QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA EM SISTEMAS PREDIAIS NO CONTEXTO PRÉ E PÓS PANDEMIA: IMPACTO DAS REDUÇÕES NAS EMISSÕES VEICULARES E POLUENTES ATMOSFÉRICOS

RAINWATER QUALITY IN BUILDING SYSTEMS IN THE PRE- AND POST-PANDEMIC CONTEXT: IMPACT OF REDUCTIONS IN VEHICULAR EMISSIONS AND AIR POLLUTANTS

Lucca Santoro Pinto [1]; Áthila Dias Carrapatoso Ribeiro [2]; Alfredo Akira Ohnuma Jr. [3]; Giovanna Rocha da Silva Ferreira Coutinho [4]; Júlia de Souza Lemos [5]; Letícia Oliveira Gomes da Silva [6]

[1]Graduando Eng. Ambiental e Sanitária | luccasantoro00@gmail.com | UERJ | Rio de Janeiro, Brasil; [2] Graduando Eng. Civil | athilaribeiro7@gmail.com | UERJ | Rio de Janeiro, Brasil; [3]Doutor em Eng. Ambiental e Sanitária | akira@eng.uerj.br | | UERJ | Rio de Janeiro, Brasil; [4]Graduando Eng. Civil | gigirocha_@hotmail.com | UERJ | Rio de Janeiro, Brasil; [5]Graduando Eng. Ambiental e Sanitária | juliaslemos30@gmail.com | UERJ | Rio de Janeiro, Brasil; [6]Graduando Eng. Ambiental e Sanitária | leticiaogsc@gmail.com | UERJ | Rio de Janeiro, Brasil;

Resumo:
A pandemia de COVID-19 provocou mudanças significativas nas condições ambientais, incluindo a qualidade das águas pluviais. Foi realizado um estudo no campus Maracanã da UERJ, Rio de Janeiro, avaliou a relação entre a qualidade da água da chuva, os poluentes atmosféricos e o volume veicular antes (jan/2018 a fev/2020) e após a pandemia (nov/2022 a mai/2025). Foram coletadas amostras mensalmente em um ponto estratégico dentro do campus da universidade, a partir de quatro fontes diferentes: *first-flush* primário e secundário (FF1 e FF2), reservatório (RR) e precipitação direta (PD). Com isso, ensaiaram-se pH, turbidez e sólidos totais dissolvidos das amostras que, conjuntamente com dados sobre poluentes atmosféricos (CO, MP_{10}, NO_2 e SO_2) e volume de frota veicular, observou-se que após a pandemia, houve uma melhora na qualidade na qualidade da água, sugerindo mudanças nos padrões de poluição. Apesar disso, o estudo conclui que tecnologias de tratamento ainda são essenciais para o aproveitamento seguro da água de chuva em áreas urbanas, destacando a importância do sistema de descarte de volume inicial (first-flush) na retenção de poluentes antes do armazenamento no reservatório.

Palavras-chave:
Água de chuva; COVID-19; Poluição atmosférica; Qualidade da água; Poluição veicular.

Abstract:
The COVID-19 pandemic caused significant changes in environmental conditions, including the quality of rainwater. A study conducted at the Maracanã campus of UERJ, Rio de Janeiro, evaluated the relationship between rainwater quality, atmospheric pollutants, and vehicular volume before (Jan/2018 to Feb/2020) and after the pandemic (Nov/2022 to May/2025). Monthly samples were collected at a strategic point within the university campus from four different sources: primary and secondary first flush (FF1 and FF2), reservoir (RR), and direct precipitation (DP). The samples were analyzed for pH, turbidity, and total dissolved solids, which, together with data on atmospheric pollutants (CO, PM_{10}, NO_2, and SO_2) and vehicular fleet volume, showed that after the pandemic there was an improvement in water quality, suggesting changes in pollution patterns. Despite this, the study concludes that treatment technologies remain essential for the safe use of rainwater in urban areas, highlighting the importance of the initial volume disposal system (first flush) in retaining pollutants before storage in the reservoir.

Keywords:
Rainwater; COVID-19; Air pollution; Water quality; Vehicular pollution.

