

IV 006 – ANÁLISE HISTÓRICA E COMPARATIVA DA QUALIDADE DO AR NO COMPLEXO INDUSTRIAL DE SUAPE-PE

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.IV-006>

Eduardo Antonio Maia Lins (*), Ewly Nayde Gonçalves de Oliveira, Ana Paula Oliveira Portela de Carvalho, Fábio Machado Cavalcanti, Letícia Cavalcante de Lima Galindo

* Universidade Católica de Pernambuco / Instituto Federal de Pernambuco - eduardomaialins@gmail.com

RESUMO

Este trabalho investiga a qualidade do ar no Complexo Industrial e Portuário de Suape, em Pernambuco, focando nos impactos das atividades industriais e nas mudanças ocorridas devido à pandemia de COVID-19. Foram utilizados dados históricos coletados entre 2017 e 2022 por estações automáticas de monitoramento administradas pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. A metodologia envolveu a análise comparativa de concentrações de poluentes como CO, NO₂, SO₂, O₃, MP10 e MP2.5, com destaque para a comparação entre os períodos pré e pós-pandemia de COVID-19. As médias mensais e anuais de poluentes foram calculadas e confrontadas com as diretrizes de qualidade do ar da OMS e as normas nacionais estabelecidas pelo CONAMA. A pesquisa revelou uma redução nas concentrações de CO e SO₂ durante a pandemia, associada à diminuição das atividades industriais, enquanto os níveis de NO₂ se mantiveram constantes. Os poluentes MP10 e MP2.5 permaneceram acima dos limites recomendados, destacando a necessidade de medidas de controle e monitoramento contínuo.

PALAVRAS-CHAVE: poluição atmosférica, Suape, qualidade do ar, COVID-19, emissões.

INTRODUÇÃO

A poluição do ar, definida pela presença de substâncias nocivas na atmosfera, é uma problemática ambiental que transcende fronteiras geográficas e afeta a vida em escala global. As causas da poluição atmosférica são variadas, incluindo fontes naturais como erupções vulcânicas e atividades humanas como industrialização, queimadas, veículos e queima de combustíveis fósseis (DAPPER *et al.*, 2016). Essas atividades liberam uma gama de poluentes, incluindo partículas finas, monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, chumbo e ozônio, que têm implicações diretas na saúde humana e no equilíbrio ecológico.

O Complexo Industrial e Portuário de Suape, localizado em Pernambuco, Brasil, é um exemplo emblemático de como o desenvolvimento econômico pode estar em conflito com a sustentabilidade ambiental. Fundado em 1978 como uma instituição pública, Suape foi concebido sob o moderno conceito de integração porto-indústria, inspirado em modelos internacionais como o Porto de Marseille-Fos na França e de Kashima no Japão (NUNES, 2017). O nome "Suape" tem origem indígena e está associado ao caminho das cobras, refletindo a rica herança cultural da região. Hoje, o complexo abriga um vasto número de empresas ativas, tornando-se um dos principais motores econômicos do Nordeste brasileiro.

A justificativa para aprofundar o estudo da qualidade do ar em Suape é ancorada na necessidade de compreender os impactos ambientais das operações industriais e portuárias. Com o crescimento contínuo do complexo, aumenta a responsabilidade de monitorar e gerenciar as emissões atmosféricas para proteger a saúde da população local e preservar a biodiversidade da área.

OBJETIVOS

Este artigo tem como principais objetivos avaliar a qualidade do ar no Complexo Industrial e Portuário de Suape-PE, utilizando dados históricos disponíveis para entender as tendências ao longo do tempo. Além disso, pretende-se explorar as legislações e padrões de qualidade do ar, tanto nacionais quanto internacionais, com o intuito de realizar uma análise comparativa dos resultados obtidos. Em particular, será feita uma comparação das variações anuais dos índices de poluição atmosférica antes e após a pandemia COVID-19, abrangendo os anos de 2020 até o início de 2022, para investigar possíveis impactos das mudanças nas atividades industriais e de transporte no complexo.

METODOLOGIA

Localização e Caracterização de Suape

Suape é um porto brasileiro localizado no litoral sul do estado de Pernambuco, com 17,3 mil hectares de área nos municípios de Ipojuca e do Cabo de Santo Agostinho, a 40 quilômetros ao sul da cidade e capital do estado, Recife. Ele é um importante centro industrial e portuário que abriga uma diversidade de atividades, que são acompanhadas por uma diversidade de fontes potenciais de poluição atmosférica, incluindo emissões de gases, partículas e produtos químicos. O *site* oficial de Suape disponibiliza algumas informações sobre as estruturas e atividades atuais, de fácil acesso.

O Complexo Industrial Portuário de Suape Eraldo Gueiros (Figura 1) oferta serviços em diversos setores e se instala como um porto estratégico no Nordeste e Norte, também interligado a mais de 250 portos em todos os continentes. Fundado como instituição pública em 1978, o complexo abriga 83 empresas nacionais e internacionais, gerando 17,5 mil empregos diretos e movimentando a economia com investimentos que ultrapassam R\$ 74,5 bilhões. Suape abriga onze polos de negócios, tornando-se um dos complexos industriais portuários mais completos da região, com destaque para setores como logística, petroquímica e energias renováveis. Com 785 mil m² de área alfandegada, o Porto de Suape é capaz de atender às demandas de contêineres, carga geral e graneis líquidos, consolidando sua posição como um dos principais portos do país.



Figura 1: Imagem aérea do Porto de Suape. Fonte: Google (2024).

Poluentes Atmosféricos e Efeitos à Saúde

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), em sua Resolução nº 491 (2018), define poluentes atmosféricos como todas as substâncias que, em quantidade, concentração, duração ou outras características, tornem ou possam tornar o ar inadequado ou prejudicial à saúde, desagradável ao bem-estar público, prejudicial à fauna, flora ou à segurança, ao uso e desfrute da propriedade, ou às atividades cotidianas da comunidade.

A seguir estão descritas de maneira concisa alguns dos poluentes atmosféricos monitorados atualmente pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH-PE). Esses poluentes representam uma variedade de fontes e impactos no meio ambiente e na saúde pública, sendo monitorados para garantir a qualidade do ar, a proteção da população e dos ecossistemas. A própria CPRH-PE fornece informações acerca destes compostos químicos, contudo, referências como Navis *et al.* (2021), Silva *et al.* (2020), a World Health Organization (2005) e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2023) também foram consultadas.

