014), a água da chuva que atingiu o campus da Fiocruz em Manginhos no período do estudo, pode ser considerada de excelente qualidade. Entretanto, dependendo do intervalo entre eventos de precipitação, o acúmulo de material particulado sobre as superfícies pode promover alterações significativas na qualidade da água após escoar por um telhado metálico ou percolar por um sistema vegetado.

Tendo por base os parâmetros analisados e as inferências estatísticas realizadas verifica-se uma maior alteração qualitativa na água resultante do telhado verde. Não foi obtida uma diferença estatística entre a grande maioria dos parâmetros analisados (**Tabela 8**), sugerindo maior semelhança entre as amostras da AC e do TC.

No entanto, sob a luz da versão revisada da NBR 15.527/19, que estabelece os requisitos para aproveitamento pluvial não potável em área urbana, a água resultante do TV pode ser compreendida como de qualidade superior, uma vez que a norma revisada leva em consideração apenas os parâmetros de pH, turbidez e *E. Coli*, em concentrações conforme apresentadas no **Quadro 2**. Ainda que os valores medidos para os dois primeiros parâmetros sejam significativamente diferentes (**Tabela 10**), a água que percolou por ambas coberturas (TC e TV) atenderam aos valores exigidos pela Norma. Embora a concentração *E. Coli*, da água das duas coberturas não terem mostrado diferença significativa, considerando os valores médios (**Tabelas 6 e 7**), a água do TV (226NMP/100ml) foi a que mais se aproximou do valor máximo tolerado pela Norma (200NMP/100ml). A desinfecção dessas águas por cloração pode ajudar na redução desses contaminantes microbiológicos.

Os pares das matrizes analisada são apresentados quanto a sua semelhança estatística no **Quadro 7** abaixo, onde as células verdes reúnem os parâmetros verificados como estatisticamente semelhantes e as células em vermelho reúnem os parâmetros estatisticamente distintos.

Quadro 7 - Semelhança estatística entre os parâmetros das amostras.

	ÁGUA DA CHUVA	TELHADO COMUM	TELHADO VERDE
ÁGUA DA CHUVA	—————	pH, Turbidez, Sólidos, Nitrogênio, Cloreto, Condutividade, COT, DBO, Fosfato, Sulfato	pH, Nitrito
TELHADO COMUM	Cor, Coliformes, <i>E. Coli</i>	—————	Coliformes, <i>E. Coli</i> , Nitrito, Nitrato
TELHADO VERDE	Turbidez, Sólidos, Nitrogênio, Nitrato, Cloreto, Coliformes, <i>E. coli</i> , Cor, Condutividade, COT, DBO, Fosfato, Sulfato	pH, Turbidez, Sólidos, Nitrogênio, Cloreto, Cor, Condutividade, COT, DBO, Fosfato, Sulfato	—————

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Apesar de não constar na lista de exigências da nova revisão da NBR, a cor da água do telhado verde pode ser um desafio para o seu aproveitamento. Ela pode representar um critério de recusa no seu uso pela população. Além disso, dependendo de quais componentes químicos estejam promovendo essa cor, ela pode favorecer a proliferação de micro-organismos quanto armazenada, e a sua cloração pode promover a formação de compostos químicos perigosos como os organoclorados.

A água do telhado comum se adequou ao aproveitamento, no entanto, a presença de aves pode comprometer a sua qualidade. Este problema pode ser resolvido com o descarte dos primeiros milímetros da água como recomendado. Por outro lado, a água do telhado verde pode ser recomendada para a rega de jardins e limpeza de pisos externos evitando o seu armazenamento. No entanto, para uma afirmação mais incisiva quanto ao uso adequado da água obtida por essas coberturas, é importante obter um maior espaço amostral, com maior número de amostras coletadas ao longo do ano.

## 6. CONCLUSÕES

A partir dos parâmetros analisados, a qualidade físico-química e microbiológica da água precipitada no Campus Manguinhos (Fiocruz) nos meses em que o estudo foi realizado pode ser considerada muito boa. Tendo por base os parâmetros de cor, turbidez, pH, nitrito, nitrato, coliformes totais e *E. coli*, a qualidade dessa matriz pode ser comparada à água doce classe I, definida pela Resolução Conama nº 357/2005, e pode ser aproveitada para diversas finalidades, estando dentro dos padrões estabelecidos pela Norma NBR 15.527/2019.

A água captada após escoar pela cobertura metálica teve uma qualidade boa, mas não atendeu a todas às exigências normativas para o seu aproveitamento. A cor e a turbidez em algumas amostras apresentaram concentrações acima do desejável e a contaminação microbiológica, sobretudo por *E. Coli*, foi outro fator que prejudicou sua qualidade final, principalmente nos meses de maior índice pluviométrico (verão).