1. INTRODUÇÃO

Embora tenha elevada disponibilidade hídrica, concentrando 12% dos recursos hídricos de todo planeta, o Brasil enfrenta crises de abastecimento de água, acentuadas pela distribuição irregular desses recursos em relação à demanda, aliada ao aumento crescente da população. A instabilidade de sistemas de abastecimento de água é também justificada pela degradação ambiental e urbanização, visto que áreas urbanas concentram atualmente cerca de 80% da população brasileira (ANA, 2023). Além disso, o descarte inadequado de resíduos sólidos e efluentes também contribui para agravar a qualidade dos recursos hídricos (Lino *et al.*, 2023).

Nesse contexto, nos últimos anos, o manejo e aproveitamento das águas pluviais, têm ganhado destaque, especialmente em países com grande disponibilidade desse recurso, como o Brasil. Essa prática surge como uma alternativa às formas convencionais a partir de estudos acerca da captação, armazenamento e utilização dessa fonte de abastecimento para uso não-potável, sendo as diretrizes de todo o processo definidas pela NBR 15527 (ABNT, 2019). Os exemplos mais comuns dessa utilização são: na lavagem de veículos e pisos, em descargas sanitárias ou no uso ornamental.

Com o início da pandemia do COVID-19, em 11 de março de 2020, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) (OPAS, 2020), o comportamento da sociedade foi alterado, acarretando impactos ambientais e sociais devido às medidas de distanciamento social adotadas. Com isso, diversas atividades cotidianas foram alteradas ou interrompidas, desde a diminuição do tráfego veicular nas principais avenidas até a paralisação de operações industriais. No Rio de Janeiro, em 16 de março de 2020, foi anunciado, pelo decreto nº 46.973, o início das medidas de confinamento e, consequentemente, o fechamento de locais propensos a aglomerações. Com a diminuição do movimento nas ruas e espaços públicos, observou-se uma redução no tráfego de transporte público e veículos particulares. Essa redução, combinada à diminuição das atividades industriais, teve impactos positivos na qualidade do ar, como indicado pelo Boletim de Qualidade do Ar e Clima da Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2021), com a redução de diversos poluentes atmosféricos.

As mudanças nas condições do tráfego veicular podem influenciar a qualidade da água da chuva, especialmente em áreas altamente urbanizadas (Fallah Shorshani *et al.*, 2014). A emissão de componentes atmosféricos em áreas urbanas pode resultar na contaminação das águas pluviais pelo tráfego local. Devido a esses fatores, torna-se essencial analisar as relações entre os poluentes atmosféricos e a qualidade da água da chuva, em função de períodos sazonais específicos. Isso possibilita a implementação de tecnologias de tratamento e o uso seguro e eficiente da água da chuva.

A partir disso, o trabalho buscou analisar a correlação da qualidade das águas pluviais, de acordo com os níveis de determinados poluentes atmosféricos pré e pós-pandemia do COVID-19, bem como em função do volume de veículos que circulam pela região. A análise da qualidade da água de chuva foi realizada em pontos de coleta específicos de um sistema de armazenamento de água de chuva instalado no campus da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), na cidade do Rio de Janeiro-RJ, como: *first-flush* 1 (FF1), *first-flush* 2 (FF2), reservatório (RR) e precipitação direta (PD), de um sistema de captação de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro-RJ. Com a análise dos parâmetros físico-químicos, como sólidos dissolvidos totais (SDT), turbidez e pH, sendo realizados no Laboratório de Engenharia Sanitária da Faculdade de Engenharia UERJ (LES-FEN). Enquanto os dados relativos à qualidade do ar atmosférico e do Indicador Global de Volume Veicular (IGVOL) foram obtidos a partir de portais da prefeitura, como o Sistema MonitorAr e a Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro (CET-Rio), respectivamente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A qualidade da água de chuva é fortemente determinada pela composição química da atmosfera, sendo diretamente impactada por poluentes como dióxido de enxofre (SO_2), dióxidos de nitrogênio

(NO_2), monóxido de carbono (CO), partículas inaláveis (MP_{10} e $MP_{2,5}$) e dióxido de carbono (CO_2). Esses compostos, predominantemente originados de atividades urbanas, como a queima de combustíveis fósseis e as emissões veiculares, tendem a se solubilizar nas gotas de chuva, modificando parâmetros como pH, turbidez e concentração de sólidos dissolvidos.