- **Monóxido de Carbono (CO)** - Gás inodoro e incolor, proveniente da combustão incompleta de material orgânico, por exemplos combustíveis dos automóveis. Pode causar dores de cabeça, falta de ar e, em altas concentrações, levar à morte por asfixia.
- **Dióxido de Nitrogênio (NO₂)** - É um poluente atmosférico grave, resultante da queima de combustíveis fósseis em veículos e indústrias. É altamente reativo e prejudicial à saúde, causando problemas respiratórios agudos e crônicos. Além de afetar a saúde humana, contribui para a formação de outros poluentes como ozônio e partículas finas, também para chuva ácida.
- **Ozônio (O₃)** - É formado por reações químicas envolvendo óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs). Enquanto o ozônio estratosférico protege contra os raios UV, o ozônio troposférico é prejudicial à saúde e ao meio ambiente, causando problemas respiratórios e afetando o crescimento das plantas. Sua formação é favorecida pela luz solar e suas fontes incluem emissões veiculares e industriais.
- **Dióxido de Enxofre (SO₂)** - Gás incolor e tóxico, com odor semelhante ao de fósforos queimados. Provém principalmente da queima de carvão, fundição de metais e refinarias de petróleo. Causa irritação pulmonar e contribui para a formação de chuva ácida, prejudicando monumentos e a vegetação.

- **Material Particulado fino (MP2.5)** - É uma mistura de partículas sólidas e líquidas no ar que são pequenas o suficiente para penetrar profundamente nos pulmões e até entrar na corrente sanguínea. Essas partículas podem ser de origem natural, como poeira e sal marinho, ou antropogênica, como emissões de veículos e indústrias. A exposição está associada a sérios problemas de saúde, incluindo doenças respiratórias, cardiovasculares e aumento da mortalidade.
- **Material Particulado grosso (MP10)** - São partículas de poluentes atmosféricos advindas de processos mecânicos, como ressuspensão de poeira de solo, do sal marinho, das cinzas de combustão e das emissões biogênicas naturais. Com diâmetro aerodinâmico de até 10 micrômetros (μm), essas partículas são consideradas "grossas" e podem ser inaladas, depositando-se nas vias aéreas superiores, como o nariz e a garganta. Devido ao seu tamanho relativamente grande em comparação com partículas mais finas (como MP2.5), elas são menos capazes de penetrar profundamente nos pulmões, mas ainda representam um risco significativo à saúde, especialmente para indivíduos com condições respiratórias preexistentes.
- **Metano (CH_4)** - Gás inodoro pertencente ao grupo dos hidrocarbonetos, produzido na decomposição de matéria orgânica. Pode ser tóxico em altas concentrações e é um importante gás de efeito estufa.
- **Sulfeto de Hidrogênio (H_2S)** - Gás tóxico com odor desagradável, proveniente de atividades industriais de petrolíferas e processos naturais como decomposição de matéria orgânica. Pode causar desde irritação ocular até paralisia respiratória, afetando a vida marinha quando dissolvido na água.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) (2021), no que se refere à saúde humana, a exposição a poluentes no ar pode resultar em diversas doenças agudas e crônicas. As condições mais comuns incluem doenças respiratórias, como asma, bronquite crônica e doenças pulmonares obstrutivas, todas exacerbadas pela inalação de partículas finas e gases tóxicos. Ainda, pesquisas indicam que a exposição prolongada a poluentes aumenta o risco de hipertensão, infartos, derrames e insuficiência cardíaca. Em crianças, a exposição precoce a poluentes está ligada a problemas no desenvolvimento pulmonar e a um aumento na incidência de doenças respiratórias, com impactos que podem persistir ao longo da vida.

Legislações e Padrões sobre a Qualidade do Ar

O Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) comenta sobre alguns dos padrões, nacionais e internacionais, utilizados para controle e análise quantitativa dos principais poluentes atmosféricos monitorados. Tanto OMS quanto o CONAMA desempenham papéis essenciais na definição e manutenção dos padrões de qualidade do ar. Enquanto a OMS estabelece diretrizes globais, o CONAMA cria regulamentos específicos para o Brasil, que muitas vezes se baseiam nas diretrizes da OMS para garantir alinhamento com padrões internacionais.

- **Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS** - As diretrizes da OMS estão baseadas na compilação de estudos científicos realizados pelos principais institutos de pesquisa do mundo e visam a redução dos impactos da poluição atmosférica sobre a saúde. A Organização apresentou em 2021 os seus mais novos valores-guias revisados de concentrações de poluentes que, em sua maioria, tornaram-se mais restritivos (Tabela 1).
- **Padrões Nacionais de Qualidade do Ar do CONAMA** - A Resolução CONAMA nº 491/2018 dispõe sobre padrões de qualidade do ar e define os poluentes atmosféricos. Tais padrões são definidos como o valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, e são organizados em níveis. Há os padrões intermediários (PI), 1 a 3, que representam valores temporários para uma determinada região poluída, que ao longo do tempo deve despoluir o ar até alcançar o padrão final (PF), que segue as definições da OMS (Tabela 2).
- **Índice de Qualidade do Ar (IQAr)** - O IQAr é um parâmetro matemático desenvolvido para simplificar o processo de divulgação dos dados de monitoramento qualidade do ar, de curto prazo. A qualidade do ar é classificada como boa (dentro das diretrizes da OMS), moderada (dentro da legislação CONAMA), ruim, muito ruim ou péssima (níveis críticos CONAMA), e associada a uma escala de cores. Esse indicador permite uma avaliação dos locais que necessitam de maior intervenção, em função de cada um dos poluentes atmosféricos monitorados (Tabela 3).

Tabela 1. Diretrizes de Qualidade do Ar (DQA) da OMS. Fonte: IEMA (2024).

Poluente (sigla)	Unidade	Período de referência	DQA
Material particulado (MP_{10})	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual	15
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	24h	45
Material particulado fino ($\text{MP}_{2.5}$)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual	5
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	24h	15
Dióxido de enxofre (SO_2)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	24h	40
Dióxido de nitrogênio (NO_2)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual	10
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1h	200
Monóxido de carbono (CO)	ppm	8h (média móvel)	9
Ozônio (O_3)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	8h (média móvel)	100
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Alta temporada	60

Tabela 2. Padrões Nacionais de Qualidade do Ar do CONAMA. Fonte: IEMA (2024).

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m ³	µ/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão- PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ¹	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-
¹ - média aritmética anual						
² - média horária						
³ - máxima média móvel obtida no dia						
⁴ - média geométrica anual						
⁵ - medido nas partículas totais em suspensão						

Tabela 3. Índice de Qualidade do Ar (IQA_r) brasileiro e efeitos à saúde. Fonte: IEMA (2024).

Índice		MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2,5} (µg/m ³) 24h	O ₃ (µg/m ³) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ (µg/m ³) 1h	SO ₂ (µg/m ³) 24h	Efeitos à saúde
Classe	Valor							
Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20	-
Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Muito ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365 - 800	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	201 - 400	>250 - 600	>125 - 300	>200 - 800	>15 - 50	>1130 - 3750	>800 - 2620	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Estações de Monitoramento

Segundo dados encontrados no *site* da CPRH-PE, no estado há cinco estações automáticas que monitoram a qualidade do ar. Essas estações estão equipadas com dispositivos que coletam e analisam continuamente amostras de ar (Figuras 2 e 3), calculando médias por hora. A manutenção dessa rede é responsabilidade da Petrobrás, conforme exigido pela Licença de Operação da Refinaria Abreu e Lima, e atualmente é administrada pela empresa Aires Serviços Ambientais, especializada em soluções e tecnologias ambientais, especialmente nas áreas de qualidade do ar, emissões atmosféricas e meteorologia.