A água percolada pelo telhado verde foi a que apresentou a qualidade mais alterada. Este sistema não atenuou a acidez oriunda da água da chuva e sua água apresentou turbidez e sólidos suspensos característicos do arraste de material particulado do substrato. A carga colimétrica nesta água também foi grande, que é característico de sistemas plantados, mas com poucas amostras contendo *E. coli*. O destaque foi para a intensidade de cor da água, provavelmente em função do arraste de substâncias húmicas e íons metálicos como ferro que, ainda que não medidos nesse estudo, podem conferir esta característica à lixiviados.

A qualidade da água do telhado comum foi significativamente semelhante à água de chuva, mas ambas foram bem diferentes da água que passou pelo sistema de natureza. Vale destacar que a água do telhado verde pode carrear matéria orgânica e nutrientes, principalmente fósforo, o que pode prejudicar a qualidade de seus emissários.

As águas captadas pelas duas coberturas apresentaram picos de contaminação microbiológica inclusive de *E. coli*, o que compromete a sua qualidade e pode representar riscos à saúde dos usuários e dos que manipulam essas águas. O descarte dos primeiros milímetros de chuva, a desinfecção por cloro ou a filtração com carvão ativado poderão auxiliar na redução/eliminação dessa contaminação. A turbidez também foi um fator preocupante, mas o descarte dos primeiros milímetros da água pode ajudar a reduzir este problema. Um desafio quanto à possibilidade de aproveitamento da água do telhado verde é a cor, pois para ser removida deverá ser avaliada qual a tecnologia mais adequada para tal.



É provável que as águas obtidas por estas duas diferentes coberturas possam ser aproveitadas. A água do telhado comum pode ser utilizada na lavagem de veículos, pisos e pátios, bem como em sistemas de resfriamento, na descarga de bacias sanitárias e mictórioise como reserva técnica de incêndio. Já a água do telhado verde pode ser utilizada na rega de jardins ou na irrigação urbana. No entanto, mais estudos devem ser realizados para maior segurança dos usuários.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Os diversos benefícios inerentes a adoção dos telhados vegetados incentivam a disseminação da técnica, no entanto, quando lançamos atenção a qualidade da água percolada a questão ainda requer maior atenção.

Desta forma, recomenda-se para continuidade desse trabalho:

- Que sejam desenvolvidas pesquisas cujo foco esteja na qualidade das águas dos telhados vegetados, considerando uma abordagem holística entre os fatores que tenham efeitos sobre a qualidade da água;
- Que sejam desenvolvidos estudos de longo prazo e com diferentes formas de montagem para os telhados vegetados;
- Que sejam avaliadas a qualidade da água através da associação de formas de tratamento à água percoladas pelos telhados vegetados, tais como a aplicação de filtros de areia, a fim de ampliar as possibilidades de aproveitamento;
- Que sejam desenvolvidos estudos onde a água do telhado verde é aplicada à um dos usos não potáveis descritos nesse trabalho e seja realizado o monitoramento ambiental de indicadores;
- Que seja avaliada, qualitativamente e quantitativamente, o efeito do descarte dos primeiros milímetros de chuva dos telhados verdes, uma vez que a retenção de água já reduz a quantidade aproveitável consideravelmente.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.844 – Instalações prediais de águas pluviais**, Rio de Janeiro, 1989.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.527: Água da Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.
- AGÊNCIA CÂMARA. Disponível em: [http:// https://www.camara.leg.br/noticias](http://https://www.camara.leg.br/noticias). Acessado em: 01 de abr. de 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Precipitação média anual** – Série de 1977 a 2006. Disponível em: <http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/>. Acessado em: 18 de abr. de 2020.
- ALAM, M. J; ZUREK, L. **Association of *Escherichia coli*O157:H7** with houseflies on a cattle farm. *Applied Environmental Microbiology*, v. 70, p. 7578-7580, 2004.
- ALMEIDA, H. A.; LIMA, A. S. **O potencial para a captação de água de chuvas em tanque de pedra**. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, VI, 2007, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2007.
- ALMEIDA, S. C.; BRITO, G. P.; SANTOS, S. M. **Revisão Histórica dos Telhados Verdes: da Mesopotâmia aos dias atuais**. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 2, n. 1, 2018.
- ANNECCHINI, K. P. V., **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- ARAÚJO, S. R., **As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos**. Seropédica, Rio de Janeiro, p. 03-04, 2007.
- ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ASA Brasil). **Mapa de tecnologias** – Dados Gerais. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/mapatecnologias/> Acessado em: 20 de fev. de 2020.
- AZEVEDO NETO, J. M. **Aproveitamento de água de chuva para abastecimento**. Rio de Janeiro. *Revista BIOS Abes*, ano III, número 2. 1991.
- BALDESSAR, S. M. N., **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Curitiba, 2012.
- BASSO, A. **Cobertura verde como sistema de reaproveitamento de água da chuva e águas servidas**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

BARRETO, N., **Dezesseis tipos de telha para todo tipo de projeto**. Disponível em: <<https://www.tuacasa.com.br/tipos-de-telhas/>> Acesso em: 05 mar. 2020.