A pandemia da COVID-19, particularmente durante os períodos de lockdown, promoveu uma redução drástica na mobilidade urbana e nas atividades econômicas, resultando em impactos ambientais significativos, sobretudo na qualidade do ar. Como consequência, houve alterações observáveis na química das águas pluviais em diversas regiões do mundo.

Fallah Shorshani *et al.* (2014), em estudo realizado em Guangzhou (China), demonstraram que a qualidade da água da chuva apresenta forte correlação com os níveis de poluição atmosférica, especialmente em áreas de tráfego intenso. Os autores identificaram que a deposição úmida de íons como sulfato (SO_4^{2-}) e nitrato (NO_3^-) está diretamente relacionada às concentrações de seus precursores gasosos SO_2 e NO_2 na atmosfera. Isso sugere que reduções nas emissões desses poluentes atmosféricos resultam em chuvas com menor carga de contaminantes dissolvidos.

Resultados semelhantes foram observados por Baldasano (2020), que analisou o impacto do lockdown nas cidades de Madrid e Barcelona. O estudo registrou reduções de até 55% nos níveis de NO_2 e cerca de 50% na concentração de MP_{10} e $MP_{2,5}$, todos fortemente associados às emissões veiculares. Esses achados são corroborados por Abbas *et al.* (2023), que avaliaram 12 grandes centros urbanos em diferentes continentes e constataram reduções consistentes nas concentrações de CO, NO_2 e material particulado fino durante os períodos de restrição de circulação, com os maiores impactos observados em cidades densamente motorizadas.

Essas evidências demonstram que medidas de controle de emissões, ainda que temporárias, podem trazer benefícios ambientais relevantes, incluindo melhorias na qualidade da água de chuva captada em sistemas prediais.

Adicionalmente, estudos prévios como o de Kreci *et al.* (2008) já haviam apontado o tráfego urbano como um dos principais fatores que influenciam a acidez da chuva e a presença de íons dissolvidos, reforçando o entendimento de que a qualidade da água atmosférica reflete diretamente as condições da poluição local. Dessa forma, os efeitos indiretos da pandemia sobre a água de chuva podem ser compreendidos como uma consequência da redução das emissões atmosféricas de gases e particulados.

3. MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO E SISTEMA DE ÁGUAS PLUVIAIS

A área de estudo para a coleta e análise de amostras de água da chuva é 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, no bairro Maracanã, na cidade do Rio de Janeiro-RJ. Este sistema está estrategicamente posicionado nas proximidades da Avenida Maracanã e da Avenida Rei Pelé (antiga Avenida Radial Oeste), regiões com intenso tráfego veicular em uma área urbanizada (Figura 1).

O sistema de águas pluviais utiliza parte da cobertura do telhado da garagem de veículos oficiais da UERJ, composto por telhas de fibrocimento, com uma área de captação de 35 m². Os componentes do SAP incluem tubos de 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 com capacidade para 1.000 litros, além de pontos de coleta de amostras distribuídos em locais específicos do sistema.

O sistema conta com 4 pontos principais de coleta de águas pluviais: (1) denominado sistema de descarte inicial *first-flush* 1 (FF1) tem capacidade para armazenar 0,5 mm de precipitação efetiva; (2) sistema de descarte *first-flush* 2 (FF2), também com capacidade de armazenar 0,5 mm de

precipitação efetiva; (3) o reservatório (RR) destinado para o armazenamento de até 28 mm de precipitação acumulada e (4) precipitação direta (PD), com capacidade para armazenar até 25 mm e responsável por coletar a precipitação atmosférica livre do contato com superfícies de captação, com coleta diretamente da chuva sobre um recipiente composto por uma tela de separação de materiais grosseiros, como folhas e galhos de árvores.



Figura 1: Localização e sistema de coleta do Projeto SAP.
Fonte: Autoria própria (2025).

3.2. OBTENÇÃO DE DADOS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A obtenção e análise dos dados sobre poluentes atmosféricos foi conduzida com base nos registros do programa MonitorAr-Rio, uma iniciativa da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro voltada para o acompanhamento da qualidade do ar na região urbana. Para esta análise, foram utilizadas as informações provenientes da Estação Tijuca da Rede MonitorAr-Rio, situada na Praça Saens Pena, s/n, bairro Tijuca, a cerca de 1,4 km do ponto de coleta (SMAC, 2024). Os poluentes selecionados para este estudo incluíram o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO_2), o dióxido de nitrogênio (NO_2) e o material particulado inalável, com diâmetro aerodinâmico menor que 10 micrômetros (MP_{10}).