Cada estação de monitoramento é compacta e contém um conjunto específico de instrumentos para medir diferentes poluentes. A CPRH-PE acompanha os dados em tempo real e os utiliza para fiscalização, aplicando medidas conforme os padrões estabelecidos pela legislação ambiental quando necessário.



Figura 2. Estação Ipojuca e analisador de óxido de nitrogênio, Fonte: Site da CPRH-PE.

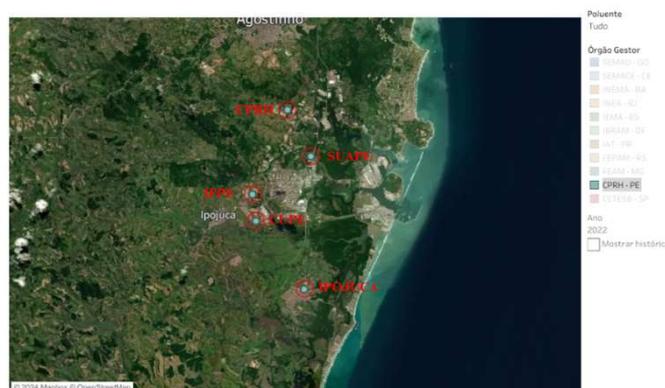


Figura 3: Localização das cinco estações de monitoramento do CPRH-PE. Fonte: Site da IEMA

Método

A metodologia adotada para este estudo compreendeu o levantamento dos materiais de estudo e a coleta de dados históricos sobre a qualidade do ar, transmitidos pelas estações de monitoramento gerenciadas pelo CPRH-PE. Após a coleta, os dados foram minuciosamente analisados, com foco na identificação de padrões e tendências, especialmente no período da pandemia da COVID-19. Neste trabalho, o intervalo de tempo estipulado de isolamento devido ao coronavírus foi de março de 2020 até fevereiro de 2022, com algumas flexibilizações neste meio.

Para representatividade do Porto e Complexo Industrial de Suape foi selecionado a estação de monitoramento IFPE no período de 2017 a 2022. Para comparação de dados foi utilizada a estação de monitoramento CPRH, pois, mesmo a estação do Cupe sendo a mais próxima do IFPE (Figura 4), onde somente iniciou suas atividades em meados do ano 2020, não tendo dados suficientes para comparação. Apesar da estação de monitoramento Suape ser a mais próximo do complexo industrial ela só foi instalada recentemente, em 2022, e por isso ainda não tem dados suficientes para análise. Já a de Ipojuca, é a mais distante e por isso menos representativa do objeto de estudo.

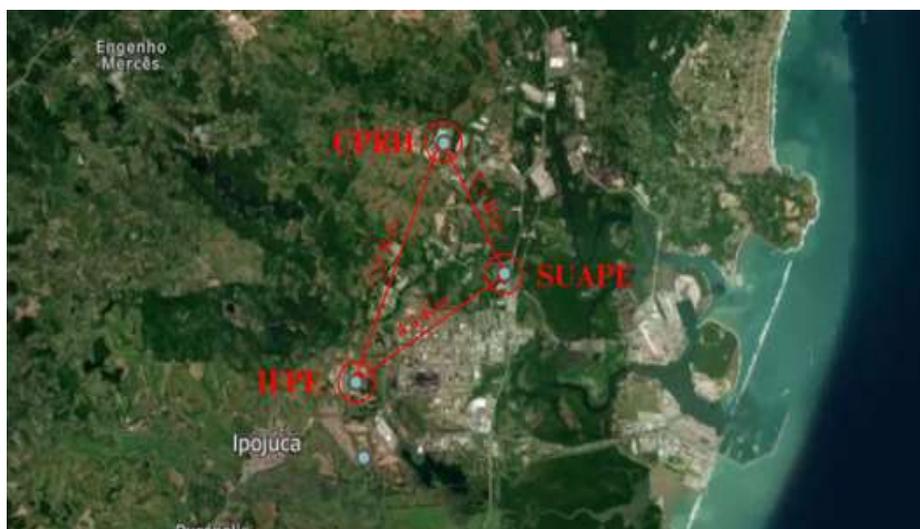


Figura 4: Distância entre as estações Suape-IFPE-Suape, IFPE-CPRH e CPRH-Suape. Fonte: Site do IEMA.

Os poluentes selecionados foram o monóxido de carbono, o dióxido de nitrogênio (NO₂), o dióxido de enxofre, as partículas em suspensão grossas e finas, este último somente com dados de 2022, quando começou a ser monitorado em Suape. Os poluentes analisados foram aqueles que tiveram dados disponibilizados pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) e que são relevantes em termos de danos à saúde humana e ambiental. Os gases metano e sulfeto de hidrogênio eram de interesse da pesquisa, mas não foram obtidos dados quantitativos do monitoramento pelo IEMA.

As informações extraídas do IEMA, em formato CSV, foram organizadas e estruturadas em tabelas. Com a base de dados devidamente filtrada foi realizada, primeiramente, a média mensal das concentrações de cada poluente por cada estação de monitoramento, para uma análise mês-a-mês. As médias das estações IFPE e CPRH também foram comparadas entre si. Em seguida, feitas as médias anuais para uma visão mais abrangente das variações ano-a-ano. Os resultados foram postos em gráficos para uma análise mais prática e dinâmica.

Para confrontar as concentrações dos poluentes com os valores-guias das Diretrizes de Qualidade do Ar (Tabela 1), foram considerados como Recomendação da OMS as seguintes medidas: [CO] máxima 9 ppm; [NO₂] máxima 10 µg/m³; [SO₂] máxima 40 µg/m³; [O₃] máxima 60 µg/m³; [MP10] máxima 15 µg/m³; [MP2.5] máxima 5 µg/m³. Conseqüentemente, concentrações médias acima dessas medidas foram taxadas como “fora” do recomendado pela OMS, e prejudiciais à saúde humana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados coletados permitiu verificar se os níveis de poluentes monitorados (CO, NO₂, SO₂, O₃, MP10 e MP2.5) estavam dentro ou fora dos limites estabelecidos pelas Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS. É importante destacar que o período de isolamento durante a pandemia de COVID-19 influenciou esses resultados, visto que as medidas de restrição reduziram significativamente as atividades industriais e o tráfego de veículos, levando a uma diminuição temporária na emissão de poluentes.

