

# ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA EM FUNÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

*Data de aceite: 27/10/2023*

### **Jaqueline Costa Areas de Almeida**

Engenharia Ambiental e Sanitária -  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
<http://lattes.cnpq.br/7506177782536879>  
<https://orcid.org/0000-0002-6104-1469>

### **Letícia Delduque Alves**

Engenharia Ambiental e Sanitária -  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
<http://orcid.org/0000-0002-0739-6875>

### **Caroline Moreira de Souza**

Engenharia Ambiental e Sanitária -  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
<http://orcid.org/0000-0003-0976-7155>

### **Ana Beatriz Almeida de Souza**

Graduanda em Engenharia Ambiental e  
Sanitária - Universidade do Estado do Rio  
de Janeiro.  
<https://lattes.cnpq.br/7503328085047132>  
<https://orcid.org/0000-0002-7313-5091>

### **Julia de Souza Lemos**

Graduanda em Engenharia Ambiental e  
Sanitária - Universidade do Estado do Rio  
de Janeiro.  
<http://lattes.cnpq.br/8399907827243566>  
<https://orcid.org/0009-0006-9687-3755>

### **Athila Dias Carrapatoso Ribeiro**

Graduando em Engenharia Civil -  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

<http://lattes.cnpq.br/2210417089785626>  
<https://orcid.org/0009-0001-0266-4906>

### **Ryan Rodrigues Domingos**

Engenharia Elétrica - Universidade do  
Estado do Rio de Janeiro.  
<http://orcid.org/0000-0003-2977-8281>

### **Wendel Henrique S. de Souza**

Mestrando em Engenharia Ambiental  
- Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro.  
<http://lattes.cnpq.br/4665809163113072>  
<https://orcid.org/0009-0008-9405-16054>

### **Alfredo Akira Ohnuma Júnior**

Professor Associado do Departamento de  
Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente,  
da Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/0181633220926313>  
<https://orcid.org/0000-0002-0772-9334>

**RESUMO:** Este trabalho tem como objetivo estabelecer a correlação de determinados poluentes atmosféricos com a qualidade da água de chuva armazenada dos pontos da precipitação direta (PD), *first flush* (FF) e reservatório (RR) de um sistema de águas pluviais instalado na cidade do Rio de Janeiro. A metodologia consistiu de

análises de amostras de água de chuva coletadas em um sistema de águas pluviais situado no bairro Rio Comprido, na cidade do Rio de Janeiro, entre janeiro de 2018 e dezembro de 2019, classificadas em período seco e úmido, dos parâmetros: pH, turbidez e condutividade elétrica. Os poluentes atmosféricos foram obtidos do Sistema MonitorAr, da Prefeitura do Rio de Janeiro: Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado (MP<sub>10</sub>), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e Ozônio (O<sub>3</sub>). Para o tratamento estatístico dos dados foi utilizada a linguagem RStudio com a elaboração de gráficos e matriz de correlação. As amostras de águas pluviais apresentaram caráter ácido, principalmente na PD no período seco. A turbidez, o ponto FF apresentou os maiores resultados, com a maior média também obtida no período de menor precipitação. As médias mais elevadas para condutividade elétrica também ocorreram na época seca para os três pontos analisados. A partir da matriz de correlação observou-se que a condutividade elétrica sofreu interferência dos poluentes atmosféricos, como dos dias consecutivos sem chuva (DCSC). A turbidez para o ponto PD indicou forte correlação com material MP10 e com DCSC. Não foram constatadas fortes correlações entre os poluentes atmosféricos e a acidez da água pluvial. A estiagem favoreceu o aumento da concentração dos poluentes na atmosfera, de modo a comprometer a qualidade da água de chuva. Pode-se constatar a lavagem da atmosfera pela precipitação inicial, de modo que o dispositivo de descarte de volume inicial apresentou relevância na retenção de poluentes para o reservatório.

**PALAVRAS-CHAVE:** poluição atmosférica, qualidade do ar, sistema de aproveitamento de água de chuva, monitoramento da precipitação.

**ABSTRACT:** This study aims to establish the correlation between specific atmospheric pollutants and the quality of stored rainwater from direct precipitation (PD), first flush (FF), and reservoir (RR) points in a stormwater system installed in the city of Rio de Janeiro. The methodology involved analyzing samples of rainwater collected from a stormwater system located in the Rio Comprido neighborhood in Rio de Janeiro, between January 2018 and December 2019. The samples were classified into dry and wet periods and analyzed for pH, turbidity, and electrical conductivity. The atmospheric pollutants, including Carbon Monoxide (CO), Particulate Matter (MP10), Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>), Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>), and Ozone (O<sub>3</sub>), were obtained from the Rio de Janeiro City Hall's MonitorAr System. Statistical analysis of the data was performed using the RStudio language, including the creation of graphs and correlation matrices. The rainwater samples exhibited acidic characteristics, primarily at the PD point during the dry period. The FF point showed the highest turbidity results, with the highest average also observed during the period of lower precipitation. The highest averages for electrical conductivity also occurred during the dry season for all three analyzed points. From the correlation matrix, it was observed that electrical conductivity was influenced by atmospheric pollutants as well as consecutive rainless days (DCSC). Turbidity at the PD point indicated a strong correlation with particulate matter (MP10) and DCSC. Strong correlations between atmospheric pollutants and the acidity of rainwater were not observed. The dry period favored an increase in pollutant concentrations in the atmosphere, compromising the quality of collected rainwater. The washing of the atmosphere by initial precipitation was evident, highlighting the importance of the initial volume discard device in retaining pollutants for the reservoir.

**KEYWORDS:** atmospheric pollution, air quality, rainwater harvesting system, precipitation monitoring.

## INTRODUÇÃO

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 m<sup>3</sup> em 2040. Nesse contexto, surgem os projetos referentes às soluções alternativas de abastecimento de água em edificações, de modo a garantir o manejo sustentável das águas pluviais em áreas urbanas. Uma estratégia de otimização dos serviços relacionados à gestão das águas urbanas são os sistemas de captação, armazenamento, tratamento e aproveitamento de águas pluviais com a função de reduzir o uso de água potável para fins menos nobres, proveniente dos sistemas de abastecimentos convencionais, e de amenizar o descarte de volumes de escoamento superficial para a rede urbana de drenagem (ROSTAD, FOTI e MONTALTO, 2016).

Estudos confirmam que o uso de água de chuva pode gerar boa economia de água potável. De acordo com El Tugoz, Bertolini e Brandalise (2017), foi obtida uma redução de cerca de 58% no consumo de água fornecida pela empresa de saneamento, após a instalação de cisterna em uma unidade escolar.

A água pluvial é considerada uma fonte natural de água limpa, porém, apresenta alteração nas suas características devido a absorção de gases presentes na atmosfera, como também pela capacidade de capturar fuligem e demais partículas no processo de limpeza do ar. Desta forma, a qualidade da água de chuva é modificada, tanto pelas atividades naturais e antropogênicas desenvolvidas na região, quanto pelo tipo de material empregado nos telhados e componentes do sistema de captação (IGBINOSA & AIGHEWI, 2017).

Logo, as atividades desenvolvidas nas áreas urbanas impactam a atmosfera. Portanto, deve-se conhecer a natureza, a distribuição e a intensidade dessas atividades para avaliar a qualidade do ar de uma determinada área de estudo. Desta maneira, a origem dos poluentes atmosféricos pode ser de fontes fixas, como as indústrias, e de fontes móveis, como os automóveis (SMAC, 2021) e o processo de remoção de gases e partículas da atmosfera pode ocorrer via deposição úmida ou seca. Na deposição úmida, a limpeza ocorre a partir da precipitação com a incorporação dos poluentes nas gotículas de água, enquanto na deposição seca os poluentes são depositados nas superfícies de captação, devido ausência de chuva (CARDOSO *et al.*, 2020; OHNUMA Jr *et al.*, 2014).

Uma variedade de poluentes é transportada a partir das descargas superficiais nas regiões urbanas, o que influencia na qualidade dos corpos d'água. As superfícies de

escoamento, como ruas e telhados, tornam-se importantes contribuintes de poluentes, caracterizando a poluição das águas pluviais como difusas. Este tipo de poluição inicia pela precipitação, ao lavar e transportar os poluentes atmosféricos, que contribui com as descargas superficiais responsáveis por arrastar uma parcela dos poluentes que se encontram depositados nas superfícies da bacia de estudo, com destinação final em um corpo receptor. É um fenômeno difícil de mensurar, que sofre interferência tanto de fatores meteorológicos, quanto do tipo de uso e ocupação do solo (FREITAS, 2013 *apud* RIGHETTO; GOMES; FREITAS, 2017).

Como forma de quantificar a carga de poluentes presente nos escoamentos superficiais, estudos têm avaliado o fenômeno de *first flush em bacias* de drenagem urbana. Cita-se como exemplo desta aplicação o trabalho realizado por Righetto, Gomes e Freitas (2017), que verificaram que as descargas superficiais de uma bacia urbana na cidade de Mirassol – Natal/RN foram responsáveis por carrear elevadas concentrações de poluentes em diversos níveis de intensidade pluviométrica, cujo escoamento superficial apresentou elevado potencial poluidor dos corpos d'água.

Deste modo, torna-se imprescindível entender a variabilidade da qualidade das águas provenientes de escoamentos superficiais, com o intuito de realizar o manejo sustentável das águas pluviais urbanas (FREITAS, 2013 *apud* RIGHETTO; GOMES; FREITAS, 2017). Portanto, a busca por estratégias que atenuem os impactos dos contaminantes nas águas pluviais a níveis local, regional e nacional deve ser constante, a fim de contribuir nas tomadas de decisão. Para isso, faz-se necessária a compreensão entre poluição atmosférica e água captada, ocorrência dos compostos, bem como conhecimento das fontes e concentrações, uma vez que há uma limitação na disponibilidade dos dados (GASPERI *et al*, 2014).

Este trabalho tem como objetivo estabelecer a correlação de determinados poluentes atmosféricos com a qualidade da água de chuva armazenada nos pontos da precipitação direta (PD), *first flush* (FF) e reservatório (RR) de um sistema de águas pluviais, instalado em região densamente urbanizada na cidade do Rio de Janeiro.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo selecionada para coleta das amostras de água de chuva contempla o sistema de captação e armazenamento de águas pluviais (SAP) instalado no Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira (CAp-UERJ), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), localizado na Rua Santa Alexandrina, nº 288, bairro Rio Comprido, na cidade do Rio de Janeiro-RJ. O SAP encontra-se em uma região intensamente urbanizada, sendo uma das principais zonas de transição entre as regiões norte e sul da cidade do Rio de Janeiro, por meio do elevado tráfego de veículos na Avenida Paulo de Frontin e Elevado Engenheiro Freyssinet.

Para obtenção dos dados pluviométricos foi adotada a Estação nº 4 – Tijuca do

Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (ALERTA RIO, 2021), situada no Maciço da Tijuca no Centro de Estudos do Sumaré – Estrada do Sumaré, nº 670, bairro Rio Comprido. Os dados referentes aos poluentes atmosféricos foram adquiridos da Estação Tijuca da Rede MonitorAr-Rio (SMAC, 2021), situado na Praça Saens Pena, s/n, bairro Tijuca. As estações Tijuca do sistema Alerta Rio e do programa MonitorAr encontram-se equidistantes do SAP-CAP em aproximadamente 1,5 km e 2,5 km, respectivamente (Figura 1, à esquerda).

Os bairros da Tijuca, Rio Comprido, Maracanã e São Cristóvão estão contidos no raio de 2 km da Estação Tijuca da Rede MonitorAr, localizada na Praça Saens Pena, próximo à Rua Conde de Bonfim, caracterizada como uma via arterial secundária relevante para a região. Além disso, apresenta uma distribuição espacial dos ventos que sofre influência da brisa da montanha, devido à proximidade com o Maciço da Tijuca, com a circulação dos ventos dificultada pelos edifícios (SMAC, 2021).

O sistema de águas pluviais foi projetado para coletar e armazenar a água de chuva que escoar pelo telhado da quadra poliesportiva do colégio, composto por telhas de aço galvanizado, com área de 80 m<sup>2</sup> disponível para captação, correspondente à aproximadamente ¼ da cobertura total.

O SAP do CAP-UERJ é composto por calhas de chapa metálica galvanizada, condutores verticais e horizontais de PVC, conexões, extravasor, coletor de deposição úmida (PD), dispositivo separador de sólidos (SS), dispositivo de descarte dos primeiros milímetros de chuva (*first flush*), reservatório de polietileno de 2.460 litros (modelo *FatBoy Slim*) e registros de coleta de amostras em pontos específicos do sistema.

O sistema dispõe de 3 principais pontos de coleta de águas pluviais denominados: (1) precipitação direta – PD, com capacidade 5,5 litros para captação da água da chuva diretamente da atmosfera; (2) sistema de descarte inicial *first flush* – FF, com capacidade para armazenar 0,2 mm de precipitação a partir da deposição úmida e seca e (3) reservatório – RR, ponto destinado ao aproveitamento, localizado cerca de 0,40 metros do piso, com capacidade para armazenar até 24,30 mm de precipitação. Os principais pontos do sistema de águas pluviais do CAP-UERJ são apresentados na Figura 01 (à direita).

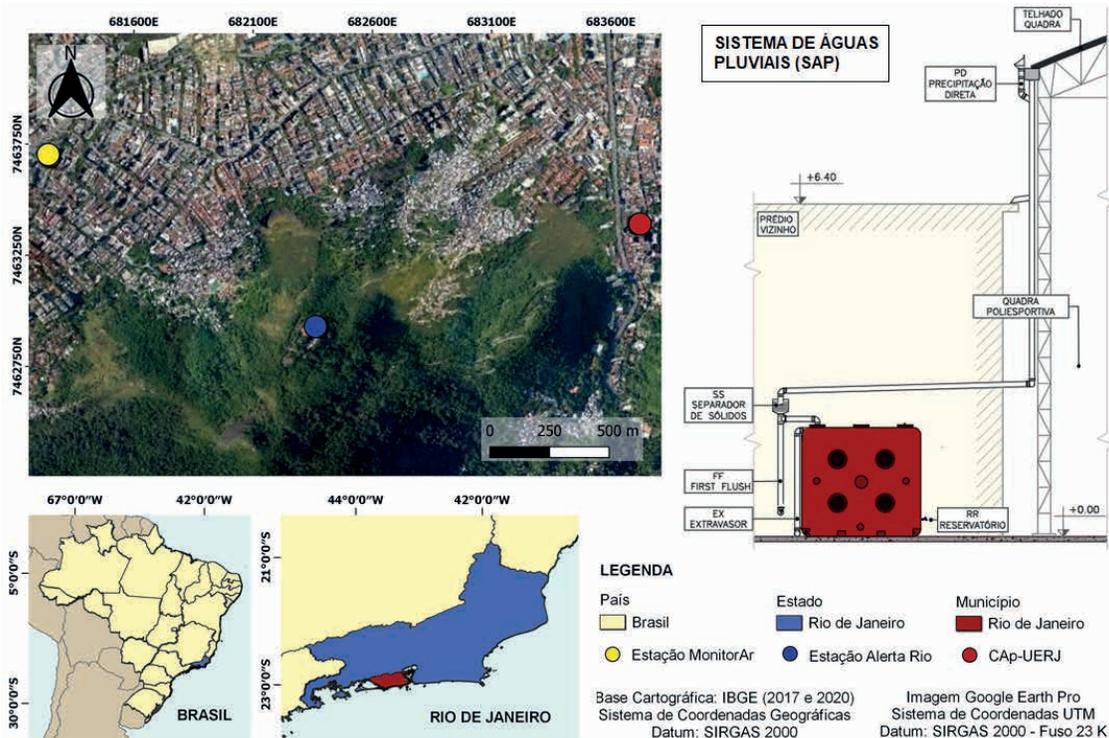


Figura 1 – Localização do sistema de águas pluviais (SAP-CAp), estação MonitorAr, estação Alerta Rio (à esquerda) e vista frontal do sistema de águas pluviais do CAp-UERJ (à direita). Fonte: Elaboração própria, 2022

## CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA REGIÃO

Para determinar a média mensal da precipitação local foi realizado o tratamento dos dados fornecidos pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (ALERTA RIO, 2021) para a série histórica de 1997 a 2019, disponíveis para a estação nº 4 da Tijuca.

A avaliação da qualidade da água pluvial considerou dois períodos do ano (úmido e seco) definidos a partir da média mensal corrigida, que foi obtida por meio da média mensal anual da série histórica subtraída do desvio padrão (NAKADA e MORUZZI, 2014). Os meses de janeiro a maio e setembro a dezembro apresentaram valores acima da média mensal corrigida e foram classificados como período úmido (janeiro a maio e setembro a outubro), enquanto os meses entre junho a agosto como período seco, por estarem abaixo da média mensal (Figura 2).

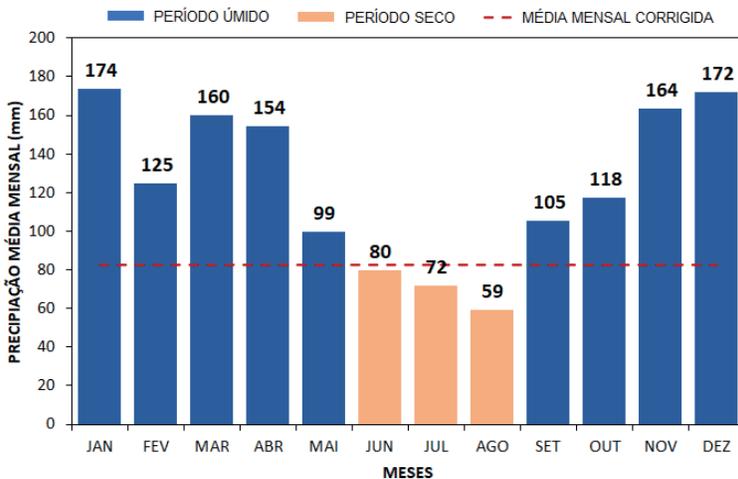


Figura 2 – Precipitação média mensal para a série histórica de 1997 a 2019 para a estação Tijuca. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, 2022

Os valores médios para o período estudado variaram entre 59 mm para o mês de agosto e 174 mm para o mês de janeiro. Além disso, ao analisar a precipitação acumulada anual de 1997 a 2019 para a estação Tijuca, observa-se que 2014 foi o período mais seco, com o menor acumulado anual de 860 mm. Contudo, a maior precipitação total anual foi registrada em 1998 com 2.600 mm, considerado o ano mais chuvoso, entre 1997 e 2019. O maior registro de precipitação acumulada mensal na série histórica ocorreu em 1998 com 527 mm. O mês de julho de 2019 apresentou o menor acumulado mensal precipitado, equivalente a 21 mm.

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), que apresenta clima quente com chuva de verão e estação seca no inverno. Logo, a Figura 2 permite caracterizar o comportamento hidrológico da Tijuca típico de regiões de clima tropical com meses mais secos no inverno e chuvas intensas no verão.

## QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA E TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Foram coletadas 25 amostras de água de chuva para o ponto de precipitação direta (PD), 23 amostras para os pontos de *first flush* (FF) e 23 amostras para o ponto do reservatório. Em relação ao período úmido, foram 18 amostras para PD, 17 amostras para FF e 17 para RR, enquanto o período seco totalizou 7 amostras para PD e 6 amostras para FF e RR cada.

As coletas do período úmido foram realizadas de 18 de janeiro a 23 de maio de 2018, de 01 de outubro de 2018 a 21 de maio de 2019 e de 17 de outubro a 13 de dezembro

de 2019. As amostras do período seco ficaram compreendidas entre 19 de junho a 17 de setembro de 2018 e de 09 de julho de 2019 a 12 de setembro de 2019.

A análise estatística dos dados foi realizada a partir do uso da Linguagem R (R CORE TEAM, 2020), com programação realizada no ambiente *RStudio*®.

Para análise qualitativa das águas pluviais foi utilizada a estatística descritiva para cada parâmetro de qualidade, com representação a partir do gráfico *boxplot*, para os parâmetros pH, turbidez e condutividade elétrica. Este gráfico apresenta o quartil inferior e superior, onde formam a caixa do gráfico em que se concentram 50% dos resultados, como também os limites mínimos e máximos, a mediana e os *outliers*. Quando disponível, os limites estipulados pelos padrões adotados foram identificados por uma linha tracejada na cor vermelha.

No entanto, foi utilizada a estatística multivariada por meio da matriz de correlação de Pearson para avaliar a existência de possíveis relações entre as variáveis escolhidas, quais sejam: parâmetros de qualidade de águas pluviais, poluentes atmosféricos, índice de qualidade do ar (IQAr), precipitação total (PTOT) e dias consecutivos sem chuva (DCSC).

A metodologia adotada para utilizar os dados de poluentes atmosféricos consistiu em calcular uma média de suas concentrações entre as campanhas de águas pluviais, visto que estas amostras normalmente são coletadas uma vez por mês, enquanto os dados dos poluentes são disponibilizados diariamente. Desta forma, cada amostra de água de chuva apresentou um valor correspondente de poluentes atmosféricos. Para a precipitação total (PTOT) foi realizada a soma dos volumes precipitados entre as coletas.

As amostras foram analisadas *ex situ*, no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ, para caracterização dos volumes armazenados. Os parâmetros físico-químicos adotados e seus respectivos métodos são: pH (Método 4500 – H<sup>+</sup> B: *Electrometric Method*), turbidez (Método 2130 B: *Nephelometric Method*) e condutividade elétrica (Método 2510 B: *Laboratory Method*), segundo 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 e condutivímetro de bancada QUIMIS Q405M.

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 também foi adotada a Portaria de GM/MS nº 888/2021 (MS, 2021) referente aos parâmetros de potabilidade (Tabela 1).

PARÂMETRO	NBR 15.527/2019	NBR 16.783/2019	PORTARIA GM/MS Nº 888/2021
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	-	$\leq 3.200$	-
pH	6 – 9	6 – 9	6 – 9
Turbidez (UNT)	$\leq 5$ <sup>(1)</sup>	$\leq 5$	$\leq 5$ <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> < 5 UNT: valor máximo permitido; <sup>(2)</sup> Padrão organoléptico de potabilidade. Fonte: Elaboração própria.

Tabela 1 – Limites utilizados para padronização da qualidade da água de chuva

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 (MS/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 (MS, 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  $3.200 \mu\text{S.cm}^{-1}$  (ABNT, 2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

De modo geral, o pH das amostras de águas pluviais variou de 3,3 a 7,53 com predominância de caráter ácido, com médias iguais a  $4,13 \pm 0,56$  para PD,  $6,49 \pm 0,46$  para FF1 e  $6,39 \pm 0,46$  para RR no período úmido e  $3,71 \pm 0,22$  para PD,  $6,52 \pm 0,23$  para FF e  $6,39 \pm 0,25$  para RR no período seco. É possível observar que os meses mais secos resultaram em um menor valor de pH para o ponto de precipitação direta (PD), com o valor máximo para este ponto igual a 3,99. Nos demais pontos (FF e RR), o comportamento foi semelhante entre os períodos úmido e seco (Figura 3 à esquerda).

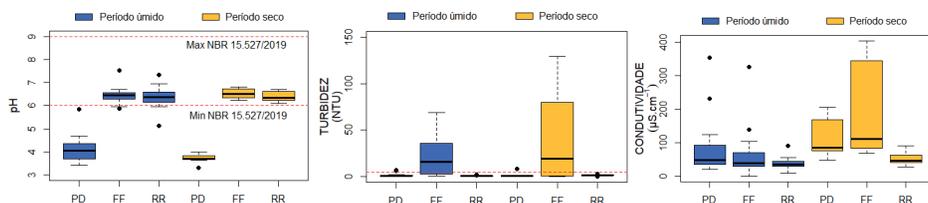


Figura 3 – Boxplot dos parâmetros pH (à esquerda), turbidez (ao meio) e condutividade elétrica (à direita). PD: Precipitação Direta, FF: *First Flush*, RR: Reservatório. Fonte: Autoria própria, 2022.

Todas as amostras de águas pluviais para o ponto de precipitação direta (PD) estavam abaixo do limite mínimo da NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019). Tanto o ponto de descarte de volume inicial (FF) quanto o ponto destinado ao uso da água de chuva (RR)

apresentaram 2 amostras (11, 76% para FF e 11,11% para RR) no período úmido com resultado ligeiramente abaixo do limite mínimo permitido em norma, com pH de 5,86 e 5,96 para FF e 5,14 e 5,96 para RR, enquanto os demais resultados foram compreendidos entre 6,0 e 9,0 conforme disposto na NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019). No período seco, os pontos FF e RR indicam totalidade dos resultados dentro da faixa permitida em norma para o pH.

A água de chuva ao escoar pela superfície de captação da quadra poliesportiva do CAP-UERJ composta por telhado de aço galvanizado resultou em maiores valores de pH nos pontos FF e RR, em comparação ao ponto sem interferência do telhado no ponto de coleta da precipitação direta (PD). Um comportamento semelhante foi observado por Calheiros *et al.* (2014), com a média obtida para pH de  $5,81 \pm 0,34$  para as amostras de água de chuva coletadas diretamente da atmosfera e, após ter contato com as superfícies de captação, foi verificada a influência dos materiais de amianto, zinco e cerâmica constituintes das coberturas, cujos resultados foram elevados para  $7,36 \pm 0,44$ ,  $6,45 \pm 0,27$  e  $6,39 \pm 0,55$ , respectivamente à superfície dos materiais. Desta forma, pode-se notar uma maior acidez nas amostras coletadas de água de chuva diretamente da atmosfera, em relação às amostras obtidas após entrar em contato com a superfície de captação, nos pontos de descarte inicial (FF) e no reservatório (RR).

O ponto do *first flush* (FF) ultrapassou o limite máximo de turbidez (Figura 3 ao meio) estabelecido pelas referências adotadas de 5 UNT, com média igual a  $24,41 \pm 25,18$  UNT para o período úmido e  $41,38 \pm 52,02$  UNT para o período seco, apresentando valores mais elevado no período de menor precipitação. Entretanto, com exceção dos *outliers*, os pontos das amostras coletadas diretamente da atmosfera (PD) e do reservatório (RR) estiveram abaixo do limite máximo, com médias de  $1,43 \pm 1,90$  UNT para PD e  $0,53 \pm 0,50$  para RR no período úmido e  $1,87 \pm 3,05$  para PD e  $1,14 \pm 0,94$  para RR no período de seco. Em todos os pontos do sistema de águas pluviais, os resultados mais elevados de turbidez foram constatados no período seco.

De forma geral, os resultados da turbidez no período úmido variaram de 0,00 a 6,50 UNT (PD), 0,60 a 69,00 UNT (FF) e 0,00 a 1,84 UNT (RR), enquanto para o período seco foram 0,00 a 8,00 UNT (PD), 0,00 a 129,00 UNT (FF) e 0,00 a 2,60 UNT (RR). Desse modo, pode-se constatar que, após o descarte dos primeiros milímetros de precipitação pelo dispositivo *first flush* (FF), o ponto RR obteve resultados com melhorias significativas da turbidez, seja no período úmido, como no período seco, demonstrando a eficiência do descarte das primeiras águas. Além disso, os menores valores máximos foram obtidos para o ponto RR, não ultrapassando 2,60 UNT.

O ponto RR apresentou 18 amostras (78,2%) com valores de turbidez iguais ou inferiores a 1,00 UNT que, segundo o Anexo 2 da Portaria GM/MS no 888/2021 (MS, 2021), seria o limite a não ser ultrapassado para garantir condição sanitária adequada para filtração lenta, em 95% das amostras.

Nakada e Moruzzi (2014) também notaram uma maior variabilidade de turbidez em resultados de amostras qualitativas da água da chuva no período de estiagem, com uma redução a partir do aumento da frequência de eventos de chuva, com médias iguais a  $30,03 \pm 51,71$  UNT,  $8,39 \pm 5,05$  UNT e,  $3,10 \pm 1,85$  UNT para épocas de estiagem, chuvas e chuvas intensas, respectivamente.

Breginski e Coelho (2015) verificaram que menores valores de turbidez foram observados em chuvas com maiores índices pluviométricos e que a ocorrência de eventos de precipitação sucessivas, independente do índice pluviométrico, resultou em uma redução do parâmetro, justificado pelos autores devido ao menor acúmulo de material depositado no coletor.

As amostras de águas pluviais apresentaram as médias mais elevadas de condutividade elétrica no período seco (Figura 3 à direita), de:  $118,30 \pm 61,43 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para PD,  $187,10 \pm 146,56 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para FF e  $53,78 \pm 24,38 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para RR. Para o período de maior volume precipitado, os resultados foram de  $81,97 \pm 84,25 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ,  $62,24 \pm 76,47 \mu\text{S.cm}^{-1}$  e  $37,75 \pm 18,18 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para PD, FF e RR, respectivamente. Este resultado permite observar uma redução dos valores no ponto do reservatório (RR), após o descarte das primeiras águas pelo dispositivo *first flush* (FF), o que demonstra a importância em adotar esses sistemas de descarte inicial.

Ao avaliar todos os pontos do sistema, os valores para a condutividade oscilaram entre  $0,61$  e  $403,00 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , ou seja, abaixo do limite de  $3.200 \mu\text{S.cm}^{-1}$  estabelecido pela NBR 16.783 (ABNT, 2019). Para os períodos seco e úmido é possível observar que o ponto RR apresentou a menor variabilidade dos resultados de condutividade elétrica, cujo valor máximo não ultrapassou  $91,20 \mu\text{S.cm}^{-1}$ .

Ao monitorar a qualidade da água de chuva armazenada nas cisternas instaladas na comunidade ribeirinha do Furo Grande - Pará, Neu *et al.* (2018) observaram 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 pela redução da concentração de íons na atmosfera.

## CONCENTRAÇÃO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A análise do comportamento sazonal referente a concentração dos poluentes atmosféricos indica que as médias para o período úmido correspondem a  $0,53 \pm 0,33$  ppm para o monóxido de carbono (CO),  $28,93 \pm 9,52 \mu\text{g.m}^{-3}$  para partículas inaláveis ( $\text{MP}_{10}$ ),  $62,90 \pm 19,88 \mu\text{g.m}^{-3}$  para dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) e  $3,53 \pm 2,89 \mu\text{g.m}^{-3}$  para dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), enquanto o período seco registrou  $0,57 \pm 0,21$  ppm para CO,  $32,62 \pm 12,47$

$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  para  $\text{MP}_{10}$ ,  $73,06 \pm 23,63 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  para  $\text{NO}_2$  e  $3,94 \pm 3,53 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  para  $\text{SO}_2$ . A Figura 5 ilustra o comportamento para cada poluente.

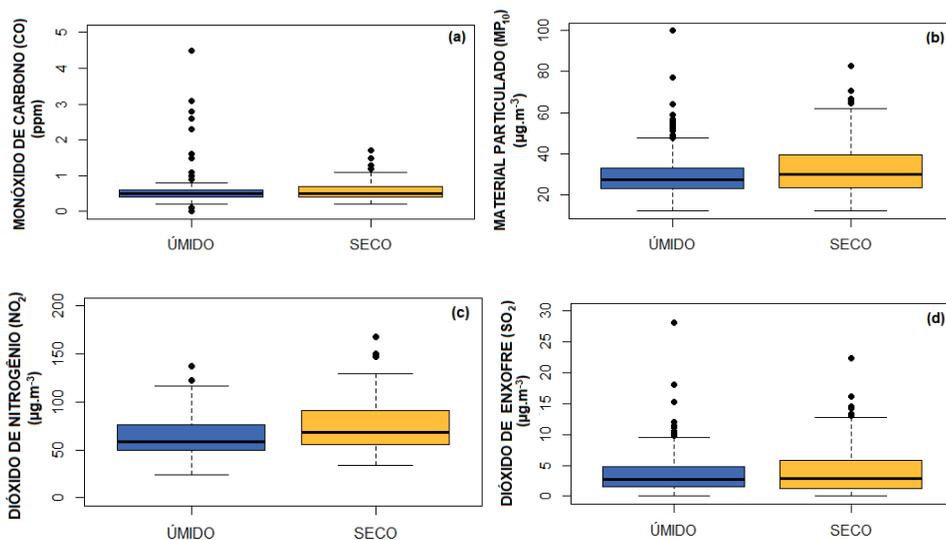


Figura 5 – *Boxplot* da concentração dos poluentes atmosféricos (a) monóxido de carbono em ppm, (b) partículas inaláveis em  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (c) dióxido de nitrogênio em  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  e (d) dióxido de enxofre em  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  por período. Fonte: Autoria própria, 2022.

De modo geral, é possível notar que o período seco foi responsável pelos resultados mais elevados que o período úmido, com destaque para partículas inaláveis ( $\text{MP}_{10}$ ) e dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ). Este resultado foi similar ao abordado por Almeida *et al.* (2019), em que uma análise mensal indicou que os meses relacionados ao período de inverno apresentaram maiores concentrações para óxidos de nitrogênio e partículas inaláveis, fato justificado pela dificuldade de dispersão dos poluentes devido ao fenômeno de inversão térmica.

De acordo com o Relatório da Rede MonitorAr-Rio sobre a Qualidade do Ar na Cidade do Rio de Janeiro para o ano base 2011-2012 (SMAC, 2021), a Estação Tijuca teve uma média sazonal, para as quatro 4 estações do ano, inferior a 0,30 ppm para monóxido de carbono,  $8,00 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  para dióxido de enxofre e  $45,00 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  para partículas inaláveis. Observa-se que as médias sazonais do presente estudo foram superiores às encontradas em 2011-2012. A partir dos gráficos do relatório, é possível verificar que o inverno indicou maiores concentrações para o monóxido de carbono e partículas inaláveis, enquanto o período sazonal para o ano de 2012 apresentou elevada concentração das médias sazonais do dióxido de enxofre nos períodos de verão e primavera.

A qualidade do ar da região da Tijuca é influenciada por fontes móveis, devido à elevada quantidade de veículos de passeio e à expressiva contribuição de ônibus de transporte público. Portanto, o monitoramento registra concentrações baixas de dióxido

de enxofre e monóxido de carbono, além de valores altos de partículas inaláveis (SMAC, 2021). As áreas urbanas que registram a emissão de partículas inaláveis e dióxido de enxofre, com pequeno índice de indústrias, têm origem predominante dos veículos que utilizam diesel (ALMEIDA *et al.*,2019).

## CORRELAÇÃO ENTRE A QUALIDADE DE ÁGUA PLUVIAL E OS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Na análise de correlação dos resultados de qualidade de água e dos poluentes atmosféricos, buscou-se justificar as possíveis variabilidades da qualidade da água de chuva a partir da correlação linear de *Pearson*, pelo gráfico Matriz de Correlação, nos períodos de chuva e de estiagem. Desta forma, para a análise foram incluídos os parâmetros de qualidade do ar, como também os parâmetros *físico-químicos* referentes à qualidade da água de chuva.

Os poluentes atmosféricos inseridos foram: Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado (MP<sub>10</sub>), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>). Quanto aos parâmetros de qualidade das águas pluviais, foram adotados Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (TU) e Condutividade Elétrica (CE) por ponto de coleta do sistema de aproveitamentos de águas pluviais do CAP-UERJ, quais sejam: Precipitação Direta (PD), *First Flush* (FF) e Reservatório (RR). Além disso, acrescentou-se também a precipitação total entre as campanhas (PTOT) e os dias consecutivos sem chuva (DCSC) entre as coletas. Nota-se que as correlações entre parâmetros de qualidade de água de chuva e de poluentes atmosféricos foram mais fortes no período seco, em relação ao período úmido, na medida em que se observa uma maior quantidade de correlação positiva nos períodos de estiagens prolongadas (Figura 6).

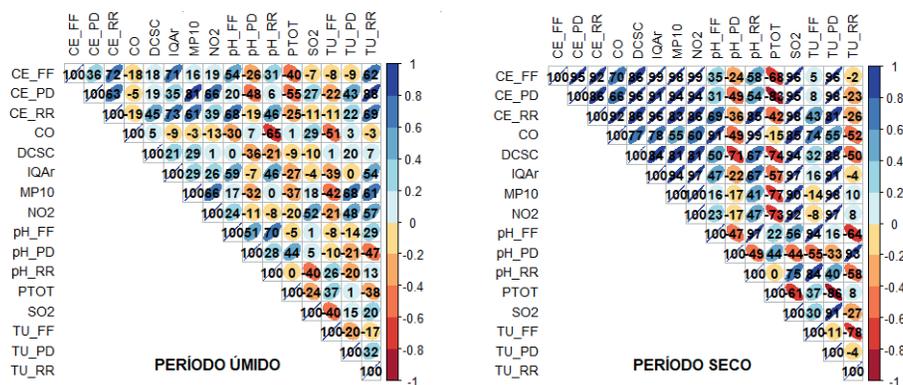


Figura 6 – Matriz de correlação para o período seco e úmido entre os parâmetros de qualidade das águas pluviais e os poluentes atmosféricos. Fonte: Autoria própria, 2022.

A precipitação total (PTOT) correlacionou-se negativamente com a condutividade elétrica (CE) para os três pontos que compõe o sistema (PD, FF e RR), com destaque

para o ponto de precipitação direta (CE\_PD), com  $r=-83$ , indicando que o aumento da frequência de chuvas reduz os valores de condutividade, devido a limpeza da atmosfera. Fato que também pode ser observado pela correlação da condutividade elétrica (CE\_PD, CE\_FF e CE\_RR) com os dias consecutivos sem chuva (DCSC), com elevada associação direta iguais a  $r=96$ ,  $r=86$  e  $r=86$ , respectivamente. Além disso, a condutividade elétrica apresentou correlação positiva com os poluentes atmosféricos no período seco, ou seja, houve aumento de  $MP_{10}$ ,  $NO_2$  e  $O_3$  para os três pontos do sistema (PD, FF e RR) e CO com no ponto RR, com aumento da condutividade nas amostras de águas pluviais.

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

No período seco, o material particulado ( $MP_{10}$ ) teve correlação positiva com  $NO_2$  ( $r=100$ ) e  $SO_2$  ( $r=90$ ). De maneira similar ocorreu entre  $NO_2$  e  $SO_2$  que apresentaram correlação de Pearson igual a  $r=92$ , indicando que podem ser oriundos da mesma fonte de poluição, ou seja, fontes móveis. Além disso, o  $MP_{10}$  apresentou forte correlação positiva com os dias consecutivos secos (DCSC,  $r=81$ ) e negativa com a precipitação total entre as campanhas (PTOT,  $r=-77$ ). De acordo com Barros (2014), a concentração de  $MP_{10}$  é menor quanto maior a precipitação, pois o material particulado presente na atmosfera é removido pela chuva. Segundo Almeida *et al.* (2019), as maiores concentrações de  $NO_2$ , NO e  $MP_{10}$  foram observadas nos meses centrais do calendário para o estudo realizado no Rio de Janeiro, período relacionado ao inverno, devido a dificuldade de dispersão dos gases nas correntes verticais.

O parâmetro turbidez para o ponto de precipitação direta (TU\_PD) apresentou coeficiente de Pearson  $r=98$  ao relacionar com  $MP_{10}$  e  $r=88$  para dias consecutivos sem chuva (DCSC), como também houve correlação de  $r=81$  entre DCSC e  $MP_{10}$ . Desta forma, um maior intervalo no período de estiagem tende a aumentar a concentração de material particulado ( $MP_{10}$ ) em suspensão na atmosfera, afetando diretamente o parâmetro turbidez no ponto PD, destinado a coletar amostras de águas pluviais diretamente da atmosfera.

A turbidez do ponto PD (TU\_PD) apresentou fraca correlação do parâmetro nos demais pontos (TU\_FF e TU\_RR) nos períodos úmidos e secos. Este resultado pode significar que o ponto PD é influenciado pelo material em suspensão na atmosfera, enquanto os pontos FF e RR relacionam-se aos sólidos depositados na superfície de captação. Outro fator importante é que os pontos FF e RR apresentaram forte correlação negativa para turbidez no período seco ( $r=-78$ ), ou seja, o aumento do material retido no ponto de *first flush* após eventos de precipitação reduz o carreamento de poluentes para o ponto do reservatório. Além disso, a TU\_PD teve forte correlação negativa com a precipitação (PTOT) com  $r=-86$ , logo, o aumento do volume de chuva ocasiona a redução do parâmetro.

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 do trabalho 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 resulta em um aumento na quantidade de poluentes depositados nas coberturas de captação.

Neste estudo não foram identificadas intensas correlações entre os poluentes e o potencial hidrogeniônico (pH) dos pontos, tanto para o período úmido quanto para o período de menor precipitação. Contudo, o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) apresentaram uma relação intermediária com o pH do PD,  $r = -49$  e  $r = -44$ , respectivamente, para o período seco. Salla *et al.* (2013) verificaram que o pH das amostras de água de chuva coletadas variou entre 6 e 9, porém uma das exceções o pH permaneceu entre 3,9 e 4,2 verificada em período prolongado de estiagem, cuja ocorrência foi pautada na possibilidade de reações químicas entre a água pluvial e os gases da atmosfera, como óxidos de carbono, enxofre e nitrogênio.

Os poluentes analisados apresentaram forte correlação positiva com DCSC, com  $r = 81$  para MP<sub>10</sub>,  $r = 83$  para O<sub>3</sub>,  $r = 77$  para CO,  $r = 81$  para NO<sub>2</sub> e  $r = 94$  para SO<sub>2</sub>. Este resultado permite observar que em épocas de estiagem o índice de qualidade do ar (IQAr) apresenta resultados mais elevados, cuja correlação foi de  $r = 84$ . Porém, foram constatadas correlações negativas intermediárias a forte com a precipitação (PTOT), para MP<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> com  $r = -77$ ,  $r = -41$ ,  $r = -73$  e  $r = -61$ , respectivamente, e fraca com CO ( $r = -15$ ). Maia *et al.* (2019) encontraram correlação negativa entre a precipitação pluvial e os poluentes monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e partículas inaláveis (PI) na cidade do Rio de Janeiro, associando a redução dos contaminantes com o aumento da precipitação. Segundo os autores, este resultado possibilita entender a ação da chuva como agente responsável pela deposição dos poluentes. Além disso, o índice pluviométrico não muito elevado foi indicado como uma possibilidade de o estudo não ter encontrado correlações fortes entre essas variáveis analisadas (MAIA *et al.*, 2019).

## CONCLUSÕES

Este trabalho permite concluir que os dispositivos de descarte da precipitação efetiva inicial, denominado *first flush*, auxiliaram na melhoria da qualidade da água pluvial a partir da neutralização do pH e redução dos parâmetros turbidez e condutividade elétrica no ponto do reservatório (RR), de modo a garantir a eficiência na remoção de poluentes depositados na superfície de captação e provenientes da lavagem da atmosfera pela precipitação. O ponto RR atendeu aos limites adotados como referência para pH, turbidez e condutividade elétrica, no período seco e úmido. A avaliação dos resultados em período

úmido e seco permitiu constatar 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.

Além disso, foram encontradas correlações predominantes entre os poluentes atmosféricos, fatores meteorológicos e parâmetros físico-químicos no período seco. A qualidade do ar é inferior com o aumento dos dias consecutivos sem chuva, resultando na elevação da concentração dos poluentes presentes na atmosfera, e observado nos resultados da condutividade elétrica em amostras de água de chuva. O parâmetro turbidez no ponto de precipitação direta (PD) teve correlação positiva com material particulado e os dias consecutivos sem chuva.

Devido às intensas correlações entre os poluentes  $MP_{10}$ ,  $NO_2$  e  $SO_2$ , como também pelas características urbanas da região de estudo, foi possível constatar que a origem da poluição atmosférica da área é originada predominante de fontes móveis.

Neste estudo não foram observadas fortes correlações entre a acidez da água pluvial e os poluentes atmosféricos. Contudo, foram identificadas associações intermediárias negativas do parâmetro pH com monóxido de carbono e dióxido de enxofre, no período seco, para o ponto de precipitação direta (PD).

## REFERÊNCIAS

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: setembro de 2023.

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.

APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22. ed. [s.l.:s.n], 2012.

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.

BREGINSKI, Ana Luíza Prazeres; COELHO, Paula Moreno Batista da Rocha. Qualidade Da Água Pluvial no Campus Alto Paraopeba – UFSJ: Análise De Parâmetros Físicos e Químicos. Universidade Federal de São João Del-Rei. Ouro Branco, MG. 2015.

CALHEIROS, Herlane Costa; GOMES, Mônica Regina; ESTRELLA, Percy Máximo Anco. Calidad de las aguas meteóricas en la ciudad de Itajubá, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, p. 336-346, 2014.

CARDOSO, Rkoa; 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.

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>.

EL TUGOZ, Jamila; BERTOLINI, Geysler Rogis Flor; BRANDALISE, Loreni Teresinha. Captação e aproveitamento da água das chuvas: o caminho para uma escola sustentável. **Revista de gestão ambiental e sustentabilidade**, v. 6, n. 1, p. 26-39, 2017.

IGBINOSA, Isoken H.; AIGHEWI, Isoken T. Quality assessment and public health status of harvested rainwater in a peri-urban community in Edo State of Nigeria. *Environmental monitoring and assessment*, v. 189, n. 8, p. 1-12, 2017.

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

MAIA, Juliana Lúcio Motta; NETTO, Vinicius M.; COSTA, Bruno Lucian Gonçalves. Forma urbana e poluição atmosférica: impactos na cidade do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Gestão Urbana [online]*. 2019, v. 11 Disponível em: <<https://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.

MINISTÉRIO DE SAÚDE (MS). *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.

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; ARAÚJO, Maria Gabriella da Silva; MEYER, Leandro Frederico Ferraz; BRITO, Ian Rodrigues; BATISTA, Lucas Mota. Água 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.

OHNUMA JR, Alfredo Akira; PICOLLI, Rodolpho; ACCIOLY, Wagner; MARQUES, Marcia; SILVA, Luciene Pimentel da. A influência da poluição atmosférica na qualidade das águas pluviais. *Hydro.*, v. 9, p. 60-65, 2014.

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

ROSTAD, Nathan; FOTI, Romano; MONTALTO, Franco A. Harvesting rooftop runoff to flush toilets: Drawing conclusions from four major US cities. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 108, p. 97-106, 2016.

SALLA, Marcio Ricardo; LOPES, Gabriela Bernardi; PEREIRA, Carlos Eugênio; NETO, João da Costa Moura; PINHEIRO, Aline Martins. Viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em universidade. *Ambiente Construído*, v. 13, p. 167-181, 2013.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DA CIDADE (SMAC). Boletim Diário da Qualidade do Ar. Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar – MonitorAr-Rio. Prefeitura do Rio de Janeiro. 2021.