3.3. OBTENÇÃO DOS DADOS DO VOLUME VEICULAR

Os dados referentes ao volume veicular foram obtidos do Índice Global de Volume Veicular (IGVOL), (CET-Rio, 2024) e disponibilizado pela Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, onde é exposta a média mensal de veículos circulando por vias estruturais e arteriais. Foram observados os dados da Av. Maracanã, em local próximo ao nº 970, em ambos os sentidos da via, Tijuca e Centro.

3.4. COLETA DAS AMOSTRAS E TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para a análise dos dados neste estudo, considerou-se o período pré-pandemia, entre janeiro de 2018 e fevereiro de 2020, e o período pós-pandemia, de novembro de 2022 a maio de 2025. Durante o período pré-pandemia, foram coletadas: 42 amostras para cada ponto de *first-flush* (FF), 10 amostras para o ponto de precipitação direta (PD) e 28 amostras para o ponto do reservatório (RR). Já no período pós-pandemia, foram obtidas 21 amostras de água pluvial para cada um dos pontos de *first-flush* (FF1 e FF2), 15 amostras para o reservatório (RR) e 10 amostras para o ponto de precipitação direta (PD).

Para a análise estatística, foi utilizado o *software* Excel®, com emprego de estatísticas descritivas de cada parâmetro de qualidade da água da chuva, como: pH, turbidez e sólidos totais dissolvidos. Também foi utilizado do *software* RStudio para a elaboração da matriz de correlação entre os parâmetros estudados.

A metodologia adotada para relacionar os dados de poluentes atmosféricos com as amostras de água de chuva envolveu o cálculo da média das concentrações entre as campanhas de coleta, já que as amostras de água da chuva foram obtidas mensalmente, enquanto os dados de poluentes

são disponibilizados diariamente e compilados como médias mensais. Isso permitiu associar cada amostra de água de chuva a um valor correspondente de poluentes atmosféricos.

3.5. QUALIDADE E PADRÕES DAS ÁGUAS PLUVIAIS

Para avaliar a qualidade e os padrões das águas da chuva, as amostras foram analisadas *ex situ* no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ. Os parâmetros físico-químicos adotados e seus respectivos métodos são: Sólidos Totais Dissolvidos, por meio de sonda multiparâmetros Horiba U50, pH (Método 4500 – H+ B: *Electrometric Method*), segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2012) e turbidez (Método 2130 B: *Nephelometric Method*).

No Brasil, os padrões de qualidade para o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis estão sujeitos ao atendimento às especificações da NBR 15.527 (ABNT, 2019a), a NBR 16.783 (ABNT, 2019b) destinada ao uso de fontes alternativas de água não-potável em edificações.

Os limites adotados no presente artigo para o pH foram de 6,0 a 9,0. Para a turbidez, o limite máximo foi definido como 5 NTU. Já para os sólidos totais dissolvidos, o limite máximo admitido foi de 2.000 mg/L.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. INDICADOR GLOBAL DE VOLUME VEICULAR E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A Tabela 1 demonstra a estatística descritiva acerca dos parâmetros de poluentes atmosféricos e do volume veicular nos períodos pré e pós-pandemia. Já a Figura 2 traça um perfil do IGVOL ao longo do período de estudos.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão
IGVOL- Pré Pandemia (número de veículos)	40.261	32.468	36.128	2.242
IGVOL-Pós Pandemia (número de veículos)	39.599	28.507	32.579	2.826
CO Pré pandemia (µg. m^{-3})	12,08	0	0,45	0,33
CO Pós pandemia (µg. m^{-3})	4,50	0	0,42	0,31
MP_{10} Pré pandemia (µg. m^{-3})	152,2	5	29,71	13,69
MP_{10} Pós pandemia (µg. m^{-3})	127,4	2,05	25,63	12,50
SO_2 Pré pandemia (µg. m^{-3})	103,09	0	4,16	8,05
SO_2 Pós pandemia (µg. m^{-3})	28,2	0	3,68	2,78
NO_2 Pré pandemia (µg. m^{-3})	168,34	0	39,81	19,13
NO_2Pós pandemia (µg. m^{-3})	199,62	7,42	60,06	26,76

Tabela 1: Estatística descritiva para IGVOL e poluição atmosférica.
Fonte: Autoria própria (2025).