Desta feita, observa-se que, de fato, os dados analisados revelam variações significativas nas concentrações de diferentes poluentes atmosféricos, e que essas variações refletem como diferentes setores econômicos foram afetados e se recuperaram das restrições da pandemia, proporcionando uma visão sobre a complexidade das emissões de poluentes e suas dependências setoriais.

De acordo com as Figuras 5, 6 e 7, o monóxido de carbono manteve-se com baixas concentrações em todas as médias mensais e anuais, em relação à recomendação da OMS. Ainda assim, é perceptível uma diferença antes e após metade do ano 2020, por exemplo quando comparamos a média anual de 2019 e 2021, sendo a primeira duas vezes maior que a segunda. Porém, esse declínio não se repete para os dados da CPRH, que demonstra o oposto, um aumento das concentrações em meados de 2020.

No período da COVID-19 houve uma queda significativa na concentração de monóxido de carbono no início de 2020, que perdurou até o final de 2021. As medidas de lockdown e redução da atividade econômica durante a pandemia levaram a uma diminuição substancial no tráfego e nas operações industriais, resultando em menores emissões de CO. Esse efeito foi sustentado ao longo de 2021, indicando que as restrições e a diminuição das atividades econômicas persistiram nesse período. Segundo Collivignarelli *et al.* (2020), o bloqueio de atividades humanas e o declínio econômico levaram a uma melhora significativa na qualidade do ar em várias regiões do mundo. Outro estudo, de Venter *et al.* (2020), destaca que a redução das emissões de veículos automotores foi o principal fator para a diminuição das concentrações de poluentes, como o monóxido de carbono

Figura 5. Concentrações médias mensais (2017-2022) de CO em ppm e Recomendação OMS máxima (eixo secundário), pela estação de monitoramento IFPE. Fonte: adaptado pelo autor.

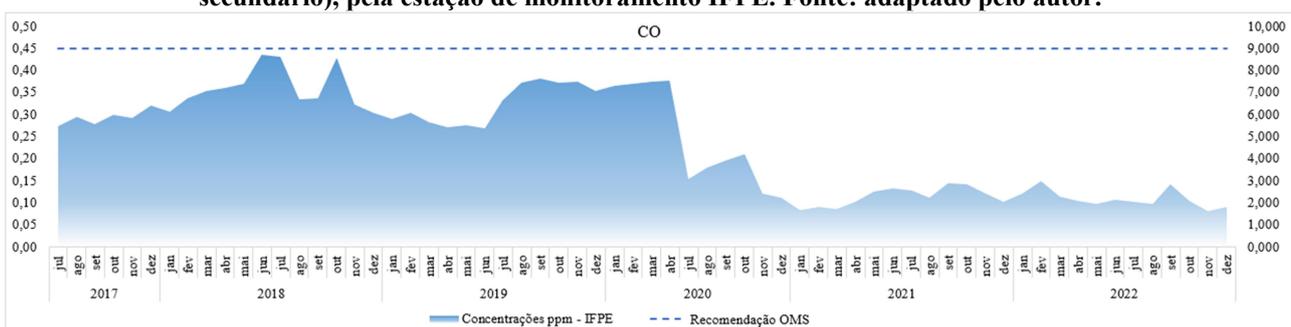


Figura 6. Comparativo empilhado das concentrações médias mensais (2017-2022) de CO em ppm, entre as estações de monitoramento IFPE e CPRH. Fonte: adaptado pelo autor.

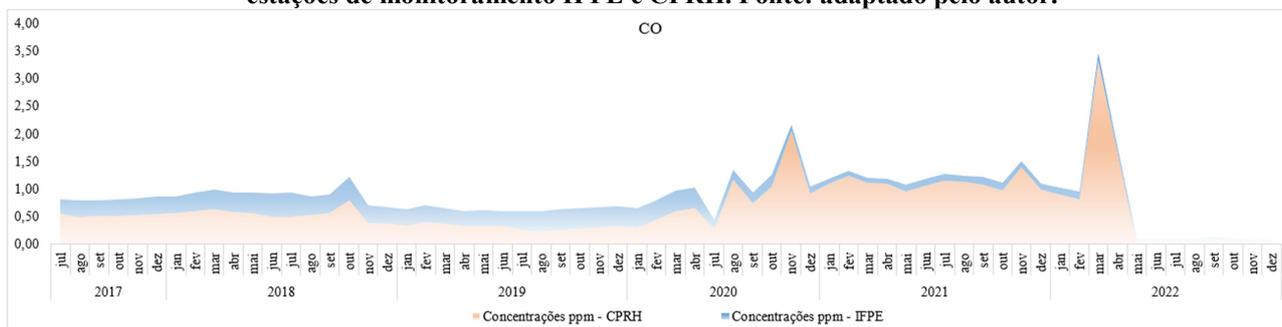
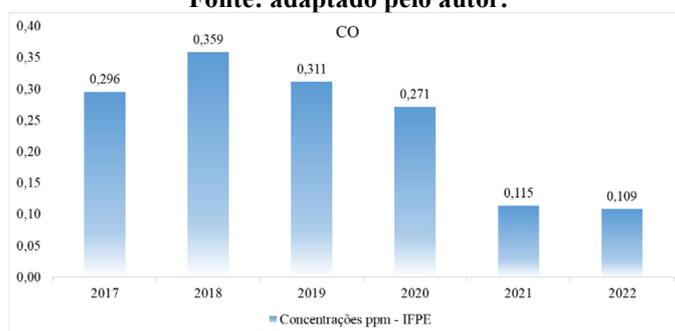


Figura 7. Concentrações médias anuais (2017-2022) de CO em ppm, pela estação de monitoramento IFPE. Fonte: adaptado pelo autor.



De acordo com as Figuras 8, 9 e 10, a maior parte das médias mensais de NO₂ em µg/m³ permaneceram abaixo da recomendação da OMS, mas próxima de seu limite. Com picos acima nos meses set-22 e out-18, ago-17, abr-18 e fev-22, em ordem decrescente. A estação CPRH segue um padrão parecido, desconsiderando a máxima em jul-20 que não se mostra um valor confiável. No geral, as medias anuais são relativamente constantes.

O declínio nas concentrações de dióxido de nitrogênio (NO₂) no início da pandemia de COVID-19 foi amplamente observado em diversas regiões, com uma queda inicial acentuada devido à redução abrupta na mobilidade urbana e nas atividades industriais. No entanto, estudos indicam que as concentrações de NO₂ retornaram rapidamente a níveis semelhantes aos pré-pandemia, enquanto outros poluentes, como o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de enxofre (SO₂), permaneceram em níveis mais baixos por mais tempo. Esta recuperação rápida das concentrações de NO₂ pode ser atribuída ao fato de que, em muitas cidades, a retomada das atividades de transporte e industriais ocorreu mais rapidamente do que em outros setores. Conforme revelado por Bauwens et al. (2020), a queda inicial nas emissões de NO₂ foi significativa, mas a recuperação posterior demonstrou que os padrões de mobilidade urbana se estabilizaram mais cedo do que os de outras atividades emissoras. Segundo Wang et al. (2021), isso se deve à retomada do tráfego rodoviário, uma das principais fontes de emissão de NO₂, o que explica a rápida recuperação desse poluente.

Figura 8. Concentrações médias mensais (2017-2022) de NO₂ em µg/m³ e Recomendação OMS máxima, pela estação de monitoramento IFPE. Fonte: adaptado pelo autor.

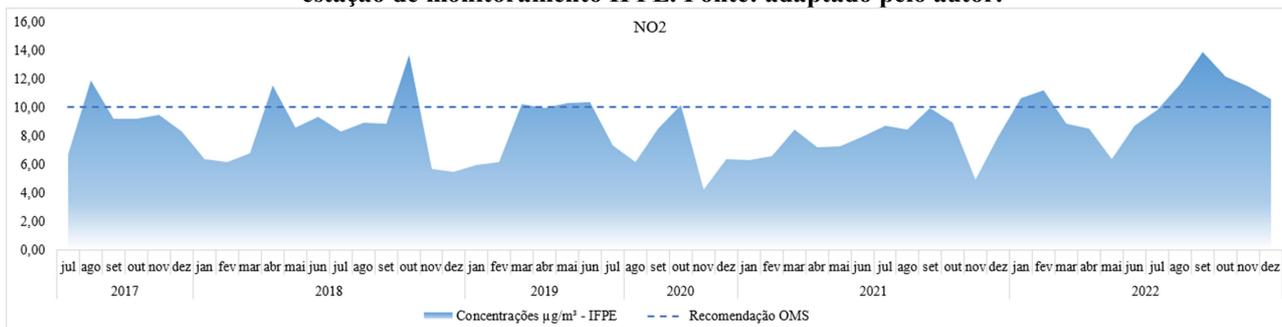


Figura 9. Comparativo empilhado das concentrações médias mensais (2017-2022) de NO₂ em µg/m³ entre as estações de monitoramento IFPE e CPRH. Fonte: adaptado pelo autor.

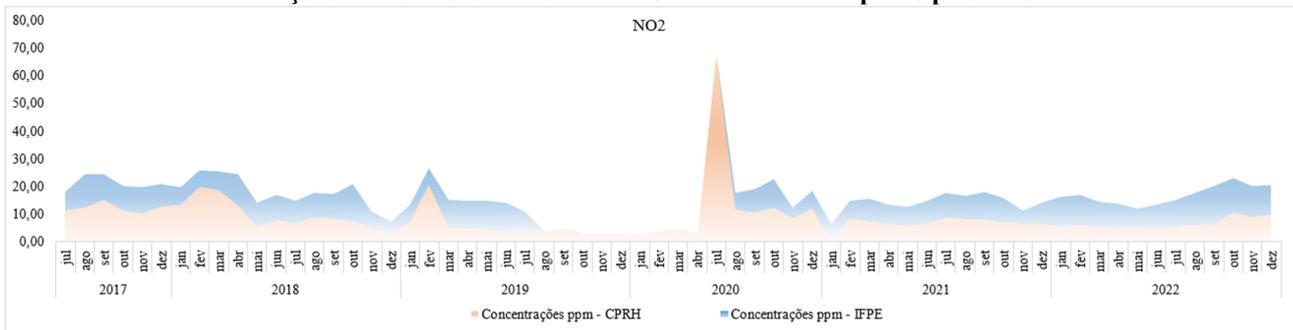
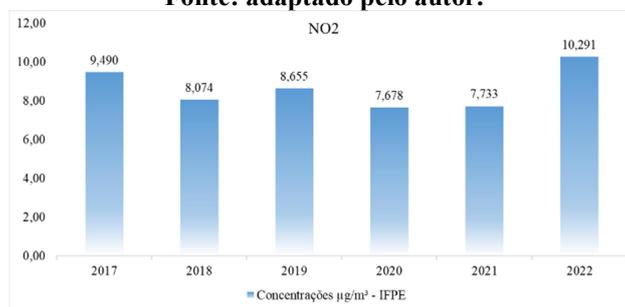


Figura 10. Concentrações médias anuais (2017-2022) de NO₂ em µg/m³, pela estação de monitoramento IFPE. Fonte: adaptado pelo autor.



Assim como o CO, o SO₂ teve suas médias mensais abaixo da recomendação da OMS, sendo o ponto máximo o mês de nov-20. As duas estações se mostraram “dessincronizados” entre fev-20 e ago-21, e relativamente síncronas nos outros períodos. Quando se tem uma visão anual percebe-se um declínio das concentrações iniciando em 2020. Desta forma, houve uma queda nas concentrações de SO₂ no início da pandemia, mas oscilações foram observadas ao longo dos meses até o final da pandemia. A redução inicial se deve à diminuição nas operações industriais devido às restrições.

Figura 11. Concentrações médias mensais (2017-2022) de SO₂ em µg/m³ e Recomendação OMS máxima (eixo secundário), pela estação de monitoramento IFPE. Fonte: adaptado pelo autor.

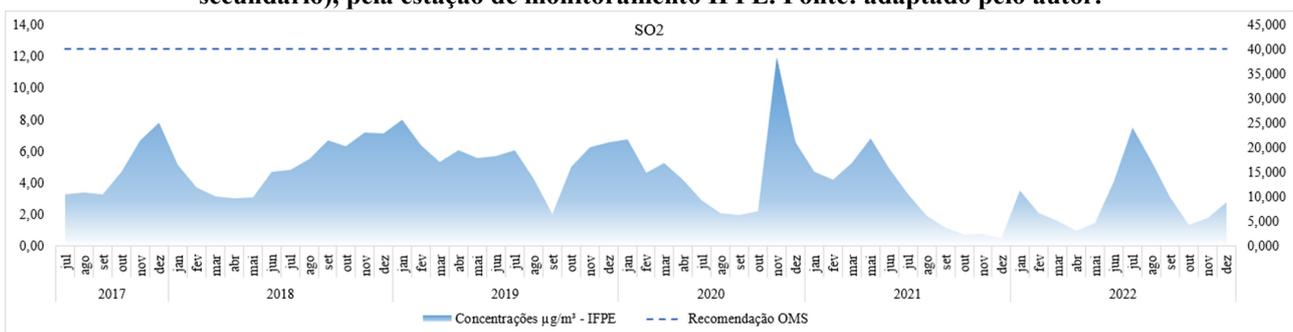


Figura 12. Comparativo empilhado das concentrações médias mensais (2017-2022) de SO₂ em µg/m³ entre as estações de monitoramento IFPE e CPRH. Fonte: adaptado pelo autor.

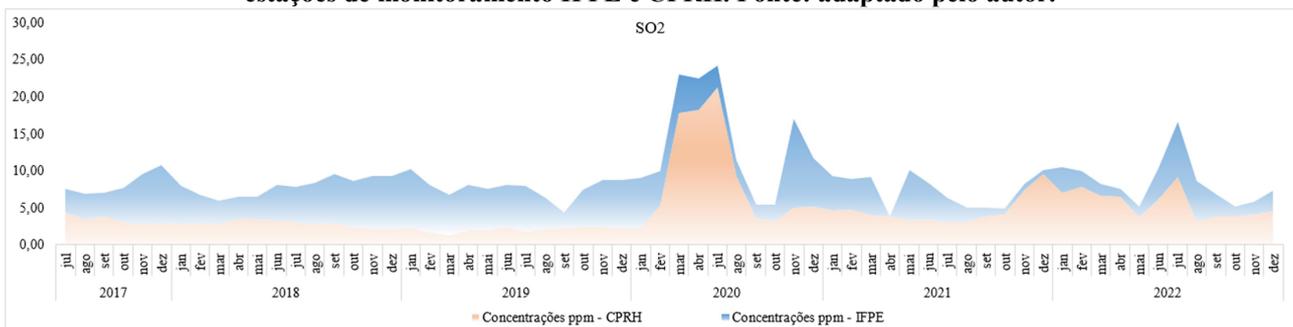
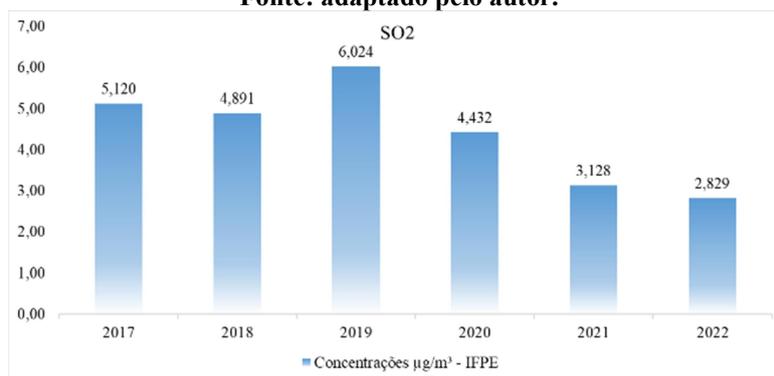


Figura 13. Concentrações médias anuais (2017-2022) de SO₂ em µg/m³, pela estação de monitoramento IFPE. Fonte: adaptado pelo autor.



As médias de concentrações mensais e anuais foram abaixo da recomendação da OMS, chegando a uma máxima de 50 µg/m³, aproximadamente. Os anos analisados têm uma semelhança, os picos ocorrem nos meses de julho a setembro, ciclicamente. Anualmente, as médias não divergem significativamente. As comparações entre as concentrações de O₃ monitoradas pela estação IFPE e CPRH foram as mais condizentes entre si (em relação aos outros poluentes medidos). Analisando o intervalo de tempo do isolamento pelo coronavírus não se nota tendências de redução significativas e/ou que sejam justificáveis.

Figura 14. Concentrações médias mensais (2017-2022) de O₃ em µg/m³ e Recomendação OMS máxima, pela estação de monitoramento IFPE. Fonte: adaptado pelo autor.

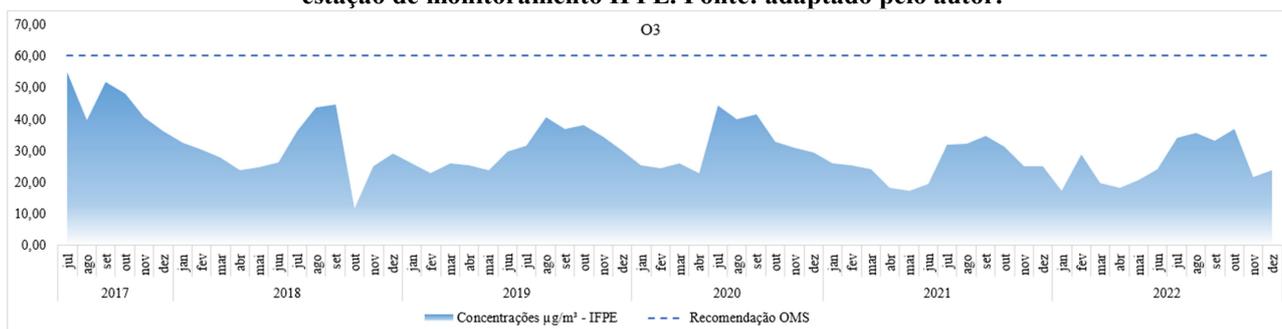


Figura 15. Comparativo empilhado das concentrações médias mensais (2017-2022) de O₃ em µg/m³ entre as estações de monitoramento IFPE e CPRH. Fonte: adaptado pelo autor.

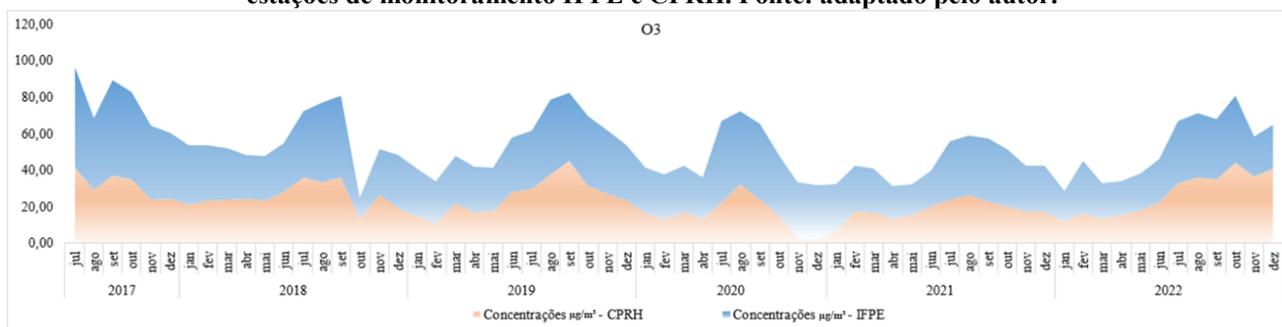
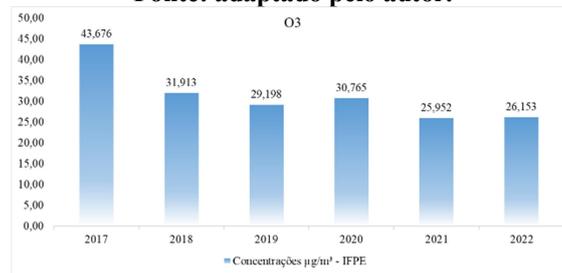


Figura 16. Concentrações médias anuais (2017-2022) de O₃ em µg/m³, pela estação de monitoramento IFPE.
Fonte: adaptado pelo autor.



As médias mensais de poluentes, tanto para dióxido de nitrogênio (NO₂) quanto para outros, mantiveram-se consistentemente acima dos limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), conforme observado em diversos estudos. Esse padrão também foi verificado nas médias anuais, indicando uma persistente poluição atmosférica elevada em algumas regiões. No entanto, em alguns casos, como observado nos dados a partir de dezembro de 2021, houve discrepâncias entre as medições realizadas por diferentes instituições. Por exemplo, as altas concentrações reportadas pelo Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) não corresponderam às medições feitas pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), que mostraram valores semelhantes até o mês anterior. Segundo Lima et al. (2022), tais divergências podem indicar possíveis erros de aferição ou no tratamento dos dados, sugerindo que os dados a partir desse ponto devam ser revisados ou desconsiderados.

No cenário da pandemia COVID-19, ocorreu uma pequena queda no primeiro mês da pandemia, mas depois as concentrações se mantiveram estáveis. A pequena queda inicial pode ser devido à interrupção de algumas atividades de construção e industriais. A estabilidade subsequente sugere que as fontes de MP10 não foram tão drasticamente afetadas pelas restrições da pandemia quanto os outros poluentes.

Figura 17. Concentrações médias mensais (2017-2022) de MP10 em µg/m³ e Recomendação OMS máxima, pela estação de monitoramento IFPE. Fonte: adaptado pelo autor.

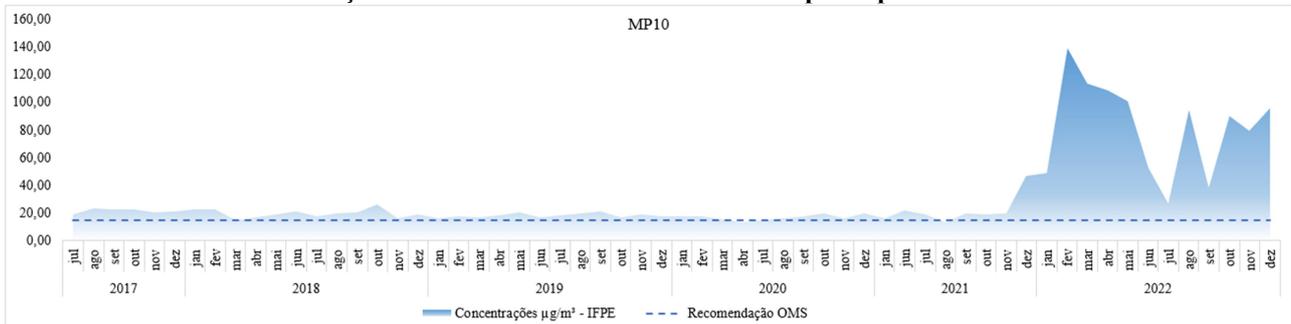


Figura 18. Comparativo empilhado das concentrações médias mensais (2017-2022) de MP10 em µg/m³ entre as estações de monitoramento IFPE e CPRH. Fonte: adaptado pelo autor.

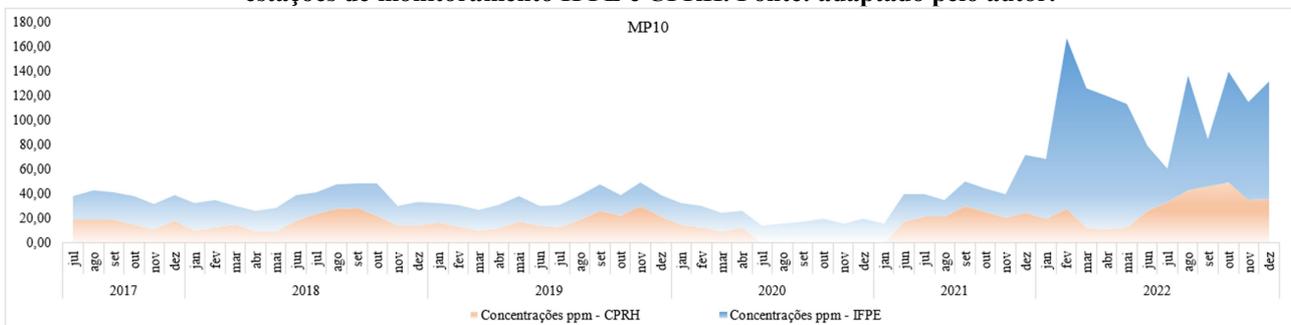
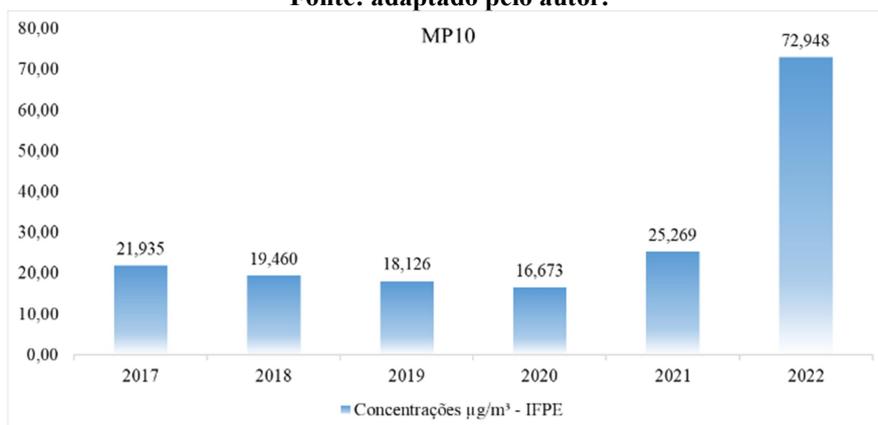


Figura 19. Concentrações médias anuais (2017-2022) de MP10 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pela estação de monitoramento IFPE. Fonte: adaptado pelo autor.



Os dados do ano de 2022 mostram que a maioria das médias mensais estavam acima do recomendado pela OMS, exceto maio e junho. Também, a média anual está $2,157 \mu\text{g}/\text{m}^3$ acima da recomendação. Não há comparativos para o poluente MP2.5 e os dados obtidos ainda não trazem um histórico de suas concentrações.

Figura 20. Concentrações médias mensais (2022) de MP2.5 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e Recomendação OMS máxima, pela estação de monitoramento Suape. Fonte: adaptado pelo autor.

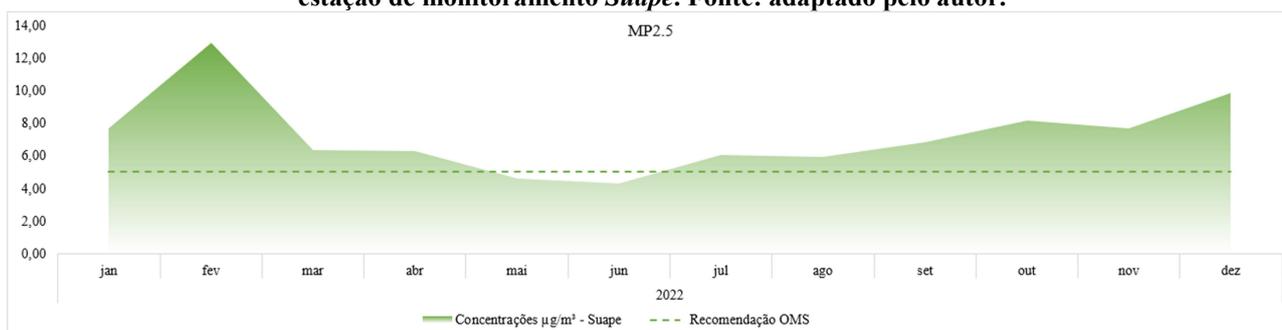
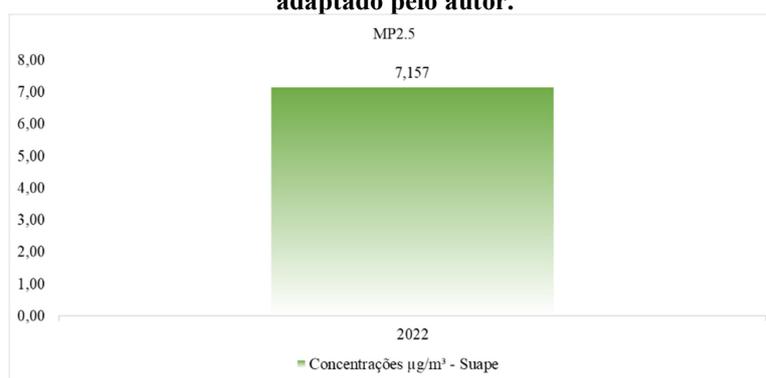


Figura 21. Concentração média anual (2022) de MP2.5 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pela estação de monitoramento Suape. Fonte: adaptado pelo autor.



CONCLUSÕES

Os dados analisados de 2017 a 2022 mostram que as concentrações de poluentes atmosféricos na estação de monitoramento IFPE, em comparação com a estação CPRH tiveram variações. CO e SO₂ tiveram uma redução significativa no início da pandemia devido às restrições de mobilidade e atividades industriais, enquanto as concentrações de dióxido de nitrogênio NO₂ diminuíram apenas brevemente antes de retornar aos níveis pré-pandemia. As concentrações O₃ não mostraram tendências de redução significativas durante a pandemia, destacando a complexidade e dependência externas para sua formação.

Além disso, os materiais particulados apresentaram comportamentos distintos. MP10 manteve-se acima das recomendações da OMS, com uma pequena queda inicial durante a pandemia seguida por estabilidade. Já MP2.5, com dados limitados a 2022, também mostrou concentrações majoritariamente acima dos limites recomendados, ressaltando a necessidade de monitoramento contínuo e medidas de controle. Também é crucial expandir o monitoramento de MP2.5 para além de Suape, que atualmente é a única fornecedora de dados.

Em resumo, os impactos da pandemia variaram entre os poluentes, mas, no geral, a maioria dos poluentes diminuiu durante a pandemia, refletindo a redução temporária das atividades econômicas e industriais. Algumas dificuldades encontradas foram que os dados disponibilizados pelo IEMA não abrangiam todos os poluentes que o CPRH-PE afirma monitorar, como CH₄ e H₂S, e estão desatualizados, com as últimas atualizações em 2022. A pesquisa também poderia aprofundar-se ao realizar uma análise da contagem de medições dentro dos padrões recomendados pela OMS e CONAMA, adicionalmente, o monitoramento das médias diárias seria fundamental para avaliar os impactos na saúde e no ambiente de forma mais precisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARBEX, M. A., SANTOS, U. de P., MARTINS, L. C., SALDIVA, P. H. N., PEREIRA, L. A. A., & BRAGA, A. L. F. (2012). A poluição do ar e o sistema respiratório. *Jornal Brasileiro De Pneumologia*, 38(5), 643–655. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132012000500015>
2. Bauwens, M., Compennolle, S., Stavrakou, T., Müller, J. F., van Gent, J., Eskes, H., ... & Zehner, C. (2020). Impact of coronavirus outbreak on NO₂ pollution assessed using TROPOMI and OMI observations. *Geophysical Research Letters*, 47(11), e2020GL087978.
3. CETESB. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2022. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2023.
4. Collivignarelli, M. C., Abba, A., Bertanza, G., Pedrazzani, R., Ricciardi, P., & Miino, M. C. (2020). Lockdown for COVID-2019 in Milan: What are the effects on air quality?. *Science of the Total Environment*, 732, 139280.
5. CPRH-PE. Rede de Monitoramento. Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco, [s.d.].
6. DAPPER, S. N., SPOHR, C., & ZANINI, R. R. (2016). Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. *Estudos Avançados*, 30(86), 83–97. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100006>
7. INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. Qualidade do ar ano a ano - Em cada estação de monitoramento.
8. LIMA, R. T., SILVA, M. J., & FERREIRA, L. S. (2022). Análise comparativa de medições de qualidade do ar: Discrepâncias e potenciais falhas em sistemas de monitoramento durante a pandemia. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 59(3), 45-58.
9. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução Conama nº491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF: Imprensa Oficial
10. NAVIS, E. D.; GIL, K. M. P.; FERREIRA, P. H. G.; NICOLETI, V. H. Relação entre a qualidade do ar e seus efeitos na saúde pública, 2021 - Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Meio Ambiente) - ETEC Padre José Nunes Dias, Monte Aprazível (SP), 2021.
11. NUNES, L. D. S. (2017). PORTO DE SUAPE COMO PROVEDOR DE PERNAMBUCO NAS RELAÇÕES INTERNACIONAIS. *NEARI EM REVISTA*, 3(3).
12. OMS - Organização Mundial da Saúde. Diretrizes globais de qualidade do ar da OMS: partículas inaláveis (MP2,5 e MP10), ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. *Resumo executivo*. Genebra: Organização Mundial da Saúde, 2021.
13. SILVA, S. (2020) Análise de Metais no Material Particulado Atmosférico Fino (MP2, 5) na Área Urbana da cidade de Manaus. *Dissertação (Mestrado – Programa de Pós Graduação em Clima e Ambiente)*. Manaus, 2020.
14. Venter, Z. S., Aunan, K., Chowdhury, S., & Lelieveld, J. (2020). COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(32), 18984-18990.
15. Wang, P., Chen, K., Zhu, S., Wang, P., & Zhang, H. (2021). Severe air pollution events not avoided by reduced anthropogenic activities during COVID-19 lockdown. *Environmental Research*, 195, 110297.
16. WHO – World Health Organization. WHO air quality guidelines global update 2005. Bonn: WHO, 2005.