



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Jaqueline Costa Areas de Almeida


**Tratamento sequencial de águas pluviais com coluna de adsorção e
membrana de ultrafiltração para uso em edificações**

Rio de Janeiro

2022

Jaqueline Costa Areas de Almeida

Tratamento sequencial de águas pluviais com coluna de adsorção e membrana de ultrafiltração para uso em edificações



Projeto Final apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Alfredo Akira Ohnuma Júnior

Rio de Janeiro

2022

Ficha elaborada pelo autor através do
Sistema para Geração Automática de Ficha Catalográfica da Rede Sirius - UERJ

A447 Almeida, Jaqueline Costa Areas de.
Tratamento sequencial de águas pluviais com
coluna de adsorção e membrana de ultrafiltração ... /
Jaqueline Costa Areas de Almeida. - 2022.
132 f.

Orientador: Alfredo Akira Ohnuma Júnior.
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade
de Engenharia, para obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Ambiental.

1. Engenharia Ambiental e Sanitária -
Monografias. 2. Recursos Hídricos - Monografias. 3.
Tratamento de Águas Pluviais - Monografias. I.
Ohnuma Júnior, Alfredo Akira. II. Universidade do
Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Engenharia.
III. Título.

CDU 628+502

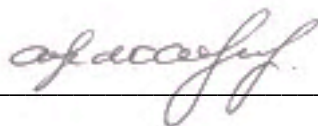
Jaqueline Costa Areas de Almeida

Tratamento sequencial de águas pluviais com coluna de adsorção e membrana de ultrafiltração para uso em edificações

Projeto Final apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

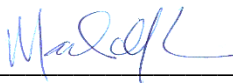
Aprovado em 12 de maio de 2022.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior (Orientador)

Faculdade de Engenharia – UERJ



Prof. Dr. Marcelo Obraczka

Faculdade de Engenharia – UERJ



Doutorando Diogo Fernandes Rosas

Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)

Rio de Janeiro

2022

DEDICATÓRIA

Com gratidão, dedico este trabalho a Deus, por todo cuidado, à minha mãe e à minha irmã, por todo amor e apoio, e às minhas avós (*in memoriam*), que sempre estarão comigo.

AGRADECIMENTOS

Esta jornada foi fruto de muita dedicação e contou com o esforço físico de muitas mãos, com o apoio mental de mentes brilhantes e com o cuidado emocional de muitos corações. Não estive sozinha neste percurso e gostaria de agradecer a toda ajuda recebida.

Agradeço primeiramente a Deus, meu socorro bem presente na hora da angústia, por sua bondade, lealdade e atenção, por seu amor, cuidado e sustento, por toda força, pela vida e por me permitir realizar este sonho.

À minha mãe e à irmã, por não medirem esforços neste processo, por acreditarem em mim, por toda dedicação e por todo amor. Vocês são o meu amparo, a minha base, a minha força, a minha segurança, a minha motivação, o meu bem mais precioso, o meu ponto de equilíbrio, amor e paz. O meu lugar favorito é na presença de vocês e toda dedicação é para vocês e por vocês. Mãezinha, amor da minha vida, observar a forma que a senhora percorre os trajetos da vida é uma lição diária para mim de persistência, superação, dedicação, força, cuidado, amor e entrega. Irmãzinha, minha menina, eu pedia por você e hoje te ver crescer é fonte de inspiração para mim e sua vida me ensina constantemente sobre liberdade, juventude, coragem, intensidade e companheirismo. O percurso não foi fácil e eu agradeço pelo incentivo, eu amo vocês!

Às minhas crianças de quatro patas, que me ensinam a preciosidade da vida pela simplicidade dos atos. Obrigada por todo amor e troca de energia com esta humana aqui. Vocês são fonte de alegria, minhas riquezas e benção na minha vida. Vocês me fazem transbordar!

À minha família, que fala de mim com muito carinho, que acredita que sou capaz, que espera com alegria pela minha formação e por toda compreensão, principalmente nos momentos de ausência. Em especial às minhas avós (*in memoriam*), pois fui agraciada com duas avós maravilhosas que desempenharam um importante papel na minha vida e que estarão comigo para sempre.

Ao meu orientador, por me encorajar a encarar este desafio, por contribuir com meu desenvolvimento acadêmico, pela orientação, paciência e compreensão, pelo apoio e incentivo, pelas palavras positivas nesta reta final, pela calma, pela liberdade dada a mim para opinar sobre o projeto, pelo estímulo de sempre aprimorar o nível alcançado, por compartilhar seus conhecimentos, por me permitir fazer parte do Projeto de Sistemas de Águas Pluviais – Projeto SAP ao longo desses anos e por me conceder este projeto. Muito obrigada!

Às minhas amigas de graduação Beatriz Rocha, Carine Marques, Caroline Moreira e Letícia Delduque, presentes do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Dividimos esses anos de estudo e compartilhamos momentos difíceis, contudo, vocês fizeram esta conquista mais prazerosa, alegre, divertida, leve e única. Obrigada pelo ombro amigo, pelo tempo juntas, por toda troca de experiência e afeto, por terem me permitido acessar quem vocês são e por toda vivência acadêmica. Eu admiro vocês! Em especial, gostaria de agradecer a Carol e a Lê por todo esforço nas coletas, atividades laboratoriais e operação do sistema de tratamento de águas pluviais utilizado neste estudo, este trabalho não seria o mesmo sem vocês.

Ao Laboratório de Engenharia Sanitária (LES), em especial à coordenadora do laboratório professora Daniele Maia Bila, pelas contribuições ao projeto e por disponibilizar um espaço para instalação do sistema de tratamento de águas pluviais no LES, e ao profissional Sidnei por todo auxílio técnico na realização das análises laboratoriais e por toda clareza e suporte no ensino, com uma abordagem que estimula o saber.

Ao professor Marcelo, pela iniciativa de buscar sistemas de tratamento alternativos que auxiliem na gestão dos recursos hídricos e por elaborar uma proposta ao fabricante quanto à aquisição do produto tecnológico. Estendo este agradecimento à empresa *Vestergaard* pela cessão da membrana de ultrafiltração *LifeStraw Community*, objeto de estudo deste trabalho.

Ao Flávio Giro e Diogo Rosas, responsáveis pela instalação da coluna de adsorção no LES, em especial ao Flávio por ter montado o equipamento de adsorção.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela bolsa disponibilizada ao projeto de pesquisa de Iniciação Tecnológica (IT), denominado Tecnologia de Águas Pluviais para Uso em Edificações, processo E-26/260.025/2018, com duração de dois anos (2018-2020).

Aos professores que contribuíram com a minha vida acadêmica, por todo ensinamento, pelo conteúdo técnico de nível elevado, pelos princípios transmitidos e por ampliarem minha visão de mundo. Agradeço também ao Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente (DESMA) pela qualidade do ensino e estrutura disponibilizada aos alunos.

À banca examinadora por aceitar o convite, além de dedicar tempo para a leitura deste trabalho e contribuir com a melhoria do mesmo.

A Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) por me permitir ser, por me permitir fazer parte, por ter sido morada, pelo suporte, por resistir e pelo ensino de qualidade. Você é gigante!

Se tens de lidar com água, consulta primeiro a experiência,
e depois a razão.

Leonardo da Vinci

A água de boa qualidade é como a saúde e a liberdade:
só tem valor quando acaba.

Guimarães Rosa

RESUMO

ALMEIDA, Jaqueline Costa Areas de. *Tratamento sequencial de águas pluviais com coluna de adsorção e membrana de ultrafiltração para uso em edificações*. 2022. 132 f. TCC (Graduação) - Curso Engenharia Ambiental e Sanitária, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAP) surgem como fonte alternativa de água, tendo em vista a possibilidade de suprir demandas não potáveis. A adoção desta prática apresenta, entre outros benefícios, um manejo sustentável da água de chuva e a redução do consumo proveniente das redes de abastecimento convencionais. Entretanto, as superfícies de captação e a falta de manutenção nos reservatórios podem ocasionar a contaminação da água armazenada, necessitando de tecnologias que garantam uma maior segurança sanitária. Este trabalho visa avaliar um sistema de tratamento de água de chuva composto por uma coluna de adsorção (AD), de mídia de cerâmica e carvão ativado, associada a um sistema de membrana de ultrafiltração portátil (UF), a partir de análises de amostras de águas pluviais coletadas em um SAP, situado no campus da UERJ-Maracanã. As coletas de amostras de água de chuva foram realizadas no período entre abril de 2019 e janeiro de 2020, à montante e à jusante do experimento, com análises dos parâmetros físico-químicos: pH, turbidez, condutividade elétrica, cor aparente, carbono orgânico dissolvido, cloreto, alcalinidade total e dureza total. Houve um aumento dos parâmetros pH, turbidez, cor aparente, alcalinidade total e dureza total após contato da água precipitada com a superfície de captação. O descarte inicial realizado pelos dispositivos de *first flush* do SAP resultou na melhoria da qualidade da água armazenada no reservatório (RR), devido à redução dos valores referentes aos parâmetros pH, turbidez, condutividade elétrica, cor aparente, alcalinidade total e dureza total no ponto RR, a partir da retenção de poluentes em etapa anterior ao armazenamento da água de chuva no reservatório (RR) principal do SAP. A coluna de adsorção (AD), utilizada como uma etapa de polimento pré-membrana, elevou os resultados de pH, condutividade elétrica, alcalinidade total e cloreto, e não apresentou elevada melhoria nos parâmetros turbidez e dureza total, no entanto, a coluna de adsorção indicou um decréscimo de carbono orgânico dissolvido e cor aparente. A membrana de ultrafiltração (UF) melhorou de maneira expressiva os parâmetros de turbidez e cor aparente, em atendimento ao padrão de potabilidade da Portaria GM/MS nº 888/2021 do Ministério da Saúde. De maneira geral, conclui-se que foi observada uma melhora relevante na qualidade da água de chuva com uso das tecnologias de FF, AD e UF, ainda que a análise do funcionamento e da eficiência da coluna de adsorção necessite de maior aprimoramento.

Palavras-chave: Tratamento de águas pluviais. Aproveitamento de água de chuva. Qualidade da água de chuva.

ABSTRACT

ALMEIDA, Jaqueline Costa Areas de. *Sequential treatment of rainwater with a fixed bed adsorption column and ultrafiltration membrane for use in buildings*. 2022. 132 f. TCC (Graduação) - Curso Engenharia Ambiental e Sanitária, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

The rainwater utilization system has emerged as an alternative source of water and given rise to the possibility of meeting the demand for non-drinkable water. Among other benefits, the adoption of this practice enables rainwater to be handled in a sustainable way and reduces the consumption obtained from the conventional supply system. However, surface water catchments and the lack of maintenance of the tanks can cause the stored water to be contaminated and there is a need for technologies that can ensure a secure sanitary system. This study seeks to assess a rainwater treatment system made up of an adsorption column, ceramic media and activated carbon, combined with a membrane system of portable ultrafiltration, based on analyses of rainwater samples collected in an SAP and situated in the campus of UERJ-Maracana. The samples of water were collected in the period between April 2019 and January 2020, both upstream and downstream of the experimental site and included analyses of the following physico-chemical parameters: pH, turbidity, electric conductivity, apparent color, dissolved organic carbon, chloride, total alkalinity and total hardness. There was an increase in the parameters of pH, turbidity, apparent color total alkalinity and total hardness after the rainwater made contact with the surface catchment area. The initial water discharge carried out by the first *flush devices* of the SAP resulted in an improvement in the quality of the water stored in the tank (RR), owing to the reduction in values with regard to the parameters of pH, turbidity, electric conductivity, apparent color, total alkalinity and total hardness at the RR point. This began from the retention of pollutants in the previous stage of storing water in the principal tank of the SAP. The adsorption column that was utilized as a stage of pre-membrane polishing, raised the results of the pH, electric conductivity, total alkalinity and chloride but did not show an improvement in the parameters of turbidity and total hardness, even though the adsorption column suggested there was a lowering of dissolved organic carbon and apparent color. The infiltration membrane improved the parameters for turbidity and apparent color to a significant degree, in compliance with the drinking standards of Ordinance GM/MS nº 888/2021 of the Ministry of Health. In general terms, it can be concluded that a significant improvement in the quality of rainwater was found with the use of FF, AD and UF technologies, although the analysis of the operations and efficiency of the adsorption column still need a good deal of improvement.

Keywords: Rainwater technologies. Rainwater harvesting. Rainwater quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões Hidrográficas do Brasil	21
Figura 2 – Regiões Hidrográficas e de Governo do Estado do Rio de Janeiro	22
Figura 3 – Total de água retirada por setor no Brasil em 2019	25
Figura 4 – Panorama de disponibilidade hídrica e população por região hidrográfica	26
Figura 5 – Demandas de uso da água para a Região Hidrográfica Atlântico Sudeste (ASD) ..	27
Figura 6 – Demanda de uso da água para o estado do Rio de Janeiro.....	27
Figura 7 – Demandas de uso da água nas regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro.	28
Figura 8 – Índice de Segurança Hídrica do Brasil – Cenário 2035	31
Figura 9 – Proporção entre a retirada de água doce e o total dos recursos de água doce disponíveis (%), ano base 2016.	33
Figura 10 – Número de conflitos e famílias em conflitos pela água no Brasil.....	34
Figura 11 – <i>Déficit</i> de abastecimento de água por faixa de renda (%) no Brasil	36
Figura 12 – Bacias compartilhadas entre o estado do Rio de Janeiro e seus estados vizinhos de SP, MG e ES	36
Figura 13 – Interface do mapa de uso de água de chuva na cidade do Rio de Janeiro.....	41
Figura 14 – Elementos que constituem um sistema de aproveitamento de águas pluviais.	42
Figura 15 – Classificação das membranas e dimensões das partículas retidas	52
Figura 16 – Etapas de produção de vidro sinterizado pela técnica de preenchimento	54
Figura 17 – Mecanismo de formação dos poros na estrutura de vidro sinterizado	54
Figura 18 – Localização do sistema de águas pluviais SAP-UERJ, Rio de Janeiro – RJ	56
Figura 19 – Sistema de águas pluviais (SAP-UERJ), desenho sem escala.	58
Figura 20 – Componentes da coluna de adsorção (AD) utilizada no tratamento das águas pluviais.....	59
Figura 21 – Componentes da membrana de ultrafiltração (UF) utilizada no tratamento das águas pluviais.....	60
Figura 22 – Sistema de tratamento de águas pluviais (TPLUV), desenho sem escala.....	60
Figura 23 – Fluxograma do processo operacional do sistema SAP-UERJ e TPLUV	62
Figura 24 – Localização da estação pluviométrica e do sistema de águas pluviais	67
Figura 25 – Precipitação média mensal para a série histórica de 1997 a 2019 para a Estação nº 04 – Tijuca.....	67

Figura 26 – Precipitação acumulada mensal de janeiro de 2019 a janeiro de 2020 para a Estação nº 04 – Tijuca.....	68
Figura 27 – Detalhe do gráfico tipo <i>boxplot</i>	70
Figura 28 – Vazão <i>versus</i> volume da membrana de ultrafiltração	74
Figura 29 – <i>Boxplot</i> do parâmetro pH por ponto de coleta	75
Figura 30 – <i>Boxplot</i> do parâmetro turbidez por ponto de coleta	79
Figura 31 – <i>Boxplot</i> do parâmetro cloreto por ponto de coleta	82
Figura 32 – <i>Boxplot</i> do parâmetro condutividade elétrica por ponto de coleta.....	85
Figura 33 – <i>Boxplot</i> do parâmetro cor aparente por ponto de coleta.....	88
Figura 34 – <i>Boxplot</i> do parâmetro carbono orgânico dissolvido por ponto de coleta.....	91
Figura 35 – <i>Boxplot</i> do parâmetro alcalinidade total por ponto de coleta.....	94
Figura 36 – <i>Boxplot</i> do parâmetro dureza total por ponto de coleta.....	96
Figura 37 – Matriz de correlação para período amostral completo.....	100
Figura 38 – Matriz de correlação para período úmido	101
Figura 39 – Matriz de correlação para período seco	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – População urbana e rural por região hidrográfica do Rio de Janeiro.	23
Tabela 2 – Retirada, consumo e retorno de água por setor no Brasil em 2019.	24
Tabela 3 – Parâmetros de qualidade para usos não potáveis de água de chuva	47
Tabela 4 – Parâmetros de qualidade para usos não potáveis de fontes alternativas.....	48
Tabela 5 – Parâmetros de qualidade para padrão organoléptico de potabilidade.....	49
Tabela 6 – Amostras coletadas por ponto de coleta	63
Tabela 7 – Parâmetros de qualidade, métodos de análise e quantidade de amostras analisadas em cada parâmetro por ponto do sistema	64
Tabela 8 – Limites utilizados para padronização da qualidade da água de chuva	65
Tabela 9 – Quantidade de amostras por pontos e parâmetros considerados para cálculo da matriz de correlação.....	71
Tabela 10 – Faixa de coeficiente de correlação.....	72
Tabela 11 – Capacidade de filtração da membrana.....	73
Tabela 12 – Estatística descritiva para o parâmetro pH	78
Tabela 13 – Estatística descritiva para o parâmetro turbidez	81
Tabela 14 – Estatística descritiva para o parâmetro cloreto	84
Tabela 15 – Estatística descritiva para o parâmetro condutividade elétrica.....	87
Tabela 16 – Estatística descritiva para o parâmetro cor aparente.....	90
Tabela 17 – Resumo estatístico para o parâmetro carbono orgânico dissolvido.....	93
Tabela 18 – Resumo estatístico para o parâmetro alcalinidade total.....	95
Tabela 19 – Estatística descritiva para o parâmetro dureza total	98
Tabela 20 – Eficiência de remoção do sistema de águas pluviais	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AD	Coluna de adsorção
AGEVAP	Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
ALT	Atlântico Leste
AMZ	Amazônica
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento
AOC	Atlântico Nordeste Ocidental,
AOR	Atlântico Nordeste Oriental,
AP	Área de Planejamento
APHA	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>
ASD	Atlântico Sudeste
ASD	Atlântico Sudeste
ASU	Atlântico Sul
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CC	<i>Chove Chuva</i>
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgoto
CERHI	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
COP	Carbono Orgânico Particulado
COT	Carbono Orgânico Total
CPT	Comissão Pastoral da Terra
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
ES	Espírito Santo
FF1	<i>First flush</i> primário
FF2	<i>First flush</i> secundário
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPP	Instituto Pereira Passos
ISH	Índice de Segurança Hídrica
ITB	Instituto Trata Brasil
LES	Laboratório de Engenharia Sanitária
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MF	Microfiltração
MG	Minas Gerais
MS	Ministério De Saúde
NBR	Norma Brasileira
NF	Nanofiltração
OECD	<i>Organisation for Economic Co-Operation and Development</i>
OI	Osmose Inversa
ONU	Organização das Nações Unidas
PAR	Paraguai
PCRJ	Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro
PD	Precipitação Direta
pH	Potencial hidrogeniônico
PNB	Parnaíba
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
PRN	Paraná
RA	Regiões Administrativas
RHs	Regiões Hidrográficas
RJ	Rio de Janeiro
RM	Regiões Metropolitanas
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
RR	Reservatório
SAP	Sistemas de águas pluviais
SAP-UERJ	Sistema de águas pluviais da Universidade do Estado do Rio de Janeiro

SFO	São Francisco
SH	Segurança Hídrica
SP	São Paulo
TOC	Tocantins – Araguaia
TPLUV	Sistema de tratamento de águas pluviais
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UF	Ultrafiltração
UNICEF	<i>United Nations Children's Fund</i>
UNRIC	Centro de Informação Regional das Nações Unidas para a Europa Ocidental
UN-WATER	<i>United Nations Water</i>
URU	Uruguai
VM	Volume Morto
WBG	<i>World Bank Group</i>
WEF	<i>World Economic Forum</i>

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	17
	OBJETIVO GERAL.....	19
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1	REVISÃO DA LITERATURA.....	20
1.1	Sustentabilidade dos recursos hídricos	20
1.2	Região hidrográfica	21
1.3	Disponibilidade e demanda hídrica.....	23
1.3.1	<u>Cenário brasileiro.....</u>	23
1.3.2	<u>Cenário do estado do Rio de Janeiro</u>	27
1.4	Segurança hídrica	28
1.4.1	<u>Conceito e visão geral.....</u>	28
1.4.2	<u>Cenário brasileiro.....</u>	30
1.4.3	<u>Conflitos territoriais de usos dos recursos hídricos</u>	33
1.4.4	<u>Vulnerabilidade hídrica na região metropolitana do Rio de Janeiro</u>	35
1.5	Aproveitamento de águas pluviais.....	38
1.5.1	<u>Contextualização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais</u>	38
1.5.2	<u>Potencial de uso de água de chuva no Rio de Janeiro</u>	40
1.6	Sistema de águas pluviais	41
1.7	Qualidade das águas pluviais.....	44
1.7.1	<u>Caracterização geral da água da chuva</u>	44
1.7.2	<u>Possíveis usos da água de chuva e padrões de qualidade</u>	47
1.8	Tratamento de águas pluviais.....	49
2	MATERIAIS E MÉTODOS	55
2.1	Caracterização da região de estudo	55
2.2	Sistema de coleta de águas pluviais	57
2.3	Tecnologias de tratamento de águas pluviais em escala laboratorial	58
2.4	Processo operacional do sistema de águas pluviais SAP-UERJ e TPLUV	60
2.5	Amostras de águas pluviais.....	62
2.6	Parâmetros de qualidade das águas pluviais.....	64
2.7	Padrões de qualidade das águas pluviais.....	65

2.8	Pluviosidade local.....	66
2.9	Tratamento estatístico	69
2.9.1	<u>Uso do programa de linguagem R (<i>RStudio</i>)</u>	69
2.9.2	<u>Gráfico do tipo <i>boxplot</i>.....</u>	69
2.9.3	<u>Gráfico matriz de correlação.....</u>	70
2.10	Cálculo da capacidade de filtração da membrana.....	72
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	75
3.1	Potencial Hidrogeniônico (pH)	75
3.2	Turbidez.....	78
3.3	Cloreto.....	81
3.4	Condutividade elétrica	84
3.5	Cor Aparente.....	87
3.6	Carbono orgânico dissolvido.....	90
3.7	Alcalinidade total	93
3.8	Dureza total	96
3.9	Eficiência de remoção	98
3.10	Matriz de correlação de parâmetros de qualidade de água e de índices de precipitação	99
	CONCLUSÕES	106
	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	108
	REFERÊNCIAS.....	110
	APÊNDICE – Procedimento Operacional Padrão (POP), em fase preliminar.....	126

INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) relaciona segurança hídrica com a quantidade e qualidade de água disponível, suficiente e acessível, de modo a garantir uma sustentabilidade no uso dos recursos hídricos pelos diferentes setores da sociedade, como: atender às necessidades básicas para abastecimento humano que garantam bem-estar e saúde da população, preservação dos ecossistemas, produção de alimentos, geração de energia e usos na indústria, transporte, recreação e turismo. Nesse sentido, são fundamentais os estudos relacionados à disponibilidade hídrica e demanda de água para diferentes finalidades (ANA, 2019; PEÑA, 2016; UN-WATER, 2013).

O aumento da população em áreas urbanas, a ampliação da demanda de água devido ao crescimento econômico e as mudanças climáticas, que afetam os eventos hidrológicos, provocam o desequilíbrio do balanço hídrico (ANA, 2019). Esses fatores, associados a uma má gestão dos recursos, contribuem para um estresse hídrico e agravam o problema de falta d'água a nível mundial, com 2,1 bilhões de pessoas no mundo sem acesso à água potável e mais de 4,5 bilhões com ausência de serviços adequados de saneamento (ONU, 2018).

Desta forma, a escassez surge quando a quantidade de água doce disponível é afetada devido ao aumento da demanda, como também pela redução do acesso a qualidade de água satisfatória, agravada pela contaminação das fontes de abastecimento (TUCCI e CHAGAS, 2017). A precariedade da segurança hídrica nas regiões metropolitanas ocorre pela elevada demanda exigida nos aglomerados urbanos e pela poluição dos recursos hídricos, em função da qualidade inferior a partir do lançamento inadequado de esgotos domésticos. Por outro lado, a redução da disponibilidade hídrica em regiões como o Semiárido ocorrem, sobretudo, devido à localização geográfica, com períodos de seca mais prolongados (ANA, 2019).

A Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável prevê atingir o desenvolvimento social, econômico e ambiental a partir de 17 Objetivos. O sexto objetivo visa “garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos”, a partir do acesso universal, redução da poluição para melhoria da qualidade da água, aumento da eficiência do seu uso em todos os setores e pelo apoio a participação das comunidades locais (UNRIC, 2018).

Segundo o estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil (ITB, 2020) para o período de 2017 a 2040, espera-se um aumento significativo na demanda de água no Brasil em função do crescimento econômico, da expansão demográfica e da universalização dos serviços, com uma

demanda potencial de água estimada em 14,299 bilhões de m³ em 2040. Deste modo, o estresse hídrico pode ser amenizado a partir do uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, bem como de técnicas de reúso de águas residuais (ONU, 2018).

Assim, os sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAP) surgem como uma fonte alternativa de água de qualidade aceitável, em especial, para usos não potáveis, de modo a atingir um uso mais racional da água. A adoção desta prática proporciona um manejo mais sustentável das águas pluviais em áreas urbanas com diversos benefícios, como: a redução do uso de água potável da rede convencional, o atendimento às áreas que carecem de sistemas de abastecimento de água convencionais, o amortecimento e redução na saturação dos sistemas de drenagem pela retenção da vazão inicial e a compensação dos efeitos da urbanização (LIMA *et al.*, 2011).

Contudo, o aproveitamento da água de chuva apresenta riscos para o consumo humano relacionado à possibilidade de contaminação da água no processo de coleta, ao entrar em contato com substâncias provenientes da deposição seca e úmida nas superfícies de captação do SAP, e pela falta de manutenção no reservatório principal de armazenamento e distribuição de água. O risco de contaminação microbiológica compromete a qualidade da água, com aumento da demanda por tecnologias mais eficazes na remoção de determinados patógenos (HOFMAN-CARIS *et al.*, 2019).

A implantação dos sistemas de águas pluviais é geralmente empregada para fins menos nobres, como lavagem de pisos e veículos, rega de áreas verdes e descarga de vasos sanitários (SILVA e FREITAS, 2020). Porém, em condições de distribuições anormais, os possíveis usos podem ser ampliados para banho, lavagem de louças e roupas, quando realizado um tratamento diferenciado da água pluvial por meio de tecnologias específicas (ZANELLA, 2015).

Diante deste cenário, têm-se desenvolvido pesquisas de modo a aumentar a eficiência dos sistemas de filtração empregados atualmente, desde mudanças nos processos à adoção de novos materiais que possibilitem um melhor desempenho (CESCON, JIANG, 2020).

De forma aplicada, técnicas de tratamento de água têm sido adotadas a partir da operação de filtros com camadas filtrantes e uso de sistemas de ultrafiltração, como tecnologias de tratamento de águas pluviais, inclusive para produção de água potável (OLIVEIRA, 2020; HOFMAN-CARIS *et al.*, 2019; TEIXEIRA e GHISI, 2019; MIORANDO *et al.*, 2017; GONÇALVES e BASTOS, 2016).

OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a qualidade das águas pluviais após o emprego de tecnologias de tratamento, a partir da coleta e análise de amostras de um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais, localizado na cidade do Rio de Janeiro – RJ.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho compõem-se de:

- a. Analisar parâmetros de qualidade das amostras de água de chuva, referentes aos pontos do sistema de águas pluviais em um período de 10 meses, obtidas do dispositivo de descarte de volume inicial precipitado, coluna de adsorção e membrana de ultrafiltração portátil;
- b. Avaliar os resultados obtidos nas análises dos parâmetros físico-químicos das amostras de águas com base no tratamento estatístico;
- c. Correlacionar os parâmetros de qualidade da água e índices pluviométricos, em função do período seco e úmido.

1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Sustentabilidade dos recursos hídricos

A Lei Federal 9.433/1997 (BRASIL, 1997), que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, determina que a água é um bem de domínio público e um recurso natural limitado que tem valor econômico, de uso prioritário destinado ao consumo humano e manutenção das espécies, e assegura o uso múltiplo da água. Além disso, visa garantir a disponibilidade de água para as gerações atuais e futuras, promover o uso racional e integrado do recurso, bem como prevenir contra eventos hidrológicos extremos.

Os ciclos de vida, a biodiversidade dos organismos e a sobrevivência da espécie humana são garantidos pela distribuição de água no planeta, sob o aspecto de quantidade e qualidade dos recursos hídricos. Portanto, a disponibilidade de água em quantidade adequada e qualidade satisfatória são fundamentais para a circulação da economia regional, continental e mundial, além de assegurar a sustentabilidade e saúde do ser humano e proporcionar qualidade de vida para populações rurais e urbanas (TUNDISI, 2003 *apud* TUNDISI, 2006).

Bruni (1993) comenta que a água é essencial como condição de vida e tem importância biológica, histórica e econômica. Os argumentos biológicos são pautados na necessidade de suprimento de água para sobrevivência de todo ser vivo. Quanto ao processo histórico, o autor cita o crescimento das civilizações nas proximidades de regiões com água em abundância, como lagos e rios, e da prosperidade proveniente dos sistemas de irrigação associado ao desenvolvimento dessas populações, além de indicar que a vida na cidade é dependente de sistemas de saneamento, em geral, como de: abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e coleta e destinação de resíduos sólidos.

Do ponto de vista econômico, a água tem sua importância, sobretudo devido ao seu uso nos mais diversos processos industriais, na produção de energia elétrica e como meio de transporte por rios e mares, a partir da navegação. A água possibilita também o seu uso na prática de esportes, como natação, pesca, vela e canoagem (BRUNI, 1993).

De modo geral, a sociedade deve aprender a lidar com intensos desafios para atender a demanda de água futura, sobretudo em função de previsões de aumento diante de uma oferta fixa e mais variável (WBG, 2016). Assim, a proteção, a conservação e a recuperação dos recursos hídricos no Brasil são fundamentais e de caráter urgente (TUNDISI, MATSUMURA-

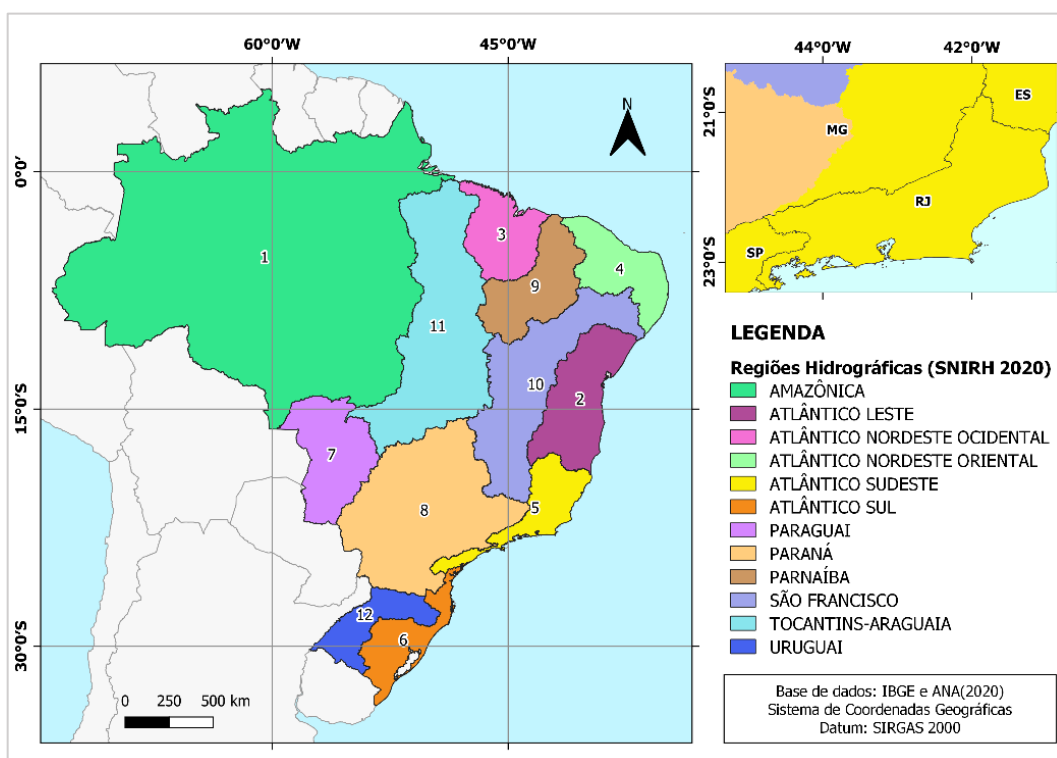
TUNDISI, 2020), pois é um caminho para alcançar a sustentabilidade dos recursos hídricos (TUNDIZI, MATSUMURA-TUNDISI, 2020; GIACCHINI, 2016).

1.2 Região hidrográfica

As regiões hidrográficas brasileiras são definidas como as regiões do território brasileiro constituídas por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas, que apresentam similaridades em suas características naturais, sociais e econômicas (ANA, 2015).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) instituiu a divisão de 12 (doze) Regiões Hidrográficas (RH's) por meio da Resolução nº 32/2003 (BRASIL, 2003), com o intuito de estabelecer unidades de gerenciamento de recursos hídricos. As regiões hidrográficas são: Amazônica, Tocantins-Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Paraná, Uruguai, Atlântico Sul e Paraguai. A divisão das regiões hidrográficas brasileira é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Regiões Hidrográficas do Brasil

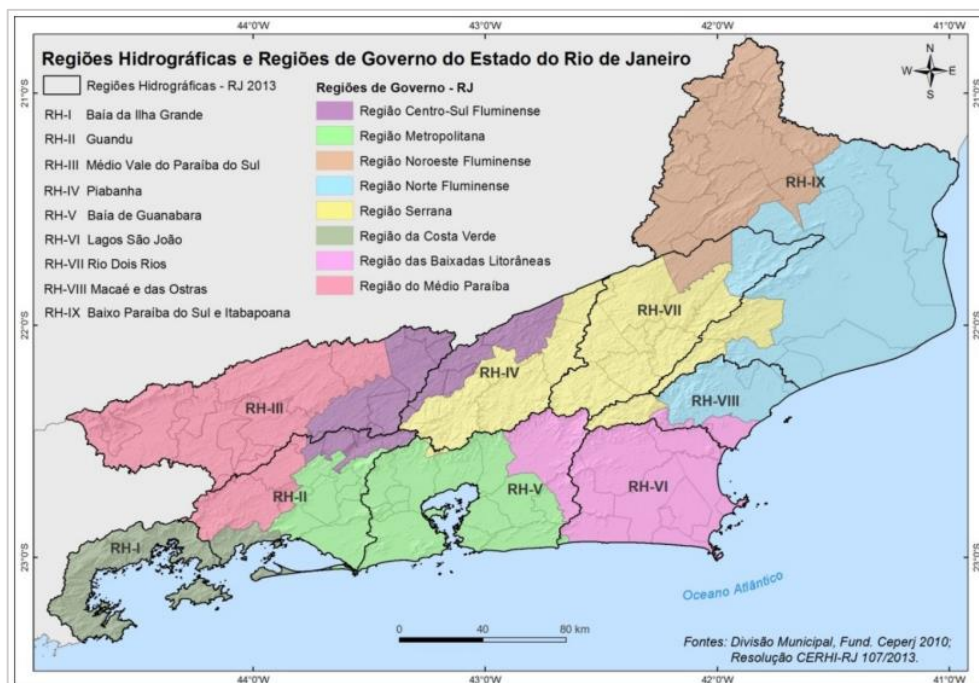


Fonte: Elaboração própria com dados da ANA, 2020 e do IBGE, 2020.

O estado do Rio de Janeiro está inserido na RH – Atlântico Sudeste (ASD), conforme indicado no lado direito superior da Figura 1. Esta região é a segunda mais populosa do país, com cerca de 28,24 milhões habitantes e apresenta uma área de 214.629 km² que abrange, além do estado do Rio de Janeiro, as unidades da federação Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Paraná. A RH – ASD apresenta predominância de população urbana e densidade demográfica elevada igual a 131,6 hab./km² (ANA, 2015).

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI) dividiu o território estadual do Rio de Janeiro em 9 (nove) Regiões Hidrográficas (RH's) por meio da Resolução nº 107/2013 (RIO DE JANEIRO, 2013), quais sejam: Baía da Ilha Grande (RH-I), Guandu (RH-II), Médio Paraíba do Sul (RH-III), Piabanha (RH-IV), Baía de Guanabara (RH-V), Lagos São João (RH-VI), Rio Dois Rios (RH-VII), Macaé e das Ostras (RH-VIII) e Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana (RH-IX). A Figura 2 apresenta as Regiões Hidrográficas e as Regiões de Governo do estado do Rio de Janeiro.

Figura 2 – Regiões Hidrográficas e de Governo do Estado do Rio de Janeiro



Fonte: INEA, 2014.

A RH-V – Baía de Guanabara tem uma área próxima a 4.800 km² e é a região mais populosa do estado, com um total de 10.186.090 habitantes, sendo 10.143.250 habitantes referentes a maior população urbana do estado. Além disso, grande parte da população que mora em aglomerados subnormais está localizado nesta região. A RH – V contorna a Baía de

Guanabara com um espelho d'água de 380 km², aproximadamente, e abrange 17 municípios total ou parcialmente. Os municípios contidos totalmente na RH – V são: Niterói, São Gonçalo, Itaboraí, Tanguá, Guapimirim, Magé, Duque de Caxias, Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti e Nilópolis. Os municípios englobados parcialmente são: Maricá, Rio Bonito, Cachoeiras de Macacu, Petrópolis, Nova Iguaçu e Rio de Janeiro (AGEVAP, 2021).

A região hidrográfica Baía de Guanabara concentra a capital do Rio de Janeiro e grande parte da Região Metropolitana do estado. A Tabela 1 indica que, majoritariamente, as Regiões Hidrográficas do estado são compostas pela população urbana (INEA, 2014).

Tabela 1 – População urbana e rural por região hidrográfica do Rio de Janeiro.

RH	Nome	Número de Municípios	População (hab.)	
			Urbana	Rural
I	Baía da Ilha Grande	3	193.868 (1,3%)	15.667 (3,0%)
II	Guandu	14	1.831.206 (11,9%)	44.805 (8,6%)
III	Médio Paraíba do Sul	19	926.107 (6,0%)	52.916 (10,1%)
IV	Piabanha	9	436.992 (2,8%)	66.980 (12,8%)
V	Baía de Guanabara	17	10.143.250 (65,9%)	42.840 (8,2%)
VI	Lagos São João	12	555.765 (3,6%)	81.034 (15,5%)
VII	Rio Dois Rios	12	269.462 (1,7%)	57.192 (10,9%)
VIII	Macaé e das Ostras	3	275.957 (1,8%)	16.081 (3,1%)
IX	Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana	22	768.669 (5,0%)	145.149 (27,8%)
Total de habitantes			15.401.276 (100%)	522.664 (100%)

Fonte: INEA, 2014.

1.3 Disponibilidade e demanda hídrica

1.3.1 Cenário brasileiro

Cerca de 12% da água doce superficial disponível no planeta encontra-se em território brasileiro, o que garante um privilégio ao país quanto à disponibilidade hídrica. Entretanto, esta distribuição de águas nas regiões brasileiras ocorre de modo desigual no espaço e ao longo do ano, além desse contraste ser intensificado pela demanda necessária para diversos usos e

infraestrutura hídrica apropriada voltada para a conservação e o aproveitamento (FERNANDES *et al.*, 2015; ANA, 2019).

O crescimento urbano e o desenvolvimento econômico foram fatores que contribuíram com a crescente demanda de água no Brasil, sendo estimado um aumento de 23% na retirada prevista para o ano de 2030. Este acréscimo na retirada e o consumo do país estão relacionados com as diferentes atividades que usufruem deste recurso, como: irrigação, abastecimento humano e animal, indústria, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, recreação e lazer. O total de água retirado, consumido e retornado no território brasileiro foi de 2.083 m³/s, 1.125 m³/s e 958 m³/s em 2019, respectivamente (ANA, 2020) (Tabela 2).