Figura 2: IGVOL mensal do período entre 2018 e 2024.
Fonte: Autoria própria (2025).

No período pré-pandemia, o volume da frota veicular nos entornos do campus Maracanã da UERJ se manteve, em média, em 36.128 ± 2.242 veículos, com valor máximo de 40.261, atingido em outubro de 2019, e mínimo de 32.428 em janeiro de 2018. Com a chegada da pandemia, nota-se que o IGVOL teve um decaimento, principalmente nos primeiros meses do período pandêmico, com um patamar de mínimo total do período analisado em abril de 2020, de 17.543 veículos contabilizados. Percebe-se, assim, que houve uma diminuição da geração de poluentes atmosféricos por fontes móveis no entorno do ponto analisado nesse período. Próximo ao final do ano de 2020, especificamente em novembro, o IGVOL obteve um retorno gradual aos valores pré-pandemia, devido ao início do afrouxamento de medidas de segurança e retorno das atividades. Já no período pós-pandemia, definido a partir de novembro/2022, a média do volume veicular foi de 32.579 ± 2.826. Ao analisar o volume de tráfego veicular, é possível notar que o patamar anterior não foi retomado ao período anterior à pandemia do COVID-19 até a data da publicação.

Em relação aos poluentes atmosféricos, a análise do comportamento da concentração de poluição do ar indica as médias durante o período pré-pandemia, entre 2018-2020, e, no período pós-pandemia, entre 2022-2024 dos poluentes atmosféricos CO, MP_{10}, NO_2, SO_2. A partir da análise das médias mensais, pode-se inferir uma diminuição na maioria da concentração dos gases e do material particulado, com a exceção do NO_2. A redução de MP_{10} foi de 13,73% em relação ao período pré-pandêmico, do CO de 6,6% e a SO_2 de 11,5%, o que está de acordo com fontes, como Zheng et al. (2023), com reduções entre 5 e 26% para estes poluentes no período pós-pandêmico. Além disso, nota-se que os valores de máximo e mínimo foram menores.

Devido ao alto número de veículos de passeio e à considerável contribuição de frotas coletivas, como ônibus do transporte público, o monitoramento registrou baixas concentrações de dióxido de enxofre (SO_2) e monóxido de carbono (CO). No entanto, foram observadas elevadas concentrações de partículas inaláveis (SMAC, 2012).

Ao analisar os dados de concentração de poluentes atmosféricos e de frota veicular, pode-se inferir que a redução do número de veículos está diretamente relacionada à diminuição da emissão de poluentes atmosféricos, portanto, a poluição atmosférica dos arredores do ponto de coleta do sistema de água de chuva vem, de maneira significativa, da emissão de fontes móveis.

4.2. PARÂMETROS FISICO-QUÍMICOS E COLIFORMES

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios laboratoriais de qualidade de água de chuva obtida pré e pós pandemia do COVID-19, obtidos do sistema de coleta e armazenamento de água instalado na UERJ.

Parâmetro	Ponto	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	NBR 15527/2019	NBR 16783/2019
Turbidez-Pré (NTU)	PD	2,6	0	1,72	0,73	< 5 NTU	< 5 NTU
	RR	4,7	0,1	1,05	1,04		
	FF1	22	0,18	5,68	6,19		
	FF2	15,6	0,19	5,03	4,6		
Turbidez-Pós (NTU)	PD	3,3	0,35	1,11	0,62	< 5 NTU	< 5 NTU
	RR	4,7	0,13	0,82	1,32		
	FF1	19,4	1	6,68	5,4		
	FF2	11,3	0,75	5,06	3,59		
pH-Pré	PD	8,31	7,45	7,9	2,4	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
	RR	8,05	6,27	7,06	0,41		
	FF1	9,39	6,5	7,46	0,76		
	FF2	9,47	6,42	7,37	0,79		
pH-Pós	PD	6,98	6,11	6,52	0,16	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
	RR	7,36	6,5	6,85	0,35		
	FF1	7,38	6,73	7,11	0,18		
	FF2	7,5	6,92	7,22	0,16		
SDT-Pré (mg/L)	PD	47	29	39	6,42	---	< 2000 mg/L
	RR	68	30	48,54	12,75		
	FF1	154	27	73,2	27,87		
	FF2	129	27	70,8	20,6		
SDT-Pós (mg/L)	PD	58	13	34,25	15,16	---	< 2000 mg/L
	RR	53	22	37,18	8,74		
	FF1	123	25	70,71	26,86		
	FF2	111	53	68,66	11,94		
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	---	350.000	7,8	20.626	68.736,82	---	---
Coliformes Termotolerantes (*E. Coli*) (NMP/100 mL)	---	240	<1,8	40,5	76,19	---	200/100 mL (*E. coli*)