BELLA CALHA. **Material cedido por Bella calha referente aos exemplos de aproveitamento da água da chuva no mundo, legislações e figuras**, 2002.

BÍBLIA, A. Genesis. In BÍBLIA. **Bíblia sagrada Ave Maria**. São Paulo. 2005.

BLAINEY, G. **Uma breve história do mundo**. 3ª edição. Editora Fundamento, 2015.

BRAGA, B. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

BRASIL, **Lei n. 13.501**: Altera o art. 2º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, 2017.

BRASIL. **Lei n. 9.433**: Política nacional de recursos hídricos. Brasília: Secretaria de recursos hídricos, 72p. 1997

BRASIL. **Portaria Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 b**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Anexo XX - Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de Potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 825p. 2017

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 357**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. 2005.

BRIDGEWATER, L. L. et al. (EDS.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23rd edition ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.

BRITO, F. M., **Bens e serviços ecossistêmicos da bacia hidrográfica da Represa Guarapiranga**: análise da evolução histórica e valoração ambiental, entre os anos de 1986, 1996 e 2010. 2015. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) – Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas, Universidade Federal de São Paulo, Diadema, 2015.

BUTTSCHARDT, T.K., **Extensive Dachbegrünung und Naturschutz**. Karlsruher, 2001.

CARVALHO JÚNIOR, R., **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura**. São Paulo: Blücher, 2011.

CASTRO, A. S. **Uso de Pavimentos Permeáveis e Coberturas Verdes no Controle Quali-Quantitativo do Escoamento Superficial Urbano**. Porto Alegre, 2011. 142 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CAVALCANTE, L. **O Uso do Telhado Verde Como Alternativa Sustentável aos Centros Urbanos: Opção Viável para a Sociedade Moderna do Século XXI.** Maranhão: Revista Húmus, 4, 105-113, 2012.

*CENTER FOR WATERSHED PROTECTION (CWP). Impacto f imprevius cover on aquatic systems.* Disponível em: <[www.cwp.org](http://www.cwp.org)> Acesso em 30 de julho 2018

COELHO, G. RIOS, M. **Green Buidilding For Cities: Telhado verde. Opção ou obrigação?** Disponível em: <https://gbfor.com/telhado-verde-opcao-ou-obrigacao>. Acesso em: 23 abr. 2020.

COSTA FILHO, W.D. **Estudo Hidroquímico nos Aquíferos da Planície do Recife.** 205f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 1997.

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

CZEMIEL BERNDTSSON, J.C.; BENGTSSON, L.; JINNO, K. **Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs.** *Ecological Engineering*, 35, 369–380. 2009.

CZEMIEL BERNDTSSON, J., EMILSSON, T., BENGTSSON, L., **The influence of extensive vegetated roofs on runoff quality.** *Science and the Total Environment* 355, 48 e 63. 2006.

DANTAS, P. R. **Identificação dos tipos de captação de água de chuva no assentamento jacu no município de Pombal-PB.** p. 6, 2015.

DILLY, D. P. A., **Tratado sobre o sistema de telhado verde extensivo para coberturas planas em edificações de pequeno e médio porte.** Dissertação (mestrado) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Leopoldo, p. 99, 2016.

DORNELLES, F.; ALEGRE, P. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial.** p. 234, 2012.

DUARTE, M. C. S. S., **Concepção e projeto de método construtivo sustentáveis: aplicação de telhado verde e aproveitamento de água pluvial em um ambiente escolar.** Dissertação. Engenharia Civil. Universidade do Sul de Santa Catarina. 2017.

DUNNETT, N., NAGASE, A., BOOTH, R., GRIME, P., **Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments.** *Urban Ecosyst.* 11, 385–398. 2008b.

ECO TELHADO. **Legislação.** Disponível em: <https://ecotelhado.com/quem-somos/legislacao>. Acessado em 30 de nov. de 2019.

ECO TELHADO. **Leis sobre telhado verde no Brasil: como funciona? entenda.** Disponível em: <https://ecotelhado.com/lei-sobre-telhados-verdes-no-brasil-como-funciona>



GIMENES, J. C., **Captação e aproveitamento de água de chuva: estudo experimental da qualidade de água de um telhado verde e de um telhado convencional**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2017.

GOMES, U. A. F. G. **Água em situação de escassez: água de chuva para quem?** 369 f. Tese Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2012.

GOMES, U. et al. **A Captação de Água de Chuva no Brasil: Novos Aportes a Partir de um Olhar Internacional**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 1, p. 7–16, 2014.

HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. p. 141, 2009.

HANSEN, S. **Aproveitamento da água da chuva em Florianópolis. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Sanitária e Ambiental**, UFSC, 1996.

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

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

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. <http://www.ibge.gov.br> – acessado em fevereiro de 2019

IBIAPINA, M. B.; SILVA, V. G.; ILHA, M. S. de O.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Pesquisa Experimental para avaliar a qualidade da água e a capacidade de retenção de água pluvial em coberturas verdes em Campinas – Brasil**. SBCS10 - III Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável. São Paulo, 2010.

IGRA - *International Green Roof Association. A Quick Guide to Green Roofs*. 2010. Disponível em: <http://www.ingra-world.com/>. Acesso em: 27 jan. 2018.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <https://http://www.inmet.gov.br/portal/> Acessado em: 24 de abr. de 2020.

INSTITUTO CIDADE JARDIM. Disponível em: <http://www.institutocidadejardim.com.br/> Acessado em 25/03/13.

INSTITUTO CIDADE JARDIM. Disponível em: <https://institutocidadejardim.com.br/> Acessado em: 13 abr. 2018.

JALFIM, F. T. **Cisterna de placas “calçadão”**: Uma alternativa para captação e armazenamento da água de chuva de escoamento no nível do solo. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, IV, 2003, Petrolina. Anais... Petrolina: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2003.

- JOBIM, A. L. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, 2013.
- KITA, I. et al., *Local government's financial assistance for Rainwater utilization in Japan*. In: Conferência internacional sobre sistemas de captação de água de chuva, 9. Petrolina, 1999.
- KÖHLER, M. SCHMIDT, M, GRIMME, F.W., LAAR, M. *Green roof in temperature climates and in the hot-humid tropics – far beyond the aesthetics*. *Environmental Management Health*. 13; 382-91. 2002.
- LAAR, M. et al. **Estudo de aplicação de plantas em telhado verde vivo extensivos em cidades de clima tropical**. In Encontro nacional de conforto no ambiente construído- ENCAC, 6. São Paulo – SP, 2001.
- LAURIA, D. C.; GODOY J. M. **Origem e transporte de rádio nas águas subterrâneas**. Joint World Congress on Groundwater, I. Fortaleza, Anais. Fortaleza. 2000.
- LEE, K. T. et al. *Probabilistic design of storage capacity for Rainwater cistern systems*. *J. agric. Engineering Resourses*, v. 3, n. 77, p. 343-348, 2000.
- LICHT, J.; LUNDHOLM, J. *Native Coastal Plants for Northeastern Extensive and Semi-intensive Green Roof trays: Substrates, Fabrics, and Plant Selection*. In: *Proc. of 4th North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Boston, Mass.* 2006.
- LIMA, G. C. O., **Avaliação do desempenho de telhados verdes: capacidade de retenção hídrica e qualidade da água escoada**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2013.
- LOPES, D. A. R.; VITALLI, P. D. L.; VECCHIA, F. **A importância das políticas públicas no fomento das coberturas verdes**. IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis- ELECS, 2007.
- LYE, D. J. *Health risks associated with consumption of untreated water from household roof catchment systems*. *Journal of the American Water Resources Association*. v. 38, n. 5, p. 1301 1305, 2002.
- LYE, D. J. *Rooftop runoff as a source of contamination: A review*. *Science of the Total Environment*. v.407, p. 5429-5434, 2009.
- MACEDO, S.C.P; SANTOS, H.F., **Reuso da água**. Editores, Barueri, São Paulo, 2003.
- MACHADO, F. O.; CORDEIRO, J. S., **Aproveitamento das Águas Pluviais: Uma Proposta Sustentável**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 7º, 2004, São Luis, MA. Anais... São Luis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2004.
- MALVEZZI, R. **Semi-árido – uma visão holística**. Brasília: Confea, 2007.



MARÍN, E.; LAVÍN, N.; HERÁNDEZ, E.; RÚA, A. *Análisis de la acidez de la precipitación en la Península Ibérica*. Finisterra, v.XXXVI, p.103-113, 2001.

MARKS, R. et al., *Use os Rainwater in Australian urban environments*. In: *Rainwater international system*. Manheim, 2001.

MAY, S.; **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável nas edificações**, Universidade de São Paulo, 159p, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). <http://www.mma.gov.br> – Acesso em 20 de novembro de 2019

MINISTRY OF HEALTH. *A Summary of the Annual Review of the Microbiological and Chemical Quality of Drinking-Water in New Zealand 2005*. 15 p. Ministry of Health, Wellington, New Zealand: 2006.

MINKS, V. **A Rede de Design Verde Urbano** – uma alternativa sustentável para megacidades? Revista LABVERDE, v.7, p.23-44, 2013.

MIRANDA, M. R.. *Desarrollo del Plan de Marketing para la introducción de las Schriften zur*. *Geographie und Geoökologie* 13:1–272. 1999.

MONTERUSSO, M.A., ROWE, D.B., RUGH, C.L., RUSSELL, D.K., *Runoff water quantity and quality from green roof systems*. Acta Hort. 639, 369–376. 2004.

MORGAN S, ALYASERI I, RETZLAFF W. *Suspended solids in and turbidity of runoff from green roofs*. *Int J Phytoremediation*, 13:179–93. 2011.

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.

NIEMELÄ, J. *Is there a need for a theory of urban ecology?* Kluwer Academic, 1999

NITERÓI. **Lei Municipal nº 2626**: Dispõe sobre a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais na construção pública e privada. 2008.

OLIVEIRA, C. L. **Aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis no município do Rio de Janeiro**. Dissertação de mestrado COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2007.

OLIVEIRA, L. H.; CAMPOS, L. C., **Guia de Conservação da água em domicílios**– FUNASA – Brasília, 60p. 2006.

O PARANÁ. **Tóquio quer que Olimpíada de 2020 seja referência em sustentabilidade**. 2018 Disponível em: <https://oparana.com.br/noticia/toquio-quer-que-olimpiada-2020-seja-referencia-em-sustentabilidade/>. Acesso em: 13 de abr. de 2019

OSMUNDSON, T., *Roof Gardens: History, Design, and Construction*. New York: W.W. Norton & Company, Inc.1999.

PECK, S. W.; CALLAGHAN, C.; KUHN, M.; BASS, B., *Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada. Status Report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion*. 78p. 1999.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Uso da água de chuva no Rio de Janeiro**. Disponível em: <http://https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=f6f9875485914fafb85ac69d0b004bef>. Acessado em: 25 de abr. de 2020.

PINHEIRO, A. et al. **Efeito da abstração inicial no aproveitamento da água de chuva**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. Campo Grande, 2005.

PINTO, E. **Geopolítica da água**. Revista Geopolítica, v.8, nº1, p. 19-32. 2017

RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM, S.; KAZEMI, F. *Impact of green roofs on stormwater quality in a South Australian urban environment*. *Science of The Total Environment*, v. 470–471, p. 651–659, fev. 2014.

REBOUÇAS, A.C. **Água doce no Brasil e no mundo**. 1999

REBOLLAR, N. A. P., **Telhados Verdes: uma abordagem multidisciplinar**. Ledix. Edição do Kindle. 2017.

RIBEIRO, J. L. D.; ECHEVESTE, M. E. S.; DANILEVICZ, A. M. F. **A utilização do QFD na otimização de produtos, processos e serviços**. Porto Alegre: FEEng / UFRGS, 2001.

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

RIO DE JANEIRO. **Decreto Municipal nº 23940**. 2004.

RIO DE JANEIRO. **Lei estadual nº 316**: Dispõe sobre a obrigatoriedade da adoção de práticas e métodos sustentáveis na construção civil e dá outras providências. 2013.

RIO DE JANEIRO. **Lei estadual nº 4393**: Dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas projetistas e de construção civil a prover os imóveis residenciais e comerciais de dispositivo para captação de águas da chuva e dá outras providências. 2004.

RIO DE JANEIRO. **Lei estadual nº 5279** :Cria o programa de conservação e uso racional da água nas edificações. 2011.

RIO DE JANEIRO. **Lei estadual nº 7307**: Dispõe sobre a utilização de energia solar e captação de água da chuva, em arenas e estádios esportivos, no estado do rio de janeiro. 2016.

RIO DE JANEIRO. **Lei estadual nº 8429**: Dispõe sobre a obrigatoriedade dos postos de combustíveis possuírem dispositivo para captação de águas da chuva e dá outras providências. 2019.

RIO DE JANEIRO. Instituto Estadual do Ambiente (INEA): **Relatório Anual de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2014.

ROBERTSON, S. *Stanford University's Green Dorm Water System Management Project*. Stanford, Califórnia, 2005. Disponível em: [http://sustainability.stanford.edu/greendorm/involvement/coursework/CEE179\\_exterior\\_LEPfinalReport.doc](http://sustainability.stanford.edu/greendorm/involvement/coursework/CEE179_exterior_LEPfinalReport.doc). Acesso em: 14 ago. 2018.

ROCHA, S. **Incentivos para telhado verde ficam em cima do muro no Brasil**. 2018. Disponível em: <http://blog.institutocidadejardim.com.br/2018/10/31/incentivos-para-telhados-verdes-ficam-em-cima-do-muro-no-brasil> Acessado em: 17 de mar. de 2020.

ROLA, S. M. **A Naturação como ferramenta para a sustentabilidade de cidades: estudo da capacidade do sistema de natureza em filtrar a água de chuva**. p. 209, Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2008.

ROLA, S.M., MACHADO, L.F.C., VICUÑA, J., GOMEZ, G., **Naturação: História de um conceito e definição de uma tecnologia**. Rio de Janeiro: CBA-2003 – Congresso Brasileiro de Arquitetos. 2003.

ROWE, D. B. *Green roofs as a means of pollution abatement*. *Environmental Pollution*, v.159, n. 8–9, p. 2100–2110, ago. 2011.

ROWE, D.B.; GETTER, K.L. *Green roofs and roof gardens*. In: *Aitkenhead-systems. J. agric. Engineering Resource*, v. 3, n. 77, p. 343-348, 2010.

SANTOS, S. M.; MARINHO, E. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, C. M. M.; ARAÚJO, T. F.; BARROS, E. S. **Estudo da qualidade da água de um telhado verde no agreste pernambucano**. In: World Water Congress, XIV. Porto de Galinhas, PE. Anais... Porto de Galinhas, PE: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2011.

SAVI, A. C., **Telhados Verdes: Análise Comparativa de Custo com Sistemas Tradicionais de Cobertura**. Curitiba, 2012.

SCHISTEK, H. **Caldeirão, caxio e cacimba: Três sistemas tradicionais de captação de água no nordeste brasileiro**. In: *Internacional Rainwater Catchment Systems*, IX, 1999, Petrolina, 1999.

SILVA, N.C. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor**. 2014.

SPEAK, A. F., ROTHWELL, J. J., LINDLEY, S. J., SMITH C. L. *Metal and nutrient dynamics on an aged intensive green roof*. *Environmental Pollution*. 184, 33-43. 2014.

STEUSLOFF, S., *Input and output of airborne aggressive substances on green roofs in Karlsruhe*. In: Breuste, J., Feldmann, H., Uhlmann, O. (Eds.), *Urban Ecology*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany. 1998.

STOVIN, V.; VESUVIANO, G.; KASMIN, H. *The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions*. *J. Hydrol.* 414, 148–161. 2012.

STRAUSS A., CORBIN J. **Basics of qualitative research**. London, 1998.

TERPSTRA, P. M. J. *Sustainable water usage systems: model for the sustainable utilization of domestic water in urban areas*. *Water Science Technology*, v. 39 n. 5, p. 65-72, 1999.

TERRY et al.. *Bacteriological quality of water in DRWH – Rural Development. Germany: 2001, Rainwater International System. Manheim. 2001*

TEIXEIRA, C. A. et al. **Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto e em telhado verde para usos não potáveis**. *Ambiente Construído*, v. 17, n. 2, p. 135–155, 2017.

TEIXEIRA, P.C., **Qualidade da água drenada por coberturas verdes para fins de aproveitamento em edifícios**. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Campinas. Campinas, 2013.

TELLES, D. D.; GÓIS, J. DE S., (org). **Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão**. São Paulo: Blucher, 2013.

TEEMUSK, A. MANDER, U. *Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: the effects of short-term events*. *Ecological. Engineering*. 30, 271-7. 2007.

TEEMUSK, A. MANDER, U. *The influence of green roofs on runoff water quality: a case study from Estonia*. *Water Resource Management*, 25 (14), 3699-3713. 2011.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS ABRH, 2009.

UNESCO. **Declaração Universal dos Direitos da Água**. Disponível em: <http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Meio-Ambiente/declaracao-universal-dos-direitos-da-agua.html>. Acessado em 30 nov. 2018.

UNESCO. ONU: **4,5 bilhões de pessoas não dispõem de saneamento seguro no mundo**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/onu-45-bilhoes-de-pessoas-nao-dispoem-de-saneamento-seguro-no-mundo/>. Acesso em: 30 nov. 2018.

UNESCO. ONU. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos**. Água para um mundo sustentável- Sumário Executivo. WWDR. 2015a. 08 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) *Guidelines for water reuse*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of water. Washington, DC. 2004

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

VANWOERT, N.D., ROWE, D.B., ANDRESEN, J.A., RUGH, C.L., FERNANDEZ, R.T., XIAO, L., *Green roofs stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth*. *J. Environ. Qual.* 34, 1036–1044. 2005.

VERTICAL GARDEN. **Conheça as leis sobre telhado verde em vigor no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.verticalgarden.com.br/post/conheca-as-leis-sobre-telhado-verde-em-vigor-no-brasil>. Acessado em 30 de nov. de 2019.

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

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

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

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

VIJAYARAGHAVAN, K. JOSHI, U.M., BALASUBRAMANIAN, R.A. *Field study to evaluate runoff quality from green roof*. *Water res.* 46, 1337-1345. 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 2005

WAHLIN, L., *The Family Cistern: 3,000 Years of Household Water Collection in Jordan. The third Nordic conference on Middle Eastern Studies: Ethnic encounter and culture change*, Joensuu, Finland, 19-22. 1995.

WEBPIAUI. **Encontro avalia programa de cisternas rurais**. Disponível em: <http://www.webpiaui.com.br/localizacao/manchete-secundaria/encontro-avalia-programa-das-cisternas-rurais>. Acessado em: 17 de mar. de 2020.

WOLF, D., LUNDHOLM, J.T., *Water uptake in green roof microcosms: effects of plant species and water availability*. *Ecological Engineering*. 33, 179–186. 2008.

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

ZHANG, Q.; MIAO, L.; WANG, X.; LIU, D.; ZHU, L.; ZHOU, B.; SUN, J.; LIU, J.; *The capacity of greening roof of reduce stormwater runoff and pollution*. *Landscape and Urban Planning* 144, p. 142–150, 2015.

ZERBINATTI, O. E. **Qualidade da água proveniente da chuva coletada em diferentes tipos de telhados**. v. 8, n. 3, p. 19, 2011.

### ANEXO A – TABELA DE ANÁLISE POR PARÂMETRO

Determinação	Preservação	Tempo máximo recomendado	Tempo máximo tolerável
DBO	Refrigerado < 6°C	6 horas	48 horas
COT	Refrigerado < 6°C	7 dias	28 dias
Cloreto	-	-	28 dias
Cor	Refrigerado < 6°C	48 horas	48 horas
Condutividade	Refrigerado < 6°C	28 dias	28 dias
Fluoreto	-	28 dias	28 dias
Nitrato	Refrigerado < 6°C	24 horas	48 horas
Nitrito	Refrigerado < 6°C	24 horas	48 horas
Nitrogênio	Refrigerado < 6°C	7 dias	28 dias
OD	-	15 minutos	-
pH	-	15 minutos	
Fosfato	Refrigerado < 6°C	48 horas	48 horas
Fosforo total	Refrigerado < 6°C	28 dias	28 dias
Sólidos	Refrigerado < 6°C	7 dias	7 dias
Sulfato	Refrigerado < 6°C	28 dias	28 dias
Turbidez	Refrigerado < 6°C	24 horas	48 horas
Coliformes Totais	Refrigerado < 6°C	-	24 horas
E. Coli	Refrigerado < 6°C	-	24 horas

Fonte: Elaborado pelo autor.

## **ANEXO B – DETALHAMENTO PARA DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS.**

Cor aparente - A medição do parâmetro deu-se por espectrofotometria de comprimento de onda de 457,5nm, através do aparelho Espectrofotômetro, da fabricante Biochrom, modelo libra S60. Após calibração inicial do aparelho com água tipo 1, realizou-se a leitura individualizada das amostras de cada matriz (TC, TV e AC), em triplicata. Por fim as leituras verificadas alimentaram planilha eletrônica, elaborada pela equipe do laboratório, para obtenção do valor final do parâmetro, através de curva analítica.

Turbidez – A medição do parâmetro deu-se pelo método nefelométrico, com aparelho Turbidímetro, da fabricante Hach, modelo 2100P. Após calibração inicial do aparelho, com padrões fornecidos pelo fabricante, realizou-se a leitura individualizada das amostras de cada matriz, em triplicata. Por fim as leituras foram anotadas em planilha eletrônica elaborada pela equipe do laboratório, determinando seu valor final através de estatística básica.

Sólidos – Os sólidos totais foram quantificados após evaporação em forno a 105°C e pesagem em balança analítica ED2245, Sartorius. Os sólidos dissolvidos, após filtragem em membrana de fibra de vidro, foram determinados pela evaporação da água em forno a 105°C, associada a queima da matéria volátil em mufla a 550°C por 1 hora.

Condutividade – A medição do parâmetro foi obtida por eletrodo de condutividade através do aparelho multiparâmetro Versa Star da marca Orion ThermoScientific. Após calibração do eletrodo com solução de cloreto de potássio (KCl) a 25°C, realizou-se a leitura individualizada das amostras de cada matriz, em triplicata, ao mesmo tempo que a temperatura das amostras eram aferidas e a amostra agitada a 600rpm. Por fim as leituras do parâmetro e da temperatura das amostras foram registradas em planilha eletrônica elaborada pela equipe do laboratório e os valores finais conhecidos.

pH – A medição do parâmetro foi obtida por potenciometria através do aparelho multiparâmetro Versa Star da marca Orion ThermoScientific. Após calibração do eletrodo com solução tampão de pH= 4,1, 7,0 e 10, da fabricante Merck, realizou-se a leitura

individualizada das amostras de cada matriz, em triplicata. Por fim as leituras do parâmetro e da temperatura das amostras foram registradas em planilha eletrônica elaborada pela equipe do laboratório, e os valores finais de pH conhecidos.

**Cloretos** – Os cloretos foram quantificados, após filtração em membrana de acetato com 022 $\mu$ m de poro, através da utilização do equipamento cromatógrafo de íons, do fabricante Metrohm, modelo 790 Personal IC.

**Nitrogênio** – O nitrogênio total foi obtido pela decomposição, por combustão e detecção por quimioluminência, através do aparelho analisador de TOC-L CPH/CPN da marca Shimadzu. Os nitratos e nitritos, após filtração em membrana de acetato com 022 $\mu$ m de poro, foram identificadas através da utilização do equipamento cromatógrafo de íons, do fabricante Metrohm, modelo 790 Personal IC.

**Carbono** – Inicialmente a amostra foi filtrada em membrana de acetato celulose de 0,45 $\mu$ m e então o carbono total foi obtido através da oxidação, por combustão e detecção em infravermelho não dispersivo, com a utilização do aparelho analisador de TOC-L CPH/CPN, marca Shimadzu. A parcela inorgânica foi conhecida através da decomposição ácida e detecção por infravermelho, não dispersivo, e a fração orgânica foi encontrada pela subtração entre as parcelas de carbono total e carbono inorgânico presentes na amostra. Ambos procedimentos realizados no mesmo aparelho.

**Fósforo** – Os fosfatos foram quantificados, após filtração em membrana de acetato com 022 $\mu$ m de poro, através da utilização do equipamento cromatógrafo de íons, do fabricante Metrohm, modelo 790 Personal IC.

**Fluoretos** – Após filtração em membrana de acetato com 022 $\mu$ m de poro, os fluoretos foram quantificados com a utilização do equipamento cromatógrafo de íons, do fabricante Metrohm, modelo 790 Personal IC.

**Sulfato** – Os sulfatos foram quantificados, após filtração em membrana de acetato com 022 $\mu$ m de poro, através da utilização do equipamento cromatógrafo de íons, do fabricante Metrohm, modelo 790 Personal IC.



Oxigênio Dissolvido – A medição do parâmetro foi realizada através do método oximétrico com o uso do aparelho Potenciômetro multiparâmetro Versa Star, da marca Orion ThermoScientific. Após calibração do aparelho, realizada com água tipo I, realizou-se as leituras individuais das amostras de cada matriz, em triplicata, ao mesmo tempo em que a temperatura das amostras era aferida. As leituras finais do parâmetro foram conhecidas após preenchimento de planilha eletrônica elaborada pela equipe do laboratório.

Demanda Bioquímica de Oxigênio – A medição do parâmetro possível através do método oximétrico com a utilização do aparelho Potenciômetro multiparâmetro Versa Star da marca Orion ThermoScientific. Após a calibração do aparelho com água tipo I realizou-se a leitura inicial individualizada das amostras de cada matriz, ao mesmo tempo em que sua temperatura era aferida e a amostra agitada a 600rpm. Foram realizadas 03 amostras de cada matriz, em triplicata, ou seja, 9 leituras para cada amostra. Lidas inicialmente as amostras, essas foram armazenadas em estufa à 20°C pelo período de 5 dias e então todo o processo de leitura foi repetido, conhecendo a leitura final de oxigênio disponível na amostra. Por fim as leituras do parâmetro e da temperatura das amostras preenchiam planilha eletrônica, elaborada pela equipe do laboratório, e os valores finais conhecidos.

Microbiológicos – Para determinar a concentração dos parâmetros microbiológicos foi utilizado o método quantitativo Colilert, tanto para os coliformes totais como para a *E. Coli*.

