

# QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PRÉ E PÓS-PANDEMIA DO COVID-19

---

*Data de aceite: 01/04/2024*

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

Aluna de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária UERJ  
Rio de Janeiro – RJ, Brasil

### **Júlia de Souza Lemos**

Aluna de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária UERJ  
Rio de Janeiro – RJ, Brasil

### **Thomaz de Magalhães Vieira**

Aluno de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária UERJ  
Rio de Janeiro – RJ, Brasil

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

Engenheira Ambiental e Sanitária  
Rio de Janeiro – RJ, Brasil

### **Leticia Delduque Alves**

Engenheira Ambiental e Sanitária  
Rio de Janeiro – RJ, Brasil

### **Áthila Dias Carrapatoso Ribeiro**

Aluno de Graduação em Engenharia Civil UERJ  
Rio de Janeiro – RJ, Brasil

### **Fabrcio Pimenta Cunha**

Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – DEAMB/UERJ  
Rio de Janeiro – RJ, Brasil

### **Daniele Maia Bila**

Professora Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ, Brasil

### **Alfredo Akira Ohnuma Júnior**

Professor Associado(a) do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro

**RESUMO:** A pandemia do novo coronavírus provocou mudanças no padrão de vida das pessoas, de modo afetar condições ambientais, como da emissão de poluentes. Este trabalho avaliou a qualidade das águas pluviais e os níveis de determinados poluentes atmosféricos, a partir da análise de dados pré e pós-COVID19, de um sistema de captação de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro. Foram analisadas mais de 90 amostras de volumes precipitados entre 2018 e 2022 de um sistema de águas pluviais instalado no bairro Maracanã, na cidade do Rio de Janeiro-RJ. Os parâmetros analisados de qualidade da água de chuva foram: pH, turbidez e condutividade elétrica.

Os poluentes atmosféricos, do Sistema MonitorAr, da Prefeitura do Rio de Janeiro foram: Monóxido de Carbono, Material Particulado, Dióxido de Enxofre, Dióxido de Nitrogênio e Ozônio. As amostras de águas pluviais, para o parâmetro do pH, tiveram uma diminuição nas médias de todos os pontos, enquanto a turbidez apresentou aumento das médias durante o período pré e pós-pandemia. Houve uma redução da média da condutividade durante o período analisado, com exceção das amostras obtidas do reservatório principal. No tratamento da água da chuva, o dispositivo de descarte de volume inicial *first flush* apresentou relevância na retenção de poluentes, quanto à redução desses constituintes para o reservatório. Pode-se concluir que houve alterações dos padrões de qualidade da água da chuva no período pré e pós-pandêmico, no entanto sem correlações significativas entre as cargas de poluição atmosféricas no volume armazenado das águas pluviais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água de chuva, águas urbanas, poluição atmosférica.

**ABSTRACT:** The COVID-19 pandemic has brought about changes in people's lifestyles that have affected environmental conditions, such as pollutant emissions. This study assessed the quality of rainwater and the levels of specific atmospheric pollutants based on pre and post-COVID-19 data analysis from a rainwater harvesting system in the city of Rio de Janeiro. Over 90 samples of precipitation volumes between 2018 and 2022 were analyzed from a rainwater harvesting system installed in the Maracanã neighborhood in Rio de Janeiro, Brazil. The analyzed parameters for rainwater quality were pH, turbidity, and electrical conductivity. The atmospheric pollutants, obtained from the MonitorAr System of the Municipality of Rio de Janeiro, included carbon monoxide, particulate matter, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, and ozone. The rainwater samples showed a decrease in pH averages for all sampling points, while turbidity exhibited an increase in averages during the pre and post-pandemic period. The average conductivity decreased during the analyzed period, except for samples obtained from the main reservoir. In rainwater treatment, the initial volume discharge device (first flush) played a significant role in retaining pollutants, reducing their transport to the reservoir. It can be concluded that there were changes in rainwater quality patterns between the pre and post-pandemic periods; however, no significant correlations were found between atmospheric pollution loads and the stored volume of rainwater.