Tabela 2: Estatística descritiva para parâmetros físico-químicos e coliformes.
Fonte: Autoria própria (2025).

Quanto ao parâmetro da turbidez, nota-se a redução dos valores obtidos após a pandemia principalmente nos pontos de utilização: precipitação direta (PD) de 1,72 ± 0,73 para 1,11 ± 0,62 e reservatório (RR) de 1,05 ± 1,04 para 0,82 ± 1,32. Entretanto, nos pontos de descarte de vazão inicial (*first-flush* 1 e *first-flush* 2), é possível perceber um pequeno aumento nas médias, de 5,68 para 6,68 no FF1 e 5,03 para 5,06 no FF2. Fazendo com que esses pontos estejam acima do limite permitido pela NBR 15527 (ABNT, 2019a), relativa ao aproveitamento de água de chuva e da NBR 16783 (ABNT, 2019b), relativa ao uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Porém, como são pontos de descarte, não apresentam deterioração significativa na água de armazenamento.

Possivelmente, esse aumento de turbidez nos pontos de descarte ocorreu devido à baixa frequência de manutenção do telhado de captação. Enquanto isso, a melhora no reservatório deve-se a menor circulação de veículos na região do Maracanã e no entorno da UERJ durante a pandemia, de forma semelhante a estudos como o de Baldasano (2020) acerca da diminuição de MP_{10} e $MP_{2,5}$ em grandes cidades no período pandêmico.

Com relação ao pH, houve uma variação de 6,42 a 9,47 no período pré-pandemia no ponto FF2, o que na escala de 0 a 14, representa uma elevada variação, justificado por uma alteração no padrão de contaminação oriundo da poluição na região. Ao avaliar os períodos pré e pós pandemia do COVID-19, os dados obtidos a partir da análise no pHmetro pós-pandemia aparentam uma consistência maior, mais próximo ao pH de 7, considerado ideal para a água, com menores valores de desvio padrão e mais adequados à NBR 15527 (ABNT, 2019a) e NBR 16783 (ABNT, 2019b).

A respeito dos sólidos totais dissolvidos (SDT), estes apresentaram valores baixos em relação aos valores máximos permitidos pela NBR 16783 (ABNT, 2019b). Segundo Skoog (2009), os sólidos dissolvidos totais (SDT) são descritos como a soma de todos os sais inorgânicos e pequenas quantidades de matéria orgânica dissolvidos em uma amostra de água. Portanto, esperam-se baixos valores associados em água de chuva por seu baixo nível de ionização, já que as principais fontes de SDT são a erosão dos solos e o lançamento de efluentes. A diminuição acentuada desses valores nos períodos pré e pós-pandemia demonstra correlação entre esse parâmetro e os poluentes atmosféricos na região, embora não haja como firmar relação causal.

Ao analisar os parâmetros por pontos de coleta, percebe-se, também, uma melhora significativa da água de chuva armazenada de montante para jusante no sistema, entre: FF1, FF2 e RR, logo, pode-se considerar um aumento da eficiência da qualidade de água de primeira descarga (FF1), em relação ao ponto do reservatório (RR), de modo a demonstrar a necessidade de instalação do descarte de volume inicial em sistemas de coleta e manejo de águas pluviais.

Os valores de coliformes totais e termotolerantes também se encontram dentro dos limites da NBR 15527 (2019a). Entretanto, ao observar os valores máximos e mínimos, seja possível notar fragilidades de contaminação, devido à ausência de tecnologias de desinfecção no tratamento da água de chuva no sistema.