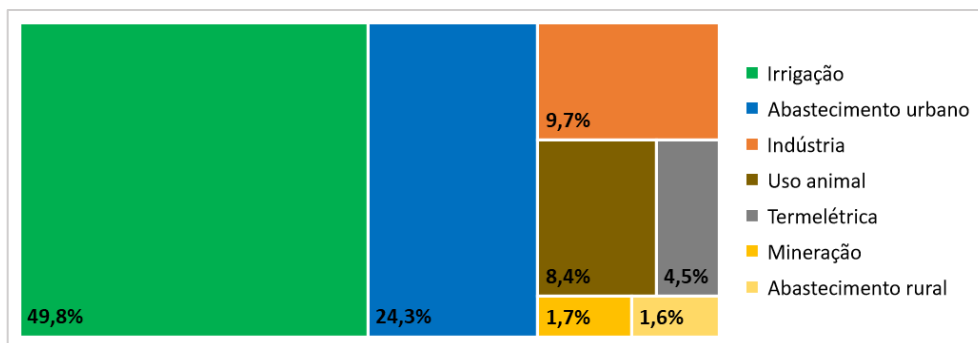
Tabela 2 – Retirada, consumo e retorno de água por setor no Brasil em 2019.

Uso	Retirada (m³/s)	Consumo (m³/s)	Retorno (m³/s)
Abastecimento rural	33,6 (1,6%)	26,9 (2,4%)	6,7 (0,7%)
Abastecimento urbano	505,7 (24,3%)	101,1 (9,0%)	404,6 (42,2%)
Indústria	202,3 (9,7%)	108,7 (9,7%)	93,6 (9,8%)
Irrigação	1.038,1 (49,8%)	743,5 (66,1%)	294,6 (30,7%)
Mineração	36,0 (1,7%)	10,5 (0,9%)	25,5 (2,7%)
Termelétrica	92,9 (4,5%)	3,1 (0,3%)	89,8 (9,4%)
Uso Animal	174,8 (8,4%)	130,9 (11,6%)	43,9 (4,6%)
Total	2.083,4 (100%)	1.124,7 (100%)	958,7 (100%)

Fonte: ANA, 2020.

Uma análise a nível nacional indica a irrigação como a atividade mais representativa no quesito retirada e consumo de água no país, devido à necessidade de suprir com a carência das culturas, total ou parcialmente, visto que a parcela essencial de água é dependente das variáveis cultura, solo, relevo e clima. O abastecimento urbano ocupa a segunda posição em relação a atividade de maior uso de água no Brasil e, aproximadamente, 57% das sedes urbanas do país são atendidas por mananciais superficiais, com 84% da população urbana brasileira tendo suas demandas satisfeitas por este tipo de manancial, como os grandes centros populacionais dos municípios de São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Fortaleza e Porto Alegre (ANA, 2020). A Figura 3 ilustra a porcentagem de água retirada no Brasil em 2019, em função de cada setor.

Figura 3 – Total de água retirada por setor no Brasil em 2019



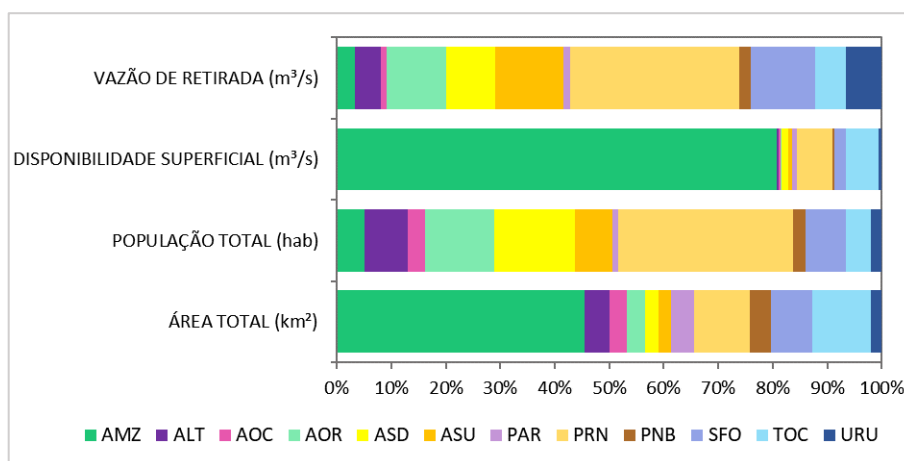
Fonte: Elaboração própria com dados da ANA, 2020.

As cidades das regiões Norte e Sul do país são atendidas por mananciais subterrâneos, predominantemente, com 31% e 14% da população urbana suprida por este tipo de manancial, respectivamente. A maioria das sedes urbanas das regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste são atendidas por manancial superficial, que equivale respectivamente a, 79%, 89% e 84% da população urbana atendida (ANA, 2020).

A Amazônia corresponde a, aproximadamente, 45 % do território brasileiro e possui 80% dos recursos hídricos, enquanto as regiões semiáridas estão concentradas em 13% da área do país, com a presença de rios intermitentes e exposta a períodos de seca duradouros. Além da desigualdade no território nacional, quanto à disponibilidade hídrica, também é desproporcional a distribuição da população no Brasil. Assim, áreas intensamente modificadas estão com seus recursos hídricos comprometidos em quantidade e em qualidade disponível, enquanto existem regiões de disponibilidade hídrica elevada associada à baixa densidade populacional (ANA, 2019) (Figura 4).

Um breve panorama dos recursos hídricos com ênfase nas regiões hidrográficas brasileiras esclarece que as RH's Amazônica (AMZ) e Tocantins-Araguaia (TOC) têm uma condição agradável em relação a disponibilidade hídrica superficial, associado a elevados níveis de precipitação. Entretanto, as regiões Atlântico Leste (ALT) e Atlântico Nordeste Oriental (AOR) apresentam problemas de disponibilidade hídrica em conjunto com o comprometimento da qualidade da água e aos baixos índices pluviométricos. As RH's do Atlântico Sudeste (ASD) e do Paraná (PRN) apresentam dificuldades na qualidade e na quantidade de água, devido à presença de estados considerados mais desenvolvidos, com uma expressiva densidade demográfica nas regiões metropolitanas que exigem alta demanda de água para abastecimento urbano e elevada produção de esgoto para coleta, tratamento e destinação final (ANA, 2015).

Figura 4 – Panorama de disponibilidade hídrica e população por região hidrográfica



Legenda: AMZ – Amazônica, ALT – Atlântico Leste, AOC – Atlântico Nordeste Ocidental, AOR – Atlântico Nordeste Oriental, ASD – Atlântico Sudeste, ASU – Atlântico Sul, PAR – Paraguai, PRN – Paraná, PNB – Parnaíba, SFO – São Francisco, TOC – Tocantins – Araguaia, URU – Uruguai, BR – Brasil

Fonte: Elaboração própria com dados da ANA, 2015.

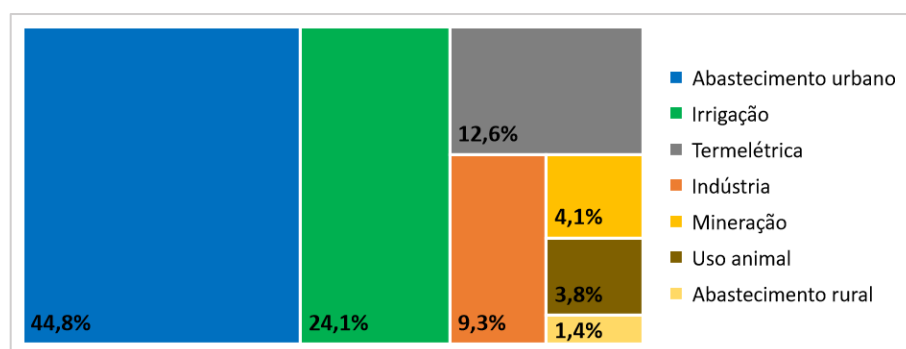
As RH's Parnaíba (PNB) e Atlântico Nordeste Ocidental (AOC) têm pequena disponibilidade hídrica e baixos níveis de demanda consuntivas, enquanto a RH do Paraná (PRN) evidencia-se por uma elevada demanda consuntiva, o que corresponde a 31% da demanda nacional total. A região Atlântico Nordeste Oriental (AOR) tem uma elevada vazão de retirada, visto que há baixa disponibilidade hídrica. A RH Atlântico Sul (ASU) retira uma alta vazão de água para atender a demanda do setor irrigação, sendo considerada a segunda maior região do país em área irrigada, o que explica o estresse hídrico do local (ANA, 2015).

Por fim, na RH São Francisco (SFO) são observadas duas condições problemáticas, com o Alto São Francisco caracterizado por precipitação elevada, alta demanda de água e lançamento de esgoto, em contrapartida, no semiárido brasileiro há baixa disponibilidade hídrica, elevada evapotranspiração e rios intermitentes, em sua maioria, em que o lançamento de esgoto configura uma situação crítica ao corpo receptor. Entretanto, a configuração da disponibilidade hídrica superficial desta região é mediana, devido ao número de reservatórios do setor elétrico (ANA, 2015).

1.3.2 Cenário do estado do Rio de Janeiro

O estado do Rio de Janeiro está inserido na RH – Atlântico Sudeste (ASD) e a Figura 5 resume as demandas totais de retirada de água desta região para diversos setores. De modo distinto do comportamento nacional, a RH – ASD tem um maior uso de água do setor abastecimento urbano (44,8%), seguido da irrigação (24,1%), termelétrica (12,6%) e indústria (9,3%) que, juntos, correspondem a 90,8% da água demandada (ANA, 2019).

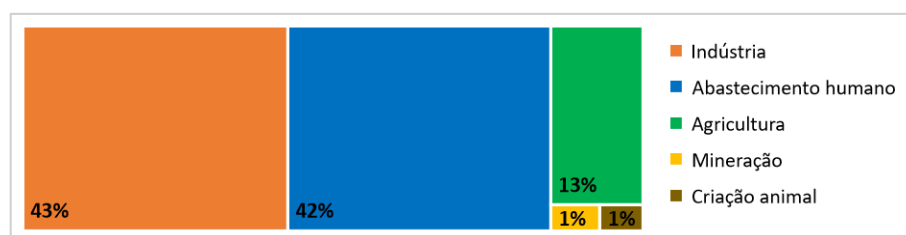
Figura 5 – Demandas de uso da água para a Região Hidrográfica Atlântico Sudeste (ASD)



Fonte: Elaboração própria com dados da ANA, 2019.

O estado do Rio de Janeiro diverge do cenário brasileiro no quesito demanda hídrica, uma vez que o setor agropecuário prevalece como setor de maior uso de água no país, enquanto as demandas mais elevadas no estado são destinadas ao abastecimento humano e a indústria, que correspondem a 85% da demanda total (INEA, 2014) (Figura 6).

Figura 6 – Demanda de uso da água para o estado do Rio de Janeiro



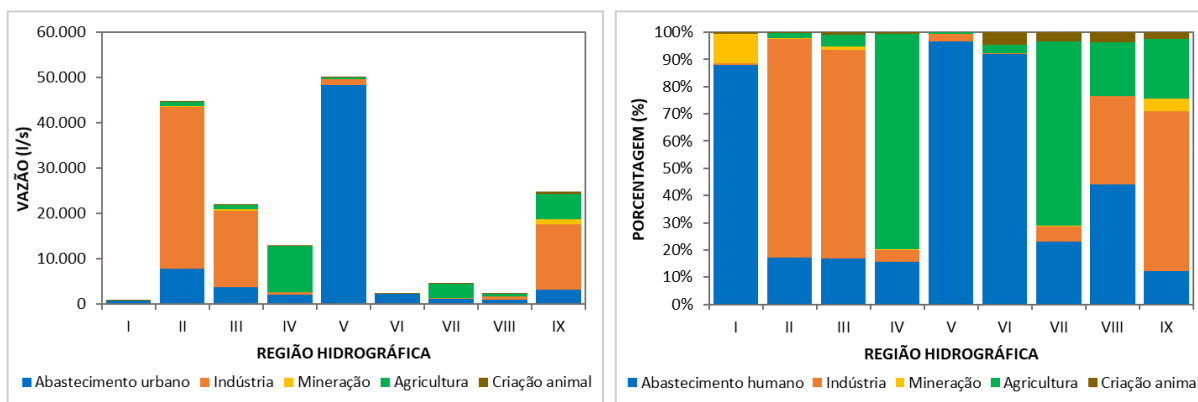
Fonte: Elaboração própria com dados do INEA, 2014.

A demanda hídrica por setor usuário nas regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro apresenta perfis distintos (Figura 7). As regiões Guandu (RH – II) e Baía de Guanabara

(RH – V) são responsáveis pela maior vazão demandada do estado, com $44.710,44 \text{ l.s}^{-1}$ e $50.021,87 \text{ l.s}^{-1}$, respectivamente (INEA, 2014).

Para Fernandes *et al.* (2015), a RH – II abriga indústrias relevantes responsáveis pela metade da demanda deste setor no estado, seguida da RH – III e RH – IX. A alta demanda industrial da RH – II é justificada pelo alto consumo das termelétricas, bem como por indústrias localizadas no Rio Guandu e Canal de São Francisco. A RH – V apresenta a maior demanda voltada para o setor abastecimento humano e corresponde a, aproximadamente, 70% da demanda para abastecimento do estado, com água captada do Rio Guandu para atender a demanda da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). O setor agrícola é mais representativo, quanto a maior demanda hídrica na RH – IV, seguida da RH – VII (ambas localizadas majoritariamente na região Serrana) e IX (noroeste do estado) (Figura 7).

Figura 7 – Demandas de uso da água nas regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro



(a) Demanda expressa em vazão (m^3/s)

(b) Demanda expressa em porcentagem (%)

Fonte: Elaboração própria com dados do INEA, 2014.

1.4 Segurança hídrica

1.4.1 Conceito e visão geral

A Segurança Hídrica (SH) visa garantir a disponibilidade de água em qualidade e quantidade adequadas, a fim de atender as necessidades essenciais do ser humano e assegurar o seu bem-estar, como também auxiliar o desenvolvimento das atividades socioeconômicas e conservar os ecossistemas (ANA, 2019; UN-WATER, 2013).

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômica (OECD, 2013) aborda o conceito de SH sob a ótica do risco, ou seja, aceitar um nível de risco hídrico. Para obter a segurança hídrica, devem ser mantidos os níveis aceitáveis em 4 (quatro) riscos:

(1) risco de escassez, inclui as secas e diz respeito à ausência de água suficiente que atenda a demanda exigida pelos múltiplos usos da água;

(2) risco de qualidade inadequada de água, indica situações de qualidade de água considerada inadequada, no atendimento aos usos determinados;

(3) risco de excesso, engloba as inundações e quando os níveis de água ultrapassam os limites de um sistema construído ou natural; e

(4) risco de comprometer a resiliência dos sistemas de água doce, quando às condições de segurança hídrica se tornam difíceis de serem recuperadas ou retornarem à situação pré-estabelecida.

A insegurança hídrica é desencadeada pelo acréscimo populacional, maior exigência de água para atender a demanda do crescimento econômico, alterações climáticas e por eventos hidrológicos extremos. A junção desses fatores com planejamento inadequado e a falta de investimento em saneamento e infraestrutura hídrica prejudicam o alcance da condição de equilíbrio no uso dos recursos hídricos (ANA, 2019).

As variações climáticas constituem problemas de elevada complexidade, uma vez que as consequências dessas mudanças resultam em impactos no âmbito global. De modo direto, o ciclo hidrológico está associado às mudanças do clima e, por este motivo, espera-se que o aquecimento da atmosfera resulte em alterações no regime de chuva e provoque um aumento na ocorrência da frequência de eventos hidrológicos extremos, como períodos de seca e inundações urbanas. Esta alteração nos padrões das precipitações pode afetar consideravelmente a disponibilidade da vazão dos rios, como também a distribuição temporal do escoamento desses corpos d'água, em atendimento às necessidades humanas e de preservação dos ecossistemas naturais (ANA, 2016).

O volume total escoado permanecerá estável, de forma geral, isto é, a disponibilidade hídrica superficial será mantida sem grandes variações nas décadas posteriores, devido ao dinamismo do sistema fechado do ciclo hidrológico global. Entretanto, haverá desigualdade do escoamento, quanto à distribuição espacial, pois diversas regiões que enfrentam o estresse hídrico vivenciarão à escassez. Além disso, estima-se que a redução do escoamento afetará, de modo mais expressivo, os países menos desenvolvidos, onde a água é fundamental no atendimento aos usos na agricultura e geração de energia (WBG, 2016).

O Fórum de Economia Mundial (WEF, 2019) define risco global como um evento de condição incerta capaz de ocasionar um relevante impacto negativo para diversos países ou indústrias nos próximos 10 anos, caso ocorra. Em seu 14º relatório sobre o tema, a escassez hídrica foi listada como um dos 5 (cinco) riscos globais de potencial impacto para a próxima década. Isto significaria uma redução na qualidade e quantidade de água doce disponível, com danos previstos para a saúde humana e atividades socioeconômicas.

O Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF, 2021) cita que a escassez de água ocorre quando a demanda de água supera a oferta, como também quando a disponibilidade dos recursos hídricos atinge ou excede os limites sustentáveis, e se divide em escassez física e econômica. A primeira está relacionada com exploração excessiva dos recursos hídricos para diversos usos e a população não tem mais as suas necessidades atendidas, enquanto a última sucede de uma gestão inadequada dos recursos hídricos a partir de uma governança má qualificada e limitação no investimento e na infraestrutura.

Estima-se que 1,6 bilhões de pessoas residem em países que apresentam escassez física de água, sendo que este número pode duplicar em apenas duas décadas (WBG, 2016). Além disso, alerta-se que a demanda mundial por água deve crescer em torno de 20 a 30% ao ano até 2050. Este aumento na demanda terá influência do aumento populacional e padrão de vida mais elevado, como também haverá crescimento na demanda de alimentos e de energia (UNICEF, 2021).

1.4.2 Cenário brasileiro

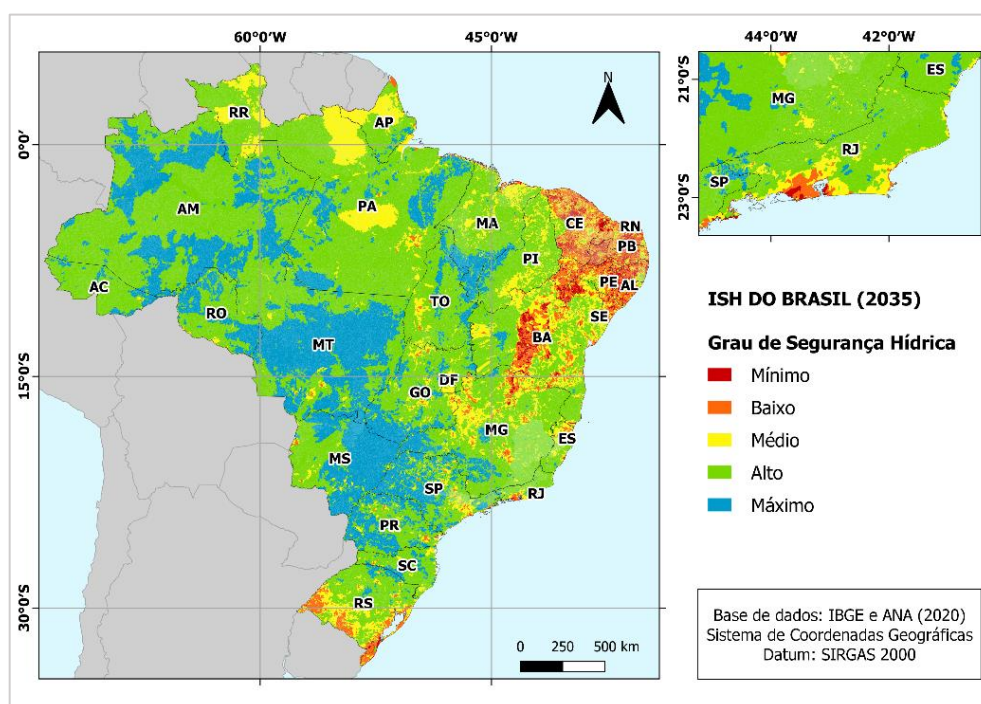
Na abordagem do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), criado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), foi desenvolvido o Índice de Segurança Hídrica (ISH) a partir da combinação de 4 (quatro) dimensões: humana, econômica, ecossistêmica e de resiliência. As duas primeiras dimensões possibilitam calcular os *déficits* de atendimento às demandas de abastecimento humano e do setor produtivo, enquanto as demais dimensões revelam as áreas de maior vulnerabilidade e criticidade. Este índice visa retratar as diferentes condições de segurança hídrica no território brasileiro, sob a perspectiva da infraestrutura hídrica (MDR, 2021).

Os indicadores de cada dimensão que compõe o ISH são (ANA, 2019):

- Humana: garantia de água para abastecimento;
- Econômica: (i) garantia de água para irrigação e pecuária e (ii) garantia de água para atividade industrial;
- Ecológica: (i) quantidade adequada de água para usos naturais, (ii) qualidade adequada de água para usos naturais e (iii) segurança das barragens de rejeito de mineração;
- Resiliência: (i) reservação artificial, (ii) reservação natural, (iii) potencial de armazenamento subterrâneo e (iv) variabilidade pluviométrica.

O cenário de segurança hídrica do território brasileiro projetado para o ano 2035 considera apenas a atual infraestrutura hídrica em operação existente, com o acréscimo da demanda de água em função dos usos setoriais. Isto possibilitou a elaboração de um mapa que represente o grau de segurança hídrica no Brasil, caso nenhuma medida nova para gestão de recursos hídricos seja adotada (MDR, 2021). A representação futura ou de atendimento ao cenário de 2035 da segurança hídrica no Brasil é ilustrada na Figura 8.

Figura 8 – Índice de Segurança Hídrica do Brasil – Cenário 2035



Fonte: Elaboração própria com dados da ANA, 2020 e do IBGE, 2020.

A segurança hídrica mais elevada será proveniente de uma disponibilidade hídrica natural associada a uma menor pressão das demandas setoriais. Em contrapartida, o grau de segurança hídrica para a região Nordeste será mínimo, caracterizado pelo clima semiárido que apresenta baixa disponibilidade de água por causa dos cursos d'água intermitentes e pluviometria variável. A baixa segurança hídrica na região sul do Rio Grande do Sul está associada a pressão sobre os recursos hídricos para lavouras de arroz pelo método de irrigação por inundação, além de grande variabilidade pluviométrica (ANA, 2019).

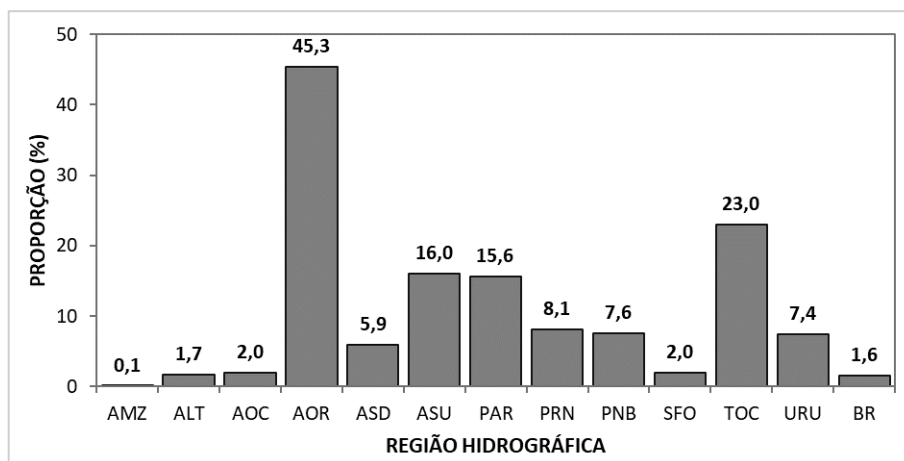
As elevadas demandas de água exigidas pelos aglomerados urbanos das Regiões Metropolitanas (RM), somadas a má qualidade das águas devido à ausência de tratamento adequado dos esgotos domésticos, resultam em um baixo nível de segurança hídrica nessas áreas. A dificuldade do abastecimento de água nessas regiões de grande dinamismo econômico e produtivo é derivado do uso de fontes hídricas interdependentes, em que a constante transferência de água entre as bacias pode gerar os conflitos territoriais. Além disso, normalmente, são adotados sistemas integrados que atendem várias sedes municipais de forma simultânea, exigindo uma infraestrutura hídrica com operação complexa (ANA, 2019).

A visão da ANA (2019) sobre os níveis de estresse hídrico a nível mundial indica que a situação do Brasil, quanto ao estresse, é muito inferior em relação às demais regiões do mundo, devido à elevada disponibilidade de água. A média mundial do nível de estresse hídrico em porcentagem para o ano de 2015 correspondia a 12,8%, enquanto o nível do Brasil foi de 1,6%.

A Figura 9 apresenta o nível de estresse hídrico por região hidrográfica a partir da pressão estimada nos recursos renováveis de água doce, provocada pela demanda total do país, em atendimento às suas finalidades diversas (ANA, 2022). Nota-se que as regiões hidrográficas Atlântico Nordeste Oriental (45,3 %), Tocantins – Araguaia (23,0%), Atlântico Sul (16,0%) e Paraguai (15,6%) presenciam os maiores níveis de estresse hídrico no país.

O estresse hídrico é resultante da escassez de água relacionada às condições de acesso e qualidade. O estresse evidencia-se por conflitos sobre os recursos hídricos, intensa extração ou por meio de condições precárias de saúde (UNICEF, 2021).

Figura 9 – Proporção entre a retirada de água doce e o total dos recursos de água doce disponíveis (%), ano base 2016.



Legenda: AMZ – Amazônica, ALT – Atlântico Leste, AOC – Atlântico Nordeste Ocidental, AOR – Atlântico Nordeste Oriental, ASD – Atlântico Sudeste, ASU – Atlântico Sul, PAR – Paraguai, PRN – Paraná, PNB – Parnaíba, SFO – São Francisco, TOC – Tocantins – Araguaia, URU – Uruguai, BR – Brasil

Fonte: Elaboração própria com dados da ANA, 2022.

1.4.3 Conflitos territoriais de usos dos recursos hídricos

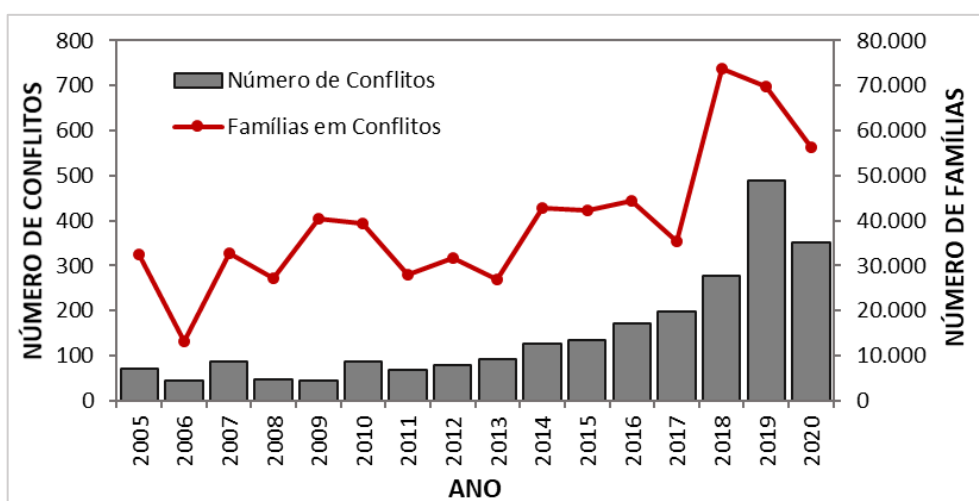
As regiões de desigualdade social que apresentam alterações na disponibilidade de água, na variabilidade pluviométrica e nas condições de crescimento econômico podem impulsionar a migração da população de zonas mais pobres para regiões mais prósperas, com o estímulo ao aumento dos conflitos sociais (WBG, 2016).

A escassez de água é vista como um propulsor de conflitos e migração, em que as crises hídricas são apontadas como a maior preocupação incentivadora de riscos sociais. A limitação dos recursos hídricos eleva os conflitos sociais, devido à maior competição, e um intenso deslocamento de populações auxilia na criação de novas demandas de abastecimento de água (UNICEF, 2021).

Mais de 3 milhões de pessoas aglomeradas em grandes áreas urbanas estarão sob a condição de estresse hídrico alto ou extremamente alto, previsto para 2030. Além disso, o aumento da urbanização será estimulado pela saída de famílias residentes em áreas rurais que tiveram seus meios de sobrevivência exauridos pela escassez hídrica (UNICEF, 2021).

Com base no levantamento de dados realizado pela Comissão Pastoral da Terra (CPT, 2021; CPT, 2020; CPT, 2019), foram registrados 350 conflitos pela água para o ano de 2020 em todo o território brasileiro, que resultaram em 56.292 famílias atingidas (Figura 10), com série histórica de 2005 a 2020. O ano de 2019 apresentou a maior quantidade de conflitos territoriais (n=489), com 69.793 famílias em conflitos, enquanto o maior número de famílias atingidas foi registrado em 2018 e correspondeu a 73.693 famílias em conflitos para 276 conflitos registrados no ano. De modo geral, nota-se um crescimento no número de conflitos e famílias atingidas ao longo dos últimos 15 anos (2005-2020).

Figura 10 – Número de conflitos e famílias em conflitos pela água no Brasil



Fonte: Elaboração própria com dados da CPT, 2010 a 2021.

Estes resultados apontam para a necessidade de atenção, quanto à existência de conflitos pela água no território brasileiro, visto que há um perfil crescente de conflitos e famílias atingidas (CPT, 2021). A ocorrência do derramamento de óleo no litoral brasileiro, com destaque para a Região Nordeste, e o rompimento da barragem da mineradora Vale S.A (CPT, 2021) favoreceram o aumento do número de conflitos observados entre 2018 e 2019 (CPT, 2020). A dificuldade em mensurar o número de atingidos pela lama de Brumadinho e pelo derramamento de óleos nas praias contribuíram para um menor registro no número de famílias atingidas, deste modo, o dado referente ao ano de 2019 tende a ser maior (CPT, 2020).

Em 2018, os grupos sociais Ribeirinhos e Pescadores foram as principais vítimas dos conflitos pela água, com 100 ocorrências para o primeiro grupo e 96 casos de conflitos para o segundo, de um total de 276 conflitos (CPT, 2019). O ano de 2020 apresentou uma queda nos casos de conflitos, mas é classificado como o segundo maior ano de conflitos pela água, com

grande parte das violações resultantes do comprometimento dos mananciais, ausência de cumprimento dos procedimentos legais e redução do acesso à água (CPT, 2021).

A análise dos conflitos pela água por região brasileira para o ano 2019 indicou que a região nordeste foi a mais impactada, com 234 conflitos que representam 47,85% da quantidade total de conflitos no país, que envolveu 32.119 famílias (46,02%). A segunda região mais afetada pelos conflitos foi a Sudeste, com 34,76 % dos conflitos ocorridos no país, seguida da região Norte (13,09%), Centro – Oeste (2,66%) e Sul (1,64%) (ANA, 2020).

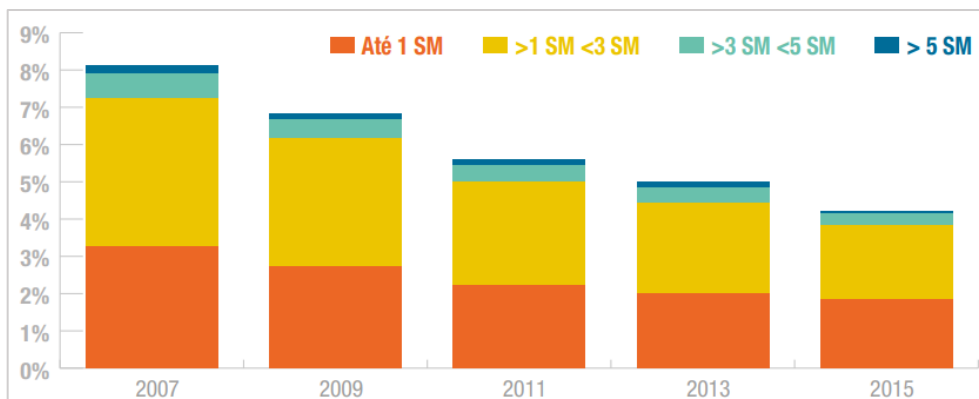
1.4.4 Vulnerabilidade hídrica na região metropolitana do Rio de Janeiro

A escassez hídrica é uma realidade em diversos lugares do mundo, no entanto, a insegurança hídrica é caracterizada como um problema de maior ocorrência nas populações mais vulneráveis. A combinação de elevados níveis de escassez física e baixos níveis de serviços de água potável resulta em uma situação de vulnerabilidade hídrica extrema que afeta uma população específica (UNICEF, 2021).

A análise realizada pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) indicou que 1,42 bilhões de pessoas no mundo, que corresponde a 450 milhões de crianças, moram em regiões de vulnerabilidade hídrica classificada como alta ou extremamente alta. Nessas áreas há a sobreposição entre uma escassez física de água e a ausência ou má qualidade dos serviços, com pontos para a coleta de água distantes em 30 minutos, em algumas comunidades (UNICEF, 2021).

No Brasil, o monitoramento da falta de abastecimento de água por faixa de renda entre os anos 2007 e 2015 constatou que houve uma redução do *déficit* de atendimento, de modo geral, calculado em 8,1 % da população em 2007 para 4,2 % em 2015. Porém, observa-se que o comportamento entre esses estratos permanece o mesmo, ou seja, a população mais afetada pela ausência de abastecimento é representada pela população de menor poder aquisitivo, com renda de até 3 salários-mínimos (ANA, 2019) (Figura 11).

Figura 11 – Déficit de abastecimento de água por faixa de renda (%) no Brasil

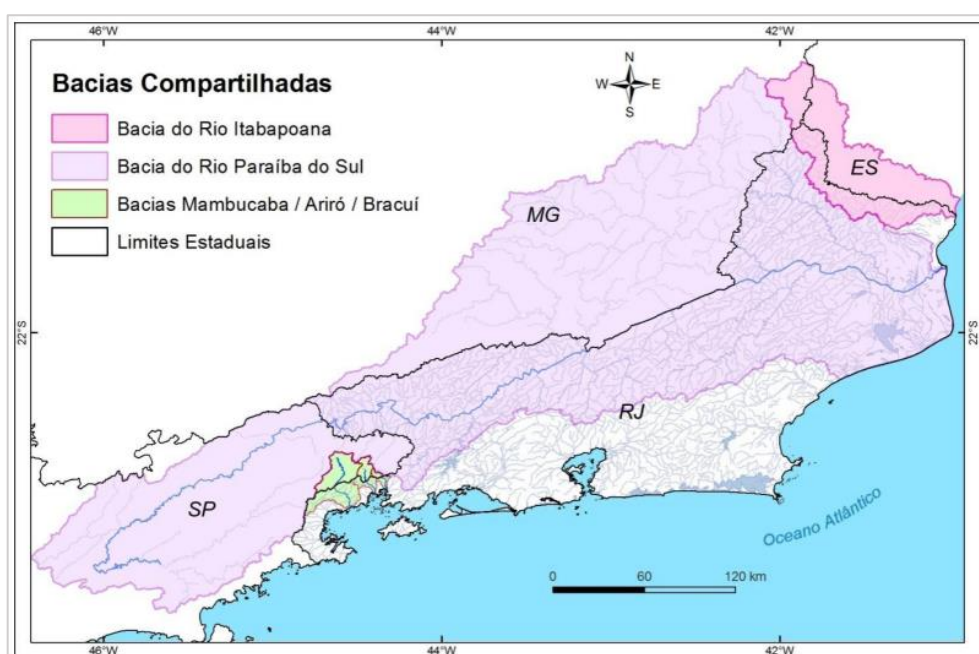


Legenda: Salário-mínimo (SM) de R\$ 954,00 (data de referência 01/01/2018)

Fonte: ANA, 2019.

O estado do Rio de Janeiro (RJ) está localizado na região Sudeste do Brasil e compartilha bacias hidrográficas com os estados de São Paulo (SP), Minas Gerais (MG) e Espírito Santo (ES), sendo a bacia do Rio Paraíba do Sul a de maior relevância, pois é responsável por abastecer a maioria da população fluminense a partir do seu manancial (INEA, 2014) (Figura 12).

Figura 12 – Bacias compartilhadas entre o estado do Rio de Janeiro e seus estados vizinhos de SP, MG e ES



Fonte: INEA, 2014.

A Metrópole do Rio de Janeiro depende intensamente dos mananciais localizados fora dos seus limites metropolitanos, devido à insuficiente disponibilidade de água com qualidade e em quantidade satisfatória no seu próprio território que atenda a uma demanda crescente de água exigida em seus municípios (BRITTO, FORMIGA-JOHNSSON E CARNEIRO, 2016).

O Sistema Integrado Guandu/Lajes/Acari abastece cerca de 83% da população metropolitana do Rio de Janeiro, com destaque para o Sistema Guandu como sendo o de maior relevância. Este sistema realiza a captação de água do rio Guandu constituído, quase exclusivamente, pela transposição das águas do rio Paraíba do Sul. A dependência expressiva da Bacia do rio Paraíba do Sul torna-se um fator de vulnerabilidade do sistema, pois esta é compartilhada com os estados vizinhos de São Paulo e Minas Gerais (FORMIGA-JOHNSSON, BRITTO, 2020; BRITTO, FORMIGA-JOHNSSON E CARNEIRO, 2016).

Para Britto, Formiga-Johnsson e Carneiro (2016), os serviços de água que contribuem com o abastecimento da maior parte dos habitantes de grandes metrópoles são pautados em uma infraestrutura centralizada e estruturada em macrossistemas em escala supramunicipal. Segundo os autores, as redes técnicas dos sistemas metropolitanos apresentam elevada centralização e fragilidade, quanto à adaptabilidade, além de fornecer uma água tratada de mesmo padrão de qualidade para os múltiplos usos.

A projeção de demandas para o estado do Rio de Janeiro para o ano de 2030 aponta a RH Baía de Guanabara como a responsável pela a maior parte demandada, justamente na região onde está localizada grande parte da população, e a RH Guandu será responsável pela segunda maior demanda. Estes dados retratam o aumento populacional urbano dos municípios que compõem a RMRJ (INEA, 2014).

Faria (2020) afirma que há uma vulnerabilidade do sistema de abastecimento da RMRJ, principalmente na porção oeste, decorrente do acréscimo populacional das grandes metrópoles em conjunto com a intensa dependência da bacia do rio Paraíba do Sul. Portanto, este cenário incentiva a procura por fontes alternativas de água.

Deste modo, a busca por alternativas no fornecimento de água pode auxiliar na gestão de recursos hídricos com a finalidade de atender usos menos exigentes, regiões e períodos de escassez prolongada ou em áreas com problemas de abastecimento de água por sistema convencional. Assim, tornam-se reduzidas as pressões sobre os mananciais e sistemas existentes, sendo possível adiar grandes investimentos quanto à expansão de sistemas convencionais de abastecimento (OBRACZKA *et al.*, 2019)

1.5 Aproveitamento de águas pluviais

1.5.1 Contextualização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais

Democratizar o acesso à água tem por finalidade o fornecimento de água em qualidade e quantidade adequadas, bem como manter um abastecimento regular, de modo que populações de diversas regiões do mundo possam obter as condições mínimas de abastecimento de água (CUNHA, 2020).

Para que o desenvolvimento social e econômico seja assegurado, a segurança hídrica torna-se uma variável imprescindível. O território brasileiro é reconhecido por suas desigualdades regionais que configuram os distintos cenários quanto ao uso da água. Assim, novas ações são essenciais para o alcance de uma gestão de oferta e demanda de água eficiente (ANA, 2019).

Os países desenvolvidos e em desenvolvimento devem rever seus modelos e políticas existentes para desfrutarem da sustentabilidade nos sistemas urbanos de água (ZANG, KUMAR, WERNER, 2020). Profissionais de vários lugares do mundo têm procurado por soluções alternativas que atendam à demanda de água de forma sustentável (ALIM *et al.*, 2020).

Neste aspecto, com o crescente fascínio por construções sustentáveis que recorrem ao uso da água de forma mais inteligente, a captação de água de chuva é considerada uma técnica capaz de reduzir a pressão sobre o uso de água potável (CARDOSO, BLANCO, DUARTE, 2020). Além disso, a captação de água pluvial é apontada como uma das melhores técnicas de conservação de água (PALA *et al.*, 2021).

Nicolau e Carmo (2017) sugerem o aproveitamento de água pluvial como uma fonte alternativa de abastecimento de água, devido à potencial capacidade de atender uma parcela da demanda hídrica para usos menos nobres, para que a água de melhor qualidade seja destinada a usos mais exigentes.

Otoni, Costa e Carvalho (2017) avaliam a água de chuva como uma excelente oportunidade de gerar expressiva economia de recursos naturais e financeira. Para os autores, a possibilidade de usar a água de chuva para fins diversos poupa a reserva de água potável mundial, combate à escassez, minimiza a irregularidade da distribuição de água em diversas regiões, além de auxiliar na redução de inundações, alagamentos e contribuir com a preservação do meio ambiente.

Cechetto *et al.* (2015) acreditam que o desenvolvimento urbano de qualidade pode ser alcançado por meio da adoção de ações sustentáveis em habitações de interesse social, destinadas à população de baixa renda. O aproveitamento de água pluvial em piscinões comunitários atua como uma das medidas a serem agregadas à moradia de caráter social.

A viabilidade de um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais é dependente de diversos fatores, como padrão climático da região, custo e disponibilidade do material empregado, custo da mão de obra e tratamento requerido (ALIM *et al.*, 2020). Deste modo, torna-se relevante conhecer os pontos positivos e negativos que englobam os sistemas de captação de águas pluviais.

Para Pala *et al.* (2021) são consideradas como vantagens da implantação de sistemas de águas pluviais: a facilidade de manutenção do sistema; a independência do abastecimento de água, a simplicidade da tecnologia implementada; o aumento do nível do lençol freático; o auxílio nos tempos de seca e a produção de água para consumo pela humanidade por meio de uma filtragem adequada. Como desvantagens, destacam-se: a imprevisibilidade da chuva, não indicada para áreas com escassa pluviosidade; elevado custo de instalação; necessidade de manutenção periódica para um bom funcionamento; possibilidade de crescimento de algas e outros microrganismos; grande área a ser ocupada pelo tanque de armazenamento; a poluição do ar e as condições atmosféricas, que podem gerar grandes variações na qualidade da água e dificultar o processo de tratamento e atendimento aos limites estipulados por legislações e normas vigentes, como NBR 15527/2019 (ABNT, 2019) e Portaria GM/MS nº 888.2021 (BRASIL, 2021).

A preocupação quanto à adoção de um sistema de aproveitamento de águas pluviais não deve ser em função apenas da quantidade de água que o sistema é capaz de fornecer, mas também em relação à qualidade da água armazenada no reservatório para distribuição aos pontos de consumo, que é influenciada pela operação e a manutenção do sistema. Por isso, é fundamental que ações sejam tomadas, quanto às diretrizes ao proprietário em realizar a manutenção do sistema de armazenamento das águas pluviais de maneira periódica, bem como de ações e políticas públicas como medidas de promoção no uso das águas pluviais (ALIM *et al.*, 2020).

O subsídio e apoio financeiros podem fomentar iniciativas de coleta e aproveitamento de água de chuva, caracterizada como uma medida emergencial para que as cidades sejam resilientes às mudanças climáticas (THOMAS, RIVERO, ALMEIDA, 2019).

No Brasil, o incentivo à captação, preservação e aproveitamento de águas pluviais passou a ser objetivo da Lei das Águas, após a publicação da Lei nº 13.501/2017 (BRASIL,

2017) que alterou o art. 2º da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), com o acréscimo do inciso IV sobre o tema de águas pluviais. Contudo, não são abordados instrumentos de gestão para o alcance deste objetivo em específico.

Sob este aspecto, Drummond *et al.* (2021) constataram 56 leis sobre águas pluviais no território brasileiro, com 27 leis estaduais e 29 leis municipais, o que representa um avanço e incentivo quanto à adoção de programas destinados captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais em edificações no país, desde 2003. Entretanto, apesar da preocupação com as medidas de controle e qualidade da água de chuva a ser utilizada, não houve um consenso sobre os usos pretendidos para essas águas. Assim, os autores concluíram que há uma necessidade de atualizar e revisar as leis vigentes, de modo a favorecer e aprimorar a gestão das águas pluviais.

1.5.2 Potencial de uso de água de chuva no Rio de Janeiro

Ribeiro (2016) desenvolveu um estudo de estimativa do potencial uso de água de chuva na cidade do Rio de Janeiro, com a finalidade de apontar a coleta de água de chuva como uma alternativa para alcançar a resiliência hídrica na cidade. O cálculo foi elaborado a partir da estimativa da quantidade de água de chuva que incide sobre os telhados e do volume a ser abatido da água consumida fornecida pela Companhia Estadual de Águas e Esgoto (CEDAE), responsável pelo abastecimento de 91% da população.

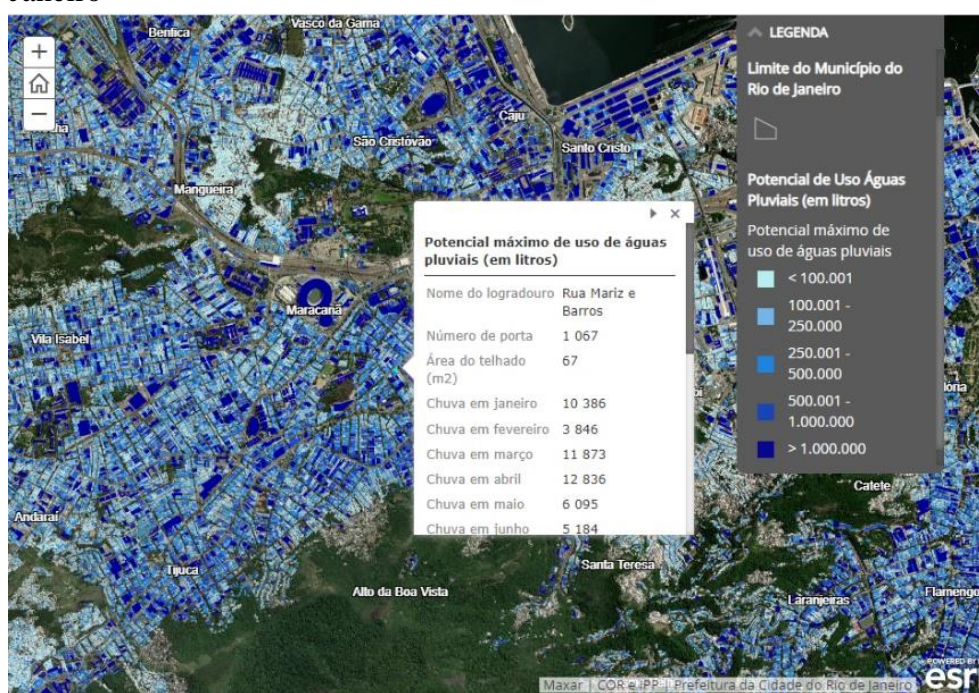
O modelo do trabalho indicou que a cidade do Rio de Janeiro apresentou um potencial de economia média mensal de 25 % no uso de água de chuva. Este valor reduziria um quarto do uso de água potável direcionada para fins menos nobres, ou não indicada para consumo direto humano. O autor pontuou sobre a necessidade de incentivar a descentralização e a diversificação das fontes de água do município, como também de buscar por uma gestão hídrica integrada a fim de garantir um aumento da segurança hídrica, equilíbrio do ciclo hidrológico e regularizar o balanço hídrico local (RIBEIRO, 2016).

Com base neste estudo elaborado por Ribeiro (2016), a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro construiu o Mapa de Uso de Água de Chuva capaz de indicar o potencial que a cidade tem para utilizar a água de chuva e permitir que a população tenha acesso ao modelo elaborado, a fim de propagar o conhecimento sobre a possibilidade de implementar um sistema em sua

residência. O projeto foi elaborado a partir da parceria entre o departamento Rio Resiliente, Instituto Pereira Passos (IPP) e o PENSA – Sala de Ideias (PCRJ, 2017).

A Figura 13 ilustra a interface e as informações contidas no mapa de uso de água de chuva. Ao identificar a residência, são disponibilizadas informações, como: logradouro, área do telhado e o potencial mensal e anual do uso de águas pluviais em litros. É possível também identificar a intensidade do potencial de uso por meio de uma escala na cor azul, com o azul mais forte indicando maior potencial (PCRJ, 2017).

Figura 13 – Interface do mapa de uso de água de chuva na cidade do Rio de Janeiro



Fonte: PCRJ, 2022.

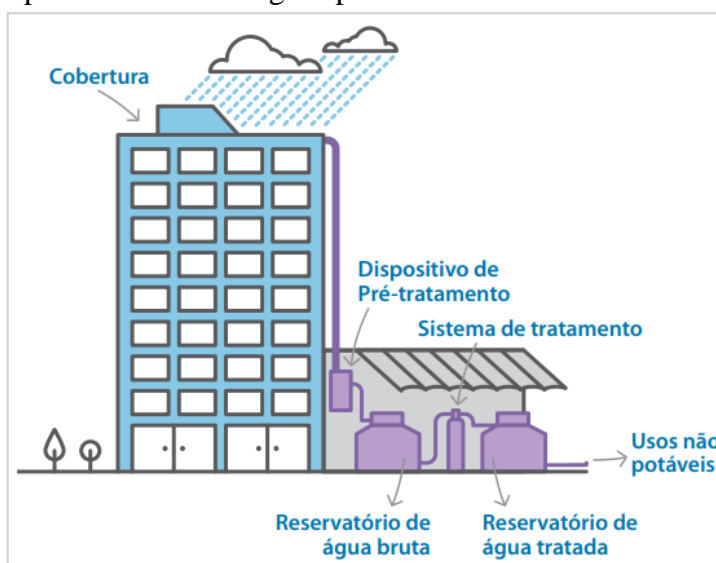
1.6 Sistema de águas pluviais

Os sistemas de águas pluviais são sistemas descentralizados, normalmente destinados a usos não potáveis e empregados para complementar os sistemas convencionais de abastecimento de água. A adoção deste tipo de sistema é dependente de diversos fatores, como: a disponibilidade de água fornecida por fontes convencionais, custo da água, condições climáticas e sociais, apoios financeiro e institucional, bem como o tipo de instalação (SŁYŚ, STEC, 2020).

Portanto, este tipo de sistema é caracterizado como um sistema alternativo que possibilita o abastecimento de água por meio da captação e armazenamento da água precipitada (BARBOZA JÚNIOR, CABRAL, 2019).

Normalmente, a estrutura do sistema de águas pluviais (Figura 14) é composta por uma superfície de captação, etapa de pré-tratamento, reservatório de armazenamento e distribuição para uso nas edificações. Entretanto, os sistemas também podem conter uma etapa de tratamento após o armazenamento, quando houver necessidade (CBIC, 2019), de acordo com a finalidade do uso.

Figura 14 – Elementos que constituem um sistema de aproveitamento de águas pluviais.



Fonte: CBIC, 2019.

As superfícies de captação das edificações interceptam a água precipitada que é direcionada para as calhas e condutores horizontais e verticais por meio do escoamento. A água segue o percurso até o sistema de pré-tratamento, composto por dispositivos que visam a remoção primária de sólidos, como grades ou telas e sistema de descarte inicial, denominado *first flush*. Após esta etapa, a água é conduzida para um reservatório que armazenará a água de chuva e possibilitará o uso da água captada (BARBOZA JÚNIOR, CABRAL, 2019; OLIVEIRA, 2020).

A área de captação de um sistema de águas pluviais corresponde a área de cobertura superficial por onde a água precipitada é captada e escoada, expressa em metros quadrados (ABNT, 2019), como os telhados, que são superfícies de captação constituídas por materiais distintos de cerâmica, fibrocimento, zinco, plástico ou concreto armado (SOUZA, 2019).

As calhas têm por objetivo recolher a água captada pela área de captação (BARBOZA JÚNIOR, CABRAL, 2019) e conduzi-la para os condutores horizontais e verticais que irão transportar a água de chuva coletada até o reservatório (SOUZA, 2019).

Na etapa de pré-tratamento, a NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019) recomenda a instalação de dispositivos do tipo grade e tela à montante da etapa de reservação, a fim de reter ou desviar detritos, folhas e insetos, bem como prevenir a deterioração da água armazenada no reservatório. Esta recomendação está associada ao carreamento de sólidos por meio do escoamento da água de chuva pela cobertura, devido ao acúmulo de partículas à superfície durante o período em que não houve precipitação (CBIC, 2019).

Ainda na etapa de pré-tratamento, a NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019) instrui quanto à necessidade de instalação de dispositivo de descarte de escoamento inicial, com a intenção de melhorar a qualidade da água e reduzir os sólidos suspensos e dissolvidos. Este volume a ser descartado deve ser dimensionamento pelo projetista, contudo, recomenda-se que seja descartado 2 mm de precipitação inicial, na ausência de dados. Este descarte de escoamento superficial, conhecido como *first flush*, desvia os primeiros milímetros de chuva, responsáveis pela limpeza da cobertura utilizada para captação (CBIC, 2019).

O reservatório de armazenamento de água de chuva é considerado o componente de maior custo do sistema. No decorrer dos últimos anos, foram desenvolvidos diferentes modelos de reservação, porém, a escolha do tipo de tanque a ser instalado depende de fatores, como: área superficial disponível para captação, frequência e quantidade da precipitação pluviométrica, demanda a ser suprida, estética, preferência pessoal, vida útil esperada, viabilidade local, tipo de material, técnica de construção e custo (MOHAMMED *et al.*, 2018; TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, 2005). Sugere-se que os reservatórios estejam instalados próximo aos pontos de oferta e demanda, para diminuir a distância a ser percorrida para o transporte da água armazenada (TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, 2005)

A NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019) cita que há a necessidade de proteger o reservatório de água de chuva da luz solar direta e de outras fontes de calor. Além disso, este tanque deve ser seguro, fechado, evitar entrada de animais e deve conter extravasor, dispositivo de esgotamento, inspeção e ventilação. O esgotamento pode ser realizado por gravidade ou por bombeamento, e o volume não aproveitável pode ser descartado nas galerias de águas pluviais, na via pública ou ser total ou parcialmente infiltrado.

A depender da qualidade exigida e da finalidade do uso do aproveitamento de água de chuva, torna-se fundamental a adoção de tratamento adicional ao sistema a partir de processos físicos e/ou químicos, para garantir as condições de padrão de qualidade requerido. Esta etapa

é importante quando o sistema de pré-tratamento não demonstrar eficiência no atendimento aos padrões requeridos, para um determinado tipo de uso (CBIC, 2019; ABNT, 2019).

Os sistemas de águas pluviais têm elevada durabilidade, desde que construídos de forma correta e com adequada manutenção. Portanto, deve-se atentar aos cuidados, como avaliar a presença de vazamentos no sistema, evitar que os materiais sejam danificados e impedir a contaminação da água (GROWN NYC, 2018).

Deste modo, é imprescindível a manutenção do sistema como forma de assegurar qualidade satisfatória da água pluvial, manter a vida útil e o adequado funcionamento do sistema. Assim, é aconselhado uma limpeza regular das calhas, condutores, filtros e reservatórios, bem como realizar a manutenção preventiva dos equipamentos hidráulicos (SANT'ANA, MEDEIROS, SANTOS, 2018).

Atualmente, há diferentes modelos de sistemas de captação de água de chuva adotados no mundo, com custo variável em função da sua complexidade e da tecnologia empregada, com a possibilidade de ser realizado em pequenas e grandes escalas. O fato comum desses sistemas está relacionado com o uso da água precipitada para complementar o fornecimento de água (MOHAMMED *et al.*, 2018).

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais podem ser do tipo isolado ou integrado. O primeiro é considerado de baixo custo de instalação e apresenta facilidade quanto à adaptação predial, pois são independentes e limitados a usos externos. O segundo tipo de sistema é caracterizado pela necessidade de maior investimento, entretanto, estão associados a maiores economias pelo uso da água captada em sistemas externos e internos das edificações (SANT'ANA, MEDEIROS, SANTOS, 2018).

1.7 Qualidade das águas pluviais

1.7.1 Caracterização geral da água da chuva

Alim *et al.* (2019) caracterizam a água de chuva como uma das fontes mais seguras de água limpa, exceto pelo contato com a superfície de captação e poluição atmosférica. Segundo os autores, a água de chuva é uma opção renovável e sustentável, considerada ideal para múltiplos usos domésticos e paisagísticos.

Apesar de ser apontada como uma água naturalmente limpa, o contato com a área da superfície de captação resulta na contaminação do volume efetivo precipitado, por meio da incorporação de sedimentos, patógenos, metais e matéria orgânica. O ambiente ao redor do sistema de águas pluviais, como proximidade de árvores e indústrias, é um fator que ocasiona a alteração na qualidade da água de chuva coletada (ALIM *et al.* 2020).

Sant’Ana, Medeiros e Santos (2018) estão de acordo quanto à contaminação das águas pluviais devido ao contato com certas impurezas e destacam: poeira, terra, pólen, folhas, galhos e fezes de animais. Os autores citam que a localização geográfica, a presença de vegetação e de carga poluidora, os elementos e seus fatores meteorológicos e a sazonalidade são variáveis responsáveis pela modificação da qualidade das águas pluviais.

Os tipos de contaminante encontrados nas águas pluviais, suas fontes e riscos de contaminação são apresentados, segundo Sant’Ana, Medeiros e Santos (2018):

- Poeira e cinzas: provenientes da sujeira do meio, da vegetação e de atividade vulcânica. O risco de contaminação é moderado e pode ser minimizado pela limpeza regular da calha e do telhado, e a partir do uso de dispositivos de separação do volume inicial precipitado;
- Bactérias: encontradas em fezes de pássaros e outros animais, com risco classificado como moderado. A presença desse contaminante pode ser minimizada com o bloqueio do escoamento pelo telhado e manutenção no reservatório de acumulação;
- Larva de mosquito: decorrente de ovos de mosquitos em calhas e reservatórios. O risco de contaminação é moderado, sendo que os riscos podem ser reduzidos caso haja o fechamento adequado dos reservatórios;
- Metais tóxicos: as poeiras, particularmente em áreas urbanas e industrializadas, e os materiais do próprio telhado podem ser uma fonte de contaminação. O risco foi definido como baixo, devido ao recorte do cenário para situações em que os resíduos industriais são transportados pelo vento, como metais fundidos e/ou com chuvas muito ácidas;
- Outros componentes inorgânicos: encontram-se pontuados como fontes de compostos inorgânicos, as descargas industriais no ar, sal e minerais provenientes do mar, uso inadequado de reservatórios e materiais de telhados. O risco é baixo pois ocorre apenas em regiões próximas ao mar ou com o deslocamento de materiais de atividades industriais pelo vento.

Diversos estudos investigaram a presença de metais nas amostras de água de chuva a fim de caracterizá-las. Silva *et al.* (2020) analisaram a composição química da água de chuva (Ca, Cd, Cu, Na, Ni, Fe, K, Mg, Pb, Zn) e constataram que a água coletada diretamente da atmosfera teve baixa concentração de metais, contudo, a concentração de metais acima dos valores máximos permitidos para o padrão de potabilidade foi identificada nos primeiros milímetros de chuva armazenados após contato com a superfície de captação. O descarte inicial contribuiu com a redução da concentração de metais encontrados na água armazenada para consumo, mas não foi suficiente para manter as concentrações dentro dos limites exigidos na Portaria nº 05/2017 do Ministério da Saúde, adotada no estudo.

Chubaka *et al.* (2018) afirmam que em regiões da Austrália, a água de chuva é adotada para fins potáveis e que estudos realizados na região apontam para níveis de metais acima do permitido nos limites de potabilidade australianos. Os elementos chumbo, zinco, cobre e cádmio estiveram acima do permitido para usos mais nobres em várias amostras de águas pluviais.

Os autores Chubaka *et al.* (2018) também avaliaram a potencial contaminação microbiológica da água de chuva e verificaram que havia *Escherichia coli* (*E. coli*) em 28 (vinte e oito) tanques de armazenamento de água de chuva, de um total de 53 (cinquenta e três) tanques analisados. Além disso, as concentrações superavam o limite permitido para recreação. Os tanques com sistema filtrante não foram bem sucedidos na completa remoção de *E. coli*, contudo, a filtração realizada em laboratório com cartucho comercial de 0,45 µm foi capaz de remover a bactéria das amostras de águas pluviais com sucesso. Assim, o estudo demonstrou baixa qualidade microbiológica da água para ingestão de consumo humano direto, portanto, considerado preocupante devido ao emprego da água de chuva coletada como fonte de água potável por diversas famílias.

Hamilton *et al.* (2019) apontaram a presença de patógenos presentes na água de chuva, como *Salmonella spp.*, *Vibrio spp.*, *E. coli*, *Staphylococcus spp.*, *Cryptosporidium spp.* e *Giardia spp.* Apesar da literatura sobre aproveitamento de águas pluviais indicar a presença de microrganismos nas águas de chuva, os autores acreditam que as interações microbianas nesses sistemas para fins domésticos e nos tanques de armazenamento são pouco estudadas. Mas também concluem que o risco de contaminação pode ser minimizado com projetos eficazes e por meio dos métodos de tratamento existentes, como: desinfecção solar, desinfecção química, filtração e desvio de primeira carga.

1.7.2 Possíveis usos da água de chuva e padrões de qualidade

Os usos não potáveis abrangidos na NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019) são descargas de bacias sanitárias e mictórios, irrigação para fins paisagísticos, lavagem de pisos, lavagem de veículos, reserva técnica de incêndio, sistemas de resfriamento de água e uso ornamental, como chafarizes, fontes e lagos. Os parâmetros de qualidade e tratamento para sistema de resfriamento de água não estão englobados nesta norma. Para demais usos, devem-se analisar os parâmetros de qualidade a serem considerados e realizar um tratamento de acordo com a especificidade de cada caso.

Os parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis previstos na NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019) são *Escherichia coli*, turbidez, pH (Tabela 3). Pode-se adotar o uso de cloro, ozônio, ultravioleta ou outras tecnologias para desinfecção da água de chuva antes de utilizá-la, a depender dos critérios de projeto. Recomenda-se uma concentração de 0,5 a 2,0 mg. L⁻¹ de cloro residual, caso o tratamento faça uso de cloro, com valor máximo permitido de 5 mg. L⁻¹. Além disso, outros parâmetros de qualidade devem ser monitorados, de acordo com os materiais e equipamentos, conforme orientado pelo fabricante.

Tabela 3 – Parâmetros de qualidade para usos não potáveis de água de chuva

Parâmetro	Unidade	Valor Permitido
<i>Escherichia coli</i>	NMP /100 mL	< 200
Turbidez	UNT	< 5,0
pH	-	6,0 a 9,0

Fonte: ABNT, 2019.

Além dos usos citados pela NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019) para fins não potáveis, a NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) complementa o uso de fontes alternativas não potáveis para lavagem de logradouros, pátios, garagens e áreas externas, como também arrefecimento de telhados. A fim de garantir o uso seguro da água não potável, a NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) estabeleceu limites para os parâmetros pH, *Escherichia coli*, turbidez, DBO_{5,20}, cloro residual livre, sólidos dissolvidos totais ou condutividade elétrica e carbono orgânico total (Tabela 4).

Tabela 4 – Parâmetros de qualidade para usos não potáveis de fontes alternativas

Parâmetro	Unidade	Valor Permitido
pH	-	6,0 a 9,0
<i>Escherichia coli</i>	NMP / 100 mL	≤ 200
Turbidez	UNT	≤ 5
DBO _{5,20}	mgO ₂ . L ⁻¹	≤ 20
Cloro Residual Livre (CRL)	mg. L ⁻¹	0,5 a 5,0
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) ou Condutividade Elétrica	mg. L ⁻¹ ou $\mu\text{S.cm}^{-1}$	≤ 2.000 ou ≤ 3.200
Carbono Orgânico Total (COT)	mg. L ⁻¹	< 4

Fonte: ABNT, 2019.

Segundo Zanella (2015), a água de chuva captada para aproveitamento não é analisada de acordo com o padrão de potabilidade estabelecido por lei, que visa assegurar qualidade para o uso mais nobre. Assim, deve-se optar sempre pela água que apresenta a melhor qualidade disponível para os usos mais restritivos. Para garantir segurança ao consumidor, o autor ressalta que a água fornecida pelos serviços de abastecimento é a melhor opção para consumo potável, como beber e cocção de alimentos.

Mas, em situações extremas de distribuição atípica e ausência de água com qualidade superior, a água de chuva pode ser indicada para outros usos como tomar banho, lavar roupa e lavar louça, sendo necessário acrescentar uma etapa de tratamento, além da coleta e armazenamento (ZANELLA, 2015). Biswas e Mandal (2014) acreditam que água de chuva coletada têm um padrão aceitável para água potável e pode ser utilizada para cozinhar, lavar, tomar banho e beber.

Em regiões de baixa ou nenhuma disponibilidade de água potável, é comum o armazenamento de água de chuva em reservatórios para o suprimento das famílias. Nestes casos, o aproveitamento da água de chuva é utilizado para cozinhar, lavar alimentos, beber e escovar dentes. Porém, recomenda-se a adoção de certos cuidados, como não adotar reservatórios de amianto, descartar os primeiros milímetros de chuva, realizar a manutenção do sistema e a desinfecção da água com hipoclorito de sódio (FUNASA, 2014).

A água potável é definida pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021) como a água que não apresenta risco à saúde e que atenda aos limites referentes ao padrão de potabilidade. Além disso, a água para consumo humano refere-se à adoção da água potável para ingestão, preparação de alimentos e higiene pessoal. O padrão organoléptico indica limites de

referência para parâmetros de qualidade que causam estímulos sensoriais, normalmente associados a dificuldade de aceitação da água para consumo humano e não apresenta um risco à saúde humana, necessariamente (BRASIL, 2021). Alguns parâmetros organolépticos são indicados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros de qualidade para padrão organoléptico de potabilidade

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido
Cloreto	mg. L ⁻¹	250
Cor Aparente	uC	15
Dureza Total	mg. L ⁻¹	300
Gosto e Odor	Intensidade	6
Sólidos Dissolvidos Totais	mg. L ⁻¹	500
Turbidez	UNT	5

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2021.

1.8 Tratamento de águas pluviais

O acúmulo de contaminantes ocorre sobretudo nos dias sem chuva e a remoção acontece quando a água de chuva precipitada realiza a lavagem da atmosfera e da superfície de captação. Somado a este fato, um sistema de armazenamento que não esteja protegido e a ausência de manutenção também comprometem as condições da água captada. Assim, como forma de melhorar a qualidade da água a ser armazenada, os primeiros milímetros de água precipitada são desviados do reservatório, por apresentarem qualidade inferior (ANDRADE NETO, 2013).

Portanto, mesmo que o aproveitamento de águas pluviais seja para usos menos nobres, sua utilização direta sem tratamento pode ser inviabilizada, pela alta carga de poluentes carregados (ROCHA, REIS, ARAÚJO, 2011).

Dalpaz *et al.* (2019) consideram o descarte do escoamento inicial e a passagem da água coletada por um sistema filtrante, como duas etapas importantes no processo de tratamento da água pluvial. Capehart, Artiola e Eden (2021) afirmam que o tratamento da água de chuva é essencial, devido à necessidade de remoção de patógenos, material orgânico, poeiras e metais carregados pela limpeza da atmosfera, superfície de captação e outras vias.

A adoção de tecnologias de tratamento de águas pluviais pode contribuir com o desenvolvimento sustentável, aumentar a eficiência dos sistemas de águas pluviais e, potencialmente, minimizar os picos de escoamento urbano e a demanda de água potável (DU *et al.*, 2019).

Para Costa *et al.* (2021), o tratamento de águas pluviais tem sido realizado de diferentes maneiras, com diferentes variações dos meios filtrantes, das granulometrias, espessuras das camadas e taxas de filtração. Os autores ainda ressaltam à ausência de um padrão quanto aos parâmetros a serem monitorados e que este acompanhamento é normalmente baseado nas exigências estabelecidas por legislação de acordo com a localidade.

Assegurar que a água de chuva coletada esteja livre de contaminação e seja segura e barata são ações necessárias para tornar esta água utilizável (PRADHAN, SAHOO, 2019). Os sistemas de águas pluviais têm a capacidade de suprir com demanda de água em domicílios urbanos e rurais sem acesso à água tratada, de forma descentralizada e com baixo custo (GWENZI *et al.*, 2015).

Apesar do avanço relacionado a avaliação de distintas tecnologias de tratamento, os países em desenvolvimento encontram-se limitados, quanto ao estudo de tecnologias de tratamento que sejam eficientes, acessíveis e fáceis de manusear (REYNEKE *et al.*, 2020).

Além de desenvolver e adequar a tecnologia, também é importante aprimorar a propagação do conhecimento em educação sanitária e ambiental, assegurar a qualidade da água e estimular o avanço das ações voltadas ao aproveitamento e uso racional da água de chuva, sem comprometer as diretrizes políticas alcançadas (ANDRADE NETO, 2013).

Atualmente, existe uma variedade de filtros que possibilitam o aproveitamento de água de chuva. Dentre os diferentes modelos, encontram-se os que não necessitam de energia elétrica, os que são autolimpantes, que exigem baixa manutenção, que operam em fluxo ascendente ou descendente e filtros com materiais inovadores (DALPAZ *et al.*, 2019).

No trabalho elaborado por Dalpaz *et al.* (2019), uma gama de unidades de tratamento de águas pluviais foram identificadas, como: (1) filtro com fibras de madeira reciclada, (2) filtro de membrana metálica, (3) uso de íons de prata associado a um sistema convencional de filtração, (4) rede de náilon e rede metálica como meios filtrantes, (5) uso de geotêxtil como meio filtrante, (6) filtro de areia revestido com hidróxido de ferro, (7) filtro de areia revestida com óxido de manganês e areia revestida com óxido de ferro, (8) filtro com perlita, zeolito e alumínio ativado e (9) telhados verdes.

De maneira geral, considera-se que a tecnologia de membrana e o tratamento de águas pluviais tornaram-se tendências desde os anos 2000 com um constante crescimento de sua

utilização no decorrer dos anos. A tecnologia de membrana apresenta destaque em sistemas de tratamento de água e observa-se uma aplicação gradual desta tecnologia no tratamento de águas pluviais (LIU *et al.*, 2021). As especificações estéticas estabelecidos para qualidade de água a ser usufruída pelo consumidor, associadas à evolução das restrições regulatórias, incentivaram à procura por novas tecnologias (KOYUNCU *et al.*, 2015).

As membranas são barreiras físicas semipermeáveis capazes de separar as substâncias poluentes presentes na água pela diferença do tamanho das partículas ou moléculas, gerando um permeado purificado (CARVAJAL *et al.*, 2017, GAMARRA-CASTEÑED, 2015). O processo de separação por membranas pode ser aplicado para remoção de microrganismos, partículas coloidais ou moléculas orgânicas recalcitrantes (GIORDANO e SURERUS, 2015).

Os principais processos existentes de separação por membranas são classificados em microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose inversa (OI) (CARVAJAL *et al.*, 2017; KOYUNCU *et al.*, 2015).

O diâmetro nominal dos poros compreende uma faixa de 0,1 e 10 μm para MF e de 0,001 e 0,1 μm para UF. As membranas de microfiltração (MF) removem cistos e oocistos de protozoários, bactérias, algas, cianobactérias, zooplâncton e óxidos de ferro e manganês, enquanto a membrana de ultrafiltração (UF) é capaz de reter partículas de 0,001 e 0,02 μm , além de remover substâncias de peso molecular entre 1000 e 2000 g/mol, que inclui coloides, compostos orgânicos solúveis e vírus (LIBÂNIO, 2010).

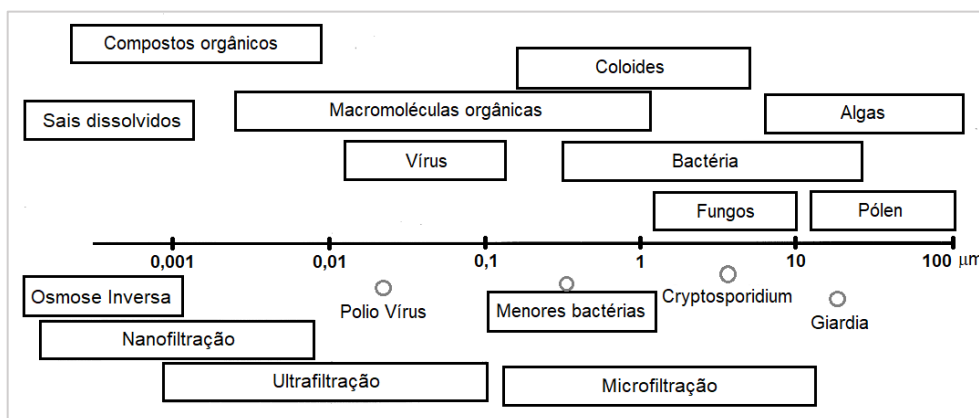
As membranas de nanofiltração (NF) são capazes de retirar substâncias em uma faixa de 200 a 1000 g/mol de peso molecular e muitos compostos químicos e íons, como os íons de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) que caracterizam a dureza da água. Por sua vez, a osmose inversa (OI) apresenta a maior capacidade de remoção, como íons, sais dissolvidos e matéria orgânica que tenha peso molecular inferior a 200 g/mol (LIBÂNIO, 2010). As informações quanto às substâncias passíveis de remoção por tipo de membrana são ilustradas na Figura 15.

Para Liu *et al.* (2021), o uso das tecnologias de MF e UF tem sido comum no tratamento de águas pluviais. Segundo os autores, a microfiltração (MF) é mais adequada para águas pluviais com maior quantidade de partículas e sólidos em suspensão, enquanto o uso de ultrafiltração (UF) e nanofiltração (NF) são indicados para águas pluviais que contenham matéria orgânica macromolecular.

Portanto, o processo de UF apresenta melhores resultados ao ser comparado com o sistema de MF, pois remove bactérias, sólidos em suspensão e coloides, devido à sua capacidade de remover substâncias macromoleculares. Por este motivo, a filtração por

membrana de UF tem sido largamente adotada no tratamento de águas pluviais (LIU *et al.*, 2021).

Figura 15 – Classificação das membranas e dimensões das partículas retidas



Fonte: Adaptado de LIBÂNIO, 2010.

A membrana de ultrafiltração (UF) tem sido utilizada em estudos de potabilização de água, com vantagens na remoção de microrganismos, excelente redução de sólidos suspensos e baixo consumo de energia, além de adequar a qualidade da água para posterior processos em osmose inversa (OI). Contudo, as membranas de ultrafiltração (UF) são ineficientes na remoção de sais (GAMARRA-CASTEÑED, 2015).

Entretanto, a incrustação de membranas é um grande desafio a ser enfrentado e surge como um fator limitante no tratamento de águas pluviais. A adsorção e o acúmulo de microrganismos na superfície da membrana irão reduzir sua capacidade de trabalho e a desinfecção por cloração pode danificar o equipamento. Portanto, torna-se necessário conhecer as variáveis que podem influenciar no tratamento das águas pluviais, como: custo, possibilidade de incrustação, qualidade da água bruta e da água requerida e durabilidade dos materiais, a fim de selecionar a tecnologia mais adequada e ajustar os parâmetros operacionais em função das reais condições da água a ser tratada (LIU *et al.*, 2021).

Para Koyuncu *et al.* (2015), normalmente, aplica-se um pré-tratamento à água antes de alimentar o sistema de membrana para reduzir o processo de incrustação, como uma pré-filtragem para remoção de partículas maiores e detritos. Entretanto, também pode ser utilizado por outras questões que dizem respeito a qualidade da água, bem como outras finalidades. Os autores citam que o pré-tratamento é utilizado para evitar incrustações, recuperar o sistema, melhorar a produtividade e aumentar a vida útil do equipamento.

De forma aplicada, análises têm sido realizadas a partir da operação de filtros com camadas filtrantes variáveis e pelo uso de sistema de ultrafiltração (UF), como técnicas de tratamento de águas pluviais, inclusive para produção de água potável (HOFMAN-CARIS *et al.*, 2019; TEIXEIRA e GHISI, 2019; MIORANDO *et al.*, 2017; GONÇALVES e BASTOS, 2016).

No quesito tratamento de água, o processo de filtração tem a importante tarefa de remover cor e turbidez resultantes de partículas presentes na água, com o intuito de não comprometer a inativação de patógenos por meio da desinfecção. Assim, assenta-se o meio filtrante sobre uma camada-suporte, que pode ser constituída de cascalho, pedregulho ou seixos rolados (LIBÂNIO, 2010).

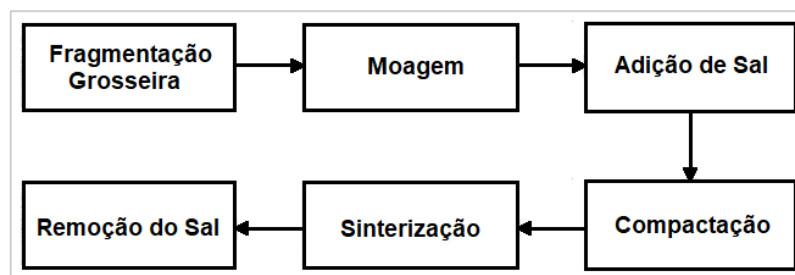
Tradicionalmente, os meios granulares são empregados nos processos de filtração para diversas finalidades e a maioria dos filtros utilizam a areia e o antracito como meios filtrantes (CESCON, JIANG 2020). Além desses, o carvão ativado granular também tem disso usado para fins especiais, como adsorção de compostos orgânicos que conferem sabor e odor à água (LIBÂNIO, 2010).

O tamanho do grão, a forma, a porosidade e a razão entre a profundidade do leito e o tamanho do grão são importantes características que determinam a eficiência dos filtros. Profissionais têm buscado por soluções que aumentem a eficiência dos processos de filtração adotados, desde alterações nos filtros tradicionais à aplicação de membranas, como também têm desenvolvido pesquisas de novas mídias como meios alternativos. Embora as soluções usualmente adotadas sejam confiáveis, tem-se impulsionado à procura por novas opções devido a mudanças na legislação e à necessidade de obter maior eficiência nos processos, menor consumo de energia, melhor desempenho no tratamento e redução de custos (CESCON, JIANG 2020).

O uso de vidro reciclado tem despertado interesse da comunidade científica (CESCON, JIANG 2020), como tecnologia de filtragem da água a partir da confecção de peças porosas por sinterização, inclusive para fabricação de membranas de microfiltração e uso alternativo da areia (OLIVEIRA, 2020; SOLTOSKI, KAWAMOTO, 2017; ASSIS e VIEIRA, 2009; ASSIS, 2006).

O processo de fabricação do vidro sinterizado refere-se à adição de sal ao pó de vidro que, após consolidação térmica, pode ser removido pelo processo de lixiviação em água corrente ou por fervura, com o objetivo de obter uma estrutura porosa controlada (ASSIS, 2006; ASSIS, PESSOA, CALBO, 2013; ORTIZ, 2018). O processo simplificado é apresentado na Figura 16.

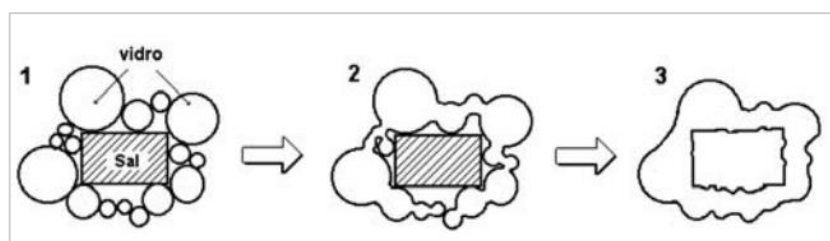
Figura 16 – Etapas de produção de vidro sinterizado pela técnica de preenchimento



Fonte: Adaptado de ORTIZ, 2018 e ASSIS, 2006.

O sal cloreto de sódio (NaCl) pode ser empregado como fase não sinterizável e adicionado ao pó de vidro para formação de poros (ORTIZ, 2018; ASSIS, 2006). A Figura 17 exemplifica a formação da estrutura porosa pelo processo citado.

Figura 17 – Mecanismo de formação dos poros na estrutura de vidro sinterizado



Legenda: (1) Compacto com presença de sal, (2) Ao longo do aquecimento e (3) Após remoção do sal.

Fonte: ASSIS, 2006.

Além disso, estudos apontam a aplicação de novas tecnologias portáteis que favorecem o tratamento de forma descentralizada, além de mais acessíveis a populações mais carentes, como os sistemas de ultrafiltração que operam por gravidade para tratamento doméstico da linha *LifeStraw*®, do fabricante *Vestergaard* (MONTAÑOZ, 2016; PÉREZ-VIDAL *et al.*, 2016).

Existem métodos de tratamento de águas pluviais, desde métodos mais simples aos mais sofisticados, que visam garantir uma água tratada de boa qualidade para fins domésticos, apresentados resumidamente (LAKSHMINARAYANA, SATHIAN, RAVIKUMAR, 2017), como:

- Cloração: método adotado para desativar a maioria dos microrganismos, amplamente recomendado para remoção de bactérias;

- Luz ultravioleta: Incapacita a reprodução dos microrganismos e penetra nas paredes celulares dos organismos, causando perturbação em suas células genéticas;
- Filtração por membrana: separa as impurezas da água da chuva;
- Destilação: separa a água das impurezas por aquecimento, com posterior coleta por condensação;
- Pasteurização solar: eficaz contra *E. coli* e outras bactérias patogênicas;
- Filtração de carvão: recomendado para remoção cloro, mercúrio, iodo e alguns compostos inorgânicos;
- Filtração lenta de areia: remove a turbidez e bactérias (ação biológica).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

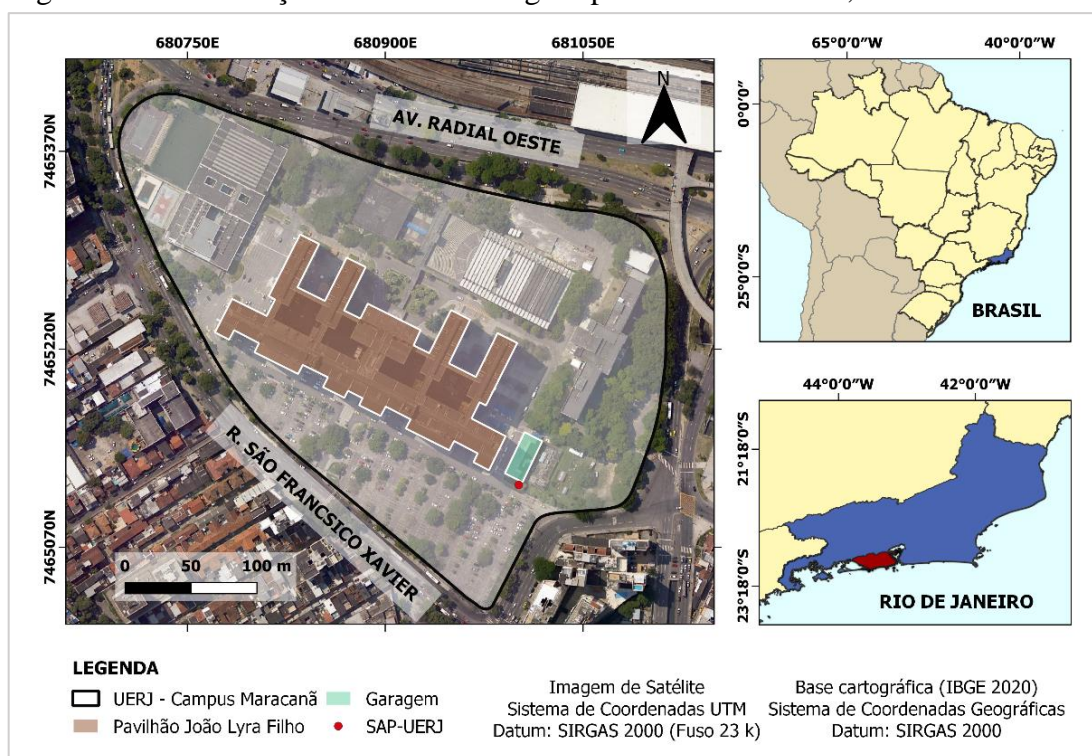
2.1 Caracterização da região de estudo

O sistema de captação e armazenamento de águas pluviais (SAP) utiliza a cobertura do telhado da garagem de veículos da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), situada no bairro Maracanã, na cidade do Rio de Janeiro – RJ. A área de estudo é altamente urbanizada com vias de acesso de intenso tráfego de veículos, pela Rua São Francisco Xavier e Avenida Radial Oeste. A região apresenta fluxo de transporte médio em dias úteis estimado em 20.909 veículos próximo à Praça Maracanã – sentido Tijuca e 56.021 veículos próximo ao Estádio do Maracanã – sentido Méier (PCRJ, 2017) (Figura 18).

O estado do Rio de Janeiro está localizado na Região Hidrográfica Atlântico Sudeste que é composta por bacias de rios com deságue no Oceano Atlântico. A bacia do rio Paraíba do Sul é a maior da região hidrográfica e abrange os estados São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, caracterizada por ser o principal manancial de abastecimento de água e energia do estado. Além disso, os estados Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais compartilham a bacia do rio Itabapoana (COPPETEC, 2014).

O estado do Rio de Janeiro é composto por 9 (nove) regiões hidrográficas, de acordo com a Resolução nº 107/2013 (RIO DE JANEIRO, 2013) e a cidade do Rio de Janeiro faz parte das regiões hidrográficas Guandu (RH – II) e Baía de Guanabara (RH – V).

Figura 18 – Localização do sistema de águas pluviais SAP-UERJ, Rio de Janeiro – RJ



Fonte: Autora, 2022.

A área objeto deste estudo, o bairro do Maracanã, encontra-se na RH – V, que abrange a maior porção da Região Metropolitana e é responsável pela: metade da área urbana estadual (50%), maior taxa de ocupação urbana do território (23%) e maior população do estado (64%). Nota-se em todas as regiões hidrográficas do estado que a população está concentrada nas áreas urbanas, com mais de 80% da população das RH's localizadas nessas áreas (COPPETEC, 2014).

A região hidrográfica Baía de Guanabara (RH - V) é o ponto de destaque, quanto à ocupação e desenvolvimento urbano do estado, que contém a capital e a região metropolitana. Além da maior população urbana, a RH – V é caracterizada por abrigar a maior população residente em aglomerados subnormais. Nesta região são identificados aspectos que comprometem a qualidade dos recursos hídricos, como: ocupação de margens de rios e encostas, a falta de planejamento e infraestrutura habitacional e a degradação por aporte de esgotos, resíduos sólidos e efluentes industriais. A RH – V também apresenta elevada vulnerabilidade em relação à episódios de eventos críticos de chuva, com municípios sendo afetados constantemente por deslizamentos de encostas e inundações (COPPETEC, 2014).

A Lei Complementar 111/2011 (RIO DE JANEIRO, 2011) estabelece unidades territoriais para a cidade do Rio de Janeiro com o intuito de planejar e orientar seu

desenvolvimento urbano, composta por 5 (cinco) Áreas de Planejamento (AP), subdivididas em 16 (dezesesseis) Regiões de Planejamento, e constituídas pelo agrupamento das Regiões Administrativas (RA). O bairro Maracanã situa-se na Área de Planejamento AP 2, e Região de Planejamento AP 2.2 Tijuca. Além disso, encontra-se na Região Administrativa RA IX – Vila Isabel, junto aos bairros Andaraí, Grajaú e Vila Isabel (PCRJ, 2018; RIO DE JANEIRO, 2011).

O bairro Maracanã é composto por uma população de 25.256 habitantes e apresenta uma área urbana de 166,73 ha, com ruas asfaltadas e rios canalizados. Há um intenso fluxo de pessoas devido à diversidade urbana dos espaços públicos, quanto ao uso e ocupação do solo, classificado em: residências, comércio, escolas técnicas, universidades, hospitais e ambientes de entretenimento (IPP, 2022).

2.2 Sistema de coleta de águas pluviais

O sistema de águas pluviais (SAP-UERJ) iniciou sua operação em 2016 e foi projetado para coletar e armazenar a água de chuva que escoar pelo telhado da garagem de veículos da instituição, composto por telhas de fibrocimento, com área de 30 m² disponível para captação.

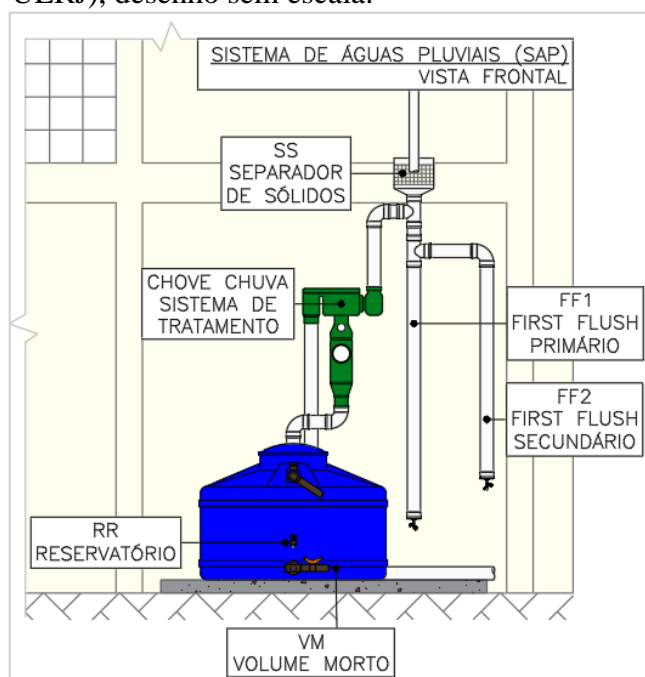
O SAP-UERJ é composto por área de captação, calhas, condutores verticais e horizontais em PVC, conexões, dispositivo separador de sólidos (SS), sistema separador de fluxo de descarte inicial, denominado de *first flush* primário (FF1) e secundário (FF2), extravasor, reservatório de polietileno e pontos de coleta. Localizado à montante do reservatório de armazenamento (RR), encontra-se instalado o dispositivo nomeado de *Chove Chuva* (CC), como um sistema de tratamento primário composto por pedras de calcário e pastilhas de cloro. Próximo ao sistema, em área livre de obstáculos, também foi instalado o dispositivo de coleta de precipitação direta (PD) em 2019, responsável por coletar a chuva de maneira livre, direto da atmosfera e independente do contato de superfícies de captação.

O dispositivo de coleta de descarte de volume inicial é composto por FF1 e FF2, com capacidade total de armazenamento de 1,0 mm, separado em duas partes iguais de 0,5 mm, ou seja, cada dispositivo de *first flush* (FF) é responsável pelo descarte de 15 litros de precipitação efetiva. O reservatório principal de acumulação das águas pluviais (RR) pode armazenar até 1000 litros de água da chuva, que correspondem a precipitação efetiva acumulada de 33 mm, separado em 200 litros para o volume morto (VM) e 800 litros para o ponto do reservatório

destinado ao uso (RR). O dispositivo de precipitação direta (PD) tem diâmetro de 75 mm e capacidade para coletar um volume de 2,2 litros.

O SAP-UERJ dispõe de 4 principais pontos de coleta das águas pluviais, intitulados: *first flush* primário (FF1), *first flush* secundário (FF2), volume morto (VM) e reservatório (RR) (Figura 19).

Figura 19 – Sistema de águas pluviais (SAP-UERJ), desenho sem escala.



Fonte: Autora, 2022.

No entanto, Almeida *et al.* (2019) verificaram que os pontos VM e RR do sistema SAP-UERJ apresentaram comportamento similar no período de análise de janeiro de 2017 a dezembro de 2018. Por este motivo, este trabalho de conclusão de curso desconsiderou do SAP-UERJ as coletas e análises de amostras do ponto do volume morto (VM), com a utilização dos pontos do reservatório (RR), *first flush* primário (FF1), secundário (FF2) e precipitação direta (PD).

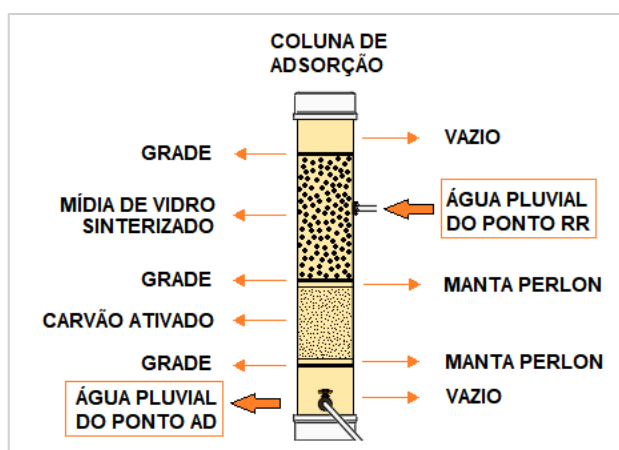
2.3 Tecnologias de tratamento de águas pluviais em escala laboratorial

As tecnologias de tratamento de águas pluviais (TPLUV) foram implementadas no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ, para operação controlada em escala

laboratorial, composta por um sistema de coluna de adsorção (AD) e um processo de separação por membrana de ultrafiltração (UF).

A coluna de adsorção (AD) é um dispositivo experimental elaborado a partir de um tubo de PVC com diâmetro de 150 mm e altura de 80 cm, com uma dupla camada de elementos adsorventes composta por uma camada de mídia porosa de vidro sinterizado em formato hexagonal, disposta em uma coluna de 35 cm, e uma camada de carvão ativado granulado em uma coluna de 25 cm. A Figura 20 ilustra os demais componentes contidos na coluna de adsorção.

Figura 20 – Componentes da coluna de adsorção (AD) utilizada no tratamento das águas pluviais



Fonte: Autora, 2022.

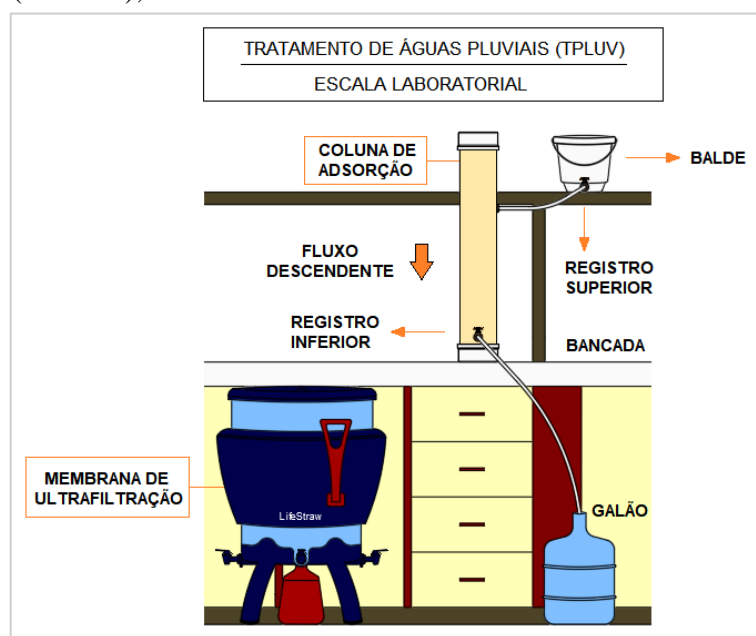
O processo de ultrafiltração (UF) foi realizado a partir do uso de uma membrana de ultrafiltração portátil da empresa *Vestergaard*, modelo *LifeStraw Community®*. Trata-se de um sistema que opera por gravidade, sem a necessidade de aplicar produtos químicos e energia elétrica, de modo a facilitar os custos e a operação pelo usuário, com um cartucho de ultrafiltração de 20 nm, vazão média de 12 litros por hora e um reservatório de água tratada com capacidade de 25 litros (VESTERGAARD, 2014). A Figura 21 apresenta os componentes da membrana de ultrafiltração (UF) e a disposição das tecnologias que compõem o sistema de tratamento de águas pluviais TPLUV em laboratório (LES) é apresentada na Figura 22.

Figura 21 – Componentes da membrana de ultrafiltração (UF) utilizada no tratamento das águas pluviais



Fonte: Adaptado de VESTERGAARD, 2014.

Figura 22 – Sistema de tratamento de águas pluviais (TPLUV), desenho sem escala



Fonte: Autora, 2022.

2.4 Processo operacional do sistema de águas pluviais SAP-UERJ e TPLUV

A coleta das amostras de águas pluviais ocorreu em duas etapas principais, sendo a primeira realizada no sistema de águas pluviais SAP-UERJ e a segunda no sistema de tratamento de águas pluviais TPLUV.

A água precipitada escoar pela superfície de captação e é direcionada para a calha do sistema SAP-UERJ, que conduz a água da chuva aos condutores verticais e horizontais. Após a captação, a água de chuva passa pelo dispositivo separador de sólidos (SS) para remoção de sólidos grosseiros e, depois ocorre o descarte do volume inicial da precipitação efetiva no *first flush* primário (FF1) e secundário (FF2). Este sistema de *first flush* é vedado automaticamente por meio de uma boia interna e, ao atingir sua capacidade de descarte acumulado de 1,0 mm de precipitação efetiva, a água de chuva é direcionada ao dispositivo *Chove Chuva* (CC), localizado à montante do reservatório de água de chuva (RR) de 1000 litros. O sistema de armazenamento é dividido para o ponto do volume morto (VM), não aproveitável com volume de 200 litros e, o ponto do reservatório (RR) com volume de 800 litros, sendo este último destinado e considerado como de aproveitamento da água da chuva.

A análise da qualidade das águas pluviais do sistema SAP-UERJ foi realizada a partir da coleta de 1 litro de amostra por ponto de interesse do sistema, ou seja, *first flush* primário (FF1) e *first flush* secundário (FF2), para avaliação da qualidade do descarte inicial, e reservatório (RR). Além desses pontos, foram coletadas amostras do ponto de precipitação direta (PD), com dispositivo localizado nas proximidades do sistema SAP-UERJ.

O sistema de tratamento de águas pluviais opera apenas com as amostras do ponto do reservatório (RR). Portanto, além de separar 1 litro de amostra para análise da qualidade do ponto RR, também foram coletados aproximadamente 16 litros deste ponto para uso no sistema TPLUV em laboratório.

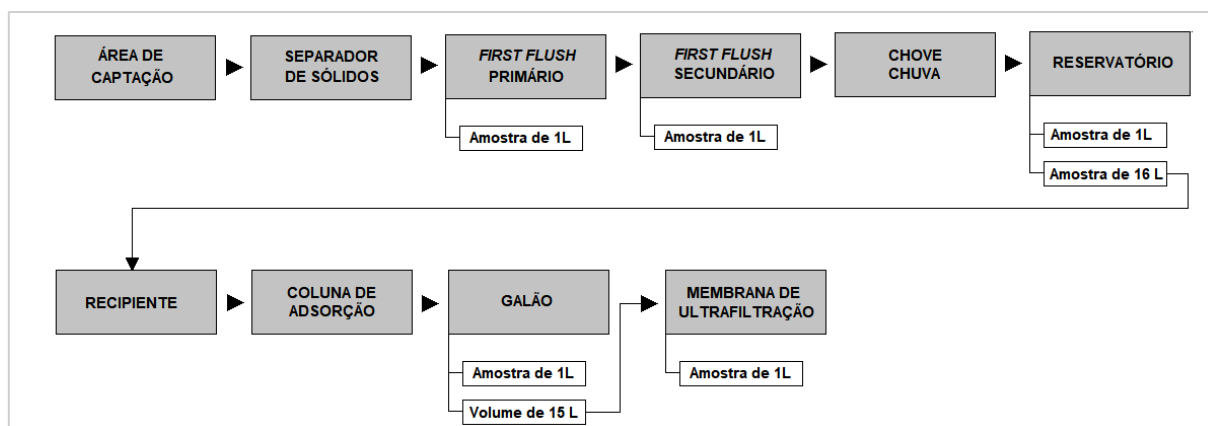
As amostras de águas pluviais do ponto RR foram despejadas no recipiente com capacidade de 8,5 litros que alimenta a coluna de adsorção (AD) de mídia de cerâmica e carvão ativado, que funciona de forma controlada e em fluxo descendente. Após a amostra de água de chuva percorrer pela coluna de adsorção, o volume de 16 litros foi coletado em um galão de 20 litros, por meio de uma mangueira acoplada ao registro inferior conectado ao tubo. Em seguida, a amostra contida no galão era homogeneizada e separada 1 litro desta amostra, referente ao ponto coluna de adsorção (AD).

O volume de água excedente da coluna de adsorção (AD) de aproximadamente 15 litros foi direcionado à membrana de ultrafiltração (UF), sequencialmente. Portanto, o processo consistia em alimentar a membrana de ultrafiltração (UF) com a amostra coletada após uso da coluna de adsorção (AD), despejada sobre a malha existente da membrana. Após a filtração do volume total despejado fluir para o compartimento de água purificada, localizado na parte inferior da membrana, a amostra foi homogeneizada e, após, coletado 1 litro de amostra deste ponto referente ao tratamento sequencial coluna de adsorção (AD), mais a membrana de

ultrafiltração (UF), para posterior análise da qualidade da água tratada, com descarte do volume excedente.

O resumo sequencial do processo operacional do sistema de coleta, armazenamento e tratamento de águas pluviais SAP-UERJ e TPLUV consta no fluxograma da Figura 23.

Figura 23 – Fluxograma do processo operacional do sistema SAP-UERJ e TPLUV



Fonte: Autora, 2022.

Além disso, a retrolavagem da membrana foi realizada pelo acionamento da alça de retrolavagem, antes e após cada campanha de filtração, com aproximadamente 3 litros de água destilada. O detalhe do procedimento operacional elaborado no laboratório consta no item Apêndice.

2.5 Amostras de águas pluviais

As coletas de amostras de água pluviais corresponderam aos pontos de *first flush* (FF1 e FF2) e reservatório (RR) do SAP-UERJ, como também foram coletadas as amostras dos pontos a jusante da coluna de adsorção (AD) e da membrana de ultrafiltração (UF) no sistema TPLUV localizado no laboratório.

O período de amostragem ocorreu entre abril de 2019 e janeiro de 2020, composto por um total de 10 campanhas que correspondem a 57 amostras que combinam os pontos dos sistemas. Portanto, foram coletadas 10 amostras por ponto para PD, FF1 e FF2, e 09 amostras por ponto para RR, AD e UF (Tabela 6).

Tabela 6 – Amostras coletadas por ponto de coleta

Ano	Dias de coleta da amostra	Ponto	Campanhas
2019	12/04, 17/05, 27/06, 06/08	PD, FF1, FF2, RR, AD e UF	04
	26/08	PD, FF1 e FF2	01
	17/09, 30/10, 28/11, 16/12	PD, FF1, FF2, RR, AD e UF	04
2020	30/01	PD, FF1, FF2, RR, AD e UF	01
Total de campanhas			10

Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna de adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autora, 2022.

As amostras foram coletadas uma vez por mês no período citado, com exceção de agosto de 2019, com duas coletas no mês, e ausência de coleta em julho de 2019. Na amostra da campanha de 26 de agosto de 2019 não houve volume de água de chuva para o ponto RR e, conseqüentemente, AD e UF. Por este motivo, esses pontos tiveram 1 (uma) amostra a menos que os pontos PD, FF1 e FF2 no período amostral.

Os volumes foram armazenados em recipientes plásticos de polietileno com capacidade de um litro, para posterior análise dos parâmetros físico-químicos. Os protocolos de limpeza da frascaria, os tipos de recipientes utilizados, as condições de armazenamento e a preservação das amostras seguiram as recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA; CETESB, 2011).

O estudo também contemplou a coleta de amostras de água de chuva dos pontos FF1, FF2, RR, AD e UF para o parâmetro Carbono Orgânico Dissolvido (COD) em frasco de vidro de 250 ml. As amostras dos pontos FF1, FF2 e RR do sistema SAP-UERJ foram direcionadas para o sistema de filtração à vácuo com filtros de membrana de vidro, com tamanho médio de 7 µm de poros, antes de serem analisadas. Este procedimento não foi realizado para as amostras dos pontos AD e UF, visto que os sólidos suspensos foram removidos pelos processos de tratamento obtidos da coluna de adsorção (AD) de mídia de cerâmica e carvão ativado, como também pela membrana de ultrafiltração (UF).

2.6 Parâmetros de qualidade das águas pluviais

Para caracterização dos volumes armazenados, as amostras foram analisadas *ex situ*, no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ, consistindo dos parâmetros físico-químicos e respectivos métodos: alcalinidade total (Método 2320 B: *Titration Method*), carbono orgânico dissolvido (Método 5310 B: *High-Temperature Combustion*), cloreto (Método 4500 – Cl⁻ B: *Argentometric Method*), condutividade elétrica (Método 2510 B: *Laboratory Method*), cor aparente (Método 2120 C: *Spectrophotometric Method*), dureza total (Método 2340 C: *EDTA Titrimetric Method*), pH (Método 4500 – H⁺ B: *Electrometric Method*) e turbidez (Método 2130 B: *Nephelometric Method*), cujos métodos seguem o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2012).

As análises utilizaram os equipamentos turbidímetro, modelo TECNOPON TB-1000; pHmetro, modelo QUIMIS Q400AS; condutivímetro de bancada QUIMIS Q405M; espectrofotômetro, modelo HACH DR 2800 e o analisador de carbono TOC-VCPN/SHIMADZU.

A quantidade total de amostras analisadas para cada parâmetro em função dos pontos de coleta dos sistemas SAP-UERJ e TPLUV são indicados na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros de qualidade, métodos de análise e quantidade de amostras analisadas em cada parâmetro por ponto do sistema

Parâmetro de qualidade	Método (APHA, 2012)	Quantidade de amostras por ponto do sistema SAP-UERJ e TPLUV					
		PD	FF1	FF2	RR	AD	UF
Alcalinidade total	2320 B	06	10	10	09	09	09
Carbono orgânico dissolvido	5310 B	-	09	09	08	07	08
Cloreto	4500 – Cl ⁻ B	04	10	10	09	09	09
Condutividade elétrica	2510 B	09	10	10	09	09	09
Cor aparente	2120 C	09	10	10	09	09	09
Dureza total	2340 C	04	10	10	09	09	09
Potencial hidrogeniônico	4500 – H ⁺ B	10	10	10	09	09	09
Turbidez	2130 B	10	10	10	09	09	09

Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna de adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autora, 2022.

2.7 Padrões de qualidade das águas pluviais

Os parâmetros de qualidade da água descrevem suas principais características físicas, químicas e biológicas (VON SPERLING, 2014). O conhecimento e atendimento dos limites de parâmetros de qualidade estabelecidos por referências, como legislações e normas pertinentes, são de fundamental importância para garantir o uso sanitário adequado e mais seguro das águas pluviais.

Teston *et al.* (2018) destacam a elevada variabilidade dos parâmetros analisados em estudos de amostras de águas pluviais, devido à falta de uma padronização desses parâmetros e pontuam a ausência de uma única norma brasileira sobre água de chuva que defina todos os parâmetros de qualidade a serem analisados por tipo de uso nas edificações.

No Brasil, os padrões de qualidade para o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis devem atender preferencialmente ao disposto na NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), como também a NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) destinada ao uso de fontes alternativas de água não potável. Porém, para uma maior abrangência na caracterização das águas pluviais e melhor parametrização da pesquisa, também foi adotada a Portaria de GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), referente aos parâmetros de potabilidade (Tabela 8).

Tabela 8 – Limites utilizados para padronização da qualidade da água de chuva

Parâmetro	Unidade	NBR 15.527/2019	NBR 16.783/2019	PORTARIA GM/MS Nº 888/2021
Alcalinidade total (CaCO ₃)	mg. L ⁻¹	-	-	-
Carbono orgânico dissolvido	mg. L ⁻¹	-	-	-
Cloreto (Cl ⁻)	mg. L ⁻¹	-	-	≤ 250
Condutividade elétrica	µS.cm ⁻¹	-	≤ 3.200	-
Cor aparente	uC	-	-	≤ 15
Dureza total (CaCO ₃)	mg. L ⁻¹	-	-	≤ 300
Potencial hidrogeniônico	-	6 – 9	6 – 9	6 – 9
Turbidez	UNT	≤ 5	≤ 5	≤ 5 ⁽¹⁾

Legenda: ⁽¹⁾ Limite referente ao padrão organoléptico de potabilidade.

Fonte: Autora, 2022.

Das referências selecionadas, nota-se que não há apenas uma Norma ou Portaria que apresente limites estabelecidos para todos os parâmetros adotados neste estudo.

O valor de pH nas normas brasileiras (ABNT, 2019) varia entre 6 e 9, enquanto o mesmo intervalo fica subentendido na nova Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021). O parâmetro turbidez apresenta o mesmo valor máximo permitido de 5 UNT, entretanto, esse limite para o padrão de potabilidade é permitido para o sistema de distribuição. Para garantir a qualidade da água quanto ao uso potável, o Anexo 2 da Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021) apresenta o valor máximo permitido como padrão de turbidez pós-filtração de 0,5 UNT para filtração rápida e 1,0 UNT para filtração lenta, em 95% das amostras, além de 0,1 UNT para filtração em membrana em 99% das amostras.

O parâmetro condutividade elétrica apenas é citado na NBR 16.783/2019, com limite máximo de $3.200 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (ABNT, 2019), enquanto os parâmetros cloreto, cor aparente e dureza total são indicados apenas na Portaria de Potabilidade (BRASIL, 2021), com valores máximos permitidos iguais a $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Cl}^-$, 15 uC e $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, respectivamente.

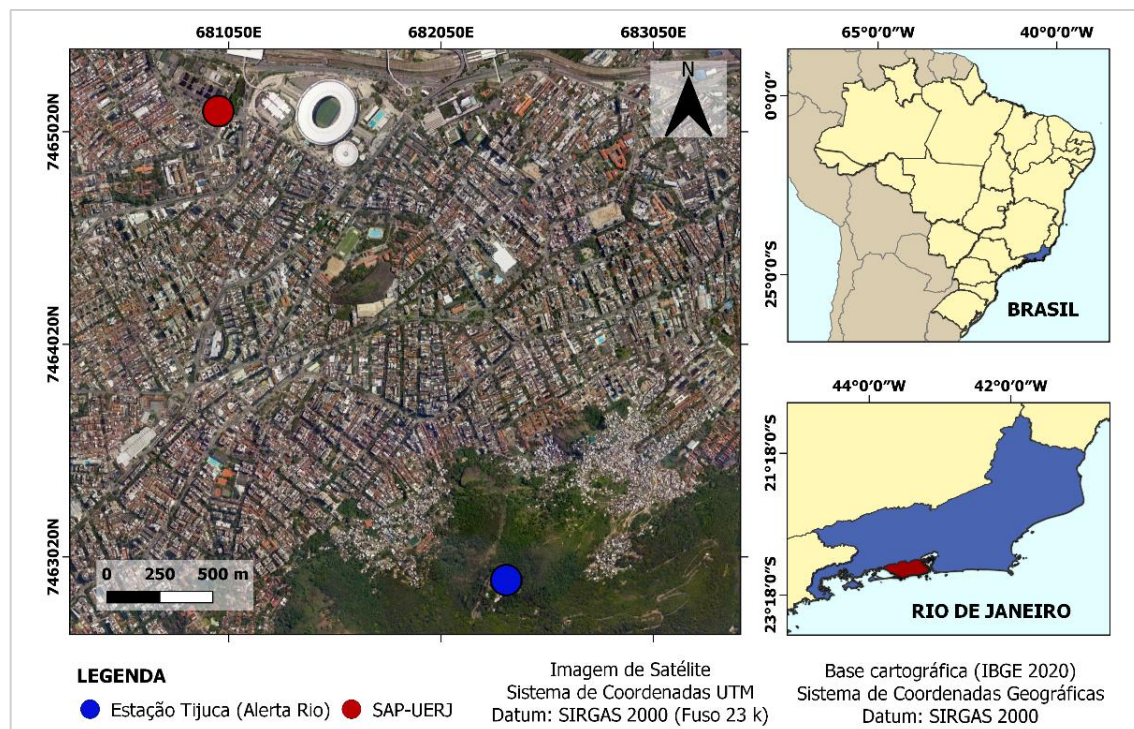
A NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) apresenta limite máximo de $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para Carbono Orgânico Total (COT), portanto, os parâmetros alcalinidade total e carbono orgânico dissolvido não foram abordados nas referências consideradas.

2.8 Pluviosidade local

Os dados pluviométricos foram obtidos da Estação nº 04 – Tijuca, do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, situada na Estrada do Sumaré, nº 670, bairro Rio Comprido, em uma cota elevada no Maciço da Tijuca no Centro de Estudos de Sumaré. A estação Tijuca é responsável pelo monitoramento pluviométrico da Grande Tijuca e está localizada nas coordenadas geográficas - 22,93194 ° (latitude) e - 43,22167° (longitude), em uma cota de 340 metros (ALERTA RIO, 2022). A estação pluviométrica encontra-se, aproximadamente, a 2,6 km do sistema de águas pluviais SAP-UERJ (Figura 24).

O comportamento pluviométrico da estação Tijuca foi caracterizado a partir do tratamento dos dados de precipitação compreendidos na série histórica entre 1997 e 2019, disponíveis no sítio eletrônico do Sistema Alerta Rio (ALERTA RIO, 2022), num total de 22 anos de dados.

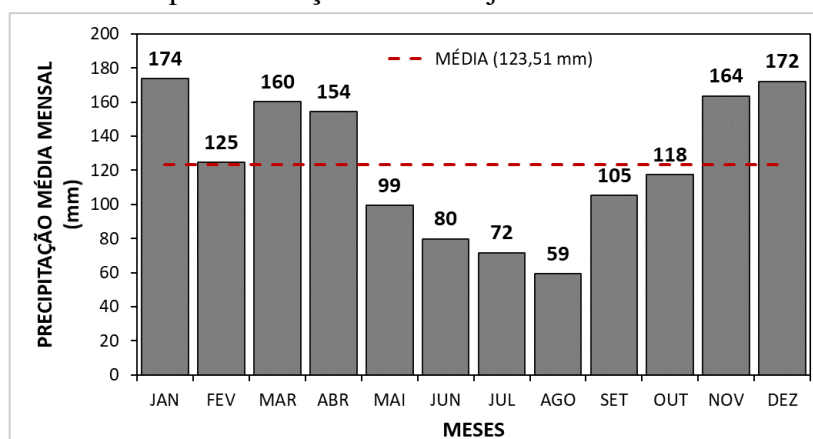
Figura 24 – Localização da estação pluviométrica e do sistema de águas pluviais



Fonte: Autora, 2022.

A Figura 25 apresenta os valores médios mensais de precipitação no período selecionado, entre 59 mm no mês de agosto e 174 mm em janeiro. Os meses centrais do calendário junho, julho e agosto são caracterizados como os meses mais secos do ano hidrológico, enquanto os meses de novembro a abril apresentaram médias mensais acima de 150 mm, com exceção do mês fevereiro (125 mm).

Figura 25 – Precipitação média mensal para a série histórica de 1997 a 2019 para a Estação nº 04 – Tijuca



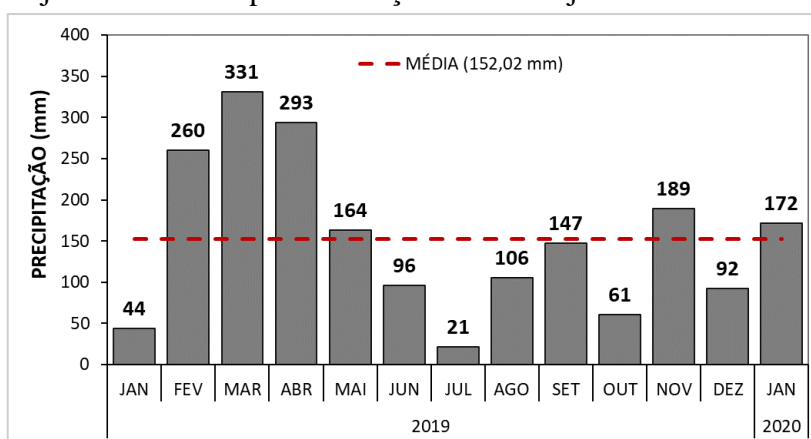
Fonte: Elaboração própria com dados do ALERTA RIO, 2022.

A análise da precipitação acumulada anual de 1997 a 2019 para a estação Tijuca indica que o ano de 2014 foi o período mais seco da série histórica, com o menor acumulado anual de 860 mm. Contudo, a maior precipitação total anual registrada em 1998 foi de 2.600 mm, considerado o ano mais chuvoso entre 1997 e 2019. O maior registro de precipitação acumulada mensal na série histórica ocorreu em fevereiro de 1998 com 527 mm, enquanto o mês de julho de 2019 apresentou o menor acumulado mensal precipitado, equivalente a 21 mm.

A Figura 26 ilustra a pluviosidade da região de janeiro de 2019 a janeiro de 2020, período que compreende os meses de coletas de amostras de águas pluviais obtidas do sistema SAP-UERJ. Os registros pluviométricos da estação Tijuca mostram uma precipitação total anual de 1.804 mm, com uma média mensal de 152 mm. Em 2018, a média pluviométrica total anual na cidade do Rio de Janeiro foi de 1.223 mm, de acordo com o monitoramento das chuvas obtidas de 33 estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio distribuídas na cidade do Rio de Janeiro (ALERTA RIO, 2018).

Diferentemente do comportamento apresentado no gráfico de precipitação da série histórica (Figura 25), o período analisado neste estudo apresentou regime atípico, pois os meses de janeiro e dezembro de 2019 não tiveram as precipitações mais elevadas, e o mês de menor precipitação foi o de julho.

Figura 26 – Precipitação acumulada mensal de janeiro de 2019 a janeiro de 2020 para a Estação nº 04 – Tijuca.



Fonte: Elaboração própria com dados ALERTA RIO, 2022.

Em relação a classificação climática, o Rio de Janeiro tem maior predominância do clima tipo *Aw*, segundo a classificação de Köppen aplicada no período de 1961 a 2015 por Dubreuil *et al.* (2017). Este tipo de classificação apresenta clima quente com chuva de verão e estação seca no inverno.

2.9 Tratamento estatístico

2.9.1 Uso do programa de linguagem R (*RStudio*)

O tratamento estatístico dos dados foi realizado a partir do *software* de Linguagem R® (R CORE TEAM, 2020) para o sistema operacional Windows®, versão desktop. Segundo Walter *et al.* (2012), o R compreende uma linguagem e um ambiente para computação estatística, baseado no conceito de *software* livre, com diversas interfaces existentes e disponibilizadas por seus desenvolvedores. Neste trabalho a interface adotada foi o *RStudio*, versão 4.0.2.

De modo a interpretar os resultados obtidos, foram elaborados gráficos do tipo *boxplot* e matriz de correlação correspondente às associações entre as variáveis do estudo, e relacionadas aos parâmetros de qualidade da água de chuva nos pontos de interesse e índices de precipitação do período selecionado.

2.9.2 Gráfico do tipo *boxplot*

A análise dos parâmetros físico-químicos foi realizada a partir dos gráficos de caixa (*boxplot*) gerados em cada ponto de coleta do sistema SAP-UERJ e do sistema de laboratório composto de tecnologias de águas pluviais TPLUV. Os resultados incluem um total de 57 amostras obtidas em 10 campanhas.

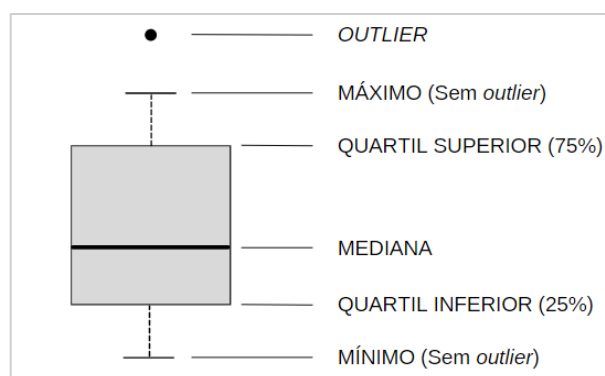
Os gráficos de *boxplot* são utilizados para apresentar a distribuição de uma variável, com a maior parte da distribuição representada por uma caixa (HAIR *et al.*, 2009). Este tipo de gráfico permite avaliar a posição, dispersão, assimetria, caudas, bem como dados discrepantes. A sua construção considera a representação da mediana e dos quartis em um retângulo, em que os quartis inferior (q_1) e superior (q_3) limitam a caixa do gráfico e concentram 50% dos resultados (dq) (MORETTIN e BUSSAB, 2010).

Os *boxplots* apresentam também os limites mínimos que não sejam menores que “ $q_1 - (1,5)dq$ ” (inferiores) e máximos não excedentes a “ $q_3 + (1,5)dq$ ” (superiores) formados pelas linhas que vão do retângulo aos valores atípicos. Além destes pontos, também são apresentados

os *outliers*. Estes, por sua vez, são observações que se encontram acima ou abaixo dos limites superior ou inferior, respectivamente, considerados destoantes das demais informações (MORETTIN e BUSSAB, 2010).

A Figura 27 identifica os pontos que compõem o gráfico do tipo caixa (*boxplot*).

Figura 27 – Detalhe do gráfico tipo *boxplot*



Fonte: Adaptado de GUIMARÃES, 2016.

2.9.3 Gráfico matriz de correlação

Nas associações de parâmetros capazes de indicar relações de variáveis da qualidade da água de chuva nos pontos do sistema SAP-UERJ, foi utilizada a matriz de correlação contendo as variáveis dos parâmetros físico-químicas (alcalinidade total, carbono orgânico dissolvido, cloreto, condutividade elétrica, cor aparente, dureza total, potencial hidrogeniônico e turbidez) e índices de precipitação (precipitação total, dias sem chuva e dias consecutivos sem chuva) entre as campanhas.

Deste modo, foram selecionadas as campanhas que continham resultados em todos os parâmetros de análise. Portanto, foram excluídas as campanhas dos dias 26/08/2019, 17/09/2019 e 30/01/2020, por não apresentarem resultados de amostras em todos os parâmetros. Além disso, também foram removidos os parâmetros alcalinidade total, cloreto e dureza para o ponto de precipitação direta (PD), devido este ponto apresentar uma menor quantidade de amostras, fato realizado para manter a maior quantidade de campanhas e parâmetros possíveis na matriz de correlação (Tabela 9).

Tabela 9 – Quantidade de amostras por pontos e parâmetros considerados para cálculo da matriz de correlação.

Período	Parâmetro de qualidade	Quantidade de amostras analisadas por ponto do SAP-UERJ			
		PD	FF1	FF2	RR
Úmido e seco	Alcalinidade total	-	07	07	07
	Carbono orgânico dissolvido	-	07	07	07
	Cloreto	-	07	07	07
	Condutividade elétrica	07	07	07	07
	Cor aparente	07	07	07	07
	Dureza total	-	07	07	07
	Potencial hidrogeniônico	07	07	07	07
	Turbidez	07	07	07	07
Total de campanhas por ponto		07	07	07	07

Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório.

Fonte: Autora, 2022.

Assim, foram utilizadas 7 (sete) campanhas divididas em período úmido (n=3) e seco (n=4) que corresponderam a 47 amostras. Os meses referentes as campanhas amostrais que apresentaram precipitação acumulada mensal abaixo da média calculada de 152,02 mm (Figura 26) foram classificados como período seco, e acima da média como período úmido. Deste modo, as coletas realizadas em 12/04/2019, 17/05/2019, 28/11/2019 foram classificadas em período úmido, enquanto 27/06/2019, 06/08/2019, 30/10/2019, 16/12/2019 em período seco.

A variável dia sem chuva (DSC) foi definida quando a precipitação de 24 horas esteve abaixo de 1,0 mm de precipitação, a quantidade de dias consecutivos sem chuva (DCSC) refere-se à quantidade de número de dias secos abaixo de 1,0 mm de ocorrência sequencial ou consecutiva e a precipitação total (PTOT) foi obtida a partir da soma dos valores precipitados maiores ou iguais a 1,0 mm de lâmina d'água, obtidos entre as campanhas.

Os coeficientes de correlação (r) permitem quantificar o grau de associação entre duas variáveis, descrevendo a dependência por meio de um único valor. Geralmente, esses coeficientes podem variar de -1 a +1, sendo diretamente ou inversamente proporcionais, em que a proximidade a esses limites indica uma maior relação linear, enquanto que a proximidade de zero indica falta de associação (MORETTIN e BUSSAB, 2010).

As análises das relações entre as variáveis foram realizadas pela matriz de correlação, representada por tabelas ou gráficos, sendo este último adotado para facilitar a visualização dos resultados. O método escolhido foi o de *Pearson* e a representação em escala centesimal, variando de -100 a +100. Para interpretar o coeficiente de correlação, foi utilizada a faixa indicada na Tabela 10, adotada por Mukaka (2012).

Tabela 10 – Faixa de coeficiente de correlação

Coeficiente de Correlação	Interpretação
0,90 a 1,00 (-0,90 a -1,00)	Correlação positiva (negativa) muito alta
0,70 a 0,90 (-0,70 a -0,90)	Correlação positiva (negativa) alta
0,50 a 0,70 (-0,50 a -0,70)	Correlação positiva (negativa) moderada
0,30 a 0,50 (-0,30 a -0,50)	Correlação positiva (negativa) baixa
0,00 a 0,30 (0,00 a -0,30)	Correlação insignificante

Fonte: MUKAKA, 2012.

A representação gráfica consta com elipses, variação de cores e coeficiente de correlação. As elipses indicam a magnitude da relação e a orientação. Quanto mais achatada for a elipse, mais forte é a correlação, sendo considerada correlação perfeita quando representada por uma linha reta inclinada. Quanto à orientação, são diretamente proporcionais as que apresentam sentido crescente (“/”) e inversamente proporcionais as que apresentam sentido decrescente (“\”). A cor contribui para uma visualização intuitiva, em que a tendência ao azul indica uma maior intensidade de relação direta, enquanto a tendência ao vermelho indica uma maior associação inversa. Uma correlação perfeita direta é estabelecida quando o coeficiente for igual a 100 e uma relação é dita inversamente proporcional perfeita se for igual a -100 (PLIEGO, 2012).

2.10 Cálculo da capacidade de filtração da membrana

A membrana de ultrafiltração *LifeStraw Community* tem capacidade de filtração média estimada em 12 litros por horas, com previsão para filtrar de 70.000 a 100.000 litros de água baseado em um nível de turbidez de 4,5 UNT, segundo condições laboratoriais (VESTERGAARD, 2014).

A membrana foi instalada no LES em dezembro de 2018, com período teste realizado entre dezembro de 2018 e março de 2019, visto que a coluna de adsorção (AD) não havia sido instalada neste intervalo de tempo. A partir de fevereiro de 2019 foi realizada a medição de vazão (Q) do permeado da membrana, com o cálculo da capacidade de filtração da membrana

de ultrafiltração (UF) obtido por meio da razão entre volume filtrado (V) e o tempo necessário (t) para filtração, expressa pela Equação (1):

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

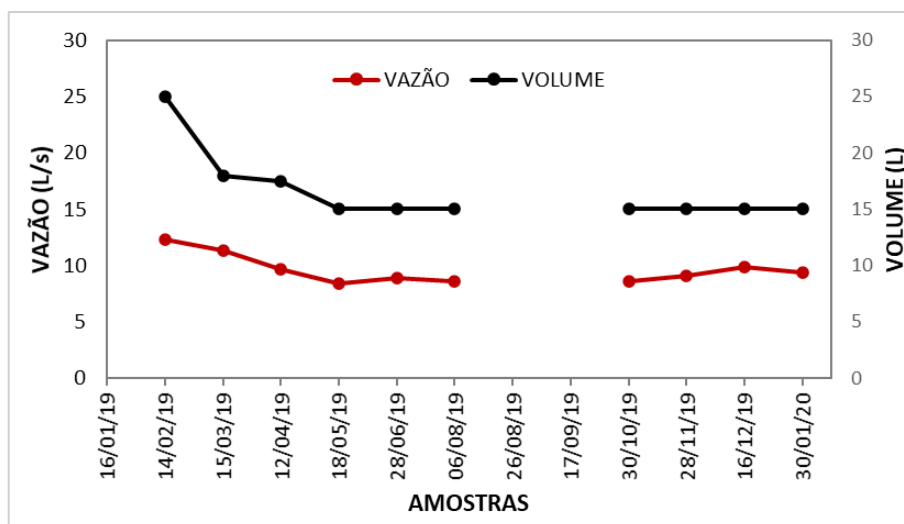
O cálculo da capacidade de filtração da membrana foi obtido a partir de 4 (quatro) amostras testes e 10 (dez) amostras padrão, referentes ao período amostral do estudo, desde o início da operação do sistema de membrana. A capacidade teórica da membrana para 25 litros corresponde a 12 litros por hora, confirmado na vazão calculada de operação da membrana em laboratório de 12,33 litros por hora para o mesmo volume. A média da vazão obtida para o volume constante de 15 litros foi de 8,98 litros por hora. Os resultados calculados para a vazão do permeado operada estão identificados na Tabela 11.

Tabela 11 – Capacidade de filtração da membrana

Período	Amostra	Volume (L)	Vazão operada (L/h)
Teste	13/12/2018	-	-
	16/01/2019	-	-
	14/02/2019	25,0	12,33
	15/03/2019	18,0	11,33
Amostral	12/04/2019	17,5	9,70
	18/05/2019	15,0	8,42
	28/06/2019	15,0	8,88
	06/08/2019	15,0	8,56
	26/08/2019	Sem volume	Sem volume
	17/09/2019	-	-
	30/10/2019	15,0	8,64
	28/11/2019	15,0	9,11
	16/12/2019	15,0	9,87
	30/01/2020	15,0	9,40
	Média do período amostral		9,07
	Média para volume de 15 litros		8,98

Fonte: Autora, 2022.

Por dificuldades de transporte e manuseio de 25 litros de amostra, após testes com volumes distintos, foi fixada quantidade de 15 litros a partir das amostras coletadas em maio de 2019. É possível notar que houve uma redução da vazão da membrana no decorrer das análises, fato possivelmente justificado pela redução do volume armazenado no recipiente (AZEVEDO NETTO, 2015) (Figura 28).

Figura 28 – Vazão *versus* volume da membrana de ultrafiltração

Fonte: Autora, 2022.

Sabe-se que o processo de alimentação da membrana resulta em sua obstrução devido à adsorção ou deposição de materiais nos poros ou nas superfícies da membrana, denominado *fouling*. Este processo ocorre, principalmente, por 3 (três) mecanismos principais: (1) bloqueio dos poros – quando as partículas e os poros têm diâmetros aproximadamente iguais, o que gera a obstrução dos poros e reduz a quantidade de poros disponível, (2) adsorção de materiais nos poros – as partículas se depositam no interior dos poros e diminui a dimensão do poro da membrana e (3) formação de torta na superfície da membrana – as partículas com dimensão maior que a dos poros ficam retidas na superfície da membrana, com formação da “torta”. Esses fatores podem reduzir o fluxo do permeado e causar uma resistência adicional (BERTOLOSSI, 2019).

Entretanto, como a diferença entre as vazões mínima e máxima foi de 1,45 litros por hora e não foi constatada uma redução da vazão de operação elevada em 7 (sete) meses com volume de 15 litros, o decréscimo de vazão não deve ter ocorrido pelo processo de obstrução dos poros. Como forma de preservar a vida útil do equipamento, o procedimento metodológico considerou a realização de retrolavagem antes e após a filtração de cada campanha, fato que pode ter mantido o desempenho da membrana. Para Bertolossi (2019), realizar limpezas físicas e químicas periódicas auxiliam na produtividade da membrana, a fim de minimizar a ocorrência de obstrução dos poros.

Na operação do sistema da membrana, para fins de obtenção do cálculo da vazão no permeado, foi utilizado um cronômetro acionado de forma manual para a medição do tempo, após visualmente aferir a água fluir para o compartimento inferior destinado a água tratada.

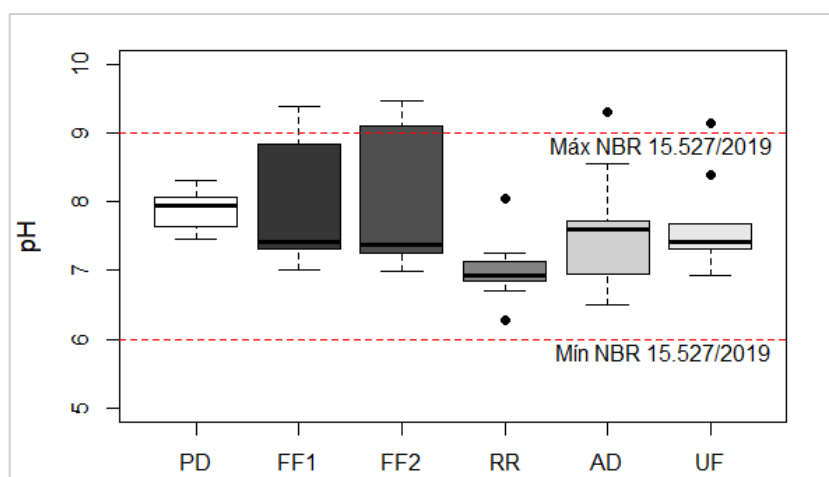
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O parâmetro pH é responsável por indicar a concentração de íons H^+ presentes na água, cujo valor é representado por uma escala numérica que varia de 0 a 14. A neutralidade corresponde ao pH igual a 7, enquanto a água de chuva será considerada ácida com valores de pH abaixo do neutro e de caráter básico quando apresentar valores acima de sete (CBIC, 2019).

As médias de pH das amostras de águas pluviais foram iguais a $7,90 \pm 0,27$ para PD, $7,97 \pm 0,93$ para FF1, $7,94 \pm 0,97$ para FF2, $7,00 \pm 0,48$ para RR, $7,61 \pm 0,87$ para AD e $7,67 \pm 0,69$ para UF. De modo geral, as amostras indicaram resultado alcalino e os valores de pH variaram de 6,27 a 9,47 em todos os pontos do sistema (Figura 29).

Figura 29 – *Boxplot* do parâmetro pH por ponto de coleta



Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autora, 2022.

A análise gráfica do parâmetro pH ao longo dos pontos do sistema informa que ocorreu uma elevação do pH nos pontos de *first flush* em comparação ao ponto PD. Após o descarte de escoamento inicial de 1 mm, percebe-se uma redução do pH na água armazenada no reservatório (RR). Entretanto, a amostra coletada no ponto da coluna de adsorção (AD), composta pela mídia de vidro sinterizado, apresentou maiores resultados que o ponto RR e o

tratamento sequencial com a membrana de ultrafiltração (UF) apresentou comportamento similar ao ponto AD.

O estudo de Assis (2006) empregou vidro reciclado como matéria prima para confecção de membranas de microfiltração e, de acordo com o autor, é essencial compreender que há a possibilidade de ocorrer reações na superfície de vidros de soda-cal na presença de meio aquoso, principalmente quando o sistema de membrana estiver em uso. Isto ocorre pela alteração nas características superficiais dos poros pelas trocas entre os íons sódio (Na^+) e potássio (K^+) com os íons hidrogênio da água (H^+), em que essas trocas são favorecidas pelas fases Na_2O e K_2O , que são solúveis em água.

Sob este cenário, a pesquisa de Sinton e LaCourse (2001) visou avaliar os aspectos de durabilidade química do vidro soda-cal-sílica, a partir de um conjunto amostral composto por vidros comerciais e experimentais. O estudo teve como base a composição do vidro, com os teores amostrais em intervalos de SiO_2 (66,99 – 73,49 %), Al_2O_3 (0,06 – 2,75 %), Fe_2O_3 (0,00 – 0,58 %), CaO (4,50 – 12,64 %), MgO (0,12 – 8,00 %), Na_2O (12,62 – 17,43 %) e K_2O (0,01 – 3,00 %), porcentagem em mol. Neste cenário, os autores verificaram que a adição dos componentes Na_2O e K_2O elevam a lixiviação alcalina e que o acréscimo quantitativo de álcali (Na e K) no lixiviado resulta no aumento do pH das soluções de lixiviado.

Em um meio neutro, inicialmente ocorre a lixiviação das fases alcalinas, com a formação de uma nova camada na superfície rica em sílica, e elevação do pH pelo aumento constante de OH^- em solução (ASSIS, 2006; SINTON, LACOURSE, 2001). Em um sistema dinâmico em que há uma constante passagem de fluido, chega-se ao equilíbrio após a dissolução alcalina inicial e formação da superfície rica em silício, sem alteração do pH (ASSIS, 2006). Portanto, justifica-se que o aumento do pH encontrado neste estudo foi decorrente da lixiviação alcalina inicial das mídias porosas que resultou em um aumento de íons OH^- nas amostras de águas pluviais.

Os maiores valores de pH encontrados neste estudo correspondem aos pontos de *first flush* primário (pH = 9,39) e secundário (pH = 9,47) referentes ao mês de janeiro, enquanto o menor valor ocorreu no ponto do reservatório (pH = 6,27) no mês de dezembro.

As amostras de abril e maio de 2019 foram responsáveis pelos maiores resultados encontrados na coluna de adsorção (AD) e após membrana de ultrafiltração (UF), com pH igual a 9,3 (abril) e 8,55 (maio) para AD e para UF de 9,15 (abril) e 8,40 (maio). Verifica-se uma tendência ao equilíbrio após esses dois meses iniciais, pois entre junho de 2019 e janeiro de 2020 os valores variaram de 6,5 a 7,73 para AD e de 6,93 a 7,68 para após UF.

Todas as amostras dos pontos PD, RR, AD e UF atenderam a faixa de pH de 6 a 9 estabelecida na NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) e subentendida na Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021), com exceção dos pontos discrepantes iguais a 9,3 para AD e 9,15 para UF.

Em condições naturais, o potencial hidrogeniônico da água de chuva é classificado como ácido, com valor de pH em torno de 5,6 por causa do equilíbrio entre dióxido de carbono (CO_2) e bicarbonato (HCO_3^-) (FROTA, VASCONCELOS, 2019). O CO_2 atmosférico dissolvido em meio aquoso contribuiu com a formação do ácido carbônico (H_2CO_3) que parcialmente se ioniza e libera um íon hidrogênio (H^+), o que causa uma redução do pH e gera o HCO_3^- (BAIRD, 2011). Portanto, a chuva ácida é definida quando o pH é inferior a 5,6 (FROTA, VASCONCELOS, 2019; BAIRD, CANN, 2011). Para Fornaro (2006), chuva com pH inferior a 5,0 é ácida e a chuva alcalina ocorre quando o pH está acima de 6,0.

A acidez da água da chuva está relacionada com a poluição atmosférica, pois é resultante da solubilização dos gases e partículas de caráter ácido nas gotículas de água que favorecem a elevação dos íons de hidrogênio (H^+). Destaca-se a importância do dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2) e dióxido de carbono (CO_2) como gases de características ácidas fundamentais nos processos químicos de gases dissolvidos na atmosfera (CARDOSO *et al.*, 2020).

Apesar da área de estudo ser intensamente urbanizada e com elevado tráfego de veículos, não foi verificada a presença de chuva ácida devido aos resultados encontrados estarem superiores a 6,27 de pH e os menores dados deste parâmetro não foram encontrados no ponto de precipitação direta (PD), com valor mínimo de 7,45. Este resultado difere dos estudos realizados por Zdeb *et al.* (2019) que observaram os menores valores de pH nas águas coletadas diretamente das precipitações atmosféricas, e por Guimarães (2016) com média calculada para o ponto de precipitação direta (PD) de $4,67 \pm 0,69$.

A qualidade da água de chuva com valores de pH acima de 7 pode ser um indicativo da presença predominantes de espécies alcalinas ou potencialmente neutralizantes nos eventos analisados, como amônia, carbonato e hidróxido (FORNADO, 1991 apud FORNARO, 2006).

Costa *et al.* (2020) verificaram a influência dos materiais constituintes das coberturas de captação ao caracterizar a água de chuva em diferentes tipos de telhados, como o telhado de fibrocimento que apresentou os maiores resultados de pH, com uma média de $7,01 \pm 0,42$. Esta média foi similar a encontrada no presente estudo com pH de $7,00 \pm 0,48$ no ponto RR, após a passagem pelo telhado de fibrocimento.

A Tabela 12 contém a estatística descritiva das análises do parâmetro pH, com média e desvio padrão, valores mínimos e máximos e porcentagem que atendeu aos limites de referência. Apenas os pontos PD e RR atenderam na totalidade a faixa de 6 a 9, entretanto, os pontos AD e UF não atenderam pela presença dos *outliers*, referentes ao período inicial de uso do sistema.

Tabela 12 – Estatística descritiva para o parâmetro pH

Parâmetro pH							
Ponto	Dados estatísticos				Limite de referência	Total de amostras (n) ⁽²⁾	Amostras atendidas (n) ⁽³⁾
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão			
PD	7,45	8,31	7,90	0,27	6 – 9 ⁽¹⁾	10	10 (100%)
FF1	7,00	9,39	7,97	0,93		10	08 (80%)
FF2	6,98	9,47	7,94	0,97		10	07 (70%)
RR	6,27	8,05	7,00	0,48		09	09 (100%)
AD	6,50	9,30	7,61	0,87		09	08 (89%)
UF	6,93	9,15	7,67	0,69		09	08 (89%)

⁽¹⁾ NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019) e NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019); ⁽²⁾ Total de amostras analisadas por ponto; ⁽³⁾ Porcentagem da quantidade de amostras que atendem ao limite de referência.

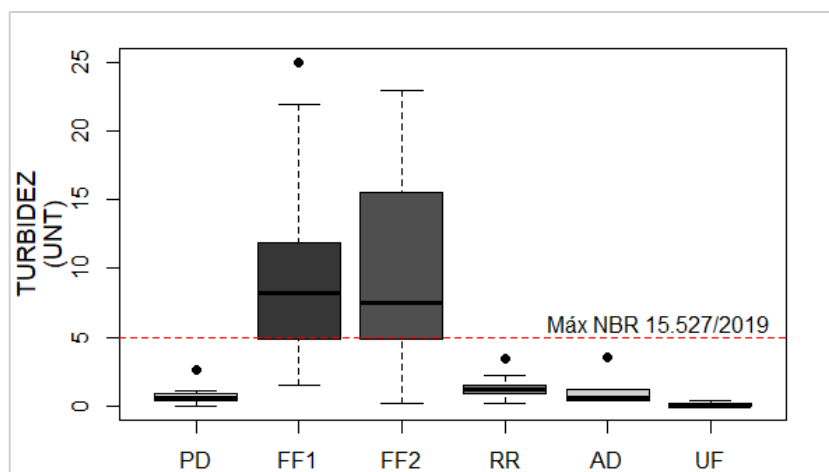
Fonte: Autora, 2022.

3.2 Turbidez

A turbidez é responsável por indicar o grau de redução da transparência da água, devido à presença de sólidos em suspensão, orgânicos ou inorgânicos. Portanto, a turbidez indica que sólidos em suspensão estão presentes na água, de forma indireta. A análise da turbidez da água indica a possibilidade de microrganismos se abrigarem nos sólidos ou pela capacidade de diminuir a translucidez da água, fatores que interferem nos processos de desinfecção com o uso de agentes desinfetantes ou por radiação ultravioleta (CBIC, 2019).

Os resultados obtidos para turbidez mostraram que os pontos de *first flush* (FF) excederam ao limite máximo estabelecido nas referências adotadas (5 UNT) e apresentaram médias iguais a $10,05 \pm 7,87$ UNT para FF1 e $9,75 \pm 7,43$ UNT para FF2. As amostras dos pontos de monitoramento da precipitação direta (PD) e a partir do reservatório (RR, AD e UF) atenderam ao limite máximo permitido, com valores médios de $0,72 \pm 0,73$ UNT para PD, $1,37 \pm 0,96$ para RR, $1,02 \pm 0,99$ para AD e $0,11 \pm 0,16$ para UF (Figura 30).

Figura 30 – *Boxplot* do parâmetro turbidez por ponto de coleta



Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autora, 2022.

A análise do sistema de águas pluviais por meio do gráfico de *boxplot* (Figura 30) indica que houve uma elevação dos sólidos suspensos presentes nas amostras de águas pluviais, após contato com a superfície de captação. As amostras coletadas diretamente da atmosfera tiveram valor máximo de 2,60 UNT, enquanto as amostras armazenadas nos dispositivos de descarte inicial (FF) atingiram valor máximo de 25 UNT para FF1 e 23 UNT para FF2.

Além disso, verifica-se que os dispositivos de *first flush* (FF1 e FF2) foram eficientes na retenção de grande parte dos sólidos suspensos, devido a melhoria observada nas amostras de águas pluviais do ponto do reservatório (RR), em que o parâmetro turbidez alcançou valor máximo de 3,40 UNT.

Mendez *et al.* (2011) afirmam que as coberturas de telhados utilizados na captação da água de chuva contribuem com uma maior contaminação e turbidez da água pluvial, devido ao acúmulo de fezes de animais, poeiras e folhas de árvores. Este fato é intensificado pela poluição atmosférica em regiões urbanas, visto que materiais particulados são carreados pelo vento e depositados nas superfícies de captação. Somado a isto, o tipo de telhado empregado nos sistemas também pode influenciar na lavagem da carga poluidora, visto alguns tipos podem ou não apresentar uma maior aderência aos contaminantes. Assim, as superfícies lisas, como o telhado metálico, facilitam a lavagem das coberturas em comparação às superfícies ásperas, como o telhado verde e telhado de fibrocimento.

Quanto às tecnologias de tratamento das águas pluviais utilizadas, a coluna de adsorção (AD) apresentou valores compreendidos entre 0,34 e 3,50 UNT, semelhantes aos resultados

encontrados no ponto do reservatório (RR), com valores de 0,13 a 3,40 UNT. Porém, o uso sequencial da membrana de ultrafiltração (UF) após a passagem da amostra de água pela coluna de adsorção (AD) resultou em melhoria da qualidade da água filtrada, com faixa de turbidez compreendida entre 0,00 e 0,40 UNT para UF.

Miorando *et al.* (2017) constataram uma variação entre 0,7 a 65,0 UNT de turbidez em 6 (seis) amostras obtidas do tanque de armazenamento, sem descarte da primeira chuva, com média de $31,05 \pm 19,98$ UNT. Após os testes com as membranas de ultrafiltração (UF), o valor máximo obtido foi de 0,5 UNT.

Observa-se que apenas os pontos de *first flush* (FF1 e FF2) não atenderam ao valor máximo permitido de 5 UNT adotado pela NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) e Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021). Este limite para o parâmetro turbidez no padrão de potabilidade (BRASIL, 2021) classifica-se como padrão organoléptico. Entretanto, para garantir a condição sanitária adequada, a Portaria estabelece valores máximos permitidos pós-filtração de 0,50 UNT para filtração rápida e 1,00 UNT para filtração lenta, em 95 % das amostras, como também 0,10 UNT para filtração em membrana em 99 % das amostras.

Em 6 (seis) amostras de um total de 9 (nove) analisadas apresentaram valores abaixo de 0,10 UNT após o ponto UF, que correspondem a 66,7% das amostras analisadas. Em relação aos resultados após a coluna de adsorção (AD), em 3 (três) amostras de um total de 9 (nove) apresentaram valores inferiores a 0,50 UNT (33,3%) e 5 (cinco) amostras foram inferiores a 1,00 UNT (55,6%). Apesar dos pontos analisados atenderem o limite de 5 UNT, destinado a fins não potáveis pelas normas brasileiras adotadas (ABNT, 2019) e da melhoria expressiva observada após tratamento das águas pluviais, ainda assim as amostras não atenderam em totalidade os valores mais restritivos indicados no padrão de potabilidade (BRASIL, 2021).

A Tabela 13 contém a estatística descritiva das análises do parâmetro turbidez, com média e desvio padrão, valores mínimos e máximos e porcentagem que atende os limites de referência. Apenas os pontos de *first flush* FF1 e FF2 não atenderam o limite máximo de 5 UNT. Observa-se que o conjunto de dados do parâmetro turbidez apresentou elevada dispersão dos dados, verificado pelo desvio padrão.

Tabela 13 – Estatística descritiva para o parâmetro turbidez

Parâmetro turbidez (UNT)							
Ponto	Dados estatísticos				Limite de referência	Total de amostras (n) ⁽²⁾	Amostras atendidas (%) ⁽³⁾
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão			
PD	0,00	2,60	0,72	0,73	≤ 5 ⁽¹⁾	10	10 (100%)
FF1	1,52	25,00	10,05	7,87		10	03 (30%)
FF2	0,19	23,00	9,75	7,43		10	03 (30%)
RR	0,13	3,40	1,37	0,96		09	09 (100%)
AD	0,34	3,50	1,02	0,99		09	09 (100%)
UF	0,00	0,40	0,11	0,16		09	09 (100%)

⁽¹⁾ NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) e Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021); ⁽²⁾ Total de amostras analisadas por ponto; ⁽³⁾ Porcentagem da quantidade de amostras que atendem ao limite de referência.

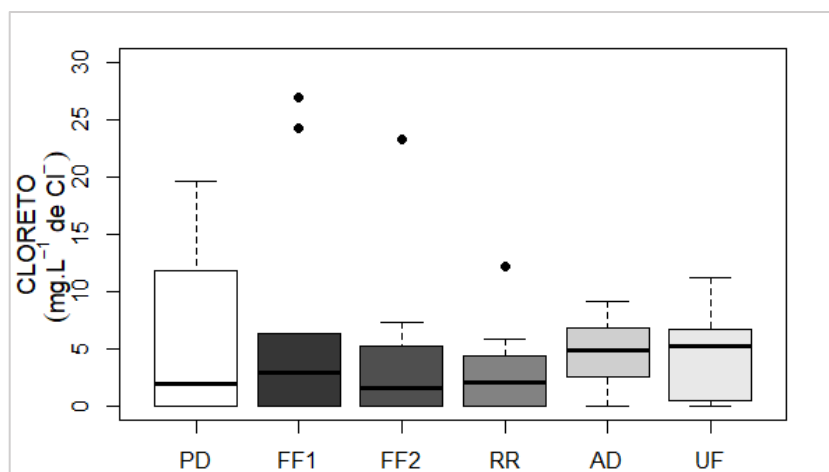
Fonte: Autora, 2022.

3.3 Cloreto

As características das chuvas variam de acordo com os elementos e fatores climatológicos, como por exemplo, da localização geográfica. Sistemas de captação de águas pluviais instalados próximos à região oceânica tendem a apresentar concentrações de determinados parâmetros de acordo com as concentrações encontradas na água do mar (TOMAZ, 2010). Além disso, os cloretos podem ser encontrados em excrementos dos animais, que contribuem para a poluição da água (FUNASA, 2006). O aumento da concentração de cloreto também pode ocorrer devido a adição de cloro puro ou em solução no tratamento das águas (CETESB, 2014). Além disso, os cloretos (Cl^-) são decorrentes da dissolução de minerais, como o cloreto de sódio (NaCl) (VON SPERLING, 2014).

A análise apontou que os valores mais elevados de cloreto foram encontrados nos pontos de FF1 (26,91 mg. L^{-1}), FF2 (23,29 mg. L^{-1}) e PD (19,67 mg. L^{-1}). As médias por ponto de coleta foram de $5,89 \pm 9,37$ mg. L^{-1} para PD, $6,97 \pm 10,14$ mg. L^{-1} para FF1, $4,37 \pm 7,09$ mg. L^{-1} para FF2, $3,07 \pm 4,02$ mg. L^{-1} para RR, $4,51 \pm 3,14$ mg. L^{-1} para AD e $4,46 \pm 3,80$ mg. L^{-1} para UF (Figura 31).

Figura 31 – *Boxplot* do parâmetro cloreto por ponto de coleta



Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autora, 2022.

Foram analisadas apenas 4 (quatro) amostras para precipitação direta (PD) que possibilitaram identificar o cloreto nas águas de chuva da região, com valores entre 0,00 e 19,67 mg. L⁻¹. O maior valor de PD ocorreu em janeiro de 2020, mesmo fato observado para o valor máximo do ponto FF1.

O trabalho de Silva *et al.* (2020) avaliou a deposição atmosférica no sistema de águas pluviais instalado no bairro Rio Comprido, Rio de Janeiro – RJ. As médias encontradas para o parâmetro cloreto no período úmido foram $10,45 \pm 3,41$ mg. L⁻¹ para o ponto de precipitação direta, $6,82 \pm 3,18$ mg. L⁻¹ para *first flush* e $6,34 \pm 1,16$ mg. L⁻¹ para o reservatório. Para o período seco, as médias foram de $7,38 \pm 5,47$ mg. L⁻¹ para o ponto de precipitação direta, $9,42 \pm 13,23$ mg. L⁻¹ para *first flush* e $3,83 \pm 5,52$ mg. L⁻¹ para o reservatório. Todos os pontos amostrais ficaram compreendidos entre 0,00 e 34,41 mg. L⁻¹. Segundo Kareem *et al.* (2017) as amostras coletadas em seu estudo compreenderam a faixa de 18,4 a 70 mg. L⁻¹ de cloreto na cidade de Erbil, no Iraque.

No presente trabalho, os pontos de *first flush* tiveram comportamento semelhante ao longo de todo o período amostral, com exceção da amostra referente a coleta de janeiro de 2020. As amostras analisadas no ponto RR nos meses de maio, agosto e outubro de 2019 e janeiro de 2020 tiveram valores menores que os encontrados no dispositivo de *first flush*, entretanto, esta redução não foi tão perceptível. A passagem da amostra de água de chuva pela coluna de adsorção (AD) resultou no acréscimo de cloreto nas amostras do ponto AD e UF, com resultados superiores ao reservatório de armazenamento (RR).

Sabe-se que no processo de fabricação do vidro sinterizado, há a adição de sal ao vidro moído para auxiliar na formação de uma estrutura porosa (ASSIS, 2006; ASSIS, PESSOA, CALBO, 2013; ORTIZ, 2018). No trabalho realizado por Assis (2006) foi obtida uma remoção do sal quase total por lavagem, em um intervalo de fração estimada de sal removido compreendido entre 97,7 e 98,8 %. Soltovski e Kawamoto (2016) adotaram um período de fervura de 4 h para remoção do sal, pois uma análise das amostras após 2 h de fervura indicou a presença de cristais NaCl na superfície das membranas amostrais. A eficiência de remoção de sal calculada pelos autores ficou entre 92,3 e 94,85 %. O trabalho de Ortiz (2018) adotou metodologia semelhante à de Soltovski e Kawamoto (2016) e a porcentagem de massa de sal removida calculada pelo autor foi de 80,5 e 87,9 %.

Deste modo, a elevação do parâmetro cloreto após as amostras de água de chuva percorrerem as mídias de vidro sinterizado pode ser decorrente do desprendimento de NaCl restante, uma vez que os estudos não indicaram remoção completa do sal. Von Sperling (2014) diz que os cloretos (Cl^-) são provenientes da dissolução de sais, como o cloreto de sódio. Portanto, este estudo não pode afirmar que a fase não sinterizável (NaCl) adicionada no processo de fabricação tenha sido retirada em totalidade a ponto de não interferir nos resultados encontrados.

Os valores de cloreto nos sistemas SAP-UERJ e TPLUV variaram de 0,00 a 26,91 mg. L^{-1} . Assim, todos os pontos apresentaram conformidade com o limite máximo de 250 mg. L^{-1} de Cl^- estipulado na Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021).

Os valores encontrados podem ser considerados baixos quando comparados com a água do mar, em que se encontra a maior concentração de cloreto, em torno de 26.000 mg. L^{-1} . O uso pode ser restringido quando apresentar elevados resultados de cloreto, devido a adição de sabor a água e efeito laxativo (FUNASA, 2013).

Souza, Mello e Maddock (2021) avaliaram a composição química da água de chuva na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com a localização de um dos pontos de água de chuva amostrada situada no campus da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), bairro Maracanã, no período de meados de 1999 a março de 2000. Com base na discussão dos autores, a área é caracterizada por ter fluxo de veículos intensos e pouca ventilação, devido à proximidade com o maciço da Tijuca, definida como barreira topográfica contra a predominância dos ventos sul. Além disso, o bairro é caracterizado como áreas urbanas costeiras, pois está localizado a 9 km ao norte do Atlântico litoral.

De acordo com o estudo (SOUZA, MELLO, MADDOCK, 2021), os elementos cloreto (Cl^-) e sódio (Na^+) foram os mais abundantes na região, visto que juntos representaram cerca

de metade dos constituintes inorgânicos totais dissolvidos na água de chuva, com 27% para Cl^- e 21% para Na^+ . Este resultado indica que, provavelmente, a composição química da água de chuva na região de interesse é fortemente governada por aerossol de sal marinho. Os autores acreditam que o aumento de Cl^- na água de chuva decorre da volatilização do HCl gasoso das partículas de sal marinho, mas também pode ser proveniente do HCl gasoso e partículas de KCl resultantes da queima de biomassa.

A Tabela 14 contém a estatística descritiva das análises do parâmetro cloreto, com média e desvio padrão, valores mínimos e máximos. Os resultados permitem concluir que todos os pontos apresentaram conformidade com o limite de referência estabelecido.

Tabela 14 – Estatística descritiva para o parâmetro cloreto

Parâmetro cloreto (mg. L ⁻¹)							
Ponto	Dados estatísticos				Limite de referência	Total de amostras (n) ⁽²⁾	Amostras atendidas (%) ⁽³⁾
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão			
PD	0,00	19,67	5,89	9,37	≤ 250 ⁽¹⁾	04	04 (100%)
FF1	0,00	26,91	6,97	10,14		10	10 (100%)
FF2	0,00	23,29	4,37	7,09		10	10 (100%)
RR	0,00	12,21	3,07	4,02		09	09 (100%)
AD	0,00	9,11	4,51	3,14		09	09 (100%)
UF	0,00	11,18	4,46	3,80		09	09 (100%)

⁽¹⁾ Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021); ⁽²⁾ Total de amostras analisadas por ponto; ⁽³⁾ Porcentagem da quantidade de amostras que atendem ao limite de referência.

Fonte: Autora, 2022.

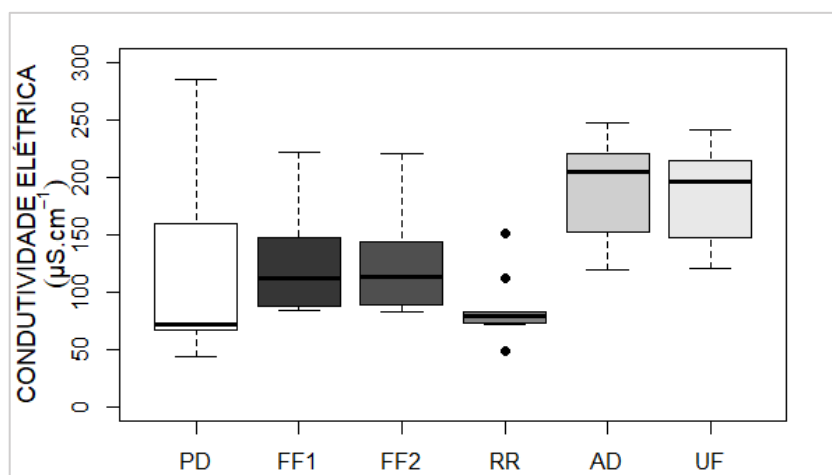
3.4 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica mede a capacidade que a água tem de transmitir corrente elétrica. Este fato ocorre pela dissociação de substâncias dissolvidas em ânions e cátions, como íons de potássio (K^+), cloreto (Cl^-), cálcio (Ca^{2+}), sódio (Na^+) e magnésio (Mg^{2+}). Assim, a condutividade elétrica tem uma correlação direta com a concentração iônica (LIBÂNIO, 2010).

As médias mais elevadas foram constatadas nas amostras de águas pluviais após o tratamento das amostras com a coluna de adsorção (AD) com mídia porosa, com resultados de $187,11 \pm 47,58 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para AD e $187,71 \pm 44,37 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para UF. Os demais pontos do sistema apresentaram médias equivalentes a $113,23 \pm 78,33 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para PD, $124,49 \pm 42,99$

$\mu\text{S.cm}^{-1}$ para FF1, $123,91 \pm 42,40 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para FF2 e $85,89 \pm 29,30 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para RR (Figura 32).

Figura 32 – *Boxplot* do parâmetro condutividade elétrica por ponto de coleta



Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autora, 2022.

Os valores mais elevados foram encontrados no ponto de precipitação direta (PD = $285,00 \mu\text{S.cm}^{-1}$), seguido dos pontos de tratamento (AD = $247,00 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e UF = $242,00 \mu\text{S.cm}^{-1}$), dos pontos de *first flush* (FF1 = $222,10 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e FF2 = $220,20 \mu\text{S.cm}^{-1}$) e do ponto do reservatório (RR = $150,70 \mu\text{S.cm}^{-1}$). Em todos os pontos do sistema SAP-UERJ e TPLUV, a condutividade variou entre $44,00$ e $285,00 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

Libânio (2010) diz que soluções que tenham a maioria dos compostos do tipo inorgânicos apresentam valores mais altos para condutividade, contudo, a presença de compostos orgânicos em solução que não se dissociam resultam na redução da capacidade de transmitir corrente elétrica.

Apesar da pesquisa não ter o enfoque na análise sazonal, foi possível observar que os resultados mais elevados para os pontos de precipitação direta (PD) e *first flush* (FF) corresponderam as amostras coletadas nos dias 06 de agosto, 26 de agosto e 30 de outubro de 2019, referente a meses do calendário em que ocorreu uma redução da precipitação.

Rocha *et al.* (2011) verificaram que os maiores resultados de condutividade ocorreram nas coletas após dias de estiagem. Neu *et al.* (2018) monitoraram a qualidade da água de chuva armazenada em cisternas instaladas na comunidade ribeirinha do Furo Grande – Pará e

encontraram os valores mínimos, máximos e médios de condutividade iguais a 20, 77 e $35,7 \pm 19 \mu\text{S.cm}^{-1}$ durante período menos chuvoso e de 7, 27 e $13,3 \pm 5,6 \mu\text{S.cm}^{-1}$ no período mais chuvoso. Segundo esses autores, a atmosfera e a superfície de captação tornam-se mais limpas com o aumento da frequência de precipitação, uma vez que o material particulado é solubilizado no período mais chuvoso, reduzindo a condutividade elétrica, devido a redução da concentração de íons na atmosfera.

Além disso, outros estudos indicaram valores mais elevados de condutividade elétrica na água coletada do telhado de fibrocimento, em relação as amostras coletadas diretamente da atmosfera, indicando sólidos dissolvidos nos materiais depositados na superfície de captação (HAGEMANN e GASTALDINI, 2016). Este fato foi observado nas amostras de águas analisadas, com exceção das amostras coletadas nos meses de agosto e outubro. Fornaro (2006) relata que as medições de pH e condutividade têm sido utilizadas na caracterização química da precipitação atmosférica por serem acessíveis.

Após o descarte das primeiras águas pelo dispositivo de *first flush* (FF1 e FF2) houve uma redução dos valores no ponto do reservatório (RR), com oscilação da condutividade entre 49,00 e $150,70 \mu\text{S.cm}^{-1}$, o que demonstra a importância em adotar sistemas de descarte do volume inicial precipitado como medida de melhoria da qualidade da água armazenada.

Observa-se que o uso da coluna de adsorção (AD) com mídia porosa de vidro sinterizado resultou no aumento da condutividade nos pontos do sistema de tratamento (TPLUV), com valores mínimos e máximos iguais a 119,60 e $247,00 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para AD e 120,00 e $242,00 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para UF. Como o processo de tratamento com os dispositivos é sequencial, a membrana de ultrafiltração (UF) permaneceu com comportamento semelhante à coluna de adsorção (AD). Von Sperling (2014) esclarece que os sólidos dissolvidos são partículas com diâmetro inferior a $10^{-3} \mu\text{m}$, portanto, a tecnologia de ultrafiltração (UF) adotada neste estudo não é recomendada para a retenção de espécies iônicas dissolvidas em água, em função do seu cartucho de filtração de 20 nm.

Oliveira (2020) também verificou alteração do parâmetro condutividade ao utilizar uma coluna de adsorção no seu sistema. De acordo com o autor, o ponto que antecede a coluna teve média de $55,16 \pm 46,26 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e o ponto posterior apresentou média de $99,77 \pm 36,57$, após uso da coluna. A dissociação de substâncias dissolvidas em ânions e cátions aumenta a concentração iônica em solução e, conseqüentemente, há o aumento da capacidade de condução de corrente elétrica (MS, 2006).

Portanto, o processo da água de chuva em contato com as mídias pode resultar no acréscimo de Na^+ , K^+ e Cl^- nas amostras coletadas, conforme lixiviação alcalina inicial das

médias porosas indicada na discussão do parâmetro pH e dissolução de sais observada nos resultados do parâmetro cloreto. Sabe-se que a condutividade é influenciada pela presença desses cátions e ânions em solução e que, portanto, o aumento observado do parâmetro seria justificado por esse processo de lixiviação.

A NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) instrui quanto ao valor máximo permitido para condutividade elétrica igual a $3.200 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Como o valor máximo encontrado foi de $285,00 \mu\text{S.cm}^{-1}$, todos os pontos do sistema de coleta e tratamento de águas pluviais (SAP-UERJ e TPLUV) atenderam ao limite máximo estabelecido.

A Tabela 15 contém estatística descritiva das análises do parâmetro condutividade elétrica, com média e desvio padrão, valores mínimos e máximos e porcentagem que atende o limite de referência. Todos os pontos do sistema respeitaram o limite máximo permitido.

Tabela 15 – Estatística descritiva para o parâmetro condutividade elétrica

Parâmetro condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)							
Ponto	Dados estatísticos				Limite de referência	Total de amostras (n) ⁽²⁾	Amostras atendidas (%) ⁽³⁾
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão			
PD	44,00	285,00	113,23	78,33	≤ 3.200 ⁽¹⁾	09	09 (100%)
FF1	83,60	222,10	124,49	42,99		10	10 (100%)
FF2	82,70	220,20	123,91	42,40		10	10 (100%)
RR	49,00	150,70	85,89	29,30		09	09 (100%)
AD	119,60	247,00	187,11	47,58		09	09 (100%)
UF	120,00	242,00	181,71	44,37		09	09 (100%)

⁽¹⁾ NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019); ⁽²⁾ Total de amostras analisadas por ponto; ⁽³⁾ Porcentagem da quantidade de amostras que atendem ao limite de referência.

Fonte: Autora, 2022.

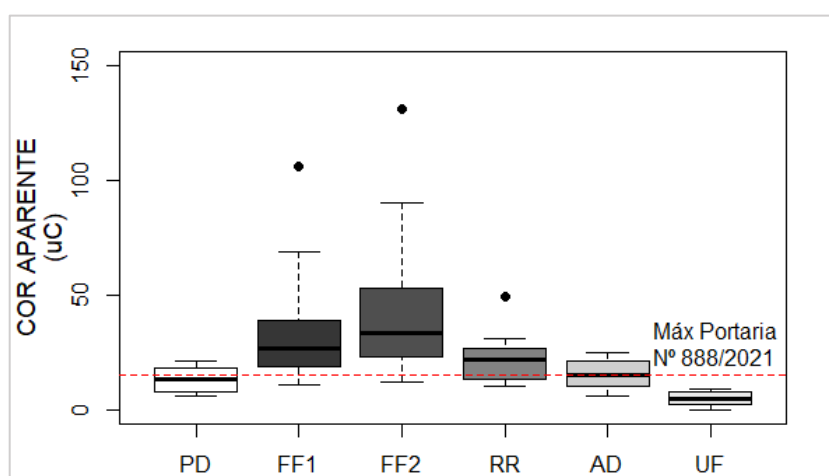
3.5 Cor Aparente

A reflexão da luz em pequenas partículas que estão dispersas, com dimensão abaixo de $10 \mu\text{m}$ e predominantemente orgânicas resultam na coloração da água (LIBÂNIO, 2010). As partículas coloidais são aquelas que apresentam diâmetro entre 10^{-3} e $10^0 \mu\text{m}$ e os sólidos dissolvidos têm diâmetro menor que $10^{-3} \mu\text{m}$ (VON SPERLING, 2014). Além disso, há uma diferença entre cor aparente e cor verdadeira no processo de caracterização das águas, pois uma parcela de cor pode estar associada à turbidez da água nos resultados obtidos para cor aparente,

contudo, nos valores de cor verdadeira não há a interferência dos sólidos suspensos, devido sua remoção (VON SPERLING, 2014; LIBÂNIO, 2010).

As amostras de água de chuva apresentaram cor aparente médias iguais a $13,00 \pm 5,92$ uC para PD, $36,80 \pm 29,41$ uC para FF1, $46,10 \pm 37,06$ uC para FF2, $23,11 \pm 12,38$ uC para RR, $15,56 \pm 6,50$ uC para AD e $4,89 \pm 3,37$ uC par UF. De maneira geral, as amostras armazenadas nos dispositivos de *first flush* (FF1 e FF2) tiveram os maiores resultados, com valor mínimo de 11,00 uC e máximo igual a 131,00 uC (Figura 33).

Figura 33 – *Boxplot* do parâmetro cor aparente por ponto de coleta



Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autora, 2022.

Neste estudo é possível observar que o parâmetro cor aparente aumentou após o contato da água de chuva com a superfície de captação, uma vez que os pontos de descarte inicial (FF1 e FF2) tiveram valores mais altos que o ponto de precipitação direta (PD), cujo valor máximo neste ponto foi de 21 uC.

Ao analisar amostras de águas pluviais coletadas em telhas de cerâmica e armazenadas em um reservatório sem descarte inicial na Universidade Estadual Paulista, situada no município de Rio Claro - São Paulo, Nakada e Moruzzi (2014) obtiveram valor mínimo e máximo, respectivamente, de 4,33 e 853,33 uC, com média de $66,36 \pm 134,64$ uC.

Uma análise geral do gráfico de *boxplot* (Figura 33) indica uma redução do parâmetro cor aparente na amostra de água armazenada no reservatório, a partir do uso dos dispositivos de descarte de volume inicial, o que resultou em uma água de melhor qualidade para o ponto RR com valores compreendidos entre 10,00 e 49,00 uC. Entretanto, esta melhoria não garantiu

que o limite estabelecido na Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021) igual a 15 uC fosse atendido. Assim, uma etapa de tratamento posterior ao ponto do reservatório torna-se necessária.

O uso da coluna de adsorção de mídia de cerâmica (AD) ocasionou uma redução do parâmetro cor, com valores compreendidos entre a faixa 6,00 e 25,00 uC, mas ainda insuficiente para que os resultados ficassem abaixo do limite máximo permitido. Ao utilizar a membrana de ultrafiltração (UF), após a coluna de adsorção, todas as amostras apresentaram resultados inferiores a 15 uC (BRASIL, 2021), com valor mínimo de 0,00 uC e valor máximo encontrado de 9,00 uC.

O sistema de coleta e tratamento de águas pluviais TPLUV contribuiu com a melhoria da qualidade da água, quanto ao parâmetro cor aparente ao longo dos pontos do sistema, no período de estudo analisado entre abril de 2019 e janeiro de 2020. Contudo, a membrana de ultrafiltração (UF) apresentou eficiência superior em relação a qualidade da água para este parâmetro em etapas de tratamentos situados à montante do sistema. Logo, 33,3 % das amostras do ponto RR atenderam ao limite disposto na Portaria de Potabilidade (BRASIL, 2021), enquanto essa porcentagem correspondeu a 55,6 % para AD e 100,0% para UF, de um total de 9 (nove) amostras analisadas por ponto.

Zipf *et al.* (2013) concluíram que as amostras de água de chuva referente ao primeiro descarte da precipitação efetiva inicial tiveram valores de cor aparente mais elevados que as amostras dos reservatórios de armazenamento. Portanto, este processo de descarte proporcionou o armazenamento de uma água de melhor qualidade. Os autores realizaram um tratamento com um filtro composto por areia, brita e manta geotêxtil e observaram uma variação proporcional entre cor aparente e turbidez. O filtro foi capaz de remover a cor aparente associada aos sólidos em suspensão, entretanto, a presença de cor aparente restante no sistema foi associada aos materiais dissolvidos, como carbono orgânico.

A Tabela 16 contém a estatística descritiva das análises do parâmetro cor aparente, com média e desvio padrão, valores mínimos e máximos e porcentagem que atende o limite de referência. Apenas após o uso da membrana de ultrafiltração que o limite máximo foi atendido no período estudado, todos os demais pontos não atenderam completamente ao disposto na referência.

Tabela 16 – Estatística descritiva para o parâmetro cor aparente

Parâmetro cor aparente (uC)							
Ponto	Dados estatísticos				Limite de referência	Total de amostras (n) ⁽²⁾	Amostras atendidas (%) ⁽³⁾
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão			
PD	6,00	21,00	13,00	5,92	≤ 15 ⁽¹⁾	09	06 (67%)
FF1	11,00	106,00	36,80	29,41		10	02 (20%)
FF2	12,00	131,00	46,10	37,06		10	01 (10%)
RR	10,00	49,00	23,11	12,38		09	03 (33%)
AD	6,00	25,00	15,56	6,50		09	05 (56%)
UF	0,00	9,00	4,89	3,37		09	09 (100%)

⁽¹⁾ Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021); ⁽²⁾ Total de amostras analisadas por ponto; ⁽³⁾ Porcentagem da quantidade de amostras que atendem ao limite de referência.

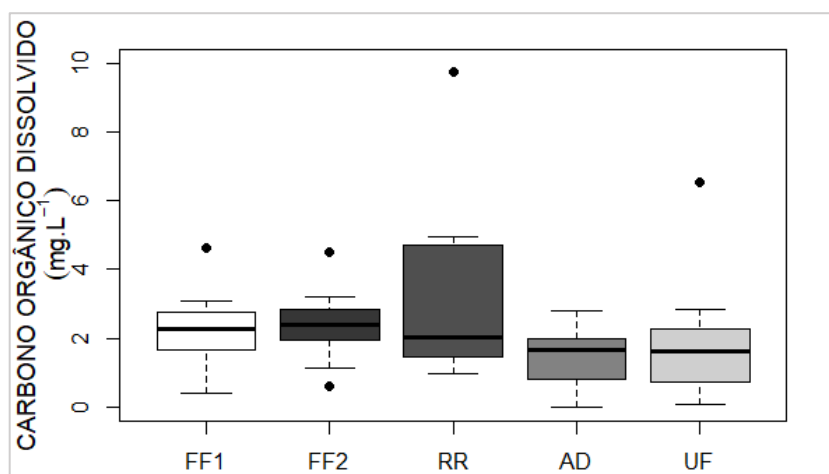
Fonte: Autora, 2022.

3.6 Carbono orgânico dissolvido

A medição do teor de carbono é uma maneira de quantificar a concentração de matéria orgânica presente na água, que pode ser encontrada em parcelas dissolvidas determinada pelo Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e pelas frações particuladas referente ao Carbono Orgânico Particulado (COP), que juntas compõem o Carbono Orgânico Total (COT) (MIRANDA, AVELAR, 2018; LIBÂNIO, 2010). A composição do COD pode ser pela presença de moléculas de altos e baixos pesos moleculares, por proteínas, carboidratos e lipídeos (fração lábil) e por ácidos húmicos (fração refratária) (MIRANDA, AVELAR, 2018)

A maior média obtida para COD no sistema de águas pluviais ocorreu no reservatório de armazenamento (RR), igual a $3,38 \pm 2,97$ mg. L⁻¹, e com maior valor máximo observado de 9,79 mg. L⁻¹. O segundo maior resultado foi verificado no sistema de ultrafiltração (UF), igual a 6,53 mg. L⁻¹, com os *outliers* dos pontos RR e UF pertencentes a amostra de setembro de 2019. Nota-se um comportamento similar entre os pontos de *first flush* FF1 e FF2, com médias de $2,22 \pm 1,25$ mg. L⁻¹ e $2,36 \pm 1,14$ mg. L⁻¹, respectivamente. O mesmo ocorreu entre os pontos do sistema de tratamento TPLUV, com médias iguais a $1,44 \pm 1,05$ mg. L⁻¹ para AD e $1,98 \pm 2,03$ mg. L⁻¹ para UF (Figura 34).

Figura 34 – *Boxplot* do parâmetro carbono orgânico dissolvido por ponto de coleta



Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autora, 2022.

De acordo com o *boxplot* na Figura 34, a água armazenada no reservatório (RR) apresentou resultado mais elevado em comparação com as amostras contidas nos dispositivos de descarte das primeiras. Os maiores valores encontrados no ponto RR corresponderam as coletas de agosto ($4,41 \text{ mg. L}^{-1}$), setembro ($9,76 \text{ mg. L}^{-1}$) e dezembro ($4,97 \text{ mg. L}^{-1}$), campanhas que apresentaram baixos volumes precipitados.

O estudo de Kim *et al.* (2016) verificou a interferência do tipo de material utilizado nas superfícies de captação na qualidade da amostra armazenadas nas cisternas, que indicou valor médio de COD mais elevados nas cisternas após telhado asfáltico ($13,7 \text{ mg. L}^{-1}$) em relação as telhas de galvalume ($1,0 \text{ mg. L}^{-1}$). Portanto, o uso da telha de fibrocimento pode ter contribuído com a piora de qualidade encontrada nas amostras do reservatório.

As emissões urbanas e industriais de origem antropogênica e as emissões decorrentes da vegetação e queima de biomassa de fontes biogênicas contribuem com a existência de carbono orgânico atmosférico (SIUDEK, FRANKOWSKI, SIEPAK, 2015). Portanto, a precipitação contribui com uma parcela de COD encontrado nas amostras de águas pluviais, devido ao carreamento e dissolução de compostos orgânicos presentes na atmosfera, como hidrocarbonetos, aldeídos e cetonas (MIRANDA, AVELAR, 2018).

No estudo de Pantelaki *et al.* (2018) com o objetivo de avaliar a composição do carbono orgânico dissolvido nas amostras de água de chuva coletadas ao norte da Grécia, a concentração de COD variou entre $0,33$ e $24,5 \text{ mg. L}^{-1}$, com média igual a $4,55 \pm 5,18 \text{ mg. L}^{-1}$. As

concentrações de COD determinadas para duas áreas localizadas na Polônia no estudo de Siudek, Frankowski, Siepak (2015) foram maiores na precipitação urbana ($5,10 \pm 7,46 \text{ mg. L}^{-1}$) quando comparada as amostras coletadas em área não urbana ($4,72 \pm 4,21 \text{ mg. L}^{-1}$), fato associado às fontes locais de poluição de combustão de carvão, tráfego de veículos e obras.

Constata-se que uso da coluna de adsorção (AD) no tratamento das amostras de águas pluviais do reservatório, composta por mídia de vidro sinterizado e carvão ativado, ocasionou a redução da matéria orgânica do ponto RR para o ponto AD. O ponto da coluna de adsorção variou entre $0,00 \text{ mg. L}^{-1}$ e $2,81 \text{ mg. L}^{-1}$, considerando as 7 (sete) amostras analisadas neste ponto. A membrana de ultrafiltração (UF) manteve o comportamento gráfico similar a coluna de adsorção (AD), após passagem da amostra da água de chuva da coluna de adsorção na membrana de ultrafiltração, com amostras variando de $0,05 \text{ mg. L}^{-1}$ e $6,53 \text{ mg. L}^{-1}$.

Um dos adsorventes mais utilizados no tratamento de águas é o carvão ativado, podendo ser em pó ou granulado. Esta prática tem sido adotada para reduzir a concentração de compostos orgânicos indesejados, destacando-se os subprodutos da cloração (DI BERNARDO, 2003). A capacidade de adsorção do carvão ativado está associada à sua porosidade, permitindo remover gosto, odor, cor e substâncias orgânicas dissolvidas (FREIRE e LIMA, 2017). Além disso, Assis e Vieira (2009) relatam que os tratamentos químicos aplicados aos materiais vítreos podem alterar as propriedades físico-químicas superficiais, intensificando as interações com compostos orgânicos, de modo a tornar o uso deste material com a finalidade de adsorção e retenção superficial.

Em todos os pontos do sistema do SAP-UERJ e TPLUV, os valores para carbono orgânico dissolvido flutuaram entre $0,00 \text{ mg. L}^{-1}$ e $9,76 \text{ mg. L}^{-1}$. A NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) e a Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021) não definem limites de COD. Apenas a NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) menciona o limite máximo de 4 mg. L^{-1} para Carbono Orgânico Total (COT), contudo, este parâmetro não foi abordado neste estudo.

A Tabela 17 contém a estatística descritiva do parâmetro carbono orgânico dissolvido, com média e desvio padrão, valores mínimos e máximos. Entretanto, devido ausência de um padrão de referência, a porcentagem referente ao atendimento ao limite não foi indicada. Nota-se que este parâmetro apresenta uma alta variabilidade dos dados devido aos resultados obtidos para desvio padrão, com elevada dispersão em relação à média.

Tabela 17 – Resumo estatístico para o parâmetro carbono orgânico dissolvido

Parâmetro carbono orgânico dissolvido (mg. L ⁻¹)							
Ponto	Dados estatísticos				Limite de referência	Total de amostras (n) ⁽²⁾	Amostras atendidas (%) ⁽³⁾
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão			
PD	-	-	-	-	ND ⁽¹⁾	-	-
FF1	0,41	4,62	2,22	1,25		09	-
FF2	0,61	4,49	2,36	1,14		09	-
RR	0,96	9,79	3,38	2,97		08	-
AD	0,00	2,81	1,44	1,05		07	-
UF	0,05	6,53	1,98	2,03		08	-

⁽¹⁾ ND – ausência de referência; ⁽²⁾ Total de amostras analisadas por ponto; ⁽³⁾ Porcentagem da quantidade de amostras que atendem ao limite de referência.

Fonte: Autora, 2022.

3.7 Alcalinidade total

O parâmetro alcalinidade é responsável por medir a capacidade da amostra em neutralizar um ácido por meio da presença de íons na água que irão reagir a fim de neutralizar os íons hidrogênio, ou seja, a capacidade tampão associada a resistência às alterações de pH (WILSON, 2019, VON SPERLING, 2014).

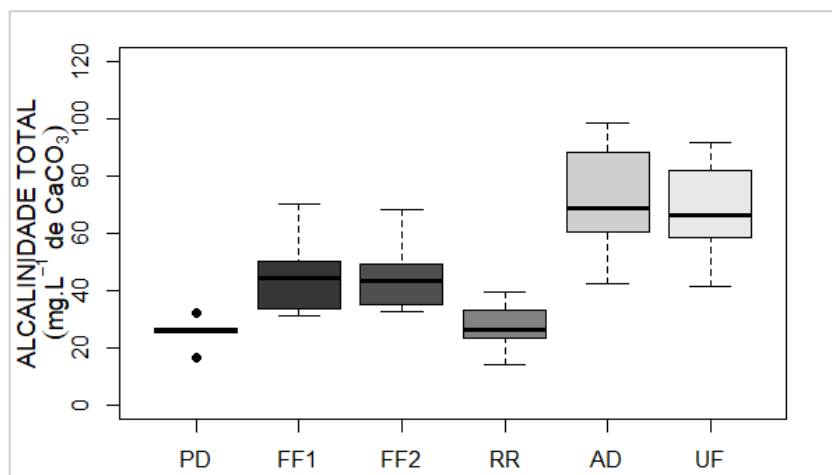
Os íons que contribuem com a alcalinidade têm sua origem na dissolução de minerais, uma vez que a água de chuva de caráter naturalmente ácido solubiliza com maior facilidade determinados minerais. Uma série de equilíbrios químicos ocorrem no sistema de carbonato, pois há a formação de ácido carbônico a partir da reação do gás carbônico com moléculas de água, que rapidamente se dissocia devido à sua instabilidade, com a formação de um íon bicarbonato (HCO_3^-). Conforme ocorre a elevação do pH, o íon bicarbonato se dissocia a fim de produzir um íon H^+ e um carbonato (CO_3^{2-}) (WILSON, 2019).

Os constituintes responsáveis pela alcalinidade total, expressas em mg. L⁻¹ de CaCO_3 , são os: bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-). De acordo com o pH, a distribuição da alcalinidade ocorre, como: pH > 9,4 (hidróxidos e carbonatos), pH entre 8,3 e 9,4 (carbonatos e bicarbonatos) e pH entre 4,4 e 8,3 (apenas bicarbonatos) (FUNASA, 2014).

As maiores médias de alcalinidade total foram obtidas nas amostras do sistema de tratamento com coluna de adsorção (AD) e membrana de ultrafiltração (UF), com médias iguais a $71,77 \pm 18,77$ mg. L⁻¹ de CaCO_3 para AD e de $69,14 \pm 17,12$ mg. L⁻¹ de CaCO_3 para UF. O

ponto de precipitação direta (PD) teve média de $25,31 \pm 5,09 \text{ mg. L}^{-1}$ de CaCO_3 , enquanto as médias para os pontos de descarte inicial foram iguais a $44,48 \pm 11,62 \text{ mg. L}^{-1}$ de CaCO_3 para FF1 e $44,50 \pm 10,56 \text{ mg. L}^{-1}$ de CaCO_3 para FF2. A média do ponto do reservatório (RR) foi de $26,97 \pm 8,23 \text{ mg. L}^{-1}$ de CaCO_3 (Figura 35).

Figura 35 – *Boxplot* do parâmetro alcalinidade total por ponto de coleta



Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autora, 2022.

Após o resultado do contato da água precipitada com a superfície de captação, obtido nas amostras do FF1 e FF2, o parâmetro alcalinidade teve seu valor elevado em comparação as amostras coletadas diretamente da atmosfera (PD). Os pontos de *first flush* primário (FF1) e secundário (FF2) apresentaram comportamento similar entre si e foram essenciais na redução do parâmetro na água armazenada no reservatório (RR). Os pontos do sistema de captação e armazenamento de águas pluviais SAP-UERJ (PD, FF1, FF2 e RR) variaram entre 13,0 e 70,08 mg. L^{-1} de CaCO_3 .

No período de abril a agosto de 2019 ocorreu a elevação do parâmetro alcalinidade, fato também verificado no parâmetro condutividade, além de apresentar comportamento similar ao longo do ano entre esses dois parâmetros, com exceção da amostra coletada no dia 26 de agosto de 2019. Desse modo, foi observado um aumento da alcalinidade total em períodos de menor volume de precipitação acumulada.

O uso da coluna de adsorção (AD) contribuiu com o aumento da alcalinidade total, interferindo nos pontos AD e UF. A variação dos resultados dos pontos do sistema de

tratamento de águas pluviais TPLUV (AD e UF) ficou compreendida na faixa de 41,17 a 98,40 mg. L⁻¹ de CaCO₃.

Marangoni *et al.* (2019) estudaram a qualidade da água de chuva captada nas paredes das edificações com 2 (dois) revestimentos distintos e também notou que a alcalinidade apresentou o mesmo comportamento da condutividade, em que os maiores valores foram registrados na ausência de chuva anterior. Costa *et al.* (2020) obteve uma média de $8,37 \pm 5,75$ mg. L⁻¹ para o telhado de fibrocimento, abaixo do resultado encontrado nesse estudo.

A NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) e a Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021) não estimaram valores referentes a este parâmetro. Nesse sentido, utilizou-se o Manual de Conservação e Reuso da Água em Edificações (ANA, 2005) que recomenda o valor máximo permitido para alcalinidade, para uso preponderante da água em torres de resfriamento, igual a 350 mg. L⁻¹ com recirculação e 500 mg. L⁻¹ sem recirculação.

Todos os valores de alcalinidade total obtido neste trabalho ficaram abaixo de 100 mg. L⁻¹ de CaCO₃, de acordo com recomendado no Manual de Conservação (ANA, 2005). O menor valor encontrado de alcalinidade total foi de 13,80 mg. L⁻¹ de CaCO₃ na amostra do ponto RR e o maior valor foi de 98,40 mg. L⁻¹ de CaCO₃ na amostra do ponto AD. Para a maioria das águas naturais, os resultados de alcalinidade variam entre 30 e 500 mg. L⁻¹ de CaCO₃, sendo que o valor raramente excede 400 a 500 mg. L⁻¹ de CaCO₃ para água (FUNASA, 2014).

A Tabela 18 contém a estatística descritiva das análises do parâmetro alcalinidade total, com média e desvio padrão, valores mínimos e máximos. Entretanto, não foi possível calcular a porcentagem atendida com base nas referências legais adotadas.

Tabela 18 – Resumo estatístico para o parâmetro alcalinidade total

Parâmetro alcalinidade total (mg. L ⁻¹ de CaCO ₃)							
Ponto	Dados estatísticos				Limite de referência	Total de amostras (n) ⁽²⁾	Amostras atendidas (%) ⁽³⁾
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão			
PD	16,33	32,16	25,31	5,09	ND ⁽¹⁾	06	-
FF1	31,20	70,08	44,48	11,62		10	-
FF2	32,43	68,16	44,50	10,56		10	-
RR	13,80	39,36	26,97	8,23		09	-
AD	42,32	98,40	71,77	18,77		09	-
UF	41,17	91,68	69,14	17,12		09	-

⁽¹⁾ ND – ausência de referência; ⁽²⁾ Total de amostras analisadas por ponto; ⁽³⁾ Porcentagem da quantidade de amostras que atendem ao limite de referência.

Fonte: Autora, 2022.

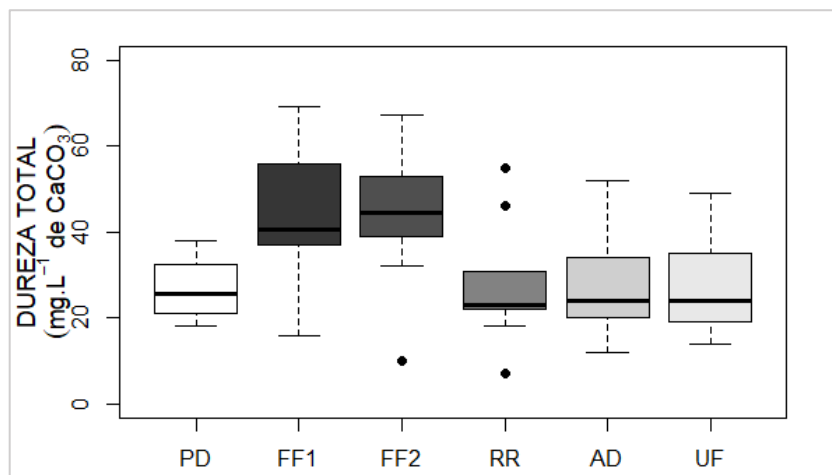
3.8 Dureza total

A capacidade que a água apresenta de precipitar sabão está associada ao parâmetro dureza, visto que uma maior quantidade de sabão é necessária para obter a mesma limpeza à medida que há o aumento da dureza (WILSON, 2019). Portanto, a dureza está associada a concentração de cátions multimetálicos presentes em solução, sendo os cátions bivalentes cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) os mais comuns (VON SPERLING, 2014).

Normalmente, divide-se a dureza em duas classes. A primeira refere-se a dureza carbonato, decorrente da presença de bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato e (CO_3^{2-}), enquanto a segunda é denominada dureza não carbonato relacionada a outros ânions, como cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}) (VON SPERLING, 2014). A soma das durezas carbonato e não carbonato correspondem a dureza total (WILSON, 2019; VON SPERLING, 2014). A dureza carbonato, denominada de temporária, corresponde à alcalinidade. A dureza não carbonato, definida como permanente, está relacionada aos demais ânions (VON SPERLING, 2014; LIBÂNIO, 2010).

As maiores médias para dureza total foram encontradas nas amostras de *first flush*, iguais a $43,51 \pm 15,06 \text{ mg. L}^{-1}$ de CaCO_3 para FF1 e $43,82 \pm 15,67 \text{ mg. L}^{-1}$ de CaCO_3 para FF2. Os demais pontos do sistema apresentaram médias iguais a $26,75 \pm 8,38 \text{ mg. L}^{-1}$ de CaCO_3 para PD, $28,11 \pm 14,58 \text{ mg. L}^{-1}$ de CaCO_3 para RR, $28,67 \pm 13,16 \text{ mg. L}^{-1}$ de CaCO_3 para AD e $27,89 \pm 11,60 \text{ mg. L}^{-1}$ de CaCO_3 para UF (Figura 36).

Figura 36 – *Boxplot* do parâmetro dureza total por ponto de coleta



Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autora, 2022.

O contato das águas pluviais com o telhado contribuiu com o aumento do parâmetro dureza total nos pontos de descarte de volume inicial (FF1 e FF2), uma vez que esses pontos tiveram resultados superiores em relação as águas coletadas diretamente da atmosfera (PD). Verifica-se que houve um comportamento semelhante entre os pontos FF1 e FF2, com valores compreendidos entre 10,00 e 69,12 mg. L⁻¹ de CaCO₃.

Após o uso do dispositivo *first flush*, foi identificado um decréscimo do parâmetro dureza total nas amostras de água de chuva armazenadas no reservatório e, por isso, esses dispositivos reduziram também os valores do parâmetro no ponto RR. De acordo com os resultados, não houve expressiva variação entre os pontos RR, AD e UF, e os valores estão em uma faixa de 7,00 a 55,00 mg. L⁻¹ de CaCO₃.

Os autores Farto e Silva (2020) verificaram a variação da qualidade da água de chuva armazenada em cisternas para suprir a demanda de água em regiões que há a ausência de sistemas de abastecimento de água, localizadas no semiárido brasileiro no estado da Paraíba. Os valores de dureza encontrados no período de fevereiro a outubro de 2017 compreenderam uma faixa de 56,0 a 95,0 mg. L⁻¹.

Os resultados de dureza total encontrados por Oliveira (2020) no bairro Jardim Sulacap, Rio de Janeiro – RJ foram iguais a $1,20 \pm 0,15$ mg. L⁻¹ para a precipitação direta, $0,85 \pm 0,38$ para descarte inicial. Estes valores estão bem abaixo dos resultados encontrados no presente estudo.

De modo geral, os resultados do sistema SAP-UERJ e TPLUV variaram entre 7,00 e 69,12 mg. L⁻¹ de CaCO₃, em todos os pontos amostrais. Apenas a Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021) determina valor máximo permitido para este parâmetro igual a 300 mg. L⁻¹ de CaCO₃, deste modo, todos os resultados das amostras de águas pluviais estiveram abaixo do limite permitido.

Von Sperling (2014) classifica a dureza da água em água mole, quando o resultado é inferior a 50 mg. L⁻¹ de CaCO₃, água com dureza moderada compreendida entre 50 e 150 mg. L⁻¹ de CaCO₃, água dura entre 150 e 300 mg. L⁻¹ de CaCO₃ e água muito dura quando o valor é superior a 300 mg. L⁻¹ de CaCO₃.

Os resultados obtidos neste trabalho inferiores a 50 mg. L⁻¹ de CaCO₃ corresponderam a 100 % para PD, 70 % para FF1, 70 % para FF2, 88,9 % para RR, 88,9 % para AD e 100 % para UF. Desta forma, considera-se a água de chuva coletada e analisada para os pontos de precipitação direta (PD) e membrana de ultrafiltração (UF) como, água mole. Os demais pontos classificam-se, majoritariamente, como água mole, mas algumas amostras atingiram a faixa de

dureza moderada. A dureza não indica inconveniência sanitária, mas econômica, pois reduz a formação de espuma, sobretudo em serviços de limpeza em geral (LIBÂNIO, 2010).

A Tabela 19 contém a estatística descritiva das análises do parâmetro dureza total, com média e desvio padrão, valores mínimos e máximos. Todos os pontos do sistema apresentaram conformidade com o limite máximo permitido.

Tabela 19 – Estatística descritiva para o parâmetro dureza total

Parâmetro dureza total (mg. L ⁻¹ de CaCO ₃)							
Ponto	Dados estatísticos				Limite de referência	Total de amostras (n) ⁽²⁾	Amostras atendidas (%) ⁽³⁾
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão			
PD	18,00	38,00	26,75	8,38	≤ 300 ⁽¹⁾	04	04 (100%)
FF1	16,00	69,12	43,51	15,06		10	10 (100%)
FF2	10,00	67,23	43,82	15,67		10	10 (100%)
RR	7,00	55,00	28,11	14,58		09	09 (100%)
AD	12,00	52,00	28,67	13,16		09	09 (100%)
UF	14,00	49,00	27,89	11,60		09	09 (100%)

⁽¹⁾ Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021); ⁽²⁾ Total de amostras analisadas por ponto; ⁽³⁾ Porcentagem da quantidade de amostras que atendem ao limite de referência.

Fonte: Autora, 2022.

3.9 Eficiência de remoção

O percentual de remoção para cada parâmetro, em função dos pontos do sistema, foi calculado com base nas médias obtidas por meio do tratamento estatístico, indicadas em cada parâmetro de qualidade analisado (Tabela 12 a Tabela 19). A análise do percentual de variação considerou os pontos do sistema de captação SAP-UERJ (FF1, FF2 e RR) e do sistema de tratamento TPLUV (AD e UF), conforme indicado na Tabela 20.

Os resultados obtidos permitem verificar que houve um decréscimo da maioria dos parâmetros de qualidade analisados no ponto do reservatório (RR), após descarte do volume inicial retido pelos dispositivos de *first flush* (FF1 e FF2), com reduções expressivas para as relações RR/FF1 e RR/FF2 nos parâmetros turbidez, cloreto e cor aparente. Entretanto, é possível notar que houve um aumento do parâmetro carbono orgânico dissolvido no ponto do reservatório.

O emprego da coluna de adsorção (AD) contribuiu com a redução do parâmetro carbono orgânico dissolvido em 57,40 %, em relação ao ponto do reservatório (RR). Verifica-se que os acréscimos mais significativos corresponderam aos parâmetros associados às substâncias dissolvidas, como condutividade elétrica (117,85%) e alcalinidade total (166,11%).

Tabela 20 – Eficiência de remoção do sistema de águas pluviais

Parâmetro	Percentual de Remoção (%)					
	RR/FF1	RR/FF2	AD/RR	UF/AD	UF/FF1	UF/FF2
pH	-12,17	-11,84	8,71	0,79	-3,76	-3,40
Turbidez (UNT)	-86,37	-85,95	-25,55	-89,22	-98,91	-98,87
Cloreto (mg. L ⁻¹)	-55,95	-29,75	46,91	-1,11	-36,01	2,06
Condutividade (μS.cm ⁻¹)	-31,01	-30,68	117,85	-2,89	45,96	46,65
Cor Aparente (uC)	-37,20	-49,87	-32,67	-68,57	-86,71	-89,39
Carbono orgânico dissolvido (mg. L ⁻¹)	52,25	43,22	-57,40	37,50	-10,81	-16,10
Alcalinidade total (mg. L ⁻¹)	-39,37	-39,39	166,11	-3,66	55,44	55,37
Dureza total (mg. L ⁻¹)	-35,39	-35,85	1,99	-2,72	-35,90	-36,35

Legenda: FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autora, 2022.

A membrana de ultrafiltração (UF) apresentou um melhor decréscimo para os parâmetros turbidez (89,22%) e cor aparente (68,57%), em relação ao ponto referente à coluna de adsorção (AD). Os parâmetros pH, cloreto, condutividade elétrica, alcalinidade total e dureza total indicaram comportamento semelhante à AD, devido aos baixos percentuais calculados.

Uma análise do percentual de remoção do sistema por completo (UF/FF1 e UF/FF2) possibilita constatar altas remoções para os parâmetros turbidez e cor aparente, remoções medianas para cloreto e dureza total, e elevação dos parâmetros condutividade elétrica e alcalinidade total.

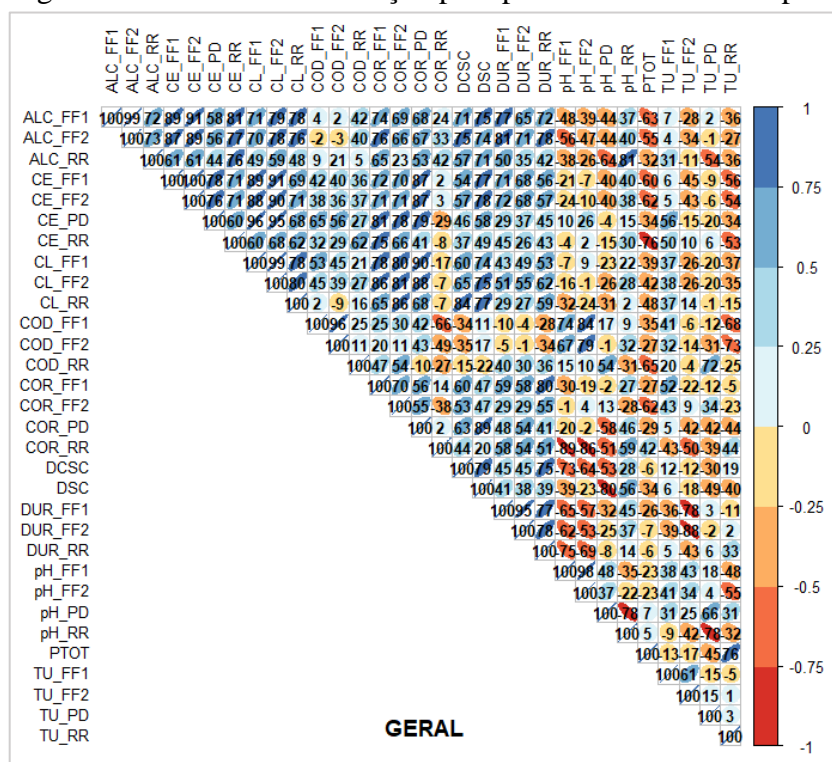
3.10 Matriz de correlação de parâmetros de qualidade de água e de índices de precipitação

As variabilidades da qualidade da água de chuva, a partir da correlação linear de *Pearson* pelo gráfico Matriz de Correlação, foram obtidas em função dos períodos de chuva e de estiagens, relacionadas aos pontos do sistema SAP-UERJ. A matriz de correlação foi dividida em período úmido (Figura 38) e seco (Figura 39) de maneira associada aos parâmetros de qualidade das águas pluviais, como: Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Cor Aparente (COR), Cloreto (CL), Carbono Orgânico Dissolvido (COD), Alcalinidade (ALC), Dureza (DUR) e Turbidez (TU). Além disso, foram correlacionados a precipitação total

entre as campanhas (PTOT), dias consecutivos sem chuva (DCSC) e dias sem chuva (DSC), entre as coletas.

A correlação geral entre os pontos do sistema SAP-UERJ indicou associações moderadas a altas entre os pontos. Foram observadas correlações positivas entre (i) alcalinidade e cloreto para os pontos de *first flush* (FF1 e FF2), (ii) condutividade e alcalinidade para os pontos FF1, FF2 e reservatório (RR), (iii) condutividade e cloreto para os pontos FF1, FF2 e RR, (iv) dias sem chuva com alcalinidade (FF1, FF2 e RR), cloreto (FF1, FF2 e RR) e condutividade (PD, FF1 e FF2), (v) entre dureza e alcalinidade nos pontos FF1 e FF2, (vi) dureza e cloreto para FF2 e RR, (vii) condutividade e dureza para FF1 e FF2, (viii) cor aparente e dias consecutivos sem chuva para precipitação direta (PD) e pontos do *first flush* (FF1 e FF2). De modo geral, nota-se uma predominância de correlações diretas (Figura 37).

Figura 37 – Matriz de correlação para período amostral completo

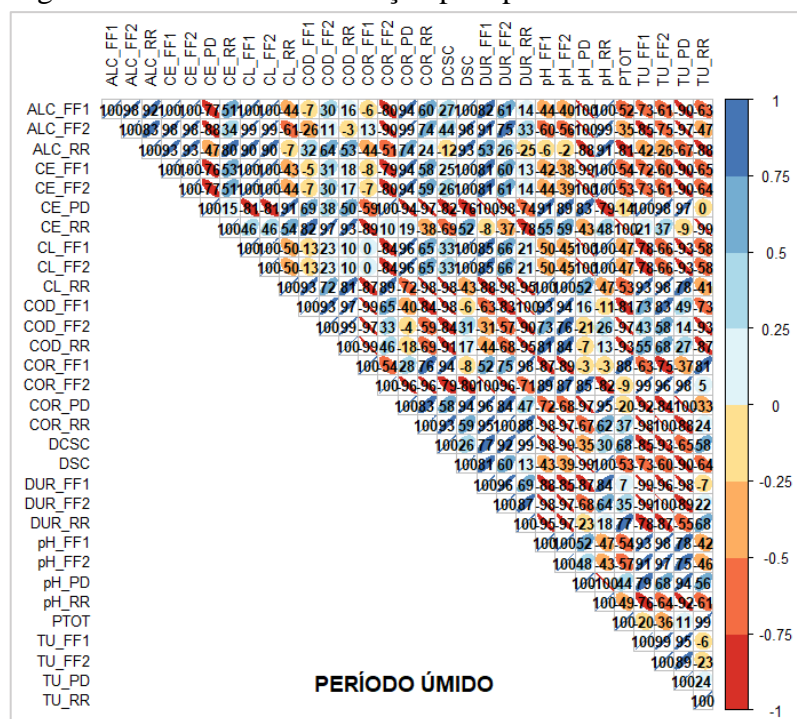


Fonte: Autora, 2022.

Entretanto, ao aplicar a abordagem de período úmido e seco na matriz de correlação, constatou-se que dois períodos apresentavam comportamento gráfico distinto (Figura 38 e Figura 39). A matriz do período seco ficou semelhante a matriz referente ao período amostral completo, com uma certa predominância de relações positivas. Além disso, foram constatadas uma maior quantidade de correlações de moderada a muito alta. Portanto, optou-se por discutir

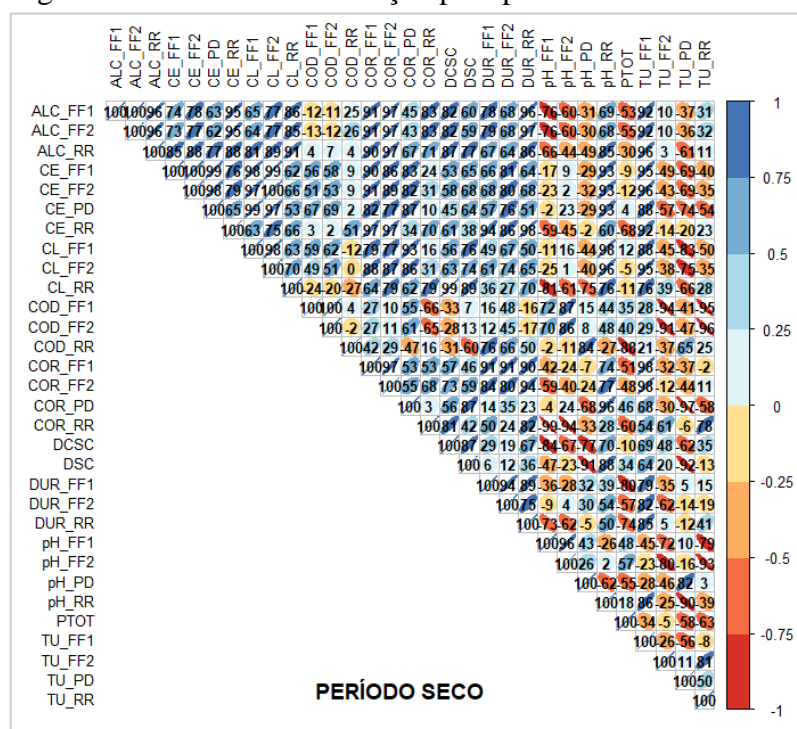
os resultados tendo por base período úmido e seco, de modo a avaliar a variabilidade da qualidade das águas pluviais.

Figura 38 – Matriz de correlação para período úmido



Fonte: Autora, 2022.

Figura 39 – Matriz de correlação para período seco



Fonte: Autora, 2022.

As variáveis turbidez (TU) e dias sem chuva (DSC) apresentaram coeficiente de *Pearson* $r = -0,73$ para o ponto de *first flush* primário (FF1) e $r = -0,60$ para o *first flush* secundário (FF2) no período úmido, com correlações alta e moderada, respectivamente. No período seco, esta correlação apresentou coeficiente $r = 0,64$ para o ponto FF1, correlação moderada. Este mesmo comportamento foi constatado pelo parâmetro turbidez e dias consecutivos sem chuva (DCSC), entretanto, as correlações foram mais fortes neste último com coeficientes de $r = -0,85$ para TU_FF1 e $r = -0,93$ para TU_FF2 no período úmido e $r = 0,69$ para TU_FF1 no período seco.

Assim, o período úmido foi associado a uma correlação negativa, o que permite dizer que um menor intervalo de dias sem chuva ocasiona um aumento na quantidade de sólidos suspensos retirados, enquanto o período seco teve correlação positiva em que um menor período de dias sem chuva, reduz o parâmetro turbidez. Para Hagemann e Gastaldini (2016), o poder de arraste da água de chuva sobre os telhados pode ser influenciada pela intensidade da precipitação, ou seja, chuvas com menor volume escoado ou de pequena intensidade resultarão em um menor poder de arraste dos materiais presentes na superfície dos telhados.

Ao avaliar a variabilidade da qualidade das águas pluviais coletadas em telhas de cerâmica, Nakada e Moruzzi (2014) notaram uma correlação elevada (0,792) entre o parâmetro turbidez e o período de estiagem e justificaram o ocorrido a partir de Yaziz *et al.* (1989), concluindo que a deposição de poluentes nas superfícies do telhado no período seco altera a qualidade da água de chuva escoada pela cobertura, pois um período de estiagem mais prolongado aumenta a quantidade de poluentes depositados nas coberturas de captação.

Uma elevada associação direta foi verificada com dias sem chuva e parâmetro condutividade elétrica (CE) para o ponto *first flush* e reservatório para o período úmido, com $r = 1,00$ para CE_FF1, $r = 1,00$ para CE_FF2 e $r = 0,52$ para CE_RR. As correlações para o período seco foram $r = 0,64$ para CE_PD, $r = 0,65$ para CE_FF1 e $r = 0,68$ para CE_FF2. O aumento da ausência de precipitação eleva a condutividade elétrica, fato que pode estar relacionado com o aumento da concentração de poluentes na atmosfera. No período úmido também foram identificadas correlações inversas de magnitude moderada entre precipitação total entre as campanhas (PTOT) e condutividade, com coeficientes de $r = -0,54$ para CE_FF1, $r = -0,53$ para CE_FF2 e $r = -1,00$ para CE_RR, e no período seco com $r = -0,68$ para CE_RR, o que significa dizer que o aumento de precipitação no intervalo das campanhas contribuiu com a redução do parâmetro condutividade elétrica.

Martins, Oliveira e Schweitzer (2016) evidenciaram que o aumento do período de estiagem resultou em uma elevação do parâmetro condutividade elétrica em três pontos

analisados (A, B, C), com valores iguais a $18,5 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (A), $16,3 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (B) e $19,3 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (C) para 12 dias de estiagem e $12,7 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (A), $14,5 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (B) e $10,1 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (C) na sequência de dias chuvosos.

As maiores concentrações de NO_2 , NO e MP_{10} no estudo de Almeida *et al.* (2019) foram observadas nos meses centrais do calendário gregoriano, ou seja, entre maio e agosto, para o estudo realizado no Rio de Janeiro, período relacionado ao inverno, devido à dificuldade de dispersão dos gases nas correntes verticais da atmosfera. Maia, Neto e Costa (2019) encontraram correlação negativa entre a precipitação pluvial e os poluentes monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO_2) e partículas inaláveis (PI) na cidade do Rio de Janeiro, de modo associado a redução dos contaminantes com o aumento da precipitação.

Também foi verificada uma associação positiva moderada a forte entre o parâmetro condutividade elétrica (CE) e potencial hidrogeniônico (pH), com coeficientes iguais a $r=0,83$ para pH_PD para o período úmido e $r=0,60$ para pH_RR no período seco. Para Marques *et al.* (2010), o resultado encontrado pode indicar a presença de sais dissolvidos de caráter alcalino e que, portanto, neutralizaram a acidez natural da água de chuva.

As variáveis cor aparente e turbidez apresentaram fortes relações negativas para o ponto de precipitação direta ($r=-1,00$), *first flush* primário ($r=-0,63$) e positiva para *first flush* secundário ($r=0,96$) no período úmido. O período seco indicou coeficientes negativos para precipitação direta ($r=-0,97$) e positivos para *first flush* primário ($r=0,98$) e reservatório ($r=0,78$). Logo, a associação direta indica que quando há o aumento de uma variável, a outra aumenta também, e a relação inversa mostra que o aumento de uma variável está relacionado com a redução da segunda variável.

Nakada e Moruzzi (2014) verificaram uma forte correlação entre cor aparente e turbidez ($r=0,893$) no estudo de variabilidade das águas pluviais coletadas em telhado de cerâmica. Guedes (2017) afirma que a presença de sólidos dissolvidos, coloides e em suspensão provocam uma coloração na água, decorrente das partículas atmosféricas e da matéria orgânica depositada na superfície de captação, enquanto a turbidez é influenciada por partículas em suspensão. Deste modo, justificam-se as correlações entre cor e turbidez neste projeto, de tal modo que as correlações positivas apresentam maior interferência das partículas sólidas, comuns a ambos os parâmetros, enquanto as relações inversas indicam que o parâmetro cor aparente está mais associado às substâncias dissolvidas.

A dureza (DUR) correlacionou-se positivamente com o parâmetro alcalinidade (ALC) para os pontos que compõe o sistema no período úmido de $r=0,82$ para ALC_FF1 e $r=0,75$ para ALC_FF2, e no período seco igual a $r=0,78$ para ALC_FF1, $r=0,68$ para ALC_FF2 e $r=0,86$

para ALC_RR. O parâmetro dureza teve correlações direta moderada a alta com o parâmetro cloreto (CL) como $r=0,85$ para CL_FF1, $r= 0,66$ para CL_FF2 no período úmido e $r= 0,74$ para CL_FF2 e $r= 0,70$ para CL_RR, além de correlação inversa muito alta de $r= -0,95$ para CL_RR no período úmido.

A água de chuva contém gases dissolvidos da atmosfera e baixa quantidade de matéria orgânica, e as impurezas adicionais absorvidas pela água na etapa de escoamento estarão relacionadas com a composição do solo sobre o qual ela mantém contato. Uma elevada quantidade de sais minerais estão presentes na superfície terrestre, como carbonatos e sulfatos de cálcio e magnésio, e que a água os dissolve. Assim, os compostos de cálcio e magnésio são responsáveis pela dureza das águas, como bicarbonato de cálcio, bicarbonato de magnésio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio, sendo que também podem ser encontrados cloretos e nitratos de cálcio e magnésio (BLUMBERG, AZEVEDO NETTO, 1956). Os cátions (Ca^{2+} e Mg^{2+}) reagem com os ânions na água e formam os precipitados em condições de supersaturação (VON SPERLING, 2014)

A dureza é permanente quando é formada por sulfatos, cloretos e nitratos, e temporária quando há a presença de bicarbonatos de cálcio e magnésio, cujo a soma constitui a dureza total (BLUMBERG, AZEVEDO NETTO, 1956). Estes conceitos contribuem com o entendimento das correlações encontradas da dureza com alcalinidade e cloreto, com a indicação da influência dos bicarbonatos e cloretos na dureza total da água de chuva nos pontos do sistema.

O uso da matriz de correlação permitiu observar correlações positivas moderadas a muito elevadas entre os parâmetros condutividade elétrica (CE) e alcalinidade (ALC) – $r= 1,00$ para FF1, $r= 0,98$ para FF2 e $r= 0,80$ para RR no período úmido e $r= 0,74$ para FF1, $r= 0,77$ para FF2 e $r= 0,88$ para RR no período seco. A condutividade também apresentou correlação direta com cloreto (CL) com coeficientes de $r= 1,00$ e $r= 0,98$ para FF1, $r= 1,00$ e $r= 1,00$ para FF2 e $r= 0,54$ e $r= 0,66$ para RR nos períodos úmido e seco, respectivamente. Além dessas combinações, as associações entre condutividade (CE) e dureza (DUR) também foram constadas, com coeficientes no período úmido iguais a $r= 0,81$ para FF1, $r= 0,61$ para FF2, e no período seco com valores iguais a $r= 0,66$ para FF1, $r= 0,80$ para FF2 e $r= 0,98$ para RR. correlações

O parâmetro condutividade elétrica está diretamente ligado à quantidade de sais dissolvidos que se encontram sob a forma de íons (LIMA, FRANÇA, LOIOLA, 2014). Este parâmetro mede a capacidade de conduzir eletricidade que uma água tem e o aumento da condutividade ocorre proporcionalmente com a elevação da concentração de sais (RIBEIRO, MAIA, MEDEIROS, 2004). Estudos têm sido realizados para avaliar a qualidade da água de

irrigação por meio dos ajustes de cálcio, magnésio, sódio e cloreto em função da condutividade (RIBEIRO, MAIA, MEDEIROS, 2004).

Guimarães *et al.* (2017) buscaram correlações entre os sais e a condutividade elétrica em águas superficiais e subterrâneas no município de Boa Vista – PB. Os autores verificaram uma forte correlação positiva entre os íons cálcio, magnésio, sódio, potássio e cloreto com a condutividade elétrica. Nas fontes superficiais, o bicarbonato apresentou forte correlação direta com a condutividade elétrica, mas o carbonato não teve correlação significativa. Para as águas subterrâneas, os carbonatos e bicarbonatos tiveram comportamento inversamente proporcionais com a condutividade.

O resultado de correlações encontradas do parâmetro condutividade com alcalinidade, dureza e cloreto pode ser justificado pelo princípio apresentando por Von Sperling (2014) de que a alcalinidade é constituída, principalmente, por bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, que a dureza sofre influência dos cátions bivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e que o parâmetro cloreto mede os íons (Cl^-) que advém da dissolução de mineiras.

CONCLUSÕES

Este trabalho analisou a qualidade da água pluvial, após a operação sequencial de dispositivos e tecnologias de tratamento de água de chuva, com base em amostras retiradas de pontos específicos de um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais (SAP), instalado na região centro norte da cidade do Rio de Janeiro-RJ, no campus da UERJ-Maracanã.

Houve alteração na qualidade das águas pluviais ao escoarem pela superfície de captação, fato observado pelo aumento dos parâmetros nos pontos de descarte inicial em relação as amostras do ponto de precipitação direta, comportamento constatado nos parâmetros potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, cor aparente, alcalinidade total e dureza total.

No geral, os dispositivos de bloqueio da precipitação efetiva inicial – *first flush* com capacidade de retenção total de 1 mm de lâmina d'água, melhoraram a qualidade da água armazenada no reservatório e, após o descarte inicial, auxiliaram na redução dos parâmetros analisados no ponto do reservatório, como: potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, condutividade elétrica, cor aparente, alcalinidade total e dureza total. Desse modo, foi verificada a importância dos dispositivos de *first flush* na remoção de poluentes depositados na superfície de captação e provenientes da lavagem da atmosfera pelas precipitações.

Entretanto, foi observado que para assegurar a qualidade necessária da água, manter condições sanitariamente seguras e atender aos limites estabelecidos nas referências adotadas (ABNT, 2019; BRASIL, 2021), torna-se imprescindível a adoção de tecnologias complementares para tratamento de águas pluviais.

Este estudo fez uso de um sistema de tratamento composto por uma coluna de adsorção, de mídia cerâmica e carvão ativado, integrada a uma membrana de ultrafiltração portátil. A coluna de adsorção não apresentou variação significativa em relação ao ponto do reservatório, localizado à montante do sistema, para os parâmetros turbidez e dureza total. A coluna de adsorção obteve melhoria no parâmetro carbono orgânico dissolvido e cor aparente, com indicativo de ser uma boa opção para a remoção de matéria orgânica, contudo, houve uma elevação dos parâmetros pH, condutividade elétrica, alcalinidade total e cloreto. Acredita-se que esta interferência nos parâmetros e alteração na qualidade da água de chuva seja resultante da presença de mídias porosas de vidro sinterizado que compõem a coluna de adsorção, devido ao processo de fabricação da mídia porosa e à dissociação de substância dissolvidas em ânions e cátions.

Por outro lado, a membrana de ultrafiltração acoplada ao sistema de tratamento indicou uma expressiva melhoria na qualidade da água de chuva, à luz dos parâmetros turbidez e cor aparente. Entretanto, os parâmetros pH, condutividade elétrica, carbono orgânico dissolvido, cloreto, alcalinidade total e dureza total apresentaram comportamento similar à coluna de adsorção, visto que esta tecnologia não é recomendada para remoção de espécies dissolvidas. Inclusive, o elevado aumento nos parâmetros pH, condutividade e alcalinidade total no ponto da membrana em relação ao ponto do reservatório demonstrou a interferência da mídia da coluna de adsorção nos resultados da membrana de ultrafiltração.

Quanto à caracterização das amostras de águas pluviais, ressaltam-se as limitações dos parâmetros adotados nas bases legais utilizadas como referência. Este estudo fez uso de duas normas brasileiras da ABNT (NBR 15.527/2019 e NBR 16.783/2019) para fins não potáveis e da Portaria de Potabilidade GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021), visto que não havia apenas uma referência que englobasse todos os limites de parâmetros utilizados neste trabalho, apesar dos parâmetros alcalinidade total e carbono orgânico dissolvido não terem limites estabelecidos por estas referências legais. Esta lacuna na abrangência dos parâmetros dificulta a caracterização das amostras de águas pluviais para fins diversos.

De maneira geral, o sistema sequencial de tratamento de águas pluviais com o emprego dos dispositivos e das tecnologias utilizadas demonstrou eficiência no tratamento, com melhorias significativas na qualidade da água nos parâmetros analisados e adequação aos limites estabelecidos nas referências utilizadas do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021) e da ABNT (2019).

Todos os pontos do sistema SAP-UERJ e TPLUV atenderam aos limites de condutividade elétrica, cloreto e dureza, enquanto o parâmetro turbidez apenas não foi atendido pelos dispositivos de *first flush* (FF1 e FF2). Os pontos de precipitação direta (PD) e reservatório (RR) atenderam ao parâmetro pH, contudo, a coluna de adsorção (AD) e a membrana de ultrafiltração (UF) apenas atendem ao desconsiderar o resultado do *outlier*. O parâmetro cor aparente apenas foi atendido após uso da membrana de ultrafiltração.

O uso da matriz de correlação nos pontos do sistema SAP-UERJ permitiu correlacionar as variáveis e entender possíveis influências na qualidade da água captada. A avaliação dos resultados em período úmido e seco permitiu constatar uma maior influência do período de estiagem na qualidade da água de chuva, na medida em que a chuva desempenha importante função na diluição dos poluentes transportados pela água.

RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O uso da coluna de adsorção permitiu concluir a necessidade de aprimoramento e continuidade de estudos e análises deste sistema, de modo a reduzir as interferências ocasionadas nos parâmetros pH, condutividade elétrica, alcalinidade total e cloreto, obter melhores resultados de turbidez e cor aparente, como também avaliar o comportamento da coluna de adsorção para parâmetros não abordados neste estudo.

No processo de instalação e em etapa anterior ao início da operação do sistema de tratamento de águas pluviais em abril de 2019, foi realizada uma lavagem das camadas da coluna de adsorção, para remoção de possíveis resíduos. Entretanto, esta etapa não foi suficiente à ponto de não interferir na qualidade das águas pluviais analisadas. Desta forma, recomenda-se verificar o volume de água necessário de lavagem inicial para que os resultados dos parâmetros pH, condutividade elétrica, alcalinidade total e cloreto não sofram alteração da mídia de vidro sinterizado na etapa de tratamento.

Os parâmetros turbidez e cor aparente indicaram necessidade de aperfeiçoamento da coluna de adsorção, caso não haja o emprego sequencial com a membrana de ultrafiltração. Assim, o estudo pode ser complementado com um filtro acoplado ao sistema para remoção de sólidos suspensos, com a adoção de novos meios filtrantes, ou reajuste das camadas utilizadas na coluna de adsorção e de seus materiais constituintes.

Para viabilizar o uso da água da chuva para fins mais nobres torna-se fundamental a realização de análises microbiológicas dos sistemas de tratamento. Espera-se que a tecnologia de membrana de ultrafiltração possa garantir a remoção de bactérias, parasitas e vírus, conforme a capacidade do sistema de remoção de até 20 nm. Entretanto, análises laboratoriais do sistema de captação, armazenamento e tratamento de águas pluviais (SAP-UERJ e TPLUV) necessitam ser realizadas para caracterização microbiológica das águas pluviais coletadas, armazenadas e tratadas.

O atendimento à expansão das tecnologias de tratamento das águas pluviais em diversas regiões do mundo depende da viabilidade técnica do projeto, sobretudo pela necessidade de se avaliar períodos hidrológicos completos e de realização de análises sazonais obtidas junto ao sistema de captação e armazenamento das águas pluviais. Além disso, é fundamental uma avaliação das influências regionais na qualidade de águas pluviais, de acordo com as atividades desenvolvidas na região, em função da elevada variabilidade espacial e temporal da precipitação.

Portanto, recomenda-se prosseguir com as análises das qualidades de águas pluviais em um maior período amostral, pois o ano analisado foi atípico quanto ao regime pluviométrico, em comparação ao comportamento obtido na série histórica. Além disso, deve-se buscar compreender as possíveis relações e interferências dos poluentes atmosféricos e intenso tráfego de veículos na região estudada.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**: Regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial. Brasília: ANA, 2015. 163 p. (ISBN: 978-85-8210-027-1).

_____. **Conservação e reuso de água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005. 152 p.

_____. **Índice de Segurança Hídrica - ISH**. 2020. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66>. Acesso em: 27 fev. 2022.

_____. **Manual de usos consuntivos de água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. 75 p. (ISBN: 978-85-8210-057-8).

_____. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos**: Avaliações e diretrizes para adaptação. Brasília: ANA, GGES, 2016. 93 p. (ISBN: 978-85-8210-033-2).

_____. **ODS 6 - Água potável e saneamento**: indicador 6.4.2 - nível de stress hídrico: proporção das retiradas de água doce em relação ao total dos recursos de água doce disponíveis. Indicador 6.4.2 - Nível de stress hídrico: proporção das retiradas de água doce em relação ao total dos recursos de água doce disponíveis. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/objetivo6/indicador642>. Acesso em: 04 abr. 2022.

_____. **ODS 6 no Brasil**: Visão da ANA sobre os indicadores. Brasília: Ana, 2019. 94 p. (ISBN 978-85-8210-058-5).

_____. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília: ANA, 2019. 112 p. (ISBN: 978-85-8210-059-2).

_____. **Regiões Hidrográficas**. 2020. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0574947a-2c5b-48d2-96a4-b07c4702bbab>. Acesso em: 27 fev. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA); COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: Informe anual. Brasília: ANA, 2020. 118 p.
Agenda: A Un-Water Analytical Brief. Canadá: United Nations University, 2013. (ISBN 978-92-808-6038-2).

ALERTA RIO. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro: Relatório Anual de Chuva para a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2018. Gerenciado pela Fundação GEO-RIO. Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/wp->

content/uploads/2020/06/RELATORIO_ANUAL_CHUVA_2018.pdf>. Acesso: março de 2022.

ALERTA RIO. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro: Sistema de alerta de chuvas intensas e de deslizamentos em encostas da cidade do Rio de Janeiro. Gerenciado pela Fundação GEO-RIO. Disponível em: <<http://alertario.rio.rj.gov.br/>>. Acesso em: março de 2022.

ALIM, Mohammad A.; RAHMAN, Ataur; TAO, Zhong; SAMALI, Bijan; KHAN, Muhammad M.; SHIRIN, Shafiq. Feasibility analysis of a small-scale rainwater harvesting system for drinking water production at Werrington, New South Wales, Australia. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 270, p. 1-15, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122437>.

ALIM, Mohammad A.; RAHMAN, Ataur; TAO, Zhong; SAMALI, Bijan; KHAN, Muhammad M.; SHIRIN, Shafiq. Suitability of roof harvested rainwater for potential potable water production: a scoping review. **Journal Of Cleaner Production**. nov. 2019. 56 p.

ALMEIDA, Jaqueline Costa Areas de; SOUZA, Caroline Moreira de; ALVES, Letícia Delduque; BASTOS, Giovana Proença; OLIVEIRA, Flávio Giro de; SILVA, Gabrielle Nunes da; OHNUMA JUNIOR, Alfredo Akira; BILA, Daniele Maia. Análise da qualidade da água da chuva conforme as estações do ano na cidade do Rio de Janeiro. In: XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. XX: Abrehidro, 2019. p. 1-10.

ALMEIDA, Raphael Perciliano da Silva de; SOUZA, Thainá de Carvalho e; SOUZA, Simone Lorena Quiterio de; MARTINS, Eduardo Monteiro; CORRÊA, Sergio Machadol. Comparação da Qualidade do Ar em Localidades Industrial e Urbana. **Revista Internacional de Ciências**, v. 9, n. 3, p. 47-62, 2019.

ANDRADE NETO, Cícero Onofre de. Aproveitamento imediato da água de chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (Gesta)**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 73-86, 2013. APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. [s.l:s.n], 2012.

ASSIS, O. B. G. O uso de vidro reciclado na confecção de membranas para microfiltração. **Cerâmica**, v. 52, p. 105-113, 2006.

ASSIS, O. B. G.; PESSOA, J. D. C.; CALBO, A. G. Confecção de sensores de vidro poroso sinterizado. **Cerâmica**, v. 59, p. 65-70, 2013.

ASSIS, Odilio B. G.; VIEIRA, Delia do C. Avaliação de vidro reciclado granulado como meio filtrante de herbicidas em meio aquoso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 13, n. 3, p. 341-345, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15527**: Água de chuva -Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16783**: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações, 2019.

ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL (AGEVAP). **Atlas da Região Hidrográfica V: Baía De Guanabara E Sistemas Lagunares De Maricá E Jacarepaguá**. Rio de Janeiro: AGEVAP, 2021. (ISBN 978-65-992137-2-4).

AZEVEDO NETTO, José M. Manual de hidráulica. 9 ed. São Paulo: BLUCHER, 2015.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2011.

BARBOZA JÚNIOR; CABRAL, Paulo. **Manual Técnico: instalação de sistemas de captação, armazenamento e aproveitamento de água da chuva**. Manaus: UEA, 2019. 25 p.

BERTOLOSSI, Vinicius Mendes. **Avaliação do processo de ultrafiltração como alternativa à flotação por ar dissolvido para tratamento do efluente de lodos ativados – estudo em escala piloto aplicado ao caso da estação de tratamento de esgotos Brasília norte**. 2019. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos., Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

BISWAS, Biplob Kumar; MANDAL, Bablu Hira. Construction and Evaluation of Rainwater Harvesting System for Domestic Use in a Remote and Rural Area of Khulna, Bangladesh. **International Scholarly Research Notices**, [S.L.], v. 2014, p. 1-6, 14 set. 2014. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/751952>.

BLUMBERG, E.; AZEVEDO NETTO, J. M. Alcalinidade e dureza das águas naturais: processos de redução da dureza. **Revista do Departamento de Águas e Esgotos de São Paulo, São Paulo**, n. 28, 1956.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH): (Publicado no DOU em 17/12/2003). **Resolução CNRH nº 32**, de 15 de outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional.

BRASIL. Ministério de Saúde (MS) / Gabinete do Ministro (GM). **Portaria GM/MS nº 888**, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, 2021.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 09 jan. 1997.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 13.501**, de 30 de outubro de 2017. Altera o art. 2º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, para incluir o aproveitamento de águas pluviais como um de seus objetivos. Brasília, 31 out. 2017.

BRITTO, Ana Lucia; FORMIGA-JOHNSON, Rosa Maria; CARNEIRO, Paulo Roberto Ferreira. Abastecimento público e escassez hidrossocial na metrópole do Rio De Janeiro. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. XIX, n. 1, p. 185-208, jan-mar. 2016.

BRUNI, José Carlos. A água e a vida. *Tempo Social: Rev. Sociol. USP*, São Paulo, v. 5, n. 1-2, p. 53-65, 1993.

BUSSAB, Wilton de O.; MORETTIN, Pedro A. Análise Bidimensional. In: BUSSAB, Wilton de O.; MORETTIN, Pedro A. **Estatística Básica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. Cap. 4. p. 68-94.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Guia orientativo das normas de conservação de água, fontes alternativas, não potáveis e aproveitamento de água de chuva em edificações**. Brasília: CBIC, 2019. 156 p.

CAPEHART, Mary Ann; ARTIOLA, Janick F.; EDEN, Susanna. **Preparing Rainwater for Potable Use**. Arizona: The University Of Arizona Cooperative Extension, 2021. 12 p

CARDOSO, Raisia Nicole Campos; BLANCO, Claudio José Cavalcante; DUARTE, Juliana Maia. Technical and financial feasibility of rainwater harvesting systems in public buildings in Amazon, Brazil. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 260, p. 121054, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121054>.

CARDOSO, RKO; SILINGARDI, Helena Maura Torezan; CARDOSO, Arnaldo Alves. Gases ácidos na atmosfera: fontes, transporte, deposição e suas consequências para o ambiente. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 42, n. 4, p. 382-385, 2020.

CARVAJAL, Carlos Andres Solís; PASOS, Carlos Antonio Vélez; RAMÍREZ-NAVAS, Juan Sebastián. Tecnología de membranas: ultrafiltración. **Entre Ciencia e Ingeniería**, [S.L.], v. 11, n. 22, p. 26-36, 30 nov. 2017. Universidad Catolica de Pereira. <http://dx.doi.org/10.31908/19098367.3546>.

CECHETTO, Carise Taciane; CHRISTMANN, Samara Simon; BIAZZI, Juliene Pierezan; ISTAN, Liamara Pasinato; OLIVEIRA, Tarcísio Dorn de. Habitação de interesse social: alternativas sustentáveis. **Gestão e Desenvolvimento em Contexto (Gedecon)**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 35-49, 2015.

CENTRO DE INFORMAÇÃO REGIONAL DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EUROPA OCIDENTAL (UNRIC). **Guia sobre Desenvolvimento Sustentável: 17 objetivos para transformar o nosso mundo**. UNRIC, 2018. 38 p.

CESCON, Anna; JIANG, Jia-Qian. Filtration Process and Alternative Filter Media Material in Water Treatment. **Water**, [S.L.], v. 12, n. 12, p. 3377, 1 dez. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12123377>.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais: Apêndice D - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade**. São Paulo, 2014. 46 p.

CHUBAKA, Chirhakarhula; WHILEY, Harriet; EDWARDS, John; ROSS, Kirstin. Lead, Zinc, Copper, and Cadmium Content of Water from South Australian Rainwater Tanks.

International Journal Of Environmental Research And Public Health, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 1551, 23 jul. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph15071551>.

CHUBAKA, Chirhakarhula; WHILEY, Harriet; EDWARDS, John; ROSS, Kirstin. Microbiological Values of Rainwater Harvested in Adelaide. **Pathogens**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 21, 8 fev. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/pathogens7010021>.

COMISSÃO PASTORAL DA TERRA (CPT). **Conflitos no campo**: Brasil 2018. Goiânia: CPT Nacional, 2019. 244 p.

_____. **Conflitos no campo**: Brasil 2019. Goiânia: CPT Nacional, 2020. 247 p.

_____. **Conflitos no campo**: Brasil 2020. Goiânia: CPT Nacional, 2021. 279 p.

_____. **Conflitos pela água 2005**. 2010. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2006**. 2010. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2007**. 2010. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2008**. 2010. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2009**. 2010. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2010**. 2011. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2011**. 2012. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2012**. 2013. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2013**. 2014. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

COMISSÃO PASTORAL DA TERRA (CPT). **Conflitos pela água 2014.** 2015. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2015.** 2016. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2016.** 2017. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2017.** 2018. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2018.** 2019. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2019.** 2020. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

_____. **Conflitos pela água 2020.** 2021. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/category/6-conflitos-pela-agua>. Acesso em: 28 fev. 22.

COSTA, Karen Albuquerque Dias da; CARVALHO, Fábio Israel Martins; FERREIRA, Fernanda di Paula Belo; NASCIMENTO, Thays Valente do; MELLO, Ricardo Felipe Alexandre de; SERRA, Ilka Suely Dias; SILVA, Jaqueline Maria Soares da; LOPES, Maria do Socorro Bezerra; SOUZA, Cezarina Maria Nobre; DANTAS, Kelly das Graças Fernandes. Influência do tipo de telhado na qualidade da água de chuva coletada em comunidades ribeirinhas. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 3, p. 384-391, 2 abr. 2020. Companhia Brasileira de Produção Científica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2020.003.0029>.

COSTA, Pedro Carlos Lemos da; AZEVEDO, Afonso Rangel Garcez de; SILVA, Flávio Castro da; CECCHIN, Daiane; CARMO, Dirlane de Fátima do. Rainwater treatment using an acrylic blanket as a filtering media. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 303, p. 126964, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126964>.

CUNHA, Luis Henrique. Desigualdades nos padrões de acesso à água e limites da cidadania hídrica em comunidades rurais do semiárido. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [S.L.], v. 55, p. 99-116, 17 dez. 2020. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v55i0.73371>.

DALPAZ, Leticia; BORGERT, Aline Eloize; VENDRAMI, Júlia May; GHISI, Enedir. Tipos e eficiência de unidades de tratamento para água pluvial: revisão de literatura. **Ambiente**

Construído, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 207-231, set. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000300334>.

DI BERNARDO, Luiz (Coordenador). **Filtração direta aplicada a pequenas comunidades: tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. 1ª ed, 498 p.

DRUMMOND, Ana Sofia Pelosi; ALMEIDA, Jaqueline Costa Areas de; DOMINGOS, Ryan Rodrigues; NUNES, Dayana Martins; SOALHEIRO, Livia; CUNHA, Priscila Maria; OBRACZKA, Marcelo; OHNUMA JUNIOR, Alfredo Akira. Análise de requisitos de artigos científicos e de categorias da legislação brasileira sobre sistemas de aproveitamento de água de chuva. In: SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS., 6., 2021, Porto Alegre. **Anais [...]**. SSS, 2021. v. 3, p. 361-377.

DU, Xing; XU, Jiongji; MO, Zhuoyu; LUO, Yunlong; SU, Junhao; NIE, Jinxu; WANG, Zhihong; LIU, Lifan; LIANG, Heng. The performance of gravity-driven membrane (GDM) filtration for roofing rainwater reuse: implications of roofing rainwater energy and rainwater purification. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 697, p. 134187, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134187>.

DUBREUIL, Vincent; FANTE, Karime Pechutti; PLANCHON, Olivier; SANT'ANNA NETO, João Lima. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de köppen de 1961 a 2015. **Confins**, n. 37, 24 set. 2018. OpenEdition. <http://dx.doi.org/10.4000/confins.15738> e eficiência de unidades de tratamento para água pluvial: revisão de literatura. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 207-231, set. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000300334>.

FARIA, André Alcantara de. **Análise do potencial de reúso de água para fins não potáveis a partir do efluente tratado de Estações de Tratamento de Esgotos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2020. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

FARTO, Cindy Deina; SILVA, Tarciso Cabral da. Variações da qualidade da água de chuva e de açudes armazenada em cisternas em municípios do semiárido do estado da Paraíba. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 6, p. 859-871, dez. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-4152202020180151>.

FERNANDES, Leonardo Silva; SILVA, Samuel Muylaert Camargo da; SILVA JUNIOR, Luiz Constantino da; ACSELRAD, Moema Versiani; PIMENTEL, Irene Maria Chaves; FARIAS JÚNIOR, José Edson Falcão de; FORMIGA-JOHNSSON, Rosa Maria. **Águas do Rio: um panorama geral da disponibilidade hídrica no Estado fluminense**. Revista INEANA, 2015. v. 3, 6-25 p.

FORMIGA-JOHNSSON, Rosa Maria; BRITTO, Ana Lucia. Segurança hídrica, abastecimento metropolitano e mudanças climáticas: considerações sobre o caso do rio de janeiro. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 23, p. 1-21, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190207r1vu2020l6td>.

FORNARO, ADALGIZA. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil. Revista USP, São Paulo, n. 70, 78-87, junho/agosto, 2006.

FREIRE, Romero Correia; LIMA, Rafaela de Assis. Remoção de cor, turbidez e odor de água bruta utilizando carvão ativado umectado em substituição ao carvão ativado pulverizado utilizando sulfato de alumínio líquido como coagulante - Estudo de Caso Barragem de Bita Ipojuca - PE. In: 28º Congresso ABES Fenasan 2017, São Paulo: ABES, AESABESP, 2017.

FROTA, Evanise Batista; VASCONCELOS, Nadja Maria Sales de. **Química Ambiental**. 2. ed. Fortaleza: EdUECE, 2019.

FUNDAÇÃO COPPETEC. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado Do Rio De Janeiro: R2-F - Caracterização Ambiental**. Rio de Janeiro: COPPETEC, 2014.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual prático de análise de água**. 4. ed. Brasília: FUNASA, 2013. 150 p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: FUNASA, 2014. 112 p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de orientações técnicas para elaboração de propostas para o programa de melhorias sanitárias domiciliares - Funasa**. Brasília: Funasa, 2014. 44 p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual prático de análise de água**. Brasília: FUNASA, 2006. 146 p.

GAMARRA-CASTEÑEDA, Rocío del Carmen. **Eficacia de la tecnología de membranas para convertir efluentes mineros, en aguas para riego**. Tesis de Maestría em Gestión y Auditorías Ambientales, Universidad de Piura, Perú. 2015.

GIACCHINI, Eng. Civil Margolaine. **Uso e reúso da água**. CREA-PR, 2016. Série de cadernos técnicos da agenda parlamentar.

GIORDANO, Gandhi; SURERUS, Victor. **Efluentes Industriais: Estudo de tratabilidade**. Rio de Janeiro: PUBLIT, v.1, 196 p, 2015.

GONÇALVES, Ricardo Franci; BASTOS, Fernanda Pereira. Uma solução simples e eficiente para potabilização de água de chuva em sistemas de abastecimento descentralizados: Filtração lenta seguida de desinfecção UV. In: 10º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Belém - PA. 2016.

GROWNYC. **Rainwater Harvesting Guide**. GROWNYC, 2018. 28 p.

GUEDES, Thiago Lemos. **Avaliação da qualidade da água de chuva em Florianópolis (SC) e seu potencial de aproveitamento**. 2017. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017.

GUIMARÃES, Rafaela Feliz Basilio; FARIAS, Débora Samara Cruz Rocha; FARIAS, Soahd Arruda Rached; DANTAS NETO, José; ARAËJO, Rosilene Mayara. Proporções de sais em águas superficiais e subterrâneas do município de Boa Vista - PB. **Revista Espacios**, [s. l], v. 8, n. 2, p. 8, 2017.

GUIMARÃES, Rodrigo Mazza. **Caracterização físico-química e biológica da chuva armazenada no sistema do Instituto Fernando Rodrigues da Silveira, CAP-UERJ**. 2016. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

GWENZI, Willis; DUNJANA, Nothando; PISA, Charity; TAURO, Tonny; NYAMADZAWO, George. Water quality and public health risks associated with roof rainwater harvesting systems for potable supply: review and perspectives. **Sustainability Of Water Quality And Ecology**, [S.L.], v. 6, p. 107-118, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.swaqe.2015.01.006>.

HAGEMANN, Sabrina Elicker; GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro. Variação da qualidade da água de chuva com a precipitação: aplicação à cidade de Santa Maria - RS. **RBRH**, v. 21, n. 3, p. 525-536, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011615010>.

HAIR, Joseph F.; BLACK, William C.; BABIN, Barry J.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAN, Ronald L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2009.

HAMILTON, Kerry; REYNEKE, Brandon; WASO, Monique; CLEMENTS, Tanya; NDLOVU, Thando; KHAN, Wesaal; DIGIOVANNI, Kimberly; RAKESTRAW, Emma; MONTALTO, Franco; HAAS, Charles N; AHMED, Warish. A global review of the microbiological quality and potential health risks associated with roof-harvested rainwater tanks. **Npj Clean Water**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 1-18, 1 mar. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41545-019-0030-5>.

HOFMAN-CARIS, Roberta; BERTELKAMP, Cheryl; WAAL, Luuk de; BRAND, Tessa van Den; HOFMAN, Jan; AA, René van Der; HOEK, Jan van Der. Rainwater Harvesting for Drinking Water Production: a sustainable and cost-effective solution in the Netherlands? **Water**, v. 11, n. 3, 12 mar. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w11030511>.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (PERHI-RJ): Relatório Síntese**. Rio de Janeiro: INEA, 2014.

INSTITUTO PEREIRA PASSOS (IPP). **Portal Armazém de Dados: Armazenzinho – Dados do Rio**. Modelo de planejamento, integração, gestão e disseminação da informação da Prefeitura do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.data.rio/>>. Acesso em: março de 2022.

INSTITUTO TRATA BRASIL (ITB). **Demanda Futura por Água Tratada nas Cidades Brasileiras 2017 a 2040**. 2020. 54 p.

KAREEM, SARDAR M.R.; GANJO, DILSHAD G.A.; TOMA, JANAN J. Physical and Chemical properties of rainwater and its suitability for drinking and irrigating in Erbil city. **Zanco Journal of Pure and Applied Sciences**, 29(5), 39-50, 2017

KIM, Taegyu; LYE, Dennis; DONOHUE, Maura; MISTRY, Jatin H.; PFALLER, Stacy; VESPER, Stephen; KIRISITS, Mary Jo. Harvested Rainwater Quality Before and After Treatment and Distribution in Residential Systems. **Journal - American Water Works**

Association, [S.L.], v. 108, p. E571-E584, 1 nov. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.5942/jawwa.2016.108.0182>.

KOYUNCU, I.; SENGUR, R.; TURKEN, T.; GUCLU, S.; PASAOGLU, M.e.. Advances in water treatment by microfiltration, ultrafiltration, and nanofiltration. **Advances In Membrane Technologies For Water Treatment**, [S.L.], p. 83-128, 2015. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-1-78242-121-4.00003-4>.

LAKSHMINARAYANA, S.V.; SATHIAN, K.K.; RAVIKUMAR, B.C. Rainwater Purification. **Trends Biosciences**, [s. l], v. 10, n. 2, p. 541-548, 2017.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. (ISBN 978-85-7670-165-1).

LIMA, Jeferson Alberto de; DAMBROS, Marcus Vinicius Rodrigues; ANTONIO, Marco Antonio Peixer Miguel de; JANZEN, Johannes Gérson; MARCHETTO, Margarida. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 291-298, jun. 2011.

LIMA, José O. G. de; FRANÇA, Antonia Mayza M.; LOIOLA, Helena G.. Implicações Hidroquímicas da Condutividade Elétrica e do Íon Cloreto na Qualidade das Águas Subterrâneas do Semiárido Cearense. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 279-292, jan. 2014. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20140020>.

LIU, Xiao; REN, Zixiao; NGO, Huu Hao; HE, Xu; DESMOND, Peter; DING, An. Membrane technology for rainwater treatment and reuse: a mini review. **Water Cycle**, [S.L.], v. 2, p. 51-63, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watcyc.2021.08.001>.

MAIA, Juliana Lúcio Motta; NETTO, Vinicius M.; COSTA, Bruno Lucian Gonçalves da. Forma urbana e poluição atmosférica: impactos na cidade do rio de janeiro. **URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S.L.], v. 11, p. 1-2, 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.e20180145>.

MARTINS, Marizete Muller; OLIVEIRA, Leyza Paloschi; SCHVEITZER, Bianca. Avaliação Das Características Físico-Químicas Da Água Da Chuva Em Diferentes Pontos No Município De Caçador–Sc. **Revista Interdisciplinar de Estudos em Saúde**, p. 78-93, 2016.

MENDEZ, C.B.; E.; KLENZENDORF, J.B.; AFSHAR, B.R.; SIMMONS, M.T.; BARRET, M.E.; KINNEY, K.A.; KIRISITS, M.J. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water Research**. v. 45, p. 2049-2059, 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS). Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília - DF: Ministério da Saúde, 2006. 212 p. (Série B: Textos Básicos de Saúde).

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Plano Nacional de Segurança Hídrica**: 2º boletim de monitoramento. Brasília: MDR, 2021.

MIORANDO, Taizi; BRIÃO, Vandr e Barbosa; GIRARDELLI, Laisa. Potabilização de água da chuva por ultrafiltração. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 481-490, maio 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017146765>.

MIRANDA, Felipe Soter de Mariz e; AVELAR, Andr e de Souza. Dinâmica do carbono orgânico dissolvido em ecossistemas florestais: uma revisão sobre a lixiviação pela chuva. **Revista Brasileira de Geografia e Física**, [s. l], v. 8, n. 7, p. 2351-2374, dez. 2018.

MOHAMMED, I.u.; NDAHI, A.K.; AHMED, S.D.; HAYATU, J.M.; NWUDE, M.O. Rainwater harvesting for water supply and integrated development in rural and semi-urban areas. **Nigerian Research Journal Of Engineering And Environmental Sciences**, S.L., v. 3, n. 1, p. 287-304, 30 jun. 2018.

MONTA OZ, Nixon Arboleda. Evaluación de alternativas tecnol gicas para el tratamiento básico del água lluvia de uso doméstico en el consejo comunitario de la comunidad negra de los lagos, Buenaventura. **Scientia Et Technica**, v. 21, n. 3, p. 278-284, set. 2016.

MUKAKA, M M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, S.L, v. 24, n. 3, p. 69-71, set. 2012.

NAKADA, Liane Yuri Kondo; MORUZZI, Rodrigo Braga. Variabilidade qualitativa de águas pluviais coletadas em telhado e sua importância na concepção do sistema de tratamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 1-9, jan/mar. 2014.

NEU, Vania; GUEDES, Victor Martins; ARA JO, Maria Gabriella da Silva; MEYER, Leandro Frederico Ferraz; BRITO, Ian Rodrigues; BATISTA, Lucas Mota.  gua de chuva para consumo humano: estudo de caso na Amazônia Oriental. **Inclusão Social**, Brasília - DF, v. 12, n. 1, p. 183-198, jul/dez. 2018.

NICOLAU, Andréa Puzzi; CARMO, Dirlane Fátima do. IX - 039 - Análise crítica das formas de tratamento de águas pluviais. In: CONGRESSO ABES FENASAN 2017. São Paulo: ABES, 2017. 16 p.

OBRACZKA, Marcelo; SILVA, Douglas do Rosário; CAMPOS, Adriana de Souza; MURICY, Bruno. Reuso de efluentes de tratamento secundário como alternativa de fonte de abastecimento de água no município do Rio de Janeiro. **Sistemas & Gestão**, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 291-309, 8 out. 2019. Laikos Servicos Ltda. <http://dx.doi.org/10.20985/1980-5160.2019.v14n3.1392>.

OLIVEIRA, Flávio Giro de. **Análise da viabilidade de um sistema domiciliar de aproveitamento de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro**. 2020. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Water security for better lives: A summary for policymakers**. OECD, 2013. Organização das Nações Unidas (ONU). **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6: relatório-síntese 2018 sobre água e saneamento**. Brasil: Unesco, 2018. 16 p. Tradução de Teresa Alves, Ester da Silva e Marília Heloísa Fraga Arantes.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6: Relatório-síntese 2018 sobre água e saneamento**. Brasil: UNESCO, 2018.

ORTIZ, Renato Abrahan Saddam Guardia. **Análise de eficiência da membrana de vidro reciclado pelo processo de sinterização produzida no câmpus Ponta Grossa da UTFPR, em diferentes sistemas químicos**. 2018. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

OTTONI, Adacto Benedicto; COSTA, Mariah da Silva Bessa da; CARVALHO, Sergio Eduardo Barbosa. Reservatório de águas pluviais sem utilização de bombas: aplicação para o caso do telhado da garagem da uerj, no maracanã, rio de janeiro. In: XIII FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA. **Anais [...]**. Tupã: ANAP, 2017. p. 1187-1207.

PALA, Gireesh Kumar; PATHIVADA, Abhirami Priyanka; VELUGOTI, Sasi Jyothishma Himaja; YERRAMSETTI, Chandrika; VEERANKI, Shalini. Rainwater harvesting - A review on conservation, creation & cost-effectiveness. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 45, p. 6567-6571, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.593>.

PANTELAKI, I.; PAPATZELOU, A.; BALLA, D.; PAPAGEORGIOU, A.; VOUTSA, D.. Characterization of dissolved organic carbon in rainwater of an urban/coastal site in Mediterranean area. *Science Of The Total Environment*, v. 627, p. 1433-1441, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.339>.

PEÑA, Humberto. **Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe**. Santiago: Cepal, 2016. (ISSN 1680-9017). Série Recursos Naturales e Infraestructura.

PÉREZ-VIDAL, Andrea; DÍAZ-GÓMEZ, Jaime; SALAMANCA-ROJAS, Karen L.; ROJAS-TORRES, Leidy Y. Evaluación del tratamiento de água para consumo humano mediante filtros LifeStraw® y Olla Cerámica. **Revista de Salud Pública**, v. 18, n. 2, p. 275-289, abr. 2016. PLIEGO, Fernando Follos. **Lenguaje R Aplicado al Análisis de Datos de Calidad del Aire: manual básico para el tratamiento de datos de calidad del aire mediante el lenguaje estadístico R y paquetes adicionales como openair**. 2012. 121 p.

PRADHAN, Raseswari; SAHOO, Jayaprakash. Smart Rainwater Management: new technologies and innovation. **Smart Urban Development**, [S.L.], p. 1-24, 19 fev. 2020. IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.86336>.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (PCRJ). **Fluxo Veicular Médio em Dias Úteis: Dados referentes a maio de 2017**.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (PCRJ). **Mapa identifica o potencial de economia com a coleta de água da chuva dos telhados da cidade**. 2017. Disponível em: <https://www.rio.rj.gov.br/web/ipp/exibeconteudo?id=6767677>. Acesso em: 04 mar. 2022

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (PCRJ). **Uso de Água de Chuva no Rio de Janeiro**. 2022. Disponível em: <https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=f6f9875485914fafb85ac69d0b004bef>. Acesso em: 04 mar. 2022.

R CORE TEAM (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: < <https://www.R-project.org/>>.

REYNEKE, Brandon; WASO, Monique; KHAN, Sehaam; KHAN, Wesaal. Rainwater treatment technologies: research needs, recent advances and effective monitoring strategies. **Current Opinion In Environmental Science & Health**, [S.L.], v. 16, p. 28-33, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coesh.2020.02.010>.

RIBEIRO, Giorgio M.; MAIA, Celsemy E.; MEDEIROS, José F. de. Uso da regressão linear Uso da regressão linear para estimativ estimativa da relação entr elação entre a condutividade e a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 15-22, 2005.

RIBEIRO, Pedro Schreiber. **Resiliência hídrica: o potencial de reúso de água de chuva no município do Rio de Janeiro**. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Ambientais, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

RIO DE JANEIRO (Município). Lei nº 111, de 01 de fevereiro de 2011. Dispõe sobre a Política Urbana e Ambiental do Município, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro e dá outras providências. **Lei Complementar**.

RIO DE JANEIRO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI). Resolução CERHI-RJ nº 107, de 22 de maio de 2013. Aprova nova definição das regiões hidrográficas do estado do rio de janeiro e revoga a Resolução CERHI nº 18 de 08 de novembro de 2006.

RIO DE JANEIRO. Regiões Administrativas do Rio de Janeiro. 2018 Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/cvl/ra>>. Acesso em: março de 2022.

ROCHA, Bárbara Cristina Castro de Melo; REI, Ricardo Prado Abreu; ARAÚJO, José Vicente Granato de. Avaliação do volume necessário de descarte de água de chuva escoada sobre coberturas de diferentes materiais. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 1, n. 2, p. 51-58, set. 2011.

ROCHA, Bárbara Cristina Castro de Melo; REIS, Ricardo Prado Abreu; ARAÚJO, José Vicente Granato de. Avaliação de sistema de tratamento de águas de chuva coletadas em telhado de cimento amianto, utilizando filtração e desinfecção por UV e Cloro. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s. l], v. 1, n. 3, p. 12-18, nov. 2011.

SANT'ANA, Daniel; MEDEIROS, Lúdia; SANTOS, Susanna. **Cadernos de conservação da água em edificações: aproveitamento de água pluvial**. Brasília: FAU-UnB, 2018. 37 p.

SILVA, Caroline Eloi Oliveira da; FREITAS, Dyego Maradona Ataíde de. Gestão e aproveitamento de águas pluviais na Universidade Federal de Lavras. In: MALHEIROS, Tadeu Fabrício; AMBRIZZI, Tércio; SACZK, Adelir Aparecida; MAGRIOTIS, Zuy Maria. *Universidades & Sustentabilidade: práticas e indicadores*. São Paulo: USP Sustentabilidade, 2020. 344p.

SILVA, Gabrielle Nunes da; ALVES, Letícia Delduque; SANTOS, Isabella Escobar dos; BILA, Daniele Maia; OHNUMA JÚNIOR, Alfredo Akira; CORRÊA, Sérgio Machado. An assessment of atmospheric deposition of metals and the physico-chemical parameters of a rainwater harvesting system in Rio de Janeiro Brazil, by means of statistical multivariate analysis. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, Taubaté, v. 15, n. 4, p. 1-31, 13 jul. 2020. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2522>.

SINTON, Christopher W.; LACOURSE, William C.. Experimental survey of the chemical durability of commercial soda-lime-silicate glasses. **Materials Research Bulletin**, Usa, v. 36, p. 2471-2479, jul. 2001.

SIUDEK, Patrycja; FRANKOWSKI, Marcin; SIEPAK, Jerzy. Seasonal variations of dissolved organic carbon in precipitation over urban and forest sites in central Poland. *Environmental Science And Pollution Research*, v. 22, n. 14, p. 11087-11096, 22 mar. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-4356-3>.

SŁYŚ, Daniel; STEC, Agnieszka. Centralized or Decentralized Rainwater Harvesting Systems: a case study. **Resources**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 1-18, 12 jan. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/resources9010005>.

SOLTOVSKI, Ramon; KAWAMOTO, Willian Namoru. **Produção de membrana filtrante de vidro reciclado pelo processo de sinterização com posterior caracterização**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

SOUZA, Patricia Alexandre de; MELLO, William Zamboni de; MADDOCK, John Edmund Lewis. COMPOSIÇÃO E FONTES DOS CONSTITUINTES INORGÂNICOS MAJORITÁRIOS NA ÁGUA DA CHUVA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, SUDESTE DO BRASIL. **Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 47-64, 10 mar. 2021. Universidade Federal do Tocantins. <http://dx.doi.org/10.20873/uftv8-8595>.

SOUZA, Roberta Santos de. **Avaliação do Sistema de Armazenamento de águas pluviais na UERJ, campus Maracanã**. 2019. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

TEIXEIRA, Celimar Azambuja; GHISI, Enedir. Comparative Analysis of Granular and Membrane Filters for Rainwater Treatment. **Water**, v. 11, n. 5, p. 1004-0, 14 maio 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w11051004>

TESTON, Andrea; GERALDI, Matheus; COLASIO, Barbara; GHISI, Enedir. Rainwater Harvesting in Buildings in Brazil: a literature review. **Water**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 471, 12 abr. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w10040471>.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. **The Texas Manual on Rainwater Harvesting**. 3. ed. Texas: Texas Water Development Board, 2005.

THOMAS, Shaji; RIVERO, Sérgio; ALMEIDA, Oriana. **Gestão ambiental e mudanças climáticas no delta amazônico: legislação municipal, recursos hídricos e desastres naturais**. Belém: GPTA, 2019. 170 p. (ISBN: 978-85-63117-46-5).

TOMAZ, Plínio. Qualidade da água da chuva. In: TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. 2010. Cap. 2. p. 1-34

TUCCI, Carlos; CHAGAS, Maria. Segurança hídrica: conceitos e estratégia para minas gerais. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S.L.], v. 14, n. 1, 2017. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v14e12>.

TUNDISI, José Galizia. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. n. 70. São Paulo: Revista USP, 2006. 24-35 p.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. A água. São Carlos: SCIENTIA, 2020. 130 p. (ISBN: 978-65-5668-005-7)

UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF). **Water security for all**. New York: UNICEF, 2021.

UNITED NATIONS WATER (UN-WATER). **Water Security and the Global Water Agenda: A Un-Water Analytical Brief**. Canadá: United Nations University, 2013. (ISBN 978-92-808-6038-2).

VESTERGAARD. **Manual do usuário**. Purificador de água para uso comunitário. LifeStraw Community, 2014.

VESTERGAARD. **Agua purificada para escuelas, centros de salud, centros de trabajo y áreas recreativas comunitarias**. LifeStraw Community, 2014. 8 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. v. 1. 472 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias).

WALTER, Olga Maria Formigoni Carvalho; HENNING, Elisa; KONRATH, Andréa Cristina; ALVES, Custódio da Cunha; SAMOHYL, Robert Wayne. Uma visão geral do RStudio aplicado ao ensino de controle estatístico do processo. In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE), 2012, Belém: COBENGE, 2012. 11 p.

WILSON, P. Chris. Water quality notes: alkalinity and hardness: sl 332. **Ifas Extension University Of Florida**, [s. l.], p. 1-6, 2019.

WORLD BANK GROUP (WBG). **High and Dry: climate change, water, and the economy**. Washington: WBG, 2016.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **The Global Risks Report 2019: 14th Edition**. Geneva: World Economic Forum, 2019. (ISBN: 978-1-944835-15-6).

ZANELLA, Luciano. **Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2015. (ISBN 978-85-09-00181-0).

ZANG, Jian; KUMAR, Manish; WERNER, David. Real-world sustainability analysis of an innovative decentralized water system with rainwater harvesting and wastewater reclamation. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 280, p. 1-8, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111639>.

ZDEB, Monika M.; ZAMORSKA, Justyna; PAPCIAK, Dorota; Słyś, Daniel. The quality of rainwater collected from roofs in the aspect of the possibility of their economic use. **Hydrology and Earth System Sciences**, 29 abr. 2019.

ZIPF, Mariah Siebert; KNOP, Brenda; PINHEIRO, Ivone Gohr; VALLE, José Alexandre Borges. Avaliação da influência do descarte da primeira água de chuva, do tratamento por filtro lento e da altura da camada filtrante na qualidade da água de chuva. **Revista de Estudos Ambientais (Rea)**, XX, v. 15, n. 1, p. 31-43, jan/jun. 2013

	UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – UERJ Faculdade de Engenharia - FEN Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente - DESMA Laboratório de Engenharia Sanitária – LES		
	PROCEDIMENTO OPERACIONAL DA COLUNA DE ADSORÇÃO E MEMBRANA DE ULTRAFILTRAÇÃO (<i>LifeStraw® Community</i>)		
Matriz Orientador Coordenadora	Sistemas de Águas Pluviais (SAP) Alfredo Akira Ohnuma Júnior Daniele Maia Bila		
Elaborado por	Jaqueline Costa	Versão Preliminar	

APÊNDICE – Procedimento Operacional Padrão (POP), em fase preliminar

1. OBJETIVO

Este documento visa orientar o usuário quanto ao procedimento a ser adotado na operação das tecnologias coluna de adsorção e membrana de ultrafiltração que compõem o sistema de tratamento de águas pluviais instalado no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES), em escala de bancada.

2. APRESENTAÇÃO DO SISTEMA

Sistema de águas pluviais (SAP-UERJ) está localizado no bairro Maracanã, Rio de Janeiro – RJ e foi projetado para coletar a água que escoar pelo telhado da garagem de veículos oficiais da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

O SAP-UERJ dispõe de 4 pontos de coleta das águas pluviais: (1) FF1: *first flush* primário, (2) FF2: *first flush* secundário, (3) VM: volume morto, (4) RR: reservatório. Além disso, o sistema é composto por calhas, condutores verticais e horizontais, conexões, dispositivo separador de sólidos (SS), extravasor e um sistema de tratamento primário denominado *Chove Chuva* (CC).

O sistema de tratamento de águas pluviais está instalado no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES), para operação em escala de bancada, por meio de uma coluna de adsorção e uma membrana de ultrafiltração modelo *LifeStraw Community®*, da empresa Vestergaard.

A coluna de adsorção é constituída por um tubo de PVC, com diâmetro de 150 mm e 80 cm de altura, composta por uma camada de mídia de cerâmica, com coluna de 35 cm, e de carvão ativado granulado, com coluna de 25 cm. A membrana de ultrafiltração contém um reservatório com capacidade de 25L para água tratada e um cartucho de filtração de 20 nm. Coleta-se apenas amostra do ponto do reservatório (RR) para uso do sistema de tratamento de águas pluviais situado no laboratório.

A Figura 1 apresenta o esquema do sistema SAP e a disposição das tecnologias de tratamento no LES.

	UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – UERJ Faculdade de Engenharia - FEN Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente - DESMA Laboratório de Engenharia Sanitária – LES		
	PROCEDIMENTO OPERACIONAL DA COLUNA DE ADSORÇÃO E MEMBRANA DE ULTRAFILTRAÇÃO (<i>LifeStraw® Community</i>)		
Matriz Orientador Coordenadora	Sistemas de Águas Pluviais (SAP) Alfredo Akira Ohnuma Júnior Daniele Maia Bila		
Elaborado por	Jaqueline Costa	Versão Preliminar	

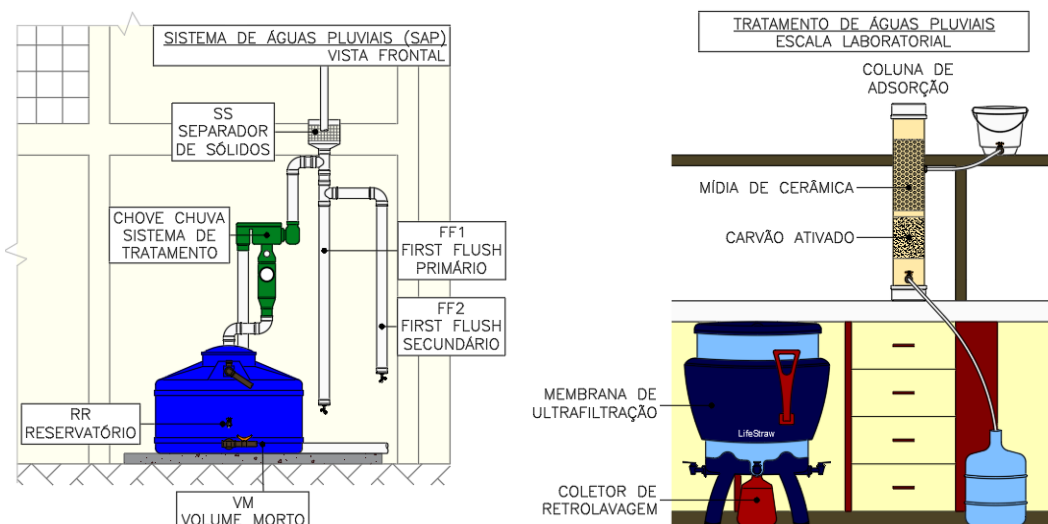


Figura 1: SAP-UERJ à esquerda e Sistema de Tratamento no LES à direita, desenho sem escala.

3. CONHECENDO A ESTRUTURA DAS TECNOLOGIAS

Para operar o sistema você precisa conhecer cada componente. Para isso, observe a Figura 2:

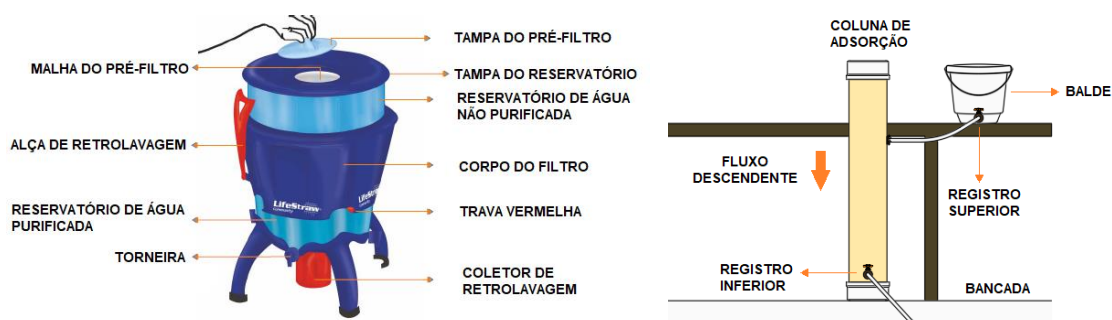


Figura 2: Membrana de ultrafiltração à esquerda e Coluna de adsorção à direita, desenho sem escala.

4. PROCEDIMENTO

O procedimento se encontra dividido em 4 partes, sendo:

- 1ª Etapa: Preparando o sistema;
- 2ª Etapa: Umedecendo a membrana;
- Tratamento da água pluvial;
- Limpeza após uso.

É importante que todas as fases sejam realizadas na sequência apresentada neste protocolo. Agora você está apto para iniciar a operação do sistema, seguindo as seguintes recomendações:

	UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – UERJ Faculdade de Engenharia - FEN Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente - DESMA Laboratório de Engenharia Sanitária – LES		
	PROCEDIMENTO OPERACIONAL DA COLUNA DE ADSORÇÃO E MEMBRANA DE ULTRAFILTRAÇÃO (<i>LifeStraw® Community</i>)		
Matriz Orientador Coordenadora	Sistemas de Águas Pluviais (SAP) Alfredo Akira Ohnuma Júnior Daniele Maia Bila		
Elaborado por	Jaqueline Costa	Versão Preliminar	

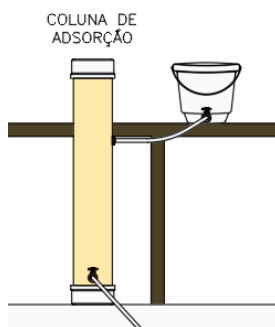
1ª ETAPA: PREPARANDO O SISTEMA

01



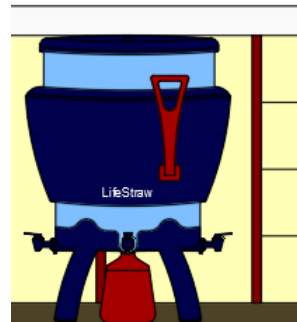
- Remover o saco plástico que protege a membrana;
- Posicionar o coletor de retrolavagem na bancada, ao lado da membrana;

02



- Pegar o balde na parte superior da membrana;
- Lavar sua parte interna com um pouco de água destilada;
- Acoplar na mangueira superior da coluna de adsorção;

03



- Posicionar a membrana no chão, próximo ao registro inferior da coluna de adsorção;
- Inserir o coletor de retrolavagem no centro do filtro, na parte inferior.

2ª ETAPA: UMEDECENDO A MEMBRANA

04



- Retirar a tampa do pré-filtro;
- Despejar 3L de água destilada na malha do pré-filtro;
- **ATENÇÃO:** utilizar um béquer limpo;

05



- Aguardar por um momento, até a água começar a fluir para o reservatório de água limpa ou até dar pressão na alça de retrolavagem;






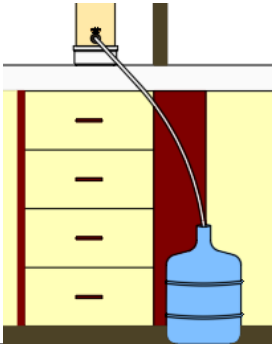
06



- Verificar se o coletor de retrolavagem encontra-se na posição correta
- Puxar a alça de retrolavagem para baixo, até sua posição final;
- Deixar voltar sozinha até posição original (Deixe sua mão apoiada na alça, sem fazer força, apenas para evitar impacto na volta).
- Aguardar um momento e puxar novamente a alça;







	UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – UERJ Faculdade de Engenharia - FEN Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente - DESMA Laboratório de Engenharia Sanitária – LES		
	PROCEDIMENTO OPERACIONAL DA COLUNA DE ADSORÇÃO E MEMBRANA DE ULTRAFILTRAÇÃO (<i>LifeStraw® Community</i>)		
Matriz Orientador Coordenadora	Sistemas de Águas Pluviais (SAP) Alfredo Akira Ohnuma Júnior Daniele Maia Bila		
Elaborado por	Jaqueline Costa	Versão Preliminar	

2ª ETAPA: UMEDECENDO A MEMBRANA

<p>07</p> 	<p>08</p> 	<p>09</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Descartar esta água do coletor na pia do LES; • Lavar o recipiente com um pouco de água destilada; 	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar a tampa do reservatório e apoiá-la na bancada limpa; • Posteriormente, puxar a trava vermelha do reservatório, levantar e retirar a parte superior do filtro para descartar a água contida neste recipiente; • Após descarte, apoiar a parte superior em cima da bancada limpa; 	<ul style="list-style-type: none"> • Homogeneizar a água presente no reservatório inferior de água limpa e descartar esta água na pia do LES; • Após descarte, retornar o recipiente para a mesma posição;
<p>10</p> 	<p>11</p> 	<p>12</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Inserir novamente a parte superior do filtro sobre o reservatório inferior; 	<ul style="list-style-type: none"> • Inserir a tampa do reservatório na membrana. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lavar o galão de 20L com uma pequena quantidade de água destilada, rotacionando o galão; • Posicionar o galão no chão, próximo a coluna de adsorção; • Inserir a mangueira localizada no registro inferior dentro do galão;

	UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – UERJ Faculdade de Engenharia - FEN Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente - DESMA Laboratório de Engenharia Sanitária – LES		
	PROCEDIMENTO OPERACIONAL DA COLUNA DE ADSORÇÃO E MEMBRANA DE ULTRAFILTRAÇÃO (<i>LifeStraw® Community</i>)		
Matriz Orientadora	Sistemas de Águas Pluviais (SAP) Alfredo Akira Ohnuma Júnior Daniele Maia Bila		
Elaborado por	Jaqueline Costa	Versão Preliminar	

3ª ETAPA: TRATAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL

<p>13</p> 	<p>14</p> 	<p>15</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Fechar os registros da coluna; • Despejar amostra no balde, até a última marcação da régua; • Abrir registro superior; • Preencher novamente o balde até a água voltar na mangueira superior; • Abrir o registro inferior e iniciar o cronômetro, mantendo o nível do balde sempre com máximo de água, até acabar a amostra; • Finalizar o cronômetro quando parar de fluir água na mangueira inferior; 	<ul style="list-style-type: none"> • Com a haste do projeto, previamente limpa, homogeneizar a amostra do galão de 20L; • Coletar 1L de amostra para este ponto em frasco de polietileno; • Coletar amostra para análise de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) em frasco de vidro de 250 ml; 	<ul style="list-style-type: none"> • Despejar a amostra do galão na malha do pré-filtro da membrana lentamente; • Acionar o cronômetro quando água começar a fluir para o reservatório inferior de água purificada (essa observação será realizada visualmente, pela transparência do reservatório). • Deixar a membrana de ultrafiltração trabalhar, mas observando sempre que possível. • ATENÇÃO: Para 15L, ficar em alerta entre 1h30min e 1h40min, a fim de parar o cronômetro assim que filtração terminar, observando este momento pelo reservatório inferior.
<p>16</p> 	<p>17</p> 	<p>18</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Após filtrar, retirar a tampa do reservatório e apoiá-la na bancada limpa; 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpar a haste do projeto após uso na etapa 14; 	<ul style="list-style-type: none"> • Coletar 1L de amostra deste ponto, por uma das torneiras, em frasco de polietileno;

	UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – UERJ Faculdade de Engenharia - FEN Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente - DESMA Laboratório de Engenharia Sanitária – LES		
	PROCEDIMENTO OPERACIONAL DA COLUNA DE ADSORÇÃO E MEMBRANA DE ULTRAFILTRAÇÃO (<i>LifeStraw® Community</i>)		
Matriz Orientador Coordenadora	Sistemas de Águas Pluviais (SAP) Alfredo Akira Ohnuma Júnior Daniele Maia Bila		
Elaborado por	Jaqueline Costa	Versão Preliminar	

3ª ETAPA: TRATAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL

- Posteriormente, puxar a trava vermelha do reservatório, levantar e retirar a parte superior do filtro para descartar a água que sobrou neste recipiente;
- Após descarte, apoiar a parte superior em cima da bancada previamente limpa;

19



- Inserir novamente a parte superior do filtro sobre o reservatório inferior;

- Homogeneizar a amostra do reservatório inferior com a haste do projeto;
- **ATENÇÃO:** o reservatório deverá permanecer no chão;

20



- Limpar a malha do pré-filtro com água destilada;

- Coletar amostra para COD, em frasco de vidro de 250 ml;
- Descartar a água restante na pia do LES;
- Após descarte, retornar o reservatório de água purificada para a mesma posição;

21



- Inserir a tampa do reservatório na membrana.

4ª ETAPA: LIMPEZA APÓS USO

22



- Posicionar o coletor de retrolavagem no local correto, no centro da membrana;

23



- Despejar 3L de água destilada na malha do pré-filtro;
- Aguardar um momento;

24



- Puxar a alça de retrolavagem para baixo, até sua posição final;
- Deixar voltar sozinha até posição original (Deixe sua mão apoiada na alça, sem fazer força, para evitar impacto na volta).
- Aguardar um momento e puxar novamente a alça;
- Coletar a amostra do coletor de retrolavagem.

	UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – UERJ Faculdade de Engenharia - FEN Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente - DESMA Laboratório de Engenharia Sanitária – LES		
	PROCEDIMENTO OPERACIONAL DA COLUNA DE ADSORÇÃO E MEMBRANA DE ULTRAFILTRAÇÃO (<i>LifeStraw® Community</i>)		
Matriz Orientador Coordenadora	Sistemas de Águas Pluviais (SAP) Alfredo Akira Ohnuma Júnior Daniele Maia Bila		
Elaborado por	Jaqueline Costa	Versão Preliminar	

4ª ETAPA: LIMPEZA APÓS USO

<p>25</p> 	<p>26</p> 	<p>27</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Repetir etapas 08 e 09; 	<ul style="list-style-type: none"> • Se possível, secar a membrana. • Lavar o galão, o balde e o coletor de retrolavagem com água destilada em cada item. 	<ul style="list-style-type: none"> • Guardar o sistema, como encontrado na etapa 01; • Secar o chão e a bancada;

5. ATENÇÃO

- Não utilizar produtos para limpeza, apenas água.
- Usar luva, sapato fechado, jaleco de manga comprida, calça comprida e cabelo preso ao operar o sistema.
- Verificar se os recipientes para armazenar as amostras estão limpos e identificados.
- De preferência, o sistema deverá ser operado por duas pessoas.

6. REFERÊNCIAS

VESTERGAARD. Manual do usuário. Purificador de água para uso comunitário. *LifeStraw Community*, 2014.