**KEYWORDS:** Rainwater, urban water, air pollution.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é conhecido mundialmente por sua grande disponibilidade hídrica, ainda assim, ao longo de seu território, observam-se regiões abastecidas, ao passo que outras apresentam irregularidade na disponibilidade hídrica. O crescimento populacional, sobretudo nas áreas urbanas, de acordo com o IBGE (2015), atualmente abriga cerca de 84% dos brasileiros. Juntamente com a agropecuária, o setor industrial e o abastecimento nas cidades, o uso dos recursos hídricos no Brasil tem se elevado de forma significativa, com previsão de aumento de 42% das retiradas de água até 2040 (ANA, 2021). Quando avaliadas as condições da qualidade das águas urbanas, devido à falta de planejamento e ao descarte de efluentes sem o tratamento necessário, têm sido frequentes os problemas relacionados ao abastecimento de água.

Desse modo, é crescente a adoção de alternativas capazes de atender a demanda hídrica, como no uso de sistemas de captação e armazenamento de águas pluviais para fins não potáveis, pois as chuvas são consideradas fontes de água limpa, de maneira a reduzir a demanda dos sistemas convencionais. No entanto, as condições atmosféricas, influenciadas por fatores como o tráfego veicular na região, e a superfície de escoamento podem alterar sua qualidade (HAGEMANN E GASTALDINI, 2016). De acordo com Santos, Ribeiro e Barboza (2016), as águas pluviais podem ser usadas, com devido tratamento, no setor industrial, em equipamentos que consomem muita água, como as caldeiras, por exemplo. O seu uso, porém, pode ser em sistemas de resfriamento, lavagem de veículos e pisos, entre outros usos especificados da NBR 15527/2019 (ABNT, 2019a).

Em dezembro de 2019, um novo vírus denominado SARS-COV-2, responsável pela COVID- 19, começou a se espalhar pela China. Em março de 2020, o coronavírus já havia se disseminado pelo mundo de tal forma que a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2020) declarou o surto da pandemia do COVID-19, com medidas de distanciamento social em todo o mundo. Com isso, muitas das atividades cotidianas reduziram drasticamente ou cessaram, desde o volume de tráfego veicular nas principais avenidas até as atividades industriais.

Na cidade do Rio de Janeiro, em 16 de março de 2020, houve o anúncio do início das medidas de confinamento, e, portanto, do fechamento de locais que pudessem gerar aglomerações. Diante do esvaziamento das ruas e locais públicos, houve uma redução de tráfego entre transporte público e veículos particulares, que somada à redução das atividades do setor industrial, geraram impactos positivos na qualidade do ar.

As alterações nas condições de tráfego veicular podem afetar a qualidade das águas, sobretudo em regiões de intensa urbanização (FALLAH SHORSHANI *et al.*, 2014). A emissão de constituintes atmosféricos em áreas urbanas podem ser resultantes do tráfego local na contaminação das águas pluviais. Devido a esses fatores, torna-se fundamental a análise das relações entre os poluentes atmosféricos e a qualidade da água da chuva, a partir da avaliação de determinados períodos, de modo a permitir o emprego de tecnologias de tratamento e uso das águas pluviais de forma segura e eficiente.

Este trabalho teve como objetivo a análise da qualidade das águas de chuva e de níveis de determinados poluentes atmosféricos pré e pós-pandemia do COVID-19. A análise foi feita de pontos de coleta específicos, como: *first flush* (FF1), *first flush 2* (FF2) e reservatório (RR), de um sistema de captação de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro. Como parâmetros físico-químicos de qualidade de água de chuva foram analisados: pH, turbidez e condutividade elétrica, e os poluentes atmosféricos: monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e material particulado (MP10).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo e Sistema de Águas Pluviais

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 Campus Maracanã, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), localizado na rua São Francisco Xavier, bairro Maracanã, na cidade do Rio de Janeiro-RJ. O sistema encontra-se próximo a Avenida Maracanã e a Avenida Rei Pelé (antiga Avenida Radial Oeste), local de intenso fluxo veicular em área intensamente urbanizada (Figura 1 à esquerda).

O sistema de águas pluviais foi projetado para coletar e armazenar a água de chuva que escoar pelo telhado da garagem da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, composto por telhas de fibrocimento, com área de 35 m<sup>2</sup> disponível para captação. O SAP da garagem de veículos oficiais da UERJ é composto por PVC, condutores verticais e horizontais de PVC, conexões, extravasor, dispositivo separador de sólidos (SS), dispositivo de descarte do primeiro milímetro de chuva (*first flush*), reservatório de polietileno de 1.000 litros e registros de coleta de amostras em pontos específicos do sistema.

O sistema dispõe de 3 principais pontos de coleta de águas pluviais (Figura 1 à direita) denominados: (1) sistema de descarte inicial *first flush* 1 (FF1), com capacidade para armazenar 0,5 mm de precipitação a partir da deposição úmida e seca, (2) sistema de descarte *first flush* (FF2), com capacidade para armazenar 0,5 mm de precipitação a partir da deposição úmida e seca, e (3) reservatório – RR, ponto destinado ao aproveitamento, localizado no piso, com capacidade para armazenar até 28 mm de precipitação acumulada.



Figura 1 – Localização e vista do sistema de águas pluviais instalado na UERJ, Maracanã, Rio de Janeiro-RJ.

Fonte: Elaboração própria, 2023

Para obtenção dos dados pluviométricos foi utilizado o Sistema Alerta Rio, da Prefeitura do Rio de Janeiro, com dados da Estação Pluviométrica n° 4, localizada no Centro de Estudos do Sumaré – Estrada do Sumaré, n° 670, bairro Rio Comprido, e da Estação Pluviométrica n° 5, situada na Escola Estadual Monteiro de Carvalho – Rua Almirante Alexandrino, n° 2495, bairro Santa Tereza, como as estações mais próximas ao SAP-UERJ.

Os dados referentes aos poluentes atmosféricos foram obtidos através das Estações Fixas de Monitoramento de Qualidade do Ar da Rede MonitorAr-Rio (SMAC, 2021), pela Estação Tijuca, fixada na Praça Saens Pena, s/n, bairro Tijuca, e a Estação São Cristóvão, localizada no Campo São Cristóvão, s/n, bairro São Cristóvão.

## CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA REGIÃO

Para determinação da média mensal da precipitação local foi realizado o tratamento dos dados fornecidos pela Prefeitura do Rio de Janeiro para a série histórica de 1997 a 2022, disponíveis para a estação n° 4 da Tijuca do Sistema Alerta Rio (Figura 3).

No período estudado de 25 anos (1997 à 2022) as médias mensais variaram entre 69 mm agosto e 192 mm em dezembro. Além disso, ao analisar a precipitação acumulada anual de 1997 a 2022 para a estação Tijuca, observa-se que a maior precipitação total anual foi registrada em 1998 com 2.600 mm, considerado o ano mais chuvoso.

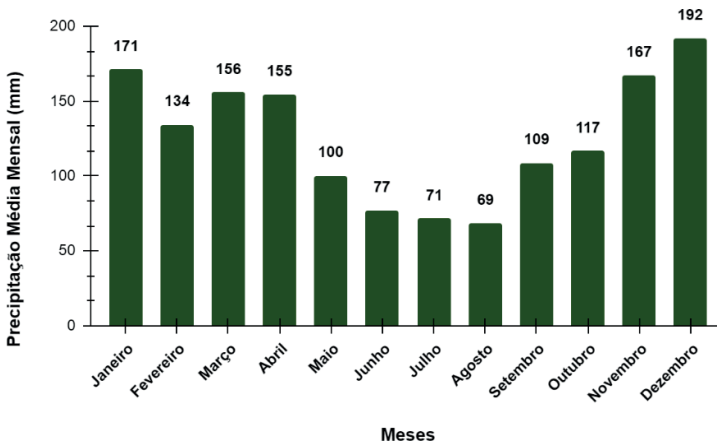


Figura 3 – Precipitação média mensal para a série histórica de 1997 a 2022 para a estação Tijuca.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, 2023

## OBTENÇÃO DE DADOS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Os dados analisados de poluentes atmosféricos foram obtidos por meio do programa MonitorAr-Rio da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, destinado ao monitoramento da qualidade do ar da cidade. Utilizou-se a Estação Tijuca da Rede MonitorAr-Rio e os poluentes selecionados para o estudo foram monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e material particulado (MP10).

## COLETA DAS AMOSTRAS E TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para fins de análise dos dados deste trabalho, foi considerado como período pré-pandemia entre janeiro de 2018 e fevereiro de 2020 e pós-pandemia entre novembro de 2022 e fevereiro de 2023. No período pré-pandemia, foram coletadas 42 amostras para os pontos de *first flush* (FF), 10 amostras para o ponto de precipitação direta (PD) e 28 amostras para o ponto do reservatório (RR). No período pós-pandemia, foram coletadas 8 amostras de água pluvial para os pontos de *first flush* (FF) e 4 para o reservatório (RR).

A análise estatística dos dados foi realizada a partir do uso do *software* Excel®. Para a análise qualitativa das águas pluviais foi utilizada a estatística descritiva de cada parâmetro de qualidade, como: pH, turbidez e condutividade elétrica. São apresentados os limites mínimos e máximos, a mediana e os *outliers*. A metodologia adotada para utilizar os dados de poluentes atmosféricos consistiu em calcular a média de concentrações entre as campanhas de águas pluviais, visto que estas amostras das águas pluviais foram obtidas 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.

## QUALIDADE E PADRÕES DAS ÁGUAS PLUVIAIS

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: condutividade elétrica (Método 2510 B: *Laboratory Method*), segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2012), pH (Método 4500 – H<sup>+</sup> B: *Electrometric Method*) e turbidez (Método 2130 B: *Nephelometric Method*).

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, 2019a), a NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019b) destinada ao uso de fontes alternativas de água não potável, como também a Portaria de GM/MS nº 888/2021 (MS, 2021) referente aos parâmetros de potabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados e discussões preliminares de amostras de qualidade das águas pluviais e de qualidade do ar, na região da Tijuca, Rio de Janeiro-RJ, para fins de avaliação de correlação das condições pré-pandemia e pós-pandemia.

### Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH das amostras analisadas (Tabela 1) no período pré-pandemia (2018 a 2020) variou entre 6,27 e 9,47, com a predominância de um caráter mais ácido. As médias referentes a cada um dos pontos foram iguais a  $7,90 \pm 0,27$  para PD,  $7,43 \pm 0,75$  para FF1,  $7,37 \pm 0,79$  para FF2 e, para o RR,  $7,06 \pm 0,41$ . Já no período pós-pandemia (2022 a 2023), as médias foram  $7,09 \pm 0,18$  para FF1,  $7,21 \pm 0,25$  para FF2 e  $6,72 \pm 0,25$  para RR. Devido às condições de implantação do sistema de captação das águas pluviais, não foi possível, até a presente data, a obtenção de amostras da PD no período pós-pandemia.

Período	Ponto	Dados estatísticos			
		Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Pré-pandemia n = 70	PD	7,45	8,31	7,90	0,27
	FF1	6,50	9,39	7,43	0,75
	FF2	6,42	9,47	7,37	0,79
	RR	6,27	8,05	7,06	0,41
Pós-pandemia n = 12	FF1	6,90	7,30	7,09	0,18
	FF2	6,92	7,40	7,21	0,25
	RR	6,51	7,04	6,72	0,25

PD: Precipitação Direta; FF1: First Flush 1; FF2: First Flush 2; RR: Reservatório

Tabela 1 – Estatística descritiva do pH por pontos nos períodos pré e pós-pandemia. Fonte: Autoria própria, 2023.

Do período pré-pandemia para o período pós-pandemia, nota-se uma redução de até 5% na média do pH em todos os pontos (FF1, FF2 e RR). Apesar da baixa alcalinização na média das amostras, observou-se uma mudança mais significativa no ponto do reservatório (RR).

Quanto aos limites definidos NBR 15.527/20119 (ABNT, 2019), cerca de 93 % das amostras obtidas no período pré-pandêmico se encontravam dentro dos padrões referentes ao pH (entre 6 e 9). As exceções foram 5 (cinco) amostras que tiveram resultados ligeiramente acima do limite máximo, sendo: 2 (duas) no ponto FF1 (9,3 em novembro de 2019 e 9,4 em janeiro de 2020) e 3 (três) no ponto FF2 (9,1 em outubro de 2019; 9,2 em novembro de 2019 e 9,5 em janeiro de 2020). Em relação às amostras coletadas no período pós-pandemia, todas se encontram dentro dos padrões definidos pela norma, independentemente de seu ponto de coleta.

A acidez da água da chuva está relacionada a poluição atmosférica, pois é resultante da solubilização dos gases e partículas de caráter ácido nas gotículas de água que participam do processo de formação das nuvens, favorecendo a elevação dos íons de hidrogênio (H+). Destaca-se a importância do dióxido de enxofre (SO2), dióxido de nitrogênio (NO2) e dióxido de carbono (CO2) como gases de características ácidas fundamentais nos processos químicos de gases dissolvidos na atmosfera (CARDOSO *et al.*, 2020).

### Turbidez

Os resultados de turbidez (Tabela 2) das amostras pré-pandemia teve médias por ponto iguais a 0,72 ± 0,73 UNT para o PD, 10,82 ± 19,48 UNT para FF1, 7,11 ± 9,38 UNT para FF2 e 1,03 ± 1,02 UNT para RR. E, no período pós-pandemia, as médias foram 53,70 ± 59,82 para FF1, 10,20 UNT para FF2 e 2,59 ± 2,98 UNT para RR.

Período	Ponto	Dados estatísticos			
		Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Pré-pandemia n = 70	PD	0,00	2,60	0,72	0,73
	FF1	91,00	0,00	10,82	19,48
	FF2	0,10	44,00	7,11	9,38
	RR	0,00	3,70	1,03	1,02
Pós-pandemia n = 5	FF1	11,40	96,00	53,70	59,82
	FF2	10,20	10,20	10,20	-
	RR	0,48	4,70	2,59	2,98

PD: Precipitação Direta; FF1: First Flush 1; FF2: First Flush 2; RR: Reservatório

Tabela 2 – Estatística descritiva por ponto para turbidez (UNT) nos períodos pré e pós- pandemia.

Fonte: Autoria própria, 2023.

Houve um aumento nas médias de turbidez de todos os pontos, do período pré-pandemia ao período pós-pandemia, com a mudança mais significativa no *first flush* 1, de 10,8 UNT para 53,7 UNT. No entanto, na análise dos resultados por amostras, é possível observar inconsistências por eventos de poluição pontual, sobretudo em maio de 2018. O alto desvio padrão, especialmente no ponto FF1 durante o período pós-pandemia, se deu, principalmente, por resultados discrepantes.

Ademais, pode-se constatar que após o descarte dos primeiros milímetros de precipitação pelo dispositivo *first flush* 1 (FF1) e *first flush* (FF2), o ponto RR obteve resultados com melhorias significativas da turbidez, em ambas as épocas de coleta de amostras, demonstrando a influência do local de escoamento para captação e a eficiência do descarte das primeiras águas.



Quanto aos limites definidos pela NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019a), o valor de turbidez deveria ser menor ou igual a 5 UNT e, enquanto todas as amostras de precipitação direta (PD) e do reservatório (RR), ou seja, pós tratamento e filtragem, tiveram resultados dentro dos padrões, diversas amostras do FF1 e do FF2 se encontraram acima dos valores máximos. Para o FF1, antes da pandemia, obteve-se 9 (nove) amostras fora dos limites da NBR 15527/2019 e, no período pós-pandemia, um total de 2 (duas) amostras encontraram-se fora dos padrões da NBR 15527/2019. Já para o FF2, 10 (dez) amostras coletadas antes da pandemia se encontram acima do limite máximo definido pela norma e apenas 1 (uma) amostra no pós-pandemia ultrapassou tal limite.

### Condutividade elétrica

Dos resultados da condutividade elétrica (Tabela 3), obteve-se médias por ponto, durante o período pré-pandemia, iguais a  $113,23 \pm 78,33 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para PD,  $107,24 \pm 36,35 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para FF1,  $106,22 \pm 36,11 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para FF2 e  $73,73 \pm 27,85 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para RR. Enquanto no período pós- pandemia, foram iguais a  $85,79 \pm 30,24 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para FF1,  $56,39 \pm 9,73 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para FF2 e  $77,02 \pm 39,50 \mu\text{S.cm}^{-1}$  para RR.

Período	Ponto	Dados estatísticos			
		Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Pré-pandemia n = 70	PD	44,00	172,80	113,23	78,33
	FF1	56,79	222,10	107,24	36,35
	FF2	61,22	220,20	106,22	36,11
	RR	36,20	150,70	73,73	27,85
Pós-pandemia n = 8	FF1	51,80	109,70	85,79	30,24
	FF2	49,51	63,27	56,39	9,73
	RR	32,80	108,80	77,02	39,50

PD: Precipitação Direta; FF1: First Flush 1; FF2: First Flush 2; RR: Reservatório

Tabela 3 – Estatística descritiva da condutividade ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) por pontos nos períodos pré e pós-pandemia.

Fonte: Autoria própria, 2023.

A redução das médias de condutividade foi observada nos pontos FF1 e FF2, enquanto o RR teve um aumento, durante o período pré-pandemia para o período pós-pandemia. Além disso, é possível perceber que, assim como com a turbidez, a diminuição das médias acontece após o *first flush* (FF1 e FF2), no período pré-pandemia e, de forma diferente ao observado no período pós- pandemia. Com relação aos valores da NBR 16.783 (ABNT, 2019b), que define os valores máximos de turbidez, todos os valores se encontraram dentro do padrão, inferior à  $3.200 \mu\text{S.cm}^{-1}$ .

A Figura 4 ilustra as médias obtidas dos parâmetros pH, turbidez e condutividade elétrica dos pontos FF1, FF2 e RR de amostras coletadas do sistema de águas pluviais. No geral, os resultados preliminares apresentados até a presente data, indicam redução dos parâmetros pH e da condutividade elétrica no período pós-pandemia, em relação ao período pré-pandemia. Em todo o período houve aumento da turbidez, sobretudo na média do ponto FF1.

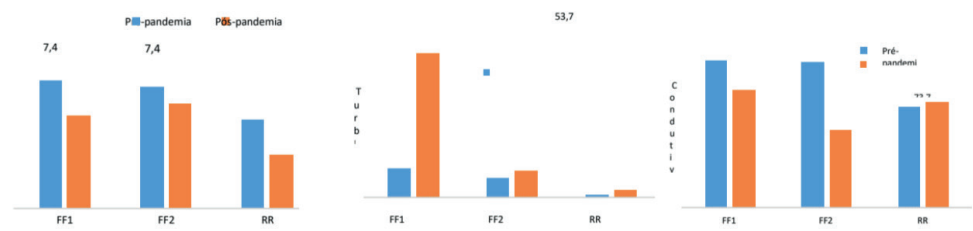


Figura 4 – Médias preliminares dos parâmetros pH (à esquerda), turbidez (centro) e condutividade elétrica (à direita) nos períodos pré-pandemia e pós-pandemia.

Fonte: Elaboração própria, 2023

Concentração dos poluentes atmosféricos

A análise do comportamento da concentração de poluição do ar indica as médias durante o período pré-pandemia, entre 2018-2020, dos poluentes atmosféricos CO, MP10, NO2, SO2 e, no período pós-pandemia, entre 2022-2023, da concentração de MP10 e NO2 (Tabela 4).

Período	Poluente	Dados estatísticos			
		Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Pré-pandemia n = 11473	CO	0,00	12,08	0,42	0,33
	MP10	5,00	152,20	29,71	13,69
	NO2	0,00	168,34	39,81	19,13
	SO2	0,00	103,09	4,16	8,05
Pós-pandemia* n = 125	MP10	7,00	40,00	19,98	7,05
	NO2	19,00	122,00	58,58	23,62

\* Ausência de informações dos poluentes CO e SO2 no período pós-pandemia

Tabela 4 – Estatística descritiva nos períodos pré e pós-pandemia dos poluentes atmosféricos (CO – monóxido de carbono em ppm, MP10 – partículas inaláveis em µg.m<sup>-3</sup>, NO2 – dióxido de nitrogênio em µg.m<sup>-3</sup> e SO2 – dióxido de enxofre em µg.m<sup>-3</sup>).

Fonte: Autoria própria, 2023

Dos resultados das concentrações de poluentes atmosféricos, foram observados dados diários obtidos do sistema MonitorAr, da Prefeitura do Rio de Janeiro. Foram consideradas diferenças no conjunto de amostras pós-pandemia, em relação ao período pré-pandemia, em função do completo retorno pela instituição das atividades presenciais em 2022. Durante os períodos analisados, nota-se uma redução de cerca de 32% na média de MP10, enquanto houve um aumento de 47% na concentração média de NO2.

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 (SO2) e monóxido de carbono (CO), além de valores altos de partículas inaláveis (SMAC, 2012).

O período pré-pandêmico apresentou concentrações médias mais elevadas, com exceção da turbidez e dióxido de nitrogênio (NO2), em todos os parâmetros monitorados. Foi evidenciado aumento da turbidez nos pontos de coleta entre 2022 e 2023, atribuída à possível normalização do fluxo de veículos no entorno da região de estudo, uma vez que o registro de áreas urbanas com 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).

## CONCLUSÕES

Verificou-se maior influência na qualidade de água pluvial durante o período de pré-pandemia, com baixa influência significativo das concentrações da qualidade do ar na região da Tijuca. Embora a qualidade do ar seja influenciada por diversos fatores, mudanças ocorreram durante o período da pandemia, devido às medidas de controle e restrições implementadas de contenção da propagação do vírus, sobretudo quanto à circulação de veículos e redução no volume de tráfego.

Devido às correlações entre os poluentes MP10, NO2 e SO2, como também pelas características urbanas da região de estudo nos períodos pré e pós-pandemia, pôde-se constatar que a origem da poluição atmosférica da área é originada predominantemente de fontes móveis.

Para trabalhos futuros recomenda-se ampliação do conjunto de amostra de dados pós-pandemia, de maneira correspondente ao período pré-pandemia, com o tratamento dos dados e a elaboração de gráficos *boxplot* e matriz de correlação como forma de avaliação gráfica e estatística dos resultados. Espera-se também obter dados do volume de tráfego veicular na região, a partir da metodologia IGVOL, como medida de avaliação das condições de circulação de veículos, antes e posterior à pandemia do COVID-19.

## 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: jun de 2021.

ALMEIDA, R. P. S.; SOUZA, T. C.; SOUZA, S. Q.; MARTINS, E. M.; CORRÊA, S. M. Comparação da Qualidade do Ar em Localidades Industrial e Urbana. *Revista Internacional de Ciências*, v. 9, n. 3, p. 47-62, 2019.

ANA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Relatório 2021. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília/DF. 2021. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/usos-da-agua>. Acesso em 17 jun 2023.

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

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

CARDOSO, R.; SILINGARDI, H. M. T.; CARDOSO, A. A. 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.

FALLAH SHORSHANI, M., BONHOMME, C., PETRUCCI, G. et al. Road traffic impact on urban water quality: a step towards integrated traffic, air and stormwater modelling. *Environ Sci Pollut Res* 21, 5297–5310 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2370-x>.

HAGEMANN, S. E.; GASTALDINI, M.C.C.. Variação da qualidade da água de chuva com a precipitação: aplicação à cidade de Santa Maria - RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 3, p. 525-536, jul./set. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011615010>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). População Rural e Urbana. 2015

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.

OMS. Organização Mundial da Saúde. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020. World Health Organization (WHO) (Nota de imprensa). 10 de junho de 2023.

SANTOS, L.O.; RIBEIRO, W.F.; BARBOSA, S.A. Análise da qualidade da água de chuva para uso em caldeiras industriais. *Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente*, v. 5, n.1, edição especial, p. 163 - 172, 2016.

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.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DA CIDADE (SMAC). Relatório da Rede MonitorAr Rio 2011-2012. Qualidade do Ar na Cidade do Rio de Janeiro. Prefeitura do Rio de Janeiro. 2012.