A Figura 3 ilustra a matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos de água de chuva (pH, STD e turbidez), os poluentes atmosféricos (CO, NO_2 e MP_{10}) e o volume de tráfego veicular (IGVOL).

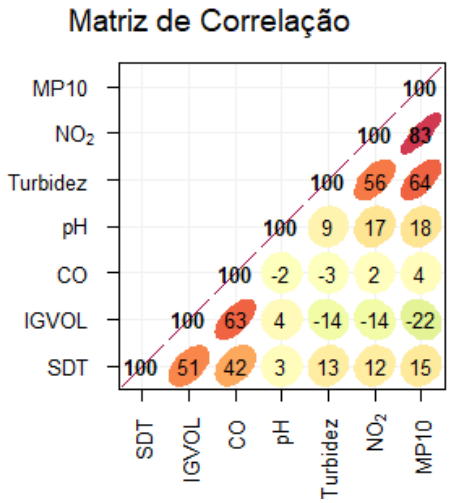

Figura 3: Matriz de correlação de parâmetros analisados
Fonte: Autoria própria (2025).

Na matriz de correlação dos diversos parâmetros analisados, como agentes poluidores e parâmetros físico-químicos, é possível observar dinâmicas acerca da poluição na região e seu impacto na qualidade das águas pluviais.

Com relação ao IGVOL e o CO, a forte correlação é esperada, visto que o monóxido de carbono é gerado principalmente por conta da combustão incompleta de veículos. Juntamente a este gás, gera-se também carbono sólido (fuligem), que se deposita na atmosfera como MP_{10}. Além disso, há alta correlação entre NO_2 e MP_{10}, visto que geralmente as fontes emissoras desses poluentes são as mesmas, como processos de combustão e atividade industrial.

Com relação aos sólidos, o SDT apresenta boa correlação com todos os poluentes, o que reforça a hipótese de que boa parte da poluição local ocorre por fontes móveis. Isso se deve, pois, as moléculas de água tendem, em algum grau, a dissolver em meio aquoso e gerar íons. A turbidez, que mede o grau de oposição da água à passagem de luz, apresenta correlação direta com o MP_{10}. Visto que esse é o índice responsável pela medição de partículas suspensas no ar atmosférico, sendo essas partículas as responsáveis por diminuir a absorção de luz das amostras coletadas, a correlação dentre esses parâmetros é esperada.

De maneira analítica, ao observar todos os dados e correlações obtidos a partir da metodologia definida, os resultados encontram-se dentro do esperado acerca da melhora de qualidade de água correspondendo aos períodos de menor incidência de poluentes atmosféricos, relacionando-se diretamente às fontes mais difundidas acerca do assunto.

5. CONCLUSÕES

Com base no estudo fornecido, é possível identificar alterações nos padrões de qualidade da água de chuva armazenada em um sistema predial nos períodos pré e pós-pandemia da COVID-19. No que diz respeito às emissões veiculares e à poluição atmosférica, os diversos efeitos causados pela diminuição destas foram verificados já imediatamente há época e mantidos ao longo do período após a normalização de emissões. Entretanto, a tendência é de volta ao patamar anterior caso não haja diminuição nos lançamentos. Algumas das observações pertinentes são:

- Durante o período pós-pandemia houve um decréscimo nos valores obtidos de turbidez, SDT e pH analisados, principalmente pontos de utilização PD E RR, tornando os parâmetros mais ajustados à NBR 15527 (ABNT, 2019a) e NBR 16783 (ABNT, 2019b);
- O estudo revelou uma correlação dos poluentes atmosféricos com o volume de trânsito da região e os parâmetros físico-químicos, indicando que fontes móveis são responsáveis por boa parte da poluição no entorno da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ);
- Os dispositivos de descarte inicial (first-flush) mostraram-se extremamente eficientes no que diz respeito à hierarquização da qualidade da água de captação, retendo os poluentes e reduzindo o nível de contaminação no reservatório principal. Isso ressalta a importância de tecnologias de tratamento para garantir a segurança no uso das águas pluviais;
- Além disso, destacam-se, também, possíveis medidas a fim de evitar adensamento de veículos, como o rodízio de carros adotados em algumas cidades, ou até mesmo a possibilidade de home office em empregos de maior facilidade de adesão ao sistema, sendo boas alternativas para a melhora da qualidade do ar e da água em regiões de alta densidade populacional.

Os dados de volume veicular (IGVOL) mostraram uma redução significativa durante a pandemia, seguida por uma recuperação no período pós-pandemia. Essa variação no tráfego influenciou diretamente as emissões de poluentes e, consequentemente, na qualidade da água da chuva.

Em resumo, o artigo destaca a necessidade de tecnologias de tratamento de águas pluviais de chuva, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas, a efetividade da diminuição de poluição, principalmente em relação à diminuição do volume veicular e recomenda o monitoramento contínuo de dados pós-pandemia para uma análise mais abrangente da relação entre poluição atmosférica e qualidade da água e do tempo pelo qual os efeitos dessa diminuição perduram.

Por fim, as principais limitações do artigo são relacionadas à impossibilidade de caracterização destes poluentes na água, fazendo com que não seja possível estabelecer uma relação de causa dentre os poluentes, mas somente de correlação entre os parâmetros analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, I. I.; KHAN, I.; GINIGE, T. A.; ABDELKADER, A. Air Quality Transformation in Twelve Major Cities during Covid-19 Lockdowns: A Global Assessment. **International Journal of Data Science and Advanced Analytics**, v. 5, n. 5, p. 264-271, 2023.

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.** Fundação GEO-RIO. Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/>. Acesso em: 21 mai. 2025.

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 - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023: Informe 2023**. Brasília: ANA, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/ana. Acesso em: 20 nov. 2024.

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

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

BALDASANO, J. M. COVID-19 lockdown effects on air quality by NO_2 in the cities of Barcelona and Madrid (Spain). **Science of the Total Environment**, v. 741, p. 140353, 2020.

FALLAH SHORSHANI, M.; BONHOMME, C.; PETRUCCI, G., ANDRÉ, M.; SEIGNEUR, C. Road traffic impact on urban water quality: a step towards integrated traffic, air and stormwater modelling. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 8, p. 5297-5310, 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População Rural e Urbana**. 2024

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População estimada do país chega a 212,6 milhões de habitantes em 2024.** Agência de Notícias, 2024. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41111-populacao-estimada-do-pais-chega-a-212-6-milhoes-de-habitantes-em-2024. Acesso em: 21 mai. 2025.

KRECL, P., STROM, J., & JOHANSSON, C. Diurnal variation of atmospheric aerosol during the wood combustion season in Northern Sweden. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 18, p. 4113-4125, 2008.

KUMARI, P.; TOSHNIWAL, D. Impact of lockdown on air quality over major cities across the globe during COVID-19 pandemic. **Urban Climate**, v. 34, p. 100719, 2020.

LINO, F. A.; ISMAIL, K. A.; CASTAÑEDA-AYARZA, J. A. Municipal solid waste treatment in Brazil: A comprehensive review. **Energy nexus**, v. 11, p. 100232, 2023.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19.** World Health Organization (WHO) (Nota de imprensa). 10 de junho de 2023.

RIO DE JANEIRO. **Decreto nº 46.973**, de 16 de março de 2020. Disponível em: https://pge.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MTAyMjI%2C. Acesso em: 21 mai. 2025

SMAC - SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DA CIDADE. **Boletim Diário da Qualidade do Ar**. Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar – MonitorAr-Rio. Prefeitura do Rio de Janeiro. 2012.

SMAC - SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DA CIDADE. **Boletim Diário da Qualidade do Ar**. Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar – MonitorAr-Rio. Prefeitura do Rio de Janeiro. 2024.

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

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S; R. **Princípios de análise instrumental.** 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Air Quality and Climate Bulletin**. Disponível em: https://library.wmo.int/viewer/58699/download?file=Air_Quality_and_Climate_Bulletin_1_en.pdf type=pdf&navigator=1. Acesso em: 21 mai. 2025.

ZHANG, L.; YANG, W.; CHEN, M.; WANG, Z.; LIN, P.; FANG, Z.; QIU, Y.; ZHENG, M. Atmospheric deposition of 7Be in the southeast of China: A case study in Xiamen. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 16, p. 105-113, 2016.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa por meio da concessão de bolsa. Bem como às instalações da UERJ e, em especial, do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária.