



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE CAMPUS FORTALEZA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL**

LEANDRO DA SILVA DIÓGENES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NO DISTRITO INDUSTRIAL DO
MUNICÍPIO DE MARACANAÚ.**

FORTALEZA

2024

LEANDRO DA SILVA DIÓGENES

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NO DISTRITO INDUSTRIAL DO MUNICÍPIO
DE MARACANAÚ.

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Acadêmico em Tecnologia e Gestão Ambiental do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) Campus Fortaleza, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Titular. Adeildo Cabral da Silva

FORTALEZA – CE

2024



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
Av. 13 de maio, 2081 - Bairro Benfica - CEP 60040-531 - Fortaleza - CE - www.ifce.edu.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Processo: 23256.009629/2024-02

Interessado: Adeildo Cabral da Silva

LEANDRO DA SILVA DIÓGENES

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM UM DISTRITO INDUSTRIAL DO MUNICÍPIO DE MARACANAÚ

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *Campus* de Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Aprovada em: **30/09/2024.**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Titular Adeildo Cabral da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. João José Hiluy Filho

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Gustavo Amorim Studart Gurgel

Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE)



Documento assinado eletronicamente por **GUSTAVO AMORIM STUDART GURGEL**, **Usuário Externo**, em 19/11/2024, às 14:49, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **João José Hiluy Filho**, **Usuário Externo**, em 19/11/2024, às 15:09, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adeildo Cabral da Silva**, **Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 26/11/2024, às 22:35, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **6551548** e o código CRC **F9CCA630**.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- D536a Diógenes, Leandro da Silva.
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NO DISTRITO INDUSTRIAL DO MUNICÍPIO DE
MARACANAÚ. / Leandro da Silva Diógenes. - 2024.
66 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental,
Campus Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva .
1. Poluição Atmosférica. 2. Qualidade do ar. 3. Área Industrial. 4. Material Particulado. I. Título.
CDD 628
-

A Deus.

Aos meus pais e a todos os meus familiares e
amigos, especialmente a minha esposa
Nikaelly Pinheiro.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida. Por me manter firme e me proporcionar ser um homem forte, me dando seu discernimento e coragem para não desistir mediante os obstáculos da vida.

À minha família, em especial, ao meu pai Raimundo Diógenes e minha mãe Maria Alves, pelo incentivo e apoio ao longo de minha vida.

À minha esposa, Nikaelly Pinheiro, que esteve comigo em todos os momentos necessários no decorrer do processo.

Aos amigos e colegas de estudo, em especial aos que me acompanharam durante o mestrado, Lidianne, Sandro, Senira e Ana Patrícia, que vivenciaram comigo os desafios e me ajudaram a vencê-los; agradeço o carinho, o apoio, o acolhimento, a paciência, os conselhos, os ensinamentos e as palavras motivadoras.

Aos professores, que muito contribuíram com minha formação, agradeço os ensinamentos, as orientações, as lições de vida, os risos e a atenção. Vocês são verdadeiros mestres.

Ao meu orientador Adeildo Cabral, pela disponibilidade, paciência e por todas as orientações.

À Semace, pela parceria na construção desse estudo.

Ao programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental PGTGA, pelo incentivo a pesquisa.

Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso!
“Não se apavore, nem se desanime, pois o
Senhor, o seu Deus, estará com você por onde
você andar”.

Josué 1:9.

RESUMO

A poluição do ar é um problema que a sociedade civil enfrenta em todo o mundo, sendo prejudicial ao meio ambiente, a saúde ambiental e humana. Objetivou-se com este estudo, avaliar a qualidade do ar do período de 2019 e 2023 em um distrito industrial do município de Maracanaú, Ceará, Brasil. Trata-se de um estudo quantitativo com abordagem exploratória-descritiva. Esta pesquisa foi realizada através de uma parceria entre a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), Instituto Federal do Ceará – Campus Fortaleza (IFCE) e o Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental (LERCA), através de três etapas: escolha da área de estudo, coleta de indicadores relacionados à análise do ar e análise dos indicadores. Os resultados encontrados no episódio 1 (2019) com relação aos materiais particulados foi identificada uma concentração média de 28,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ e de 74,5 PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). A concentração média de ozônio no ar (O_3) foi de 40,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Acerca da concentração dos gases poluentes, foi encontrada uma concentração média de: monóxido de carbono (CO) 737 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; dióxido de nitrogênio (NO_2) 12,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; dióxido de enxofre (SO_2) 5,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Já a média da temperatura ambiente foi de 27,8°C. No episódio 2 (2023) em relação aos materiais particulados, observou-se uma concentração média de 7,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ e 40,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} . A concentração média de ozônio no ar (O_3) foi de 42,2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Quanto à concentração dos gases poluentes, verificou-se uma média de 0,606 ppm para Monóxido de Carbono (CO), 12,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para Dióxido de Nitrogênio (NO_2) e 5,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para Dióxido de Enxofre (SO_2). A temperatura ambiente apresentou uma média de 28,1°C. A qualidade do ar no distrito industrial de Maracanaú em praticamente todas as coletas realizadas em 2019 e 2023, evidenciou que as concentrações dos poluentes analisados, $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} , SO_2 , NO_2 , O_3 , CO e temperatura, mantiveram-se abaixo dos limites estabelecidos pelo CONAMA 491. O principal aspecto encontrado no episódio 1, referente ao ano de 2019, foi o $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} terem apresentado classificação “moderado” pelo Índice de Qualidade do Ar. Os demais parâmetros analisados (O_3 , CO, NO_2 , SO_2 e a temperatura °C do episódio 1 de 2019 a classificação do IQAr foi classificada em “boa”, estando dentro dos limites esperados para uma qualidade ar adequada. No que se refere ao episódio 2 de 2023 todos os parâmetros mantiveram-se abaixo dos limites estabelecidos pela legislação do CONAMA 491.

Palavras-chaves: Poluição Atmosférica. Qualidade do ar. Área Industrial. Material Particulado.

ABSTRACT

Air pollution is a problem faced by civil society all over the world and is harmful to the environment, environmental and human health. The aim of this study was to assess air quality between 2019 and 2023 in an industrial district in the municipality of Maracanaú, Ceará, Brazil. This is a quantitative study with an exploratory-descriptive approach. This research was carried out through a partnership between the State Superintendence of the Environment (SEMACE), the Federal Institute of Ceará - Fortaleza Campus (IFCE) and the Laboratory of Renewable Energies and Environmental Comfort (LERCA), through three stages: choosing the study area, collecting indicators related to air analysis and analyzing the indicators. The results found in episode 1 (2019) with regard to particulate matter identified an average concentration of $28.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of $\text{PM}_{2.5}$ and $74.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of PM_{10} . The average concentration of ozone in the air (O_3) was $40.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. With regard to the concentration of pollutant gases, an average concentration was found of: carbon monoxide (CO) $737 \mu\text{g}/\text{m}^3$; nitrogen dioxide (NO_2) $12.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; sulphur dioxide (SO_2) $5.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The average ambient temperature was 27.8°C . In episode 2 (2023), the average concentration of particulate matter was $7.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of $\text{PM}_{2.5}$ and $40.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of PM_{10} . The average concentration of ozone in the air (O_3) was $42.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As for the concentration of pollutant gases, there was an average of 0.606 ppm for Carbon Monoxide (CO), $12.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for Nitrogen Dioxide (NO_2) and $5.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for Sulphur Dioxide (SO_2). The air quality in the industrial district of Maracanaú in practically all the samples taken in 2019 and 2023 showed that the concentrations of the pollutants analyzed, $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , O_3 , CO and temperature, remained below the limits established by CONAMA 491. The main aspect found in episode 1, referring to 2019, was that $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} were classified as “moderate” by the Air Quality Index. The other parameters analyzed (O_3 , CO, NO_2 , SO_2 and temperature $^\circ\text{C}$ in episode 1 of 2019) were classified as “good” by the AIRQI, within the expected limits for adequate air quality. With regard to episode 2 of 2023, all the parameters remained below the limits established by the CONAMA 491 legislation.

Keywords: Air Pollution. Air quality. Industrial area. Particulate Matter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 —	Camadas da atmosfera.....	23
Figura 2 —	Doenças ocasionadas pela poluição do ar.....	29
Figura 3 —	Etapa do Estudo.....	31
Figura 4 —	Localização da área do monitoramento do estudo.....	32
Figura 5 —	Estação de Monitoramento do Ar móvel, “UM – Parque Alto Alegre”.....	33
Figura 6 —	Controle Interno da Estação de Monitoramento do Ar, instrumentação específica onde a amostra é analisada em tempo real.....	33
Figura 7 —	Equipamento responsável pela análise das amostras em tempo real.....	33
Figura 8 —	Equipamentos da estação para monitoramento de poluentes atmosféricos.	34
Figura 9 —	Equipamentos da estação para monitoramento do material particulado.....	34
Figura 10 —	Análise dos valores de MP2,5 em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019/por dia.....	36
Figura 11 —	Análise dos valores de MP10em um Distrito Industrial do município de Maracanaú- Episódio 1 – 2019/por dia.....	36
Figura 12 —	Análise dos valores de O3em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019/por dia.....	37
Figura 13 —	Análise dos valores de CO em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019/por dia.....	37
Figura 14 —	Análise dos valores de NO2em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019/por dia.....	38
Figura 15 —	Análise dos valores de SO2em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019/por dia.....	38
Figura 16 —	Análise dos valores de temperatura em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019/por dia.....	39

Figura 17 —	Média do parâmetro $PM_{2,5}$ relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 1 - 2019).....	40
Figura 18 —	Média do parâmetro PM_{10} relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 1 - 2019).....	41
Figura 19 —	Média do parâmetro O_3 relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 1 - 2019).....	41
Figura 20 —	Média do parâmetro CO relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 1 - 2019).....	42
Figura 21 —	Média do parâmetro NO_2 relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 1 - 2019).....	42
Figura 22 —	Média do parâmetro SO_2 relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 1 - 2019).....	43
Figura 23 —	Média da Temperatura relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 1 - 2019).....	43
Figura 24 —	Análise dos valores de $MP_{2,5}$ em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 2 – 2023/por dia.....	44
Figura 25 —	Análise dos valores de MP_{10} em uma área industrial na cidade de Maracanaú Episódio 2 – 2023/por dia.....	45
Figura 26 —	Análise dos valores de O_3 em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 2 – 2023/por dia.....	45
Figura 27 —	Análise dos valores de CO em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 2 – 2023/por dia.....	46
Figura 28 —	Análise dos valores de NO_2 em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 2 – 2023/por dia.....	46
Figura 29 —	Análise dos valores de SO_2 em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 2 – 2023/por dia.....	47

Figura 30 —	Análise dos valores de temperatura em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - 2 – 2023/por dia.....	47
Figura 31 —	Média do parâmetro PM _{2,5} relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 2 – 2023).....	49
Figura 32 —	Média do parâmetro PM ₁₀ relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 2 – 2023).....	49
Figura 33 —	Média do parâmetro O ₃ relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 2 – 2023).....	50
Figura 34 —	Média do parâmetro CO relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 2 – 2023).....	50
Figura 35 —	Média do parâmetro NO ₂ relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 2 – 2023).....	51
Figura 36 —	Média do parâmetro SO ₂ relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 2 – 2023).....	51
Figura 37 —	Média da Temperatura relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - (Episódio 2 – 2023).....	52
Figura 38 —	Comparação dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.....	53
Figura 39 —	Comparação dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.....	54
Figura 40 —	Comparação dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.....	54

Figura 41 —	Comparação dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.....	55
Figura 42 —	Comparação dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.....	55
Figura 43 —	Comparação dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.....	56
Figura 44 —	Análise de dispersão do MP2,5 em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.....	57
Figura 45 —	Análise de dispersão do MP10em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.	58
Figura 46 —	Análise de dispersão do O3em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.....	58
Figura 47 —	Análise de dispersão do CO em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.	59
Figura 48 —	Análise de dispersão do NO2em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.	59
Figura 49 —	Análise de dispersão do SO2em um Distrito Industrial do município de Maracanaú -- Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.....	60
Figura 50 —	Análise de dispersão da temperatura do ambiente em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 —	Projeção de temperatura da superfície global para 2100 (°C).....	21
Tabela 2 —	Aumento da temperatura por biomas (anos) (°C).....	21
Tabela 3 —	Variação da precipitação por Biomas.....	22
Tabela 4 —	Diretrizes de qualidade do ar e metas provisórias para todos os poluentes pela OMS.	26
Tabela 5 —	Medidas de tendência central e dispersão dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em uma área industrial na cidade de Maracanaú (Episódio 1 – 2019*).....	40
Tabela 6 —	Medidas de tendência central e dispersão dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em uma área industrial na cidade de Maracanaú (Episódio 2–2023*).....	48
Tabela 7 —	Classificação do ÍQAR dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em uma área industrial na cidade de Maracanaú (Episódio 1 – 2019 X Episódio 2 – 2023).....	52
Tabela 8 —	Comparação entre as concentrações médias dos parâmetros do Episódio 1 – 2019 e do Episódio 2 – 2023.....	53

LISTA DE SIGLAS

CO	Monóxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
GEE	Gases causadores do efeito estufa
GT1	Grupo de Trabalho I
GT2	Grupo de Trabalho II
GT3	Grupo de Trabalho III
IARC	Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IQAR	Índice de Qualidade do Ar
LERCA	Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental
MCTI	Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovação
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
O ₃	Ozônio
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OMS	Organização Mundial da Saúde
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PM	Material particulado
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPBV	Parte por bilhão em volume
PPMV	Parte por milhão em volume
RAN1	1º Relatório de Avaliação Nacional
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SO ₂	Dióxido de enxofre
SRES	Special Report Emission Scenarios

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. Objetivo geral	18
2.2. Objetivos específicos	18
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1. Aspectos gerais sobre o clima.....	19
3.1.1. Cenário Mundial.....	19
3.1.2. Cenário Nacional.....	20
3.2. Poluição atmosférica e gases poluentes	22
3.3. Qualidade do ar	25
3.3.1. Diretriz mundial de Qualidade do Ar.....	25
3.3.2. Padrão Nacional	26
3.4. Poluição do ar e impactos na saúde	27
4. MATERIAL E MÉTODO.....	30
4.1. Tipo de estudo.....	30
4.2. Etapas do estudo	30
4.3. Local do estudo.....	31
4.4. Período do estudo.....	32
4.5. Equipamentos utilizados	32
4.6. Análise dos dados	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
6. CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS.....	64
APÊNDICES.....	68
ANEXOS.....	72

1. INTRODUÇÃO

A poluição do ar é um problema que a sociedade civil enfrenta em todo o mundo. Contudo, os grandes centros urbanos com maior queima de combustíveis fósseis e atividade industrial são os mais afetados pela deterioração da qualidade do ar. Especificamente, muitos estudos mostram que a degradação do ar é prejudicial ao meio ambiente, a saúde ambiental e humana. As hospitalizações e as mortes estão aumentando devido a doenças cardíacas e respiratórias (KARIMI; SHOKRINEZHAD; SAMADI, 2019).

Nas áreas centrais das grandes cidades, a poluição atmosférica tornou-se uma das mais graves ameaças à qualidade de vida dos residentes. Principalmente carros com motor a diesel e a gasolina são as principais fontes desta poluição em quase todas as partes do mundo. As emissões deste tipo de transporte podem transmitir uma variedade de substâncias tóxicas que podem ter diversos impactos negativos no meio ambiente e na saúde de todos os seres vivos (SILVA, 2010).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) a contaminação do ar, juntamente com as mudanças climáticas, é considerada uma das principais ameaças ambientais à saúde humana. Estima-se que a poluição do ar mate cerca de sete milhões de pessoas a cada ano, sendo as populações de países de baixa e média renda as mais afetadas (WHO, 2018, 2021).

Os principais poluentes atmosféricos incluem monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃) e material particulado (PM). Esses poluentes podem ter origem natural (vulcões, poeira do solo, incêndios florestais, etc.) e de origem antrópicas relacionadas às atividades humanas. As atividades antrópicas podem ser divididas em duas categorias; estacionárias (chaminés, instalações industriais, fábricas e etc.) ou móveis (carros, aviões, caminhões, navios e etc.) (SQUIZZATO, 2022).

Em 2010, a poluição do ar matou 3,1 milhões de pessoas em todo o mundo, representando 5,9% de todas as mortes naquele ano. Alguns anos depois, foi listado como cancerígeno humano pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC). Assim, a poluição do ar parece ser um importante contribuinte para o desenvolvimento e exacerbação de doenças respiratórias, como asma, doença pulmonar obstrutiva crônica e câncer de pulmão, e tem um grande impacto nas doenças cardiovasculares em todo o mundo (MENDES et al., 2017).

Segundo a Resolução nº 03/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a poluição do ar é definida como qualquer substância ou forma de energia cuja força, concentração, tempo ou características possam tornar o ar impróprio, prejudicial à saúde, ao bem-estar geral, aos materiais, fauna e flora, ou à segurança, uso e gozo da propriedade e à qualidade de vida da sociedade (BRASIL, 1990).

Conforme a CONAMA nº 03/1990 os padrões de qualidade do ar são divididos em padrões primários e secundários. Os padrões primários se referem às concentrações de poluentes que, se ultrapassadas, podem afetar a saúde da população. No que refere aos padrões secundários são as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. O padrão secundário se refere aos níveis desejados de concentração de poluentes constituindo-se em meta de longo prazo. (BRASIL, 1990).

Diante do exposto é importante destacar que a avaliação dos níveis e/ou indicadores de poluição atmosférica é um estudo necessário para compreender o impacto dessas alterações antrópicas sobre a qualidade de vida dos residentes em ambientes industriais e urbanos. Com base nos dados gerados por esse estudo acredita-se que poderá ser possível criar conhecimentos que possam facilitar o desenvolvimento ou mudança de políticas públicas que possam mitigar esses problemas ambientais e promover melhorias no bem-estar social.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar a qualidade do ar do período de 2019 e 2023 em um Distrito Industrial no Município de Maracanaú, Ceará, Brasil.

Objetivos Específicos

Realizar um estudo comparativo entre as normatizações de padronização de qualidade do ar do Brasil;

Avaliar as concentrações de material particulado ($MP_{2,5}$, MP_{10}), poluentes gasosos (O_3 , CO , NO_2 e SO_2) e temperatura do ar;

Avaliar a situação de conformidade dos níveis de concentração dos poluentes com valores estabelecidos pelos Padrões de Qualidade do Ar de acordo com a Resolução CONAMA 491.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Aspectos Gerais sobre o Clima

3.1.1 Cenário mundial

O processo de industrialização, a partir das emissões antrópicas de gases causadores do efeito estufa, desencadearam um processo gradual de aquecimento global e mudança climática com impactos diretos nos ecossistemas existentes no planeta Terra. Tais mudanças requerem o enfrentamento pelo homem em curto prazo, visto a magnitude dos efeitos com potencial negativo previstos (IPCC, 2007; 2013; 2014).

O efeito estufa caracteriza-se como um fenômeno natural ocasionado pela presença de gases na atmosfera dificulta parte da energia solar que chega ao planeta possa retornar ao espaço. Esse feito permite que a temperatura no planeta Terra, em média, próxima de 14°C, caso contrário seria próximo aos 18°C negativos, sendo dessa forma, um fenômeno natural e possibilitando a existência de vida humana na Terra (BRASIL, 2018).

O clima no planeta se mantém equilibrado quando a quantidade de energia solar recebida e refletida pela Terra se mantém balanceado. No entanto, esse equilíbrio sobre alteração de acordo com a quantidade de energia emitida pelo Sol, pela mudança na órbita da Terra ou do Sol, pela quantidade de energia que é refletida de volta ao espaço e por fim, devido às mudanças na concentração de poluentes na atmosfera.

No final da década de 1980, conforme as pesquisas evidenciavam que o aquecimento global e os processos de mudança climática se acentuavam, surgiram as primeiras organizações instruídas a estudar e entender especificamente tais acontecimentos.

Dessa maneira, foi criado em 1988, pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês) com o objetivo de colaborar com a elucidação dos fatos sobre o estado em que as mudanças estavam ocorrendo e seus impactos na esfera ambiental, econômica e social (IPCC, 2018).

A temperatura média no planeta Terra persistirá a subir caso não ocorram mudanças para mitigar o processo. Nesta perspectiva, o IPCC (2000) apresentou o Special Report Emission Scenarios com os possíveis cenários para o aquecimento global até o final do século XXI, apresentando como base os níveis de emissão de GEE pelo homem, onde a temperatura média global poderá aumentar entre 1.1°C e 6.4°C até o ano

de 2100. Os níveis de emissões de GEE foram alicerçados em simulações considerando o desenvolvimento econômico, tendências em mudanças tecnológicas e reestruturação econômica global. Os cenários são relevantes, pois fornecem dados imprescindíveis para as simulações dos impactos ambientais e avaliações de suas consequências, permitindo que haja a adoção de estratégias de adaptação e mitigação aos efeitos das mudanças climáticas.

As simulações dos cenários culminaram no total de quatro grupos (A1, A2, B1 e B2) e foram estabelecidos no Special Report Emission Scenarios (SRES). O cenário A1 abrange um mundo com rápida introdução de tecnologias eficientes e crescimento econômico, com população mundial atingindo seu auge em meados do século XXI. Este cenário por sua vez, se subdivide em três: A1FI, baseado em combustíveis fósseis; A1T, baseado em combustíveis não fósseis; e A1B não dependente de uma fonte específica de combustível.

O cenário A2 volta-se para um mundo heterogêneo, população crescente, era tecnológica avançada e crescimento econômico lento e fragmentado.

No que se refere ao cenário B1, este aborda um mundo mais homogêneo, com população atingindo seu auge também em meados do século XXI, com a presença de tecnologias limpas orientadas para a solução de problemas sociais e ambientais (sem ênfase nas mudanças climáticas) e com a economia sustentada no setor de informação e de serviços.

E por fim, o cenário B2, consiste em um mundo orientado para o “local”, com continuidade no crescimento populacional, mas ainda abaixo do cenário A2, e com níveis de crescimento econômico de modo intermediário e de mudança tecnológica lenta (abaixo dos cenários A1 e B1).

3.1.2 Cenário Nacional

Com intuito de avaliar as mudanças climáticas no Brasil, foi instituído em 2009, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), órgão vinculado aos Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e do Meio Ambiente (MMA) (TANURE, 2020).

Este painel, o PBMC, produziu em 2014 o 1º Relatório de Avaliação Nacional (RAN1), sendo o documento constituído por três volumes, cada um relacionado a seu respectivo grupo de trabalho. O Grupo de Trabalho I (GT1) aborda as Bases Científicas das Mudanças Climáticas, o Grupo de Trabalho II (GT2) discute as questões inerentes aos impactos, vulnerabilidade e a adaptação às Mudanças Climáticas e o Grupo de

Trabalho III (GT3) traz questões relacionadas à mitigação (PMBC, 2014), conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Projeção de temperatura da superfície global para 2100 (°C).

Cenários	Estimativa provável	Amplitude
Concentrações constantes ao nível de 2000	0.6	0.3 - 0.9
B1	1.8	1.1 - 2.9
A1T	2.4	1.4 - 3.8
B2	2.4	1.4 - 3.8
A1B	2.8	1.7 - 4.4
A2	3.4	2.0 - 5.4
A1FI	4	2.4 - 6.4

Fonte: IPCC (2000).

Os resultados projetados sobre as Mudanças Climáticas para o Brasil revelam uma ampliação de oscilação de +40% a -50% na precipitação e de 0,5°C a 5,5°C na temperatura, ambos em relação aos níveis observados no final do século passado. Outro dado projetado é a alta probabilidade da ocorrência de eventos extremos de secas e estiagens, principalmente nos biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga (PMBC, 2014), de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Aumento da temperatura por biomas (anos) (°C).

Bioma / Períodos	2011 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100
Amazônia	1 - 1,5	3 - 3,5	5 - 6
Caatinga	0,5 - 1	1,5 - 2,5	3,5 - 4,5
Cerrado	1	3 - 3,5	5 - 5,5
Pantanal	1	2,5 - 3	3,5 - 4,5
Mata Atlântica (NE)	0,5 - 1	2 - 3	3 - 4
Mata Atlântica (S/SE)	0,5 - 1	1,5 - 2	2,5 - 3
Pampa	1	1 - 1,5	2,5 - 3

Fonte: Tanure, (2020).

As regiões Norte e Nordeste, por estarem localizadas em latitudes mais baixas, tornam-se mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas e por isso as projeções tornam-se mais preocupantes para os biomas Amazônia, Caatinga e Cerrado. Conforme verificado na Tabela 3, ambos os biomas apresentam tendências de aumento de temperatura e redução da precipitação maior que a média dos outros biomas (PMBC, 2014).

Segundo o PBMC (2014), as mudanças climáticas ocorrem pelo o aumento da temperatura dos oceanos Pacífico e Atlântico, com efeitos sobre os regimes de ventos que induzem a diminuição no transporte de umidade sobre o Brasil tropical, o que

corroborar para a inibição da formação de nuvens e, conseqüentemente, contribuindo para a redução nos níveis de precipitação, conforme explanado na Tabela 3.

Tabela 3 - Variação da precipitação por Biomas.

Bioma / Períodos	2011 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100
Amazônia	-10	-25 / -30	-40 / -45
Caatinga	-10 / -20	-25 / -35	-40 / -50
Cerrado	-10 / -20	-20 / -35	-35 / -45
Pantanal	-5 / -15	-10 / -25	-35 / -45
Mata Atlântica (NE)	-10	-20 / -25	-30 / -35
Mata Atlântica (S/SE)	+5 / +10	+15 / +20	+25 / +30
Pampa	+5 / +10	+15 / +20	+35 / +40

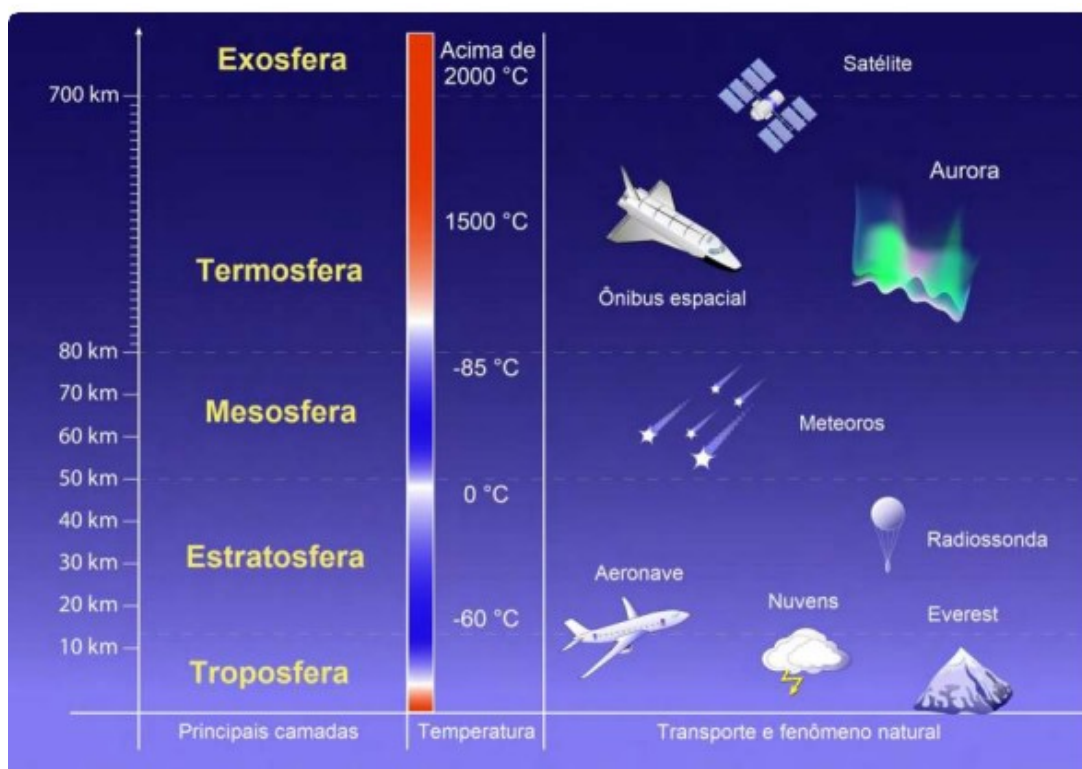
Fonte: Tanure, (2020).

3.2 Poluição Atmosférica e Gases poluentes.

A poluição atmosférica trata-se de uma questão urbana enfrentada em vários lugares, onde cada vez mais as evidências revelam ligações entre a poluição e os riscos para a saúde humana (LURIE et al., 2019). As conseqüências da poluição do ar na saúde são preocupantes, devido ao elevado risco de exposição, mesmo que em concentrações relativamente baixas de poluentes atmosféricos (KIM; KABIR; KABIR, 2015). Diante disso, os estudos evidenciaram associações entre a poluição do ar por partículas inaláveis e gases poluentes e os riscos para a saúde humana (ZHÃO et al., 2018).

Diante do exposto, vale salientar que a atmosfera é dividida em camadas (Figura 1) e sua composição, possui vários gases, possuindo proporções médias razoavelmente constantes, tanto em posições horizontais e verticais diferentes quanto em momentos diferentes, sendo esses os seus constituintes naturais, ou seja, deste modo, nem todo gás presente na atmosfera pode ser considerado um poluente (Colls, 2002).

Figura 1 – Camadas da atmosfera.



Fonte: Watts (2018).

A estrutura dos gases encontrados na atmosfera é essencialmente constante entre os gases denominados majoritários como o nitrogênio (78%), oxigênio (21%) e argônio (0,93%). (Warneck et al., 1998; Finlayson-Pitts et al., 2000; Wallace et al., 2006). No Quadro 1, pode-se encontrar as proporções dos gases que estão presentes em concentrações de cerca e acima de 1ppm.

Quadro 1 - Principais constituintes gasosos da atmosfera da Terra.

Constituinte	Peso Molecular	Concentração
Nitrogênio (N ₂)	28,01	78,8%
Oxigênio	32	20,95%
Argônio (Ar)	39,95	0,93%
Vapor de Água	18,02	0-5%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	44,01	380 ppmv ¹
Neônio (Ne)	20,8	18 ppmv*
Hélio (He)	4,00	5 ppmv
Metano (CH ₄)	16,04	1,75 ppmv

Criptônio (Kr)	83,80	1 ppmv
Hidrogênio (H ₂)	2,02	0,5 ppmv
Óxido Nitroso (N ₂ O)	56,03	0,3 ppmv
Ozônio (O ₃)	48,00	0-01 ppmv

*ppmv (parte por milhão em volume).

Fonte: Adaptado de Wallace et al. (2006).

As fontes de emissões gasosas antrópicas e naturais favorecem para que diversas espécies químicas para efeitos adversos à saúde e, portanto, tenham a necessidade de serem regulamentados. Os fatores que são determinantes para a definição do gás como um poluente atmosférico são suas características químicas, sua concentração e a sua localização nas camadas atmosféricas. Os principais gases presentes no meio urbano e de interesse para os estudos de poluição do ar, são o CO, NO_x, O₃, HC e o SO₂. Especialmente, O₃ e o NO₂ destacam-se por serem os principais componentes da poluição fotoquímica, que resultam de reações químicas entre NO_x e COV's na presença de luz solar (Metcalf et al., 2005; Seigneur, 2019). O Quadro 2 descreve a concentração desses gases (ambientes de ar limpo versus ar contaminado).

Quadro 2 - Concentração de gases traço na atmosfera.

Poluentes	Concentração (ppbv1*)	
	Ar limpo	Ar contaminado
CO	120	1.000-10.000
NO ₂	0,1- 0,5	50 – 250
NO	0,01-0,05	50-750
O ₃	20-80	100-500
SO ₂	1-10	20-200

*1ppbv (parte por bilhão em volume).

Fonte: Adaptado de Wallace et al. (2006).

Pode-se classificar os poluentes atmosféricos de duas maneiras: poluentes primários e poluentes secundários. Os poluentes primários são ocasionados a partir de emissões diretamente das fontes emissoras (CO, SO₂, NO_x, etc). Na região de baixa atmosfera, esses poluentes podem sofrer alterações e reações fotoquímicas, produzindo os poluentes denominados secundários. Levando em consideração que a produção de

poluentes secundários, como o ozônio, exige certo espaço de tempo e ocorrem com a mecânica da movimentação das massas de ar, é regular que concentrações altas destes atinjam áreas mais afastadas das fontes de emissão que os poluentes primários (Loureiro, 2005).

Ao serem lançados na atmosfera, os poluentes primários passam por processos complexos em seu transporte, na mistura e transformação química, ocasionado o desenvolvimento de uma distribuição variável das suas concentrações na atmosfera, tanto no espaço como no tempo. As variáveis que mais influenciam as distribuições de concentração na atmosfera, são as condições de emissão e as meteorológicas (umidade, temperatura, direção e velocidade dos ventos), no sentido em que podem ser transportados a grandes distâncias antes de atingirem a superfície do solo (Tundo et al., 2007).

3.3 Qualidade do Ar

3.3.1 Diretriz Mundial de Qualidade do Ar

A Organização Mundial da Saúde estabelece diretrizes imprescindíveis para qualidade do ar, demonstra que a poluição da atmosfera é a maior ameaça ambiental à saúde humana. O objetivo principal das diretrizes baseia-se em fornecer recomendações para a qualidade do ar, documentadas e expressas como concentrações de longo ou curto prazo de uma série de poluentes atmosféricos importantes. Essas diretrizes não são normas juridicamente vinculativas, elas fornecem aos países um instrumento que pode fomentar legislações, políticas públicas e o desenvolvimento de padrões de qualidade do ar.

Em última análise, o objetivo é fornecer orientação para auxiliar a redução dos níveis de poluentes do ar e amenizar a enorme carga de atendimentos em saúde a nível mundial, resultantes da exposição à poluição do ar. A Tabela 4 informa os níveis recomendados pelas diretrizes de qualidade do ar e metas provisórias para todos os poluentes.

Tabela 4 - Diretrizes de qualidade do ar e metas provisórias para todos os poluentes pela OMS.

Poluentes	Período de referência	Meta intermediária				Valores-guias
		1	2	3	4	
MP_{2,5}, µg/m³	Anual	35	25	15	10	5
	24 horas ^a	75	50	37,5	25	15
MP₁₀, µg/m³	Anual	70	50	30	20	15
	24 horas ^a	150	100	75	50	45
O₃, µg/m³	Alta temporada ^b	100	70	-	-	60
	8 horas ^a	160	120	-	-	100
NO₂, µg/m³	Anual	40	30	20	-	10
	24 horas ^a	120	50	-	-	25
SO₂, µg/m³	24 horas ^a	125	50	-	-	40
CO, mg/m³	24 horas ^a	7	-	-	-	4

^a 99º percentil (ou seja, 3-4 dias excedendo a meta por ano).

^b Média aritmética da concentração média diária máxima de O₃ em 8 horas nos 6 meses consecutivos com o maior concentração média de O₃ (média móvel de 6 meses)

Fonte: OMS (2021).

3.3.2 Padrão Nacional

No Brasil, final da década de 80, especificamente em 1989, foi apresentado pela primeira vez uma preocupação com a questão da qualidade do ar, essa preocupação revelou-se por meio da criação do Programa Nacional de Qualidade do Ar (PRONAR), estabelecendo o monitoramento como uma atribuição dos Estados. No ano seguinte foi divulgado o primeiro dispositivo legal decorrente do PRONAR, com o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) estabelecendo os padrões de qualidade do ar, que foram definidos e aprovados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 03, de 28 de junho de 1990 (Brasil, 1990).

A Resolução 03/90, estabelece dois tipos de padrões de qualidade do ar, definindo-os em primários e secundários:

- Padrões Primários: são as concentrações de poluentes que, se ultrapassadas, poderão comprometer a saúde humana;

- **Padrões Secundários:** são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, bem como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

De acordo com a Resolução do CONAMA nº 491 de 2018 (BRASIL, 2018), não há dados pré-determinados para adotar para cada alvo provisório e nem valores finais para $MP_{2,5}$, MP_{10} , O_3 , NO_2 e SO_2 , e os órgãos ambientais de cada Estado e o Distrito Federal devem elaborar um plano para controlar as emissões de poluentes, considerando o indivíduo, fontes de emissão, características geográficas e os padrões nacionais. A resolução também estabelece que o Ministério do Meio Ambiente e os órgãos ambientais de cada Estado e o Distrito Federal, devem desenvolver e estabelecer um guia com métodos de referência para determinar as concentrações de poluentes e calcular os Índices de Qualidade do Ar (IQAR), usando os principais poluentes ($MP_{2,5}$, MP_{10} , O_3 , NO_2 e SO_2 e CO).

3.4 Poluição do ar e impactos na Saúde

Os poluentes atmosféricos, resultantes das atividades humanas e industriais, necessitam que passem por processo de monitoramento, especificadamente, da qualidade do ar, onde a partir da mensuração das concentrações de tais poluentes é possível gerar dados sobre as condições atuais da qualidade do ar e detalhar o histórico de dados permitindo o planejamento de ações e políticas públicas no sentido de assegurar a boa qualidade do ar (VORMITTAGE et al., 2021).

Dados históricos revelam que extremos de poluição do ar - como o nevoeiro que cobriu a cidade de Londres em 1952 que culminou em 12 mil óbitos (BELL; DAVIS, 2001) - despertaram gestores públicos para a preocupação com as consequências da poluição do ar para a saúde humana, levando-os ao desenvolvimento de políticas e legislações relevantes, como a lei federal americana - o Clean Air Act, em 1963 (EPA, 1990).

Os dados do Brasil revelam que em 1989 o Conselho Nacional do Meio Ambiente criou o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (PRONAR). Esse programa trata-se de um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para “proteção da saúde e bem-estar das populações com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura...”.

Os estudos epidemiológicos de monitoramento, desenvolvidos nas décadas de 1980 e 1990 (Dockery et al., 1993; Pope et al., 1995; Saldiva, 1995) evidenciaram acerca dos efeitos adversos para a saúde humana, culminando assim, no desenvolvimento do Guia de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2006). A publicação estabeleceu os limites de segurança de exposição aos poluentes tóxicos para a maior parte da população - a base para os padrões de qualidade do ar - importante instrumento de gestão de riscos e política ambiental.

Entende-se por exposição humana como o evento em que um indivíduo tem contato com um poluente tóxico em certa concentração e durante um determinado período de tempo. Pela ótica da saúde, então, os dados do monitoramento indicam se um local está coerente com os níveis de qualidade do ar considerados seguros em termos de exposição. Nesse sentido, a OMS recomendou o estabelecimento, por parte dos países, de uma rede de monitoramento de qualidade do ar e que a utilizassem para o planejamento urbano na prevenção de ocorrências em saúde pública (OMS, 2006).

Com isso, cabe grifar que o PRONAR estar coerente com as diretrizes da OMS ao estabelecer como meio principal a limitação dos níveis de emissão de poluentes de diversas fontes, com vistas a: a) uma melhoria na qualidade do ar; b) o atendimento aos padrões estabelecidos; e, c) o não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas.

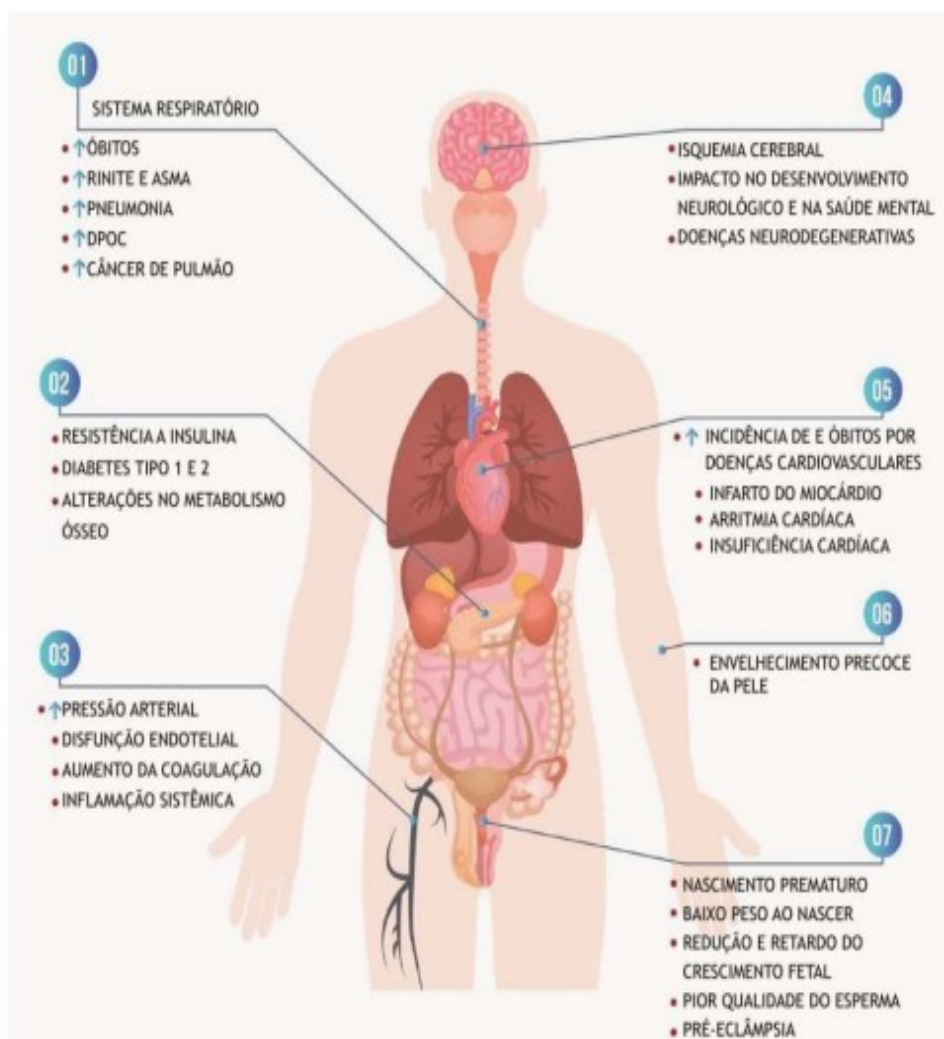
Assim, doravante ao exposto, ressalta-se que conforme OMS (2016) mais de 90% da população mundial apresenta exposição aos riscos da poluição do ar todos os dias, resultando em cerca de uma morte a cada dez (11,6% de todas as mortes a nível global), totalizando cinco milhões de mortes anuais e, dentre elas, 600 mil são em crianças.

Existe associação entre os danos gerados pelos poluentes particulados e gases, a depender do nível de concentração inalado pelo indivíduo, das defesas promovidas pelo sistema respiratório e da solubilidade (quando a variável é um gás), que podem ocasionar danos no organismo como inflamação e o estresse oxidativo, ativado por elementos reativos de oxigênio e nitrogênio, resultado do contato com os poluentes (SLY et al., 2019).

Outras pesquisas (GUARNIERI; BALMES, 2014; SCHARAUFNAGEL et al., 2019) relacionaram a redução da atividade de linfócitos e o incremento na produção da proteína IGE em indivíduos expostos a ambientes com o ar poluído, levando ao entendimento sobre ligação com patologias como a rinite e asma.

Os danos causados à saúde podem perpetuar por toda a vida, cabendo destaque as doenças pulmonares, cardiovasculares, acidentes vasculares cerebrais, a disposição ao câncer e ao diabetes, a demência em adultos, entre outros (ASSAF et al., 2019). Os dados mencionados podem ser visualizados conforme figura 2.

Figura 2 – Doenças ocasionadas pela poluição do ar.



Fonte: Peters et al. (2019) e Santos et al. (2021).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Tipo de estudo

Esse estudo foi realizado através de uma parceria entre a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), Instituto Federal do Ceará – Campus Fortaleza (IFCE) e o Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental (LERCA).

Trata-se de um estudo quantitativo com abordagem exploratória-descritiva. A pesquisa quantitativa é um método desenvolvido por meio da coleta sistemática de dados, que permite a utilização de técnicas estatísticas para descrever informações e opiniões (MARCONI, LAKATOS, 2010).

4.2 Etapas do estudo

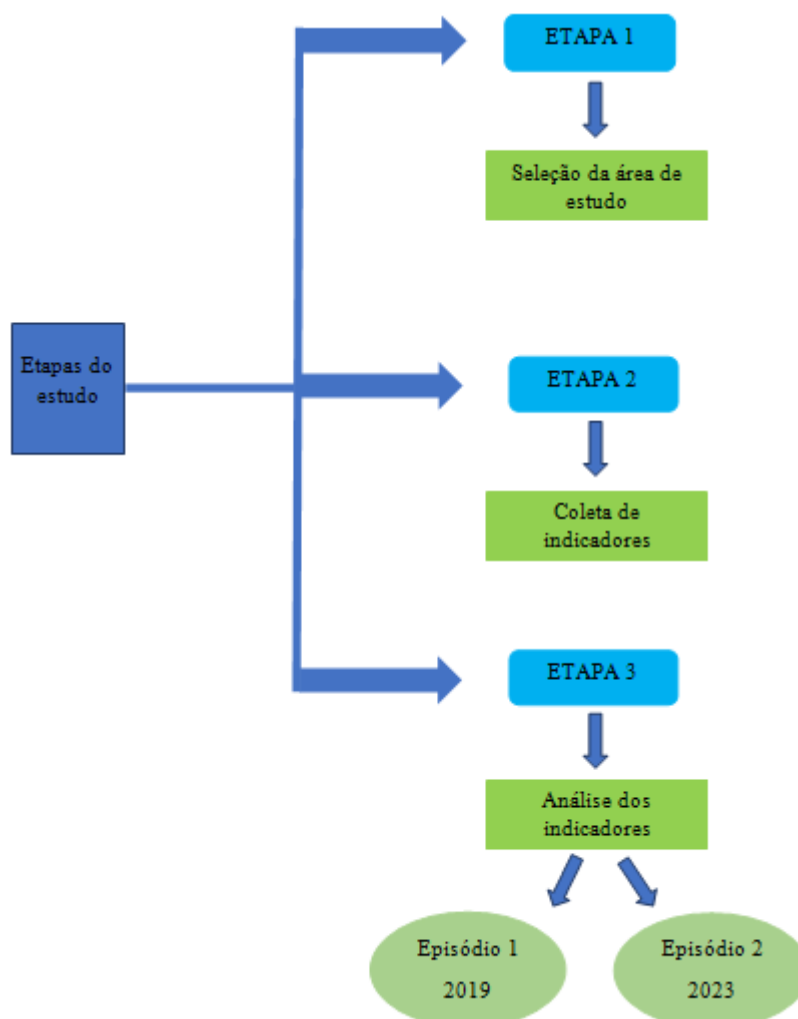
Essa pesquisa foi desenvolvida em de três etapas: escolha da área de estudo, coleta de indicadores relacionados à análise do ar e análise dos indicadores.

No que se refere à primeira etapa, escolheu-se a área de estudo no município de Maracanaú, Ceará (CE), região Metropolitana de Fortaleza. A área concentra um grande polo industrial e uma via com bastante fluxo de frota de fontes móveis poluidoras.

A segunda etapa trata-se da caracterização dos indicadores poluentes atmosféricos com base na fonte da estação móvel da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), subsequentemente, são comparados com base no Índice de Qualidade do Ar (IQAR).

A terceira etapa consistiu na análise dos indicadores obtidos do monitoramento, onde a partir destes resultados, os dados foram analisados de forma comparativa, visando correlacionar os episódios obtidos de 2019 e 2023. As etapas mencionadas estão esquematizadas na figura 3.

Figura 3 – Etapa do Estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.3 Local do estudo

O monitoramento da qualidade do ar foi realizado na região de Metropolitana de Fortaleza (CE), no município de Maracanaú, com área territorial de 105,071 km², população residente de 234.509 habitantes e densidade demográfica de 2.231,91 hab/km² (IBGE, 2021). O município fica 22,5 Km de Fortaleza, sob as coordenadas 3° 50'21"S (latitude) e 38° 36'08"W (longitude), conforme figura 4.

Figura 4 – Localização da área do monitoramento do estudo.



Fonte: Google Earth (2024).



No entorno da região onde foi realizado o monitoramento, trata-se de uma área de diversos setores industriais, supermercados e via de acesso principal, promovendo um grande fluxo de movimentação de pessoas e veículos.

4.4 Período do estudo

O período do estudo da coleta de dados ocorreu entre 13/09/2019 a 01/10/2019 e 17/07/2023 a 29/08/2023. Os dados foram extraídos da estação da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), trabalhados em planilha para elaboração dos gráficos das séries temporais.

4.5 Equipamentos utilizados

Para fins de coleta dos indicadores dos poluentes do ar, utilizou-se uma estação de monitoramento. Esta intitula-se de estação “UM - Parque Alto Alegre”, posicionada no Centro de Treinamento Ribamar Bezerra, do Fortaleza Esporte Clube, próximo ao 4º anel viário de Maracanaú e seus polos industriais. Possui como característica a mobilidade, ou seja, dispõe de condições de ser transportada sobre rodas para diferentes localidades.

A estação de monitoramento da SEMACE consiste de um gabinete à prova d'água providas de instrumentação específica onde a amostra é analisada em tempo real.

através de métodos óptico-eletrônicos e mede de forma automática e contínua, isto é, sem a necessidade de um observador presencial, conforme as figuras 5, 6, 7, 8 e 9.

Figura 5 – Estação de Monitoramento do Ar móvel, “UM – Parque Alto Alegre”.



Fonte: SEMACE (2023).

Figuras 6 – Controle Interno da Estação de Monitoramento do Ar, instrumentação específica onde a amostra é analisada em tempo real.



Fonte: Autor (2023).

Figuras 7 – Controle automático de Monitoramento do Ar, instrumentação onde a amostra é analisada em tempo real.



Fonte: Autor (2023).

Figura 8 – Equipamentos da estação para monitoramento de poluentes atmosféricos.



Fonte: Autor (2023).

Figuras 9 – Equipamentos da estação para monitoramento de poluentes atmosféricos.



Fonte: Autor (2023).

4.6 Análise dos dados

Para análise dos dados utilizou-se estatística descritiva por meio de medidas de tendência central e dispersão (média, mediana, valor máximo, valor mínimo e desvio padrão) dos parâmetros de $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , CO , NO_2 , SO_2 e Temperatura do ambiente. Foram gerados gráficos box plot para descrição das médias de cada um dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em uma área industrial na cidade de Maracanaú, tanto para o Episódio 1 – 2019 quanto para o Episódio 2 – 2023. A comparação de cada um dos parâmetros nos dois episódios foi realizada a partir de gráficos de dispersão. Realizou-se ainda a Classificação do ÍQAR dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em uma área industrial na cidade de Maracanaú, sendo categorizados como: boa, moderada, ruim, muito ruim e péssima (CONAMA, 1990).

A verificação da normalidade dos dados das médias de cada um desses parâmetros relativos ao Episódio 1 – 2019 e ao Episódio 2 – 2023 foi realizada a partir do teste de Shapiro Wilk. No caso de identificação de normalidade dos dados, foi aplicado o teste Teste t de Student para amostras dependentes. Para dados nos quais não

havia normalidade, aplicou-se o Teste de Wilcoxon para variáveis quantitativas. Adicionalmente foram apresentados os resultados referentes à dimensão do efeito a partir do d de Cohen e da correlação biseral de ordens.

A estatística de magnitude tamanho de efeito d de Cohen é usada para descrever a diferença média padronizada de um efeito juntamente com seu intervalo de confiança de 95%, sendo comumente interpretado em relação ao efeito como pequeno ($d=0,2$), médio ($d=0,5$) e alto ($d=0,8$) (LAKENS, 2013). Já a correlação biseral de ordens é utilizada para quantificar a linearidade da associação entre duas variáveis, sendo que para a sua interpretação, os valores próximos de 0 indicam fraca correlação linear, ao passo que os valores próximos de 1 ou -1 representam forte correlação linear (KORNBROT, 2005). Em todos os casos adotou-se um nível de significância de $p<0,05$. Todas as análises foram realizadas no *software* Jamovi, versão 2.3 (THE JAMOVIPROJECT, 2022).

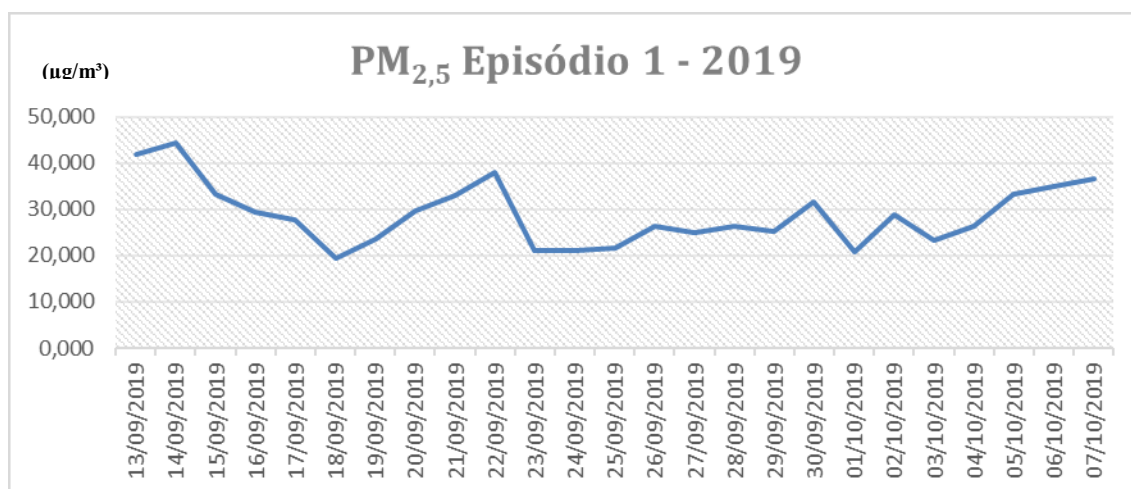
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Análise Descritiva

Episódio 1 - 2019

As figuras 10 a 16 apresentam respectivamente a concentração média por dia de $MP_{2,5}$, MP_{10} , O_3 , CO , NO_2 , SO_2 e Temperatura do ambiente em um Distrito Industrial no município de Maracanaú Episódio 1 – 2019.

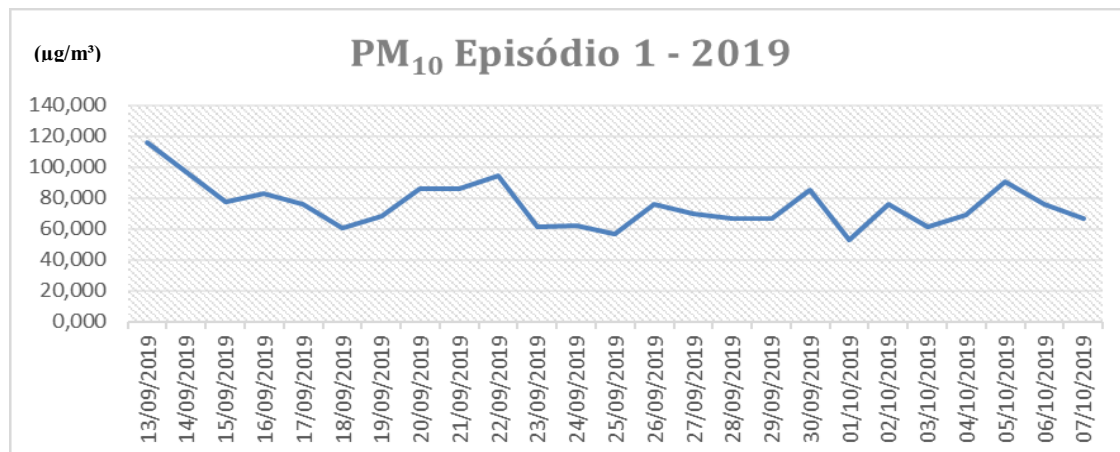
Figura 10 – Análise dos valores de $MP_{2,5}$ em um Distrito Industrial do município de Maracanaú Episódio 1 – 2019/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

Dados analisados: 556 - Média: 28,4 – (CONAMA 491/2018) – Fonte SEMACE					
Boa	Regular	Inadequada	Má	Péssima	Crítica
0 – 25	26 – 60	61 – 124	125 – 209	210 – 249	≥ 250

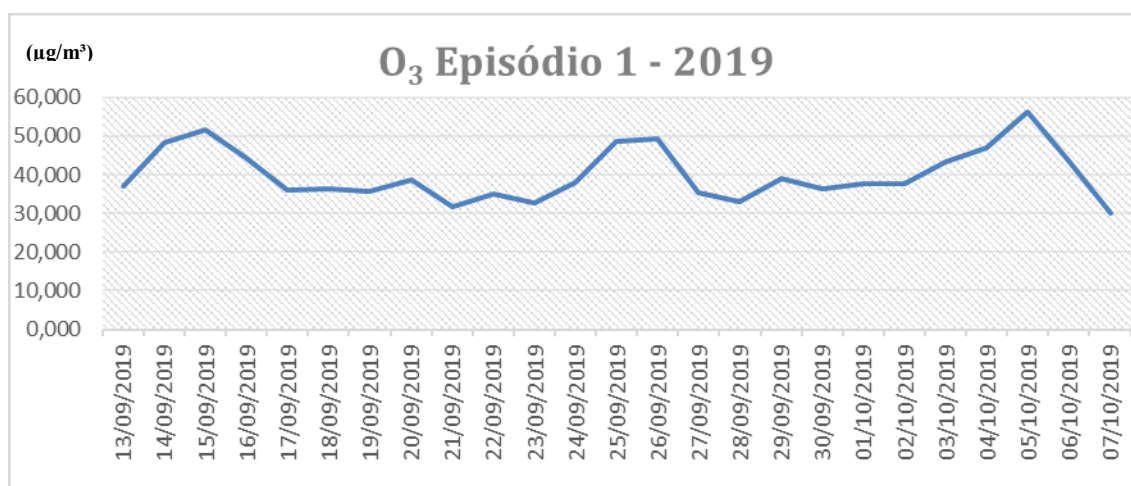
Figura 11 – Análise dos valores de MP_{10} em um Distrito Industrial do município de Maracanaú Episódio 1 – 2019/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

Dados analisados: 557 - Média: 74,5 – (CONAMA 491/2018) – Fonte SEMACE					
Boa	Regular	Inadequada	Má	Péssima	Crítica
0 – 50	51 – 120	121 – 249	250 – 419	420 – 499	≥ 500

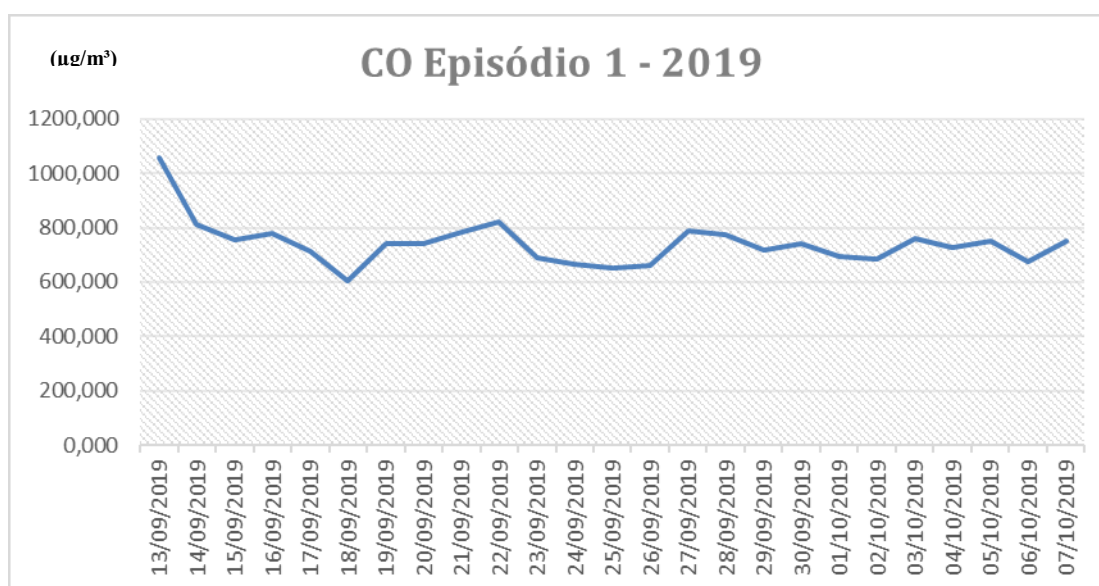
Figura 12 – Análise dos valores de O₃ em um Distrito Industrial do município de Maracanaú Episódio 1 – 2019/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

Dados analisados: 557 - Média: 40,4 – (CONAMA 491/2018) – Fonte SEMACE					
Boa	Regular	Inadequada	Má	Péssima	Crítica
0 – 100	101 – 140	141 – 199	200 – 399	400 – 599	≥ 600

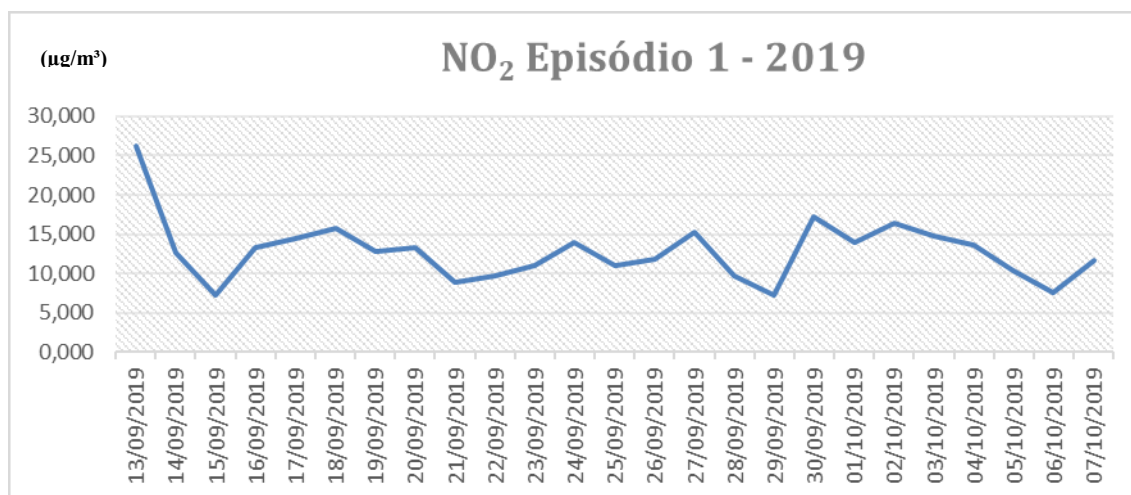
Figura 13 – Análise dos valores de CO em um Distrito Industrial do município de Maracanaú Episódio 1 – 2019/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

Dados analisados: 557	Média: 737 – (CONAMA 03/90)
Boa	
Até 10.000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	

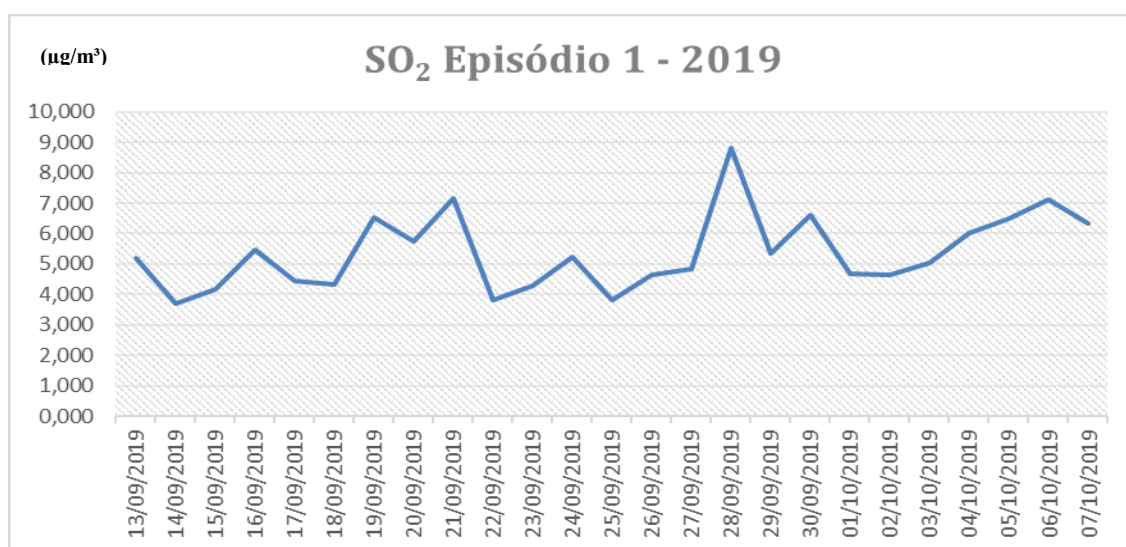
Figura 14 – Análise dos valores de NO_2 em um Distrito Industrial do município de Maracanaú Episódio 1 – 2019/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

Dados analisados: 557 - Média: 12,5 – (CONAMA 491/2018) – Fonte SEMACE					
Boa	Regular	Inadequada	Má	Péssima	Crítica
0 – 200	201 – 260	261 – 1129	1130 – 2259	2260 – 2999	≥ 3000

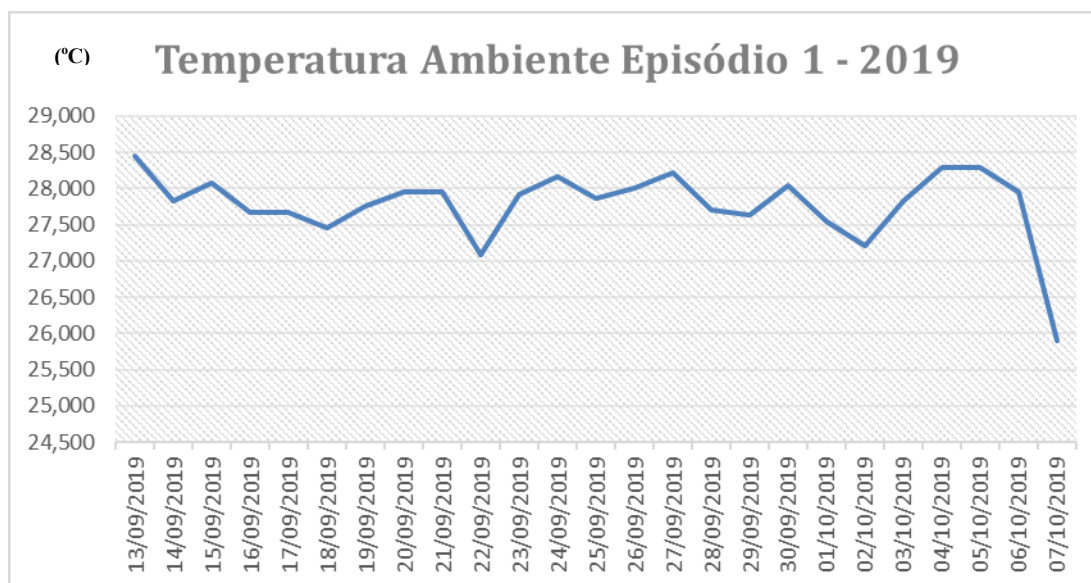
Figura 15 – Análise dos valores de SO_2 em um Distrito Industrial do município de Maracanaú Episódio 1 – 2019/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

Dados analisados: 557 - Média: 5,39 – (CONAMA 491/2018) – Fonte SEMACE					
Boa	Regular	Inadequada	Má	Péssima	Crítica
0 – 20	21 – 125	126 – 799	800 – 1599	1600 – 2099	≥ 2100

Figura 16 – Análise dos valores de temperatura em um Distrito Industrial do município de Maracanaú Episódio 1 – 2019/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

No estado do Ceará, o distrito industrial de Maracanaú, é responsável por cerca de R\$ 9,9 bilhões de reais, sendo que 53,2% do valor adicionado está relacionado aos serviços da indústria (33,4%) (IBGE, 2022). Nesse sentido, torna-se de suma relevância o monitoramento da qualidade do ar pelos órgãos públicos.

A qualidade do ar no distrito industrial de Maracanaú durante sete anos (1993 à 2000), no que se refere aos materiais particulados totais em suspensão e para o SO₂, apresentou-se como “boa” e “regular” (SILVA, 2010).

Para o episódio 1– 2019 foram considerados para fins de análise um total de 557 registros válidos para os parâmetros de PM₁₀ (µg/m³), O₃ (µg/m³), CO (µg/m³), NO₂ (µg/m³) e temperatura do ambiente (°C); 556 registros de PM_{2,5}; e 555 registros de SO₂ (µg/m³). Com relação aos materiais particulados foi identificada uma concentração média de 28,4 µg/m³ de PM_{2,5} e de 74,5 PM₁₀ (µg/m³). A concentração média de ozônio no ar (O₃) foi de 40,4 µg/m³. Acerca da concentração dos gases poluentes, foi encontrada uma concentração média de: monóxido de carbono (CO) 737 µg/m³; dióxido de

nitrogênio (NO_2) $12,5\mu\text{g}/\text{m}^3$; dióxido de enxofre (SO_2), $5,39\mu\text{g}/\text{m}^3$. Já a média da temperatura ambiente foi de $27,8^\circ\text{C}$ (Tabela 5).

Tabela 5 – Medidas de tendência central e dispersão dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial no município de Maracanaú (Episódio 1 – 2019*).

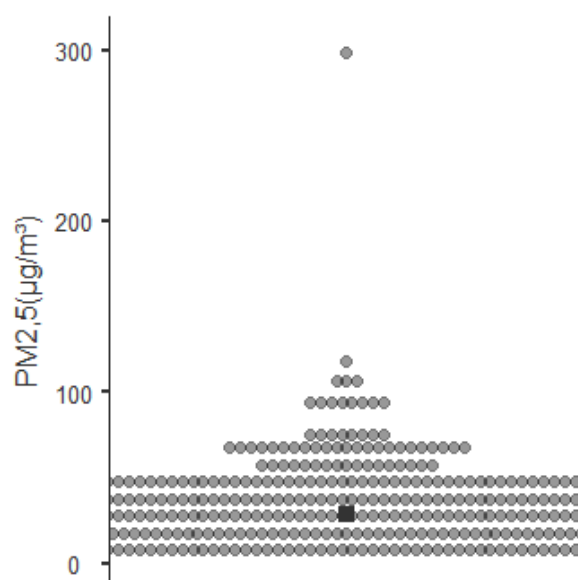
Parâmetros	Total	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
$\text{PM}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	556	28,4	23,0	299	3	23,0
PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	557	74,5	67	408	4	49,9
O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	557	40,4	39	71	18	10,2
CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	557	737	698	1511	401	212
NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	557	12,5	11,0	38,00	1,90	6,20
SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	555	5,39	5,10	12,0	2,60	1,95
Temperatura do ambiente ($^\circ\text{C}$)	557	27,8	27	33	24	2,22

*Período analisado: 13/09/2019 a 30/09/2019; 01/10/2019 a 07/10/2019.

Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

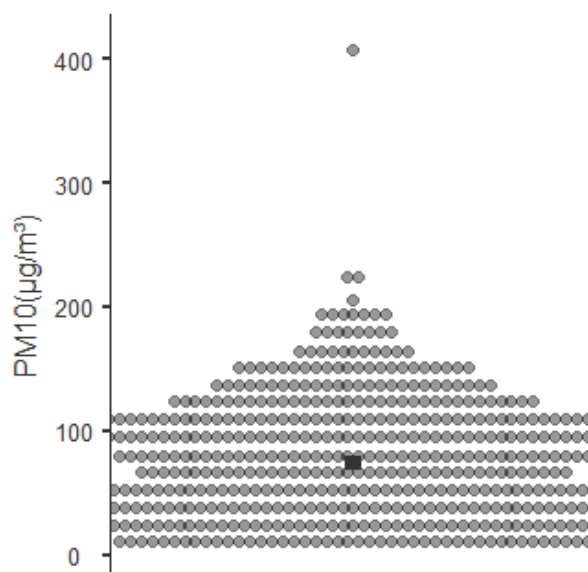
As figuras 17 a 23 mostram as concentrações médias de cada um dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial no município de Maracanaú durante Episódio 1 – 2019.

Figura 17 – Média do $\text{PM}_{2,5}$ relativo à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú (Episódio 1 – 2019).



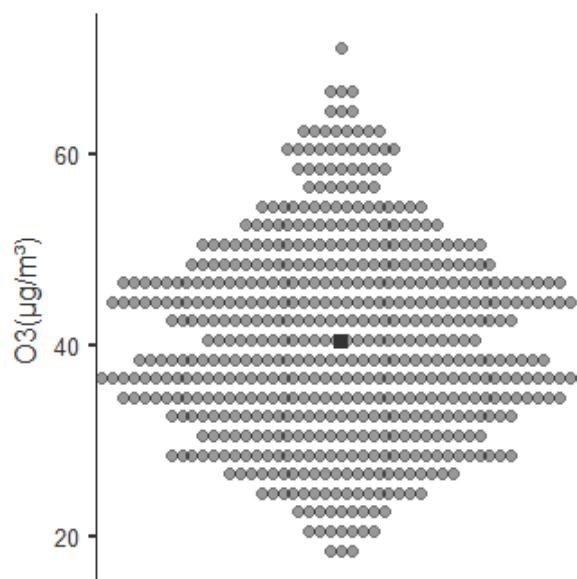
Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

Figura 18 – Média do PM_{10} relativo à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú (Episódio 1 – 2019).



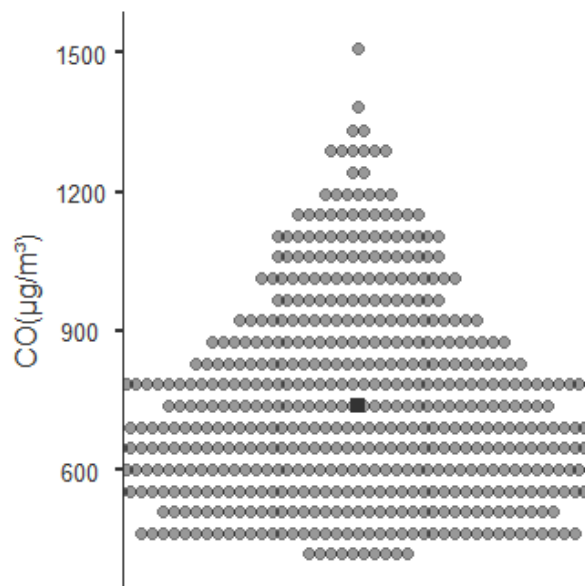
Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

Figura 19 – Média do O_3 relativo à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú (Episódio 1 – 2019).



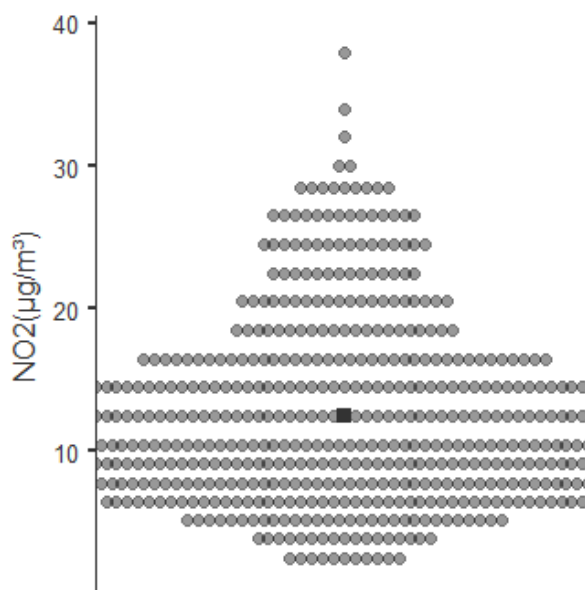
Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

Figura 20 – Média do CO relativo à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú (Episódio 1 – 2019).



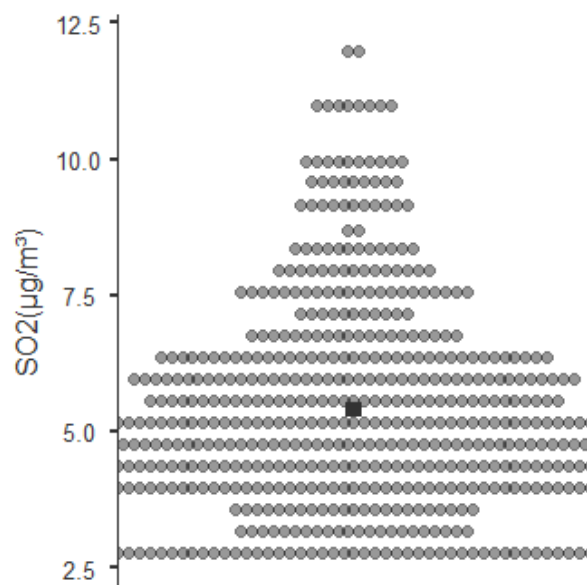
Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

Figura 21 – Média do NO₂ relativo à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú (Episódio 1 – 2019).



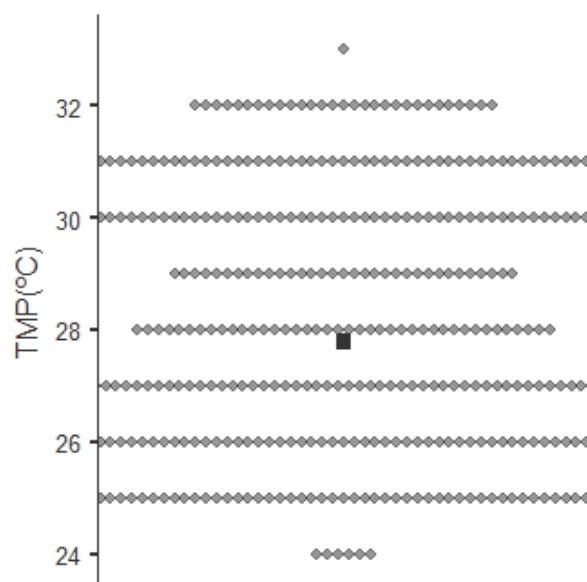
Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

Figura 22 – Média do SO₂ relativo à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú (Episódio 1 – 2019).



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

Figura 23 – Média da Temperatura relativa à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú (Episódio 1 – 2019).



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2019).

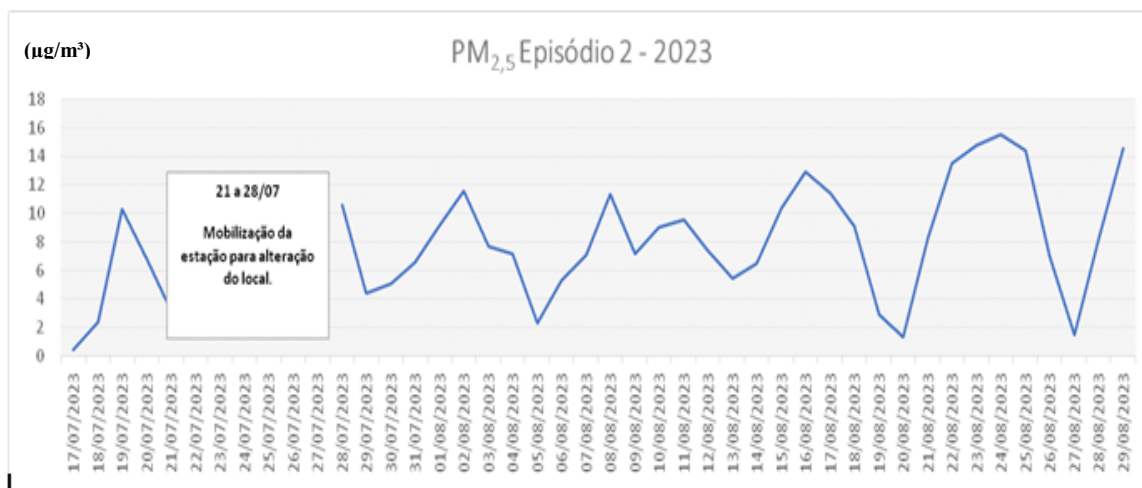
Em um estudo realizado entre os anos de 2015 e 2016, que buscou avaliar o monitoramento atmosférico no distrito industrial do município de Maracanaú (CE) quanto aos parâmetros dos materiais particulados totais em suspensão, materiais particulados inaláveis (MP_{10}), SO_2 , NO_2 e Ozônio (O_3) e metais pesados (Sb, Cd, Pb, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn), constatou-se que as concentrações dos poluentes analisados, mantiveram-se abaixo dos limites estabelecidos pelo CONAMA 491 (LIMA et al., 2020).

Durante a realização desta pesquisa foi verificado que no ano de 2019, período que inicia-se a pandemia para o Coronavírus, os valores médios dos materiais particulados ($PM_{2,5}$ e PM_{10}) foram, respectivamente, $28,4\mu g/m^3$ e $74,5\mu g/m^3$, sendo considerados pelo ÍQAR como moderados em termos de qualidade do ar.

Episódio 2 - 2023

As figuras 24 a 30 apresentam respectivamente, a concentração média por dia de $PM_{2,5}$, MP_{10} , O_3 , CO, NO_2 , SO_2 e Temperatura do ambiente em um Distrito Industrial no município de Maracanaú Episódio 2 – 2023. Vale ressaltar que no período de 21 a 28/07 houve uma mobilização da estação para alteração do local, de forma que visualmente é possível observar que não houve registro dos parâmetros investigados.

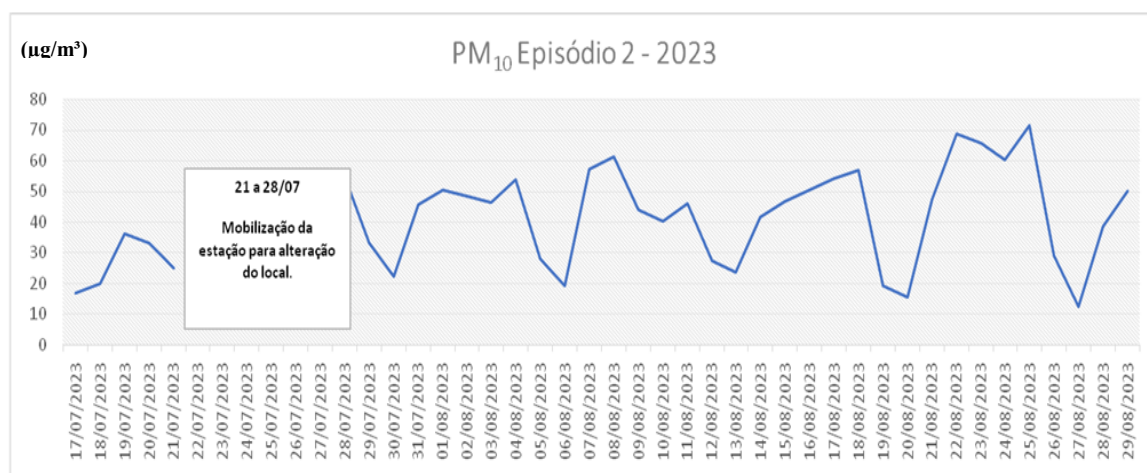
Figura 24 – Análise dos valores de $PM_{2,5}$ em um Distrito Industrial do município de Maracanaú - Episódio 2 – 2023/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2023).

Dados analisados: 873 - Média: 7,874 – (CONAMA 491/2018) – Fonte SEMACE					
Boa	Regular	Inadequada	Má	Péssima	Crítica
0 – 25	26 – 60	61 – 124	125 – 209	210 – 249	≥ 250

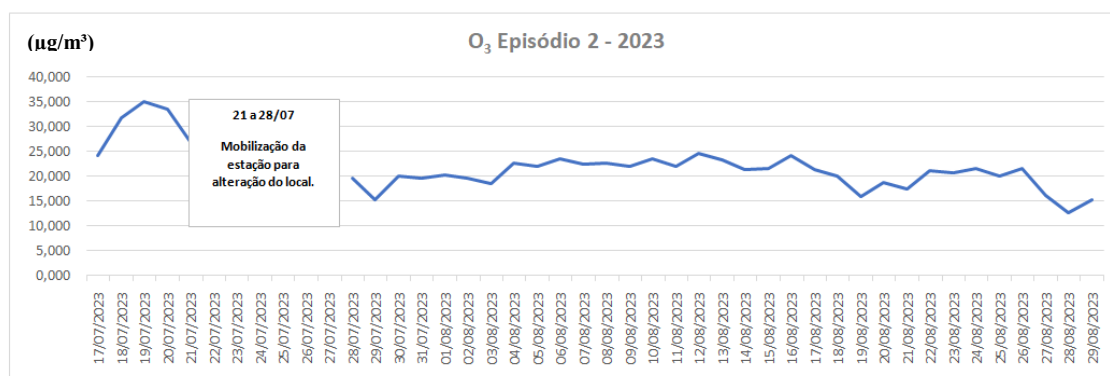
Figura 25 – Análise dos valores de MP₁₀ em um Distrito Industrial do município de Maracanaú Episódio 2 – 2023/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2023).

Dados analisados: 835 - Média: 40,8 – (CONAMA 491/2018) – Fonte SEMACE					
Boa	Regular	Inadequada	Má	Péssima	Crítica
0 – 50	51 – 120	121 – 249	250 – 419	420 – 499	≥ 500

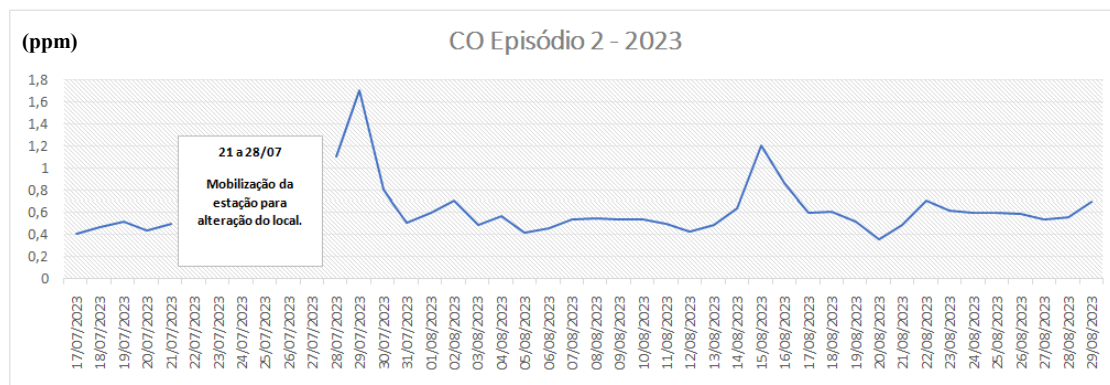
Figura 26 – Análise dos valores de O₃ em um Distrito Industrial do município de Maracanaú Episódio 2 – 2023/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2023).

Dados analisados: 878 - Média: 42,2 – (CONAMA 491/2018) – Fonte SEMACE					
Boa	Regular	Inadequada	Má	Péssima	Crítica
0 – 100	101 – 140	141 – 199	200 – 399	400 – 599	≥ 600

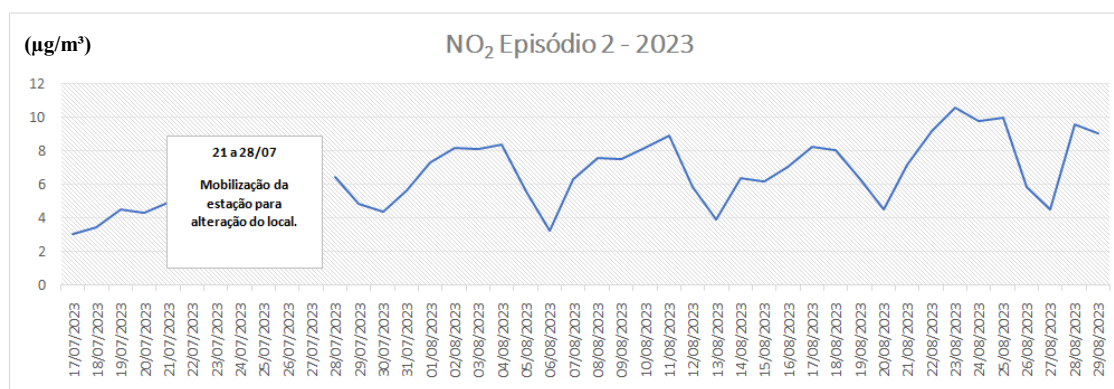
Figura 27 – Análise dos valores de CO em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 2 – 2023/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2023).

Dados analisados: 876 - Média: 0,606 – (CONAMA 491/2018) – Fonte SEMACE					
Boa	Regular	Inadequada	Má	Péssima	Crítica
0 – 9,0	****	9,1 – 14,9	15 – 29,9	30 – 39,9	≥ 40

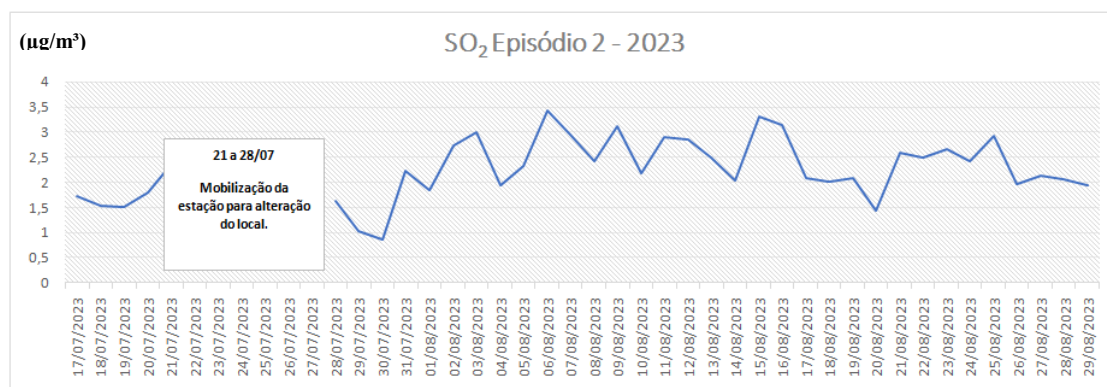
Figura 28 – Análise dos valores de NO₂ em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 2 – 2023/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2023).

Dados analisados: 874 - Média: 12,5 – (CONAMA 491/2018) – Fonte SEMACE					
Boa	Regular	Inadequada	Má	Péssima	Crítica
0 – 200	201 – 260	261 – 1129	1130 – 2259	2260 – 2999	≥ 3000

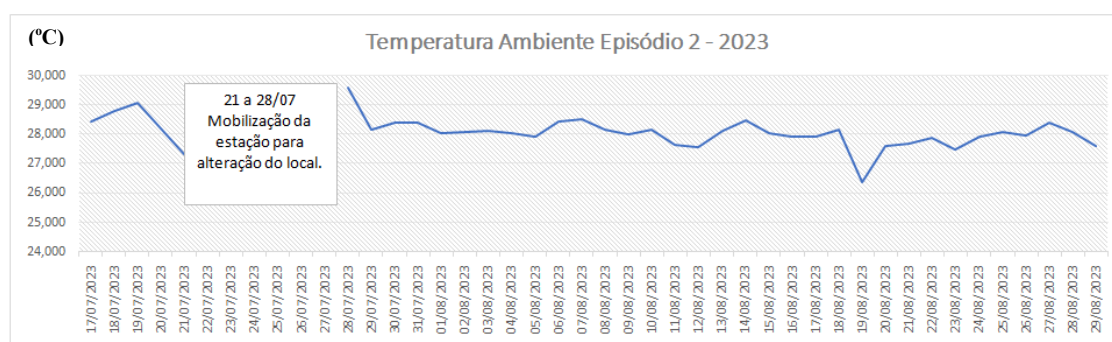
Figura 29 – Análise dos valores de SO₂ em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 2 – 2023/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2023).

Dados analisados: 862 - Média: 5,92 – (CONAMA 491/2018) – Fonte SEMACE					
Boa	Regular	Inadequada	Má	Péssima	Crítica
0 – 20	21 – 125	126 – 799	800 – 1599	1600 – 2099	≥ 2100

Figura 30 – Análise dos valores de temperatura em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 2 – 2023/por dia.



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2023).

Conforme resultados obtidos de 2023, ano do segundo episódio observado, contou-se uma qualidade do ar pelo ÍQAR como “boa”, com resultados de 7,87 ug/m³(PM_{2,5}) e 40,8ug/m³ (PM₁₀).

Dessa forma, pode-se observar com o presente estudo, que as restrições pandêmicas para COVID-19 puderam ocasionar impactos positivos com relação à melhora da qualidade do ar, especificamente nos materiais particulados.

Esse impacto positivo corrobora com alguns estudos que citam que desde a fase inicial da pandemia observou-se que com as medidas de isolamento social e, conseqüentemente, redução na circulação de veículos, houve diminuição da emissão de gases de efeito estufa, bem como observou-se a partir de satélites de monitoramento da National Aeronautics and Space Administration (NASA) que entre janeiro e fevereiro de 2020, na China central, ocorreu diminuição de 30% na concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂) e de 20% de dióxido de carbono (ROSENBLOOM; MARKARD, 2020; DUTHEIL; BAKER; NAVEL, 2020).

No episódio 2 - 2023 foram analisados um total de 879 registros válidos para a temperatura ambiente (°C); 878 registros válidos para O₃(µg/m³); 876 registros de CO (ppm); 874 de NO₂ (µg/m³); 873 registros para os parâmetros de PM_{2,5} (µg/m³); 862 registros de SO₂(µg/m³); e 835 registros de PM₁₀ (µg/m³). Em relação aos materiais particulados, observou-se uma concentração média de 7,87µg/m³ de PM_{2,5} e 40.8µg/m³ de PM₁₀. A concentração média de ozônio no ar (O₃) foi de 42,2(µg/m³). Quanto à concentração dos gases poluentes, verificou-se uma média de 0,606 ppm para Monóxido de Carbono (CO), 12,5µg/m³ para Dióxido de Nitrogênio (NO₂) e 5,92µg/m³ para Dióxido de Enxofre (SO₂). A temperatura ambiente apresentou uma média de 28,1°C (Tabela 6).

Tabela 6 – Medidas de tendência central e dispersão dos parâmetros relativos à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanã (Episódio 2–2023*).

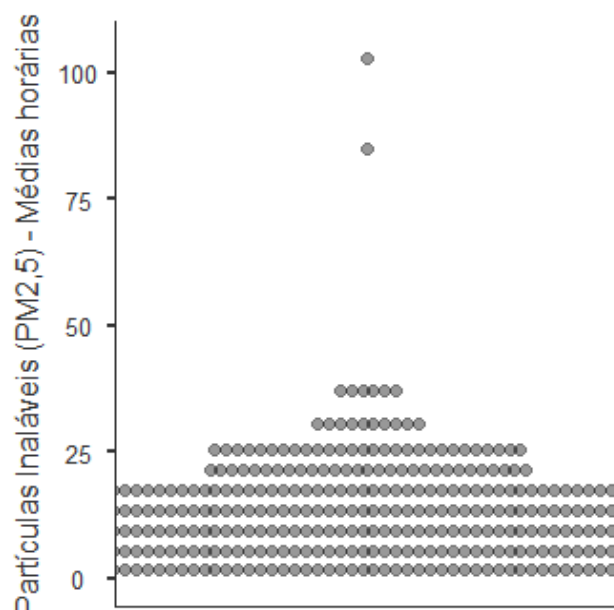
Parâmetros	Total	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
PM _{2,5} (µg/m ³)	873	7,87	6,00	103	0	8,64
PM ₁₀ (µg/m ³)	835	40,8	31	190	1	31,2
O ₃ (µg/m ³)	878	42,2	41,7	68,5	24,9	8,66
CO (ppm)	876	0,606	0,540	2,64	0,260	0,318
NO ₂ (µg/m ³)	874	12,5	12,4	19,8	5,68	3,90
SO ₂ (µg/m ³)	862	5,92	5,69	8,88	2,18	1,60
Temperatura do ambiente (°C)	879	28,1	27,4	33,6	23,6	2,29

Fonte: Dados da Pesquisa.

*Período analisado: 17/07/2023 a 16/08/2023; 17/08/2023 a 29/08/2023. No período de 21/07/2023 a 28/07/2023 não houve registros válidos devido à mobilização da estação para alteração do local.

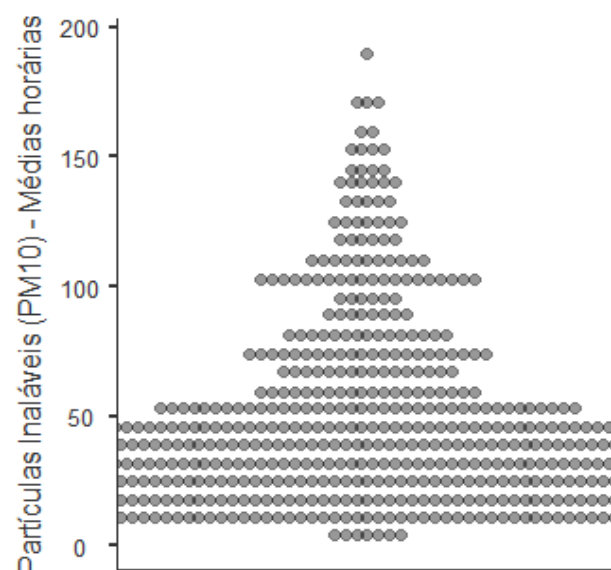
As figuras de 31 a 37 exibem as concentrações médias de cada um dos parâmetros relacionados à avaliação da poluição do ar em uma zona industrial na cidade de Maracanaú durante o Episódio 2 de 2023.

Figuras 31 – Média do parâmetro $PM_{2,5}$ relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú (Episódio 2 – 2023).



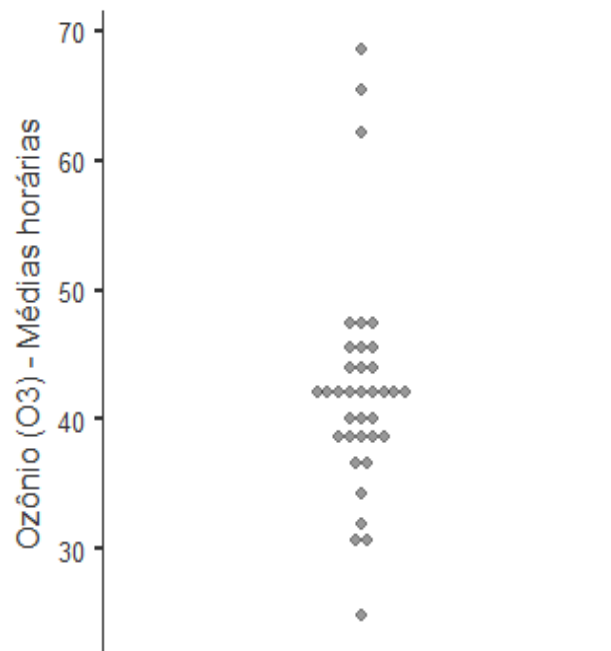
Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2023).

Figura 32 – Média do parâmetro PM_{10} relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú (Episódio 2 – 2023).



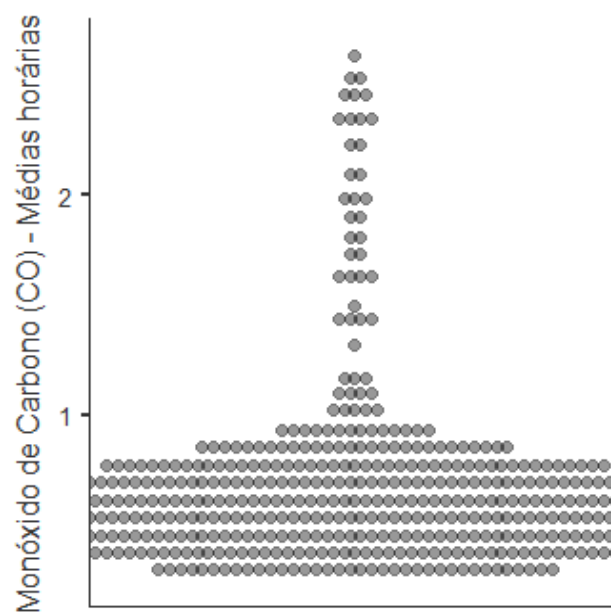
Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2023).

Figura 33 – Média do parâmetro O_3 relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú (Episódio 2 – 2023).



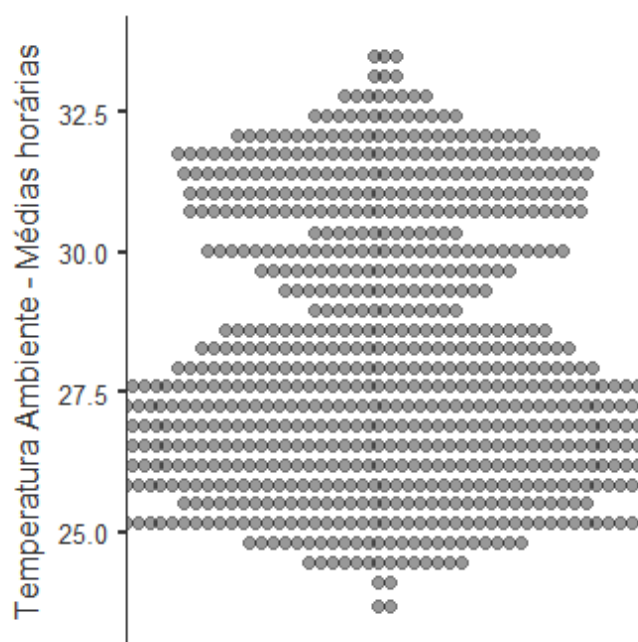
Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2023).

Figura 34 – Média do parâmetro CO relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú (Episódio 2 – 2023).



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2023).

Figura 37 – Média da Temperatura relativa à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú (Episódio 2 – 2023).



Fonte: UM - Parque Alto Alegre – SEMACE (2023).

Acerca da classificação do ÍQAR dos parâmetros relativos à avaliação da poluição do ar em um Distrito Industrial no município de Maracanaú, identificou-se que em 2019, a maior parte dos parâmetros obteve classificação “boa” (O_3 ; CO ; NO_2 ; SO_2), seguida pela moderada ($MP_{2,5}$; MP_{10}). Já a análise das concentrações médias dos parâmetros de 2023 revelou que todos os parâmetros obtiveram classificação “boa” ($MP_{2,5}$; MP_{10} ; O_3 ; CO ; NO_2 ; SO_2).

Tabela 7 – Classificação do ÍQAR dos parâmetros relativos à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. (Episódio 1 – 2019 X Episódio 2 – 2023).

Parâmetros	Média 2019	Classificação do ÍQAR 2019	Média 2023	Classificação do ÍQAR 2023
$MP_{2,5}$	28,4	Moderada	7,87	Boa
MP_{10}	74,5	Moderada	40,8	Boa
O_3	40,4	Boa	42,2	Boa
CO	737	Boa	0,606	Boa
NO_2	12,5	Boa	12,5	Boa
SO_2	5,39	Boa	5,92	Boa

Fonte: Dados da Pesquisa.

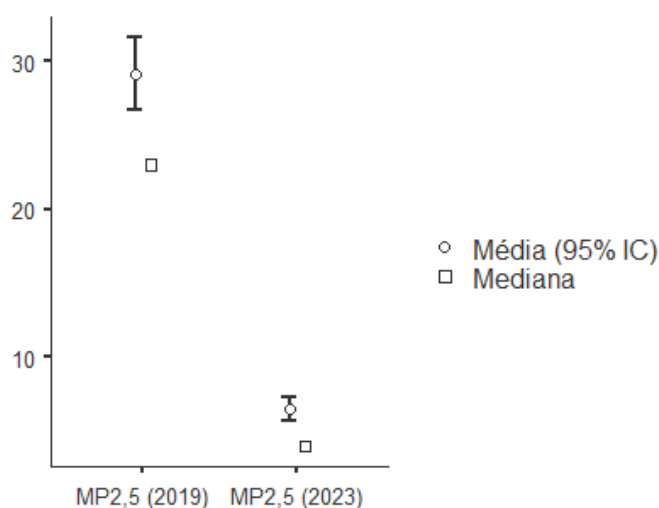
Medeiros (2022) ao avaliar a relação da qualidade do ar com a pandemia do Novo Coronavírus e obter informações acerca do material particulado atmosférico na

cidade de João Pessoa/PB, constatou-se uma diminuição da concentração de MP_{10} nas amostras de 2020 quando comparadas com as amostras de 2019 na cidade de Vitória. Tal resultado, afirmam os autores, que ocorreu devido ao efeito do isolamento social em decorrência do novo coronavírus, apresentando uma diminuição de, aproximadamente, 23,32%.

Desse modo, a redução dos níveis de materiais particulados encontrados na presente pesquisa apresenta fator positivo para a saúde humana, haja vista que o MP pode ocasionar alterações no sistema nervoso autônomo e cardiovascular, podendo desenvolver doenças como o infarto agudo do miocárdio e morte súbita (CORIPIO et al., 2023).

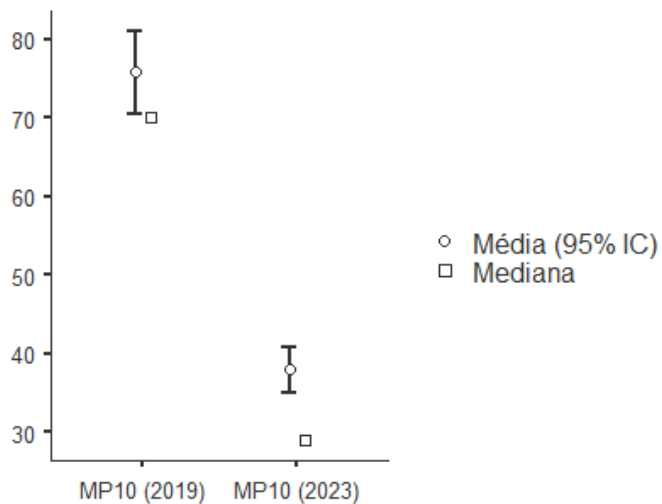
As figuras 38 a 43 apresentam a comparação dos parâmetros relativos à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú nos dois episódios (Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023). Conforme observado, no Episódio 2, houve uma redução da concentração média de alguns parâmetros.

Figuras 38 – Comparação do parâmetro $PM_{2,5}$ relativos à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.



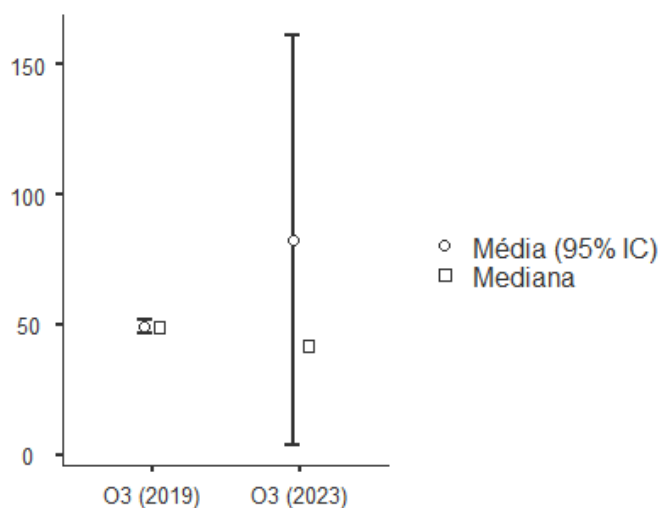
Fonte: Dados da Pesquisa.

Figuras 39 – Comparação do parâmetro PM_{10} relativa à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.



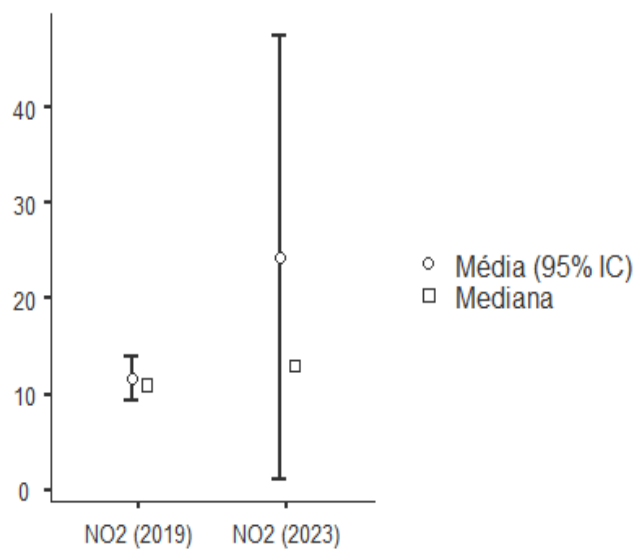
Fonte: Dados da Pesquisa.

Figuras 40 – Comparação do parâmetro O_3 relativa à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.



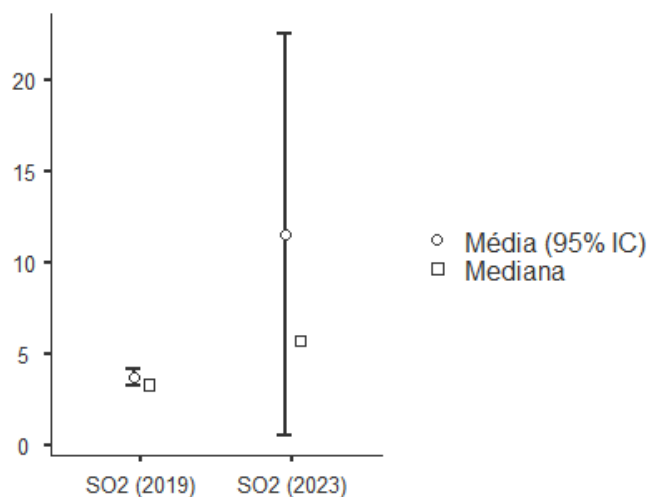
Fonte: Dados da Pesquisa.

Figuras 41 – Comparação do parâmetro NO_2 relativa à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.



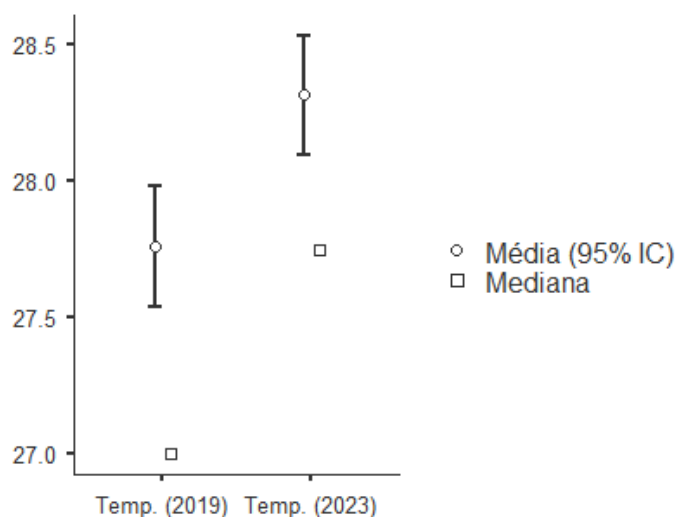
Fonte: Dados da Pesquisa.

Figuras 42 – Comparação do parâmetro SO_2 relativa à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Figuras 43 – Comparação do parâmetro da Temperatura relativa à avaliação da qualidade do ar em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Análise Inferencial

A análise da diferença das concentrações das médias dos parâmetros do Episódio 1 – 2019 e do Episódio 2 – 2023 revelou que houve uma diferença estatisticamente significativa em todos os parâmetros avaliados, sendo que em todos os casos o valor de $p < 0,001$, exceto na comparação de NO_2 . Na análise da dimensão do efeito, a correlação biseral de ordens demonstrou uma correlação linear forte na diferença entre as concentrações médias de $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} , SO_2 e Temperatura nos dois episódios avaliados.

Tabela 8 - Comparação entre as concentrações médias dos parâmetros do Episódio 1 – 2019 e do Episódio 2 – 2023.

Parâmetros Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023	Valor de P	Intervalo de Confiança	Dimensão do Efeito
MP _{2,5}	<0,001 ¹	0,735-0,968	0,903 ²
MP ₁₀	<0,001 ¹	0,533-0,756	0,645 ²
O ₃	0,004 ¹	3,22-10,5	0,533 ²
CO	<0,001 ¹	3,20-3,73	3,47 ²
NO ₂	0,261 ¹	(-5,18)-1,43	-0,213 ²
SO ₂	<0,001 ¹	(-3,22) – (-1,84)	-0,792 ²
Temperatura do ambiente (°C)	0,003 ¹	-0,264 - (-0,0648)	-0,165 ²

¹Teste de Wilcoxon, mediante avaliação da normalidade dos dados pelo teste Shapiro-Wilk.

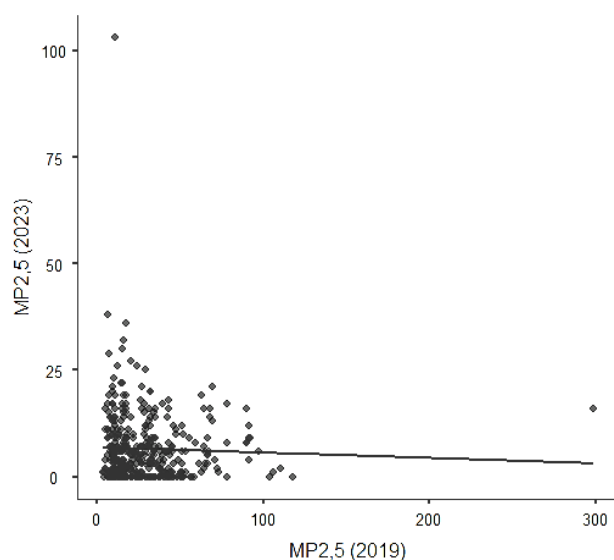
²Correlação biseral de ordens.

³Teste t de student para amostras dependentes.

⁴d de Cohen.

A figuras 44 apresenta a análise de dispersão do MP_{2,5} em um Distrito Industrial no município de Maracanaú no Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023. Conforme observado, houve uma correlação forte das concentrações médias de MP_{2,5} entre os anos de 2019 e 2023.

Figura 44 – Análise de dispersão do MP_{2,5} em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.

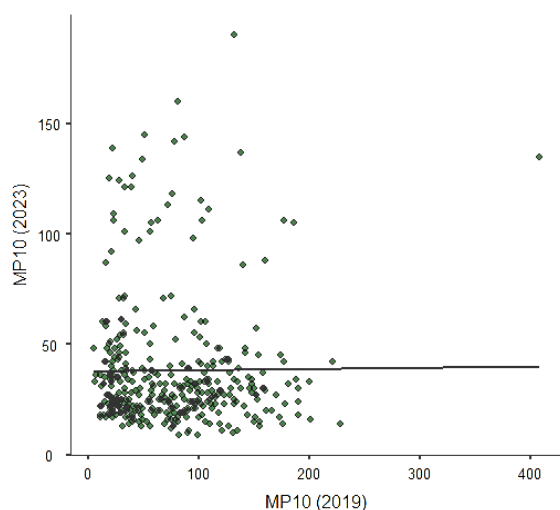


Fonte: Dados da Pesquisa.

A figura 45 mostra a análise de dispersão do MP₁₀ em um Distrito Industrial do município de Maracanaú no Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023. Esse gráfico

mostra uma correlação forte na concentração média de MP_{10} entre os anos de 2019 e 2023.

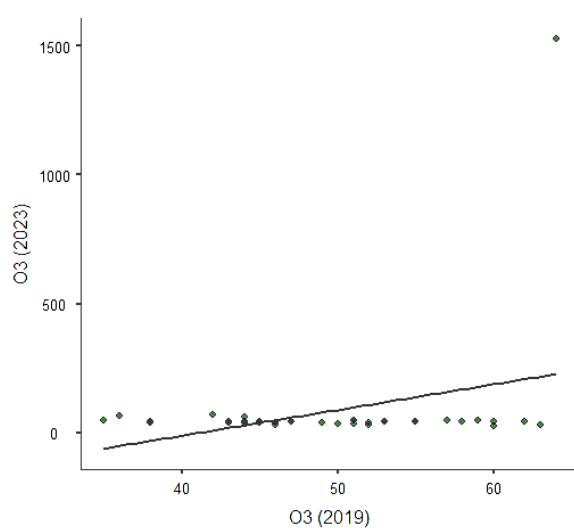
Figura 45 – Análise de dispersão do MP_{10} em um Distrito Industrial no município de Maracanaú. Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.



Fonte: Dados da Pesquisa.

A figura 46 apresenta a análise de dispersão do O_3 em um Distrito Industrial do município de Maracanaú no Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023. De acordo com o gráfico, observa-se uma pequena variação das concentrações médias de O_3 no período avaliado.

Figura 46 – Análise de dispersão do O_3 em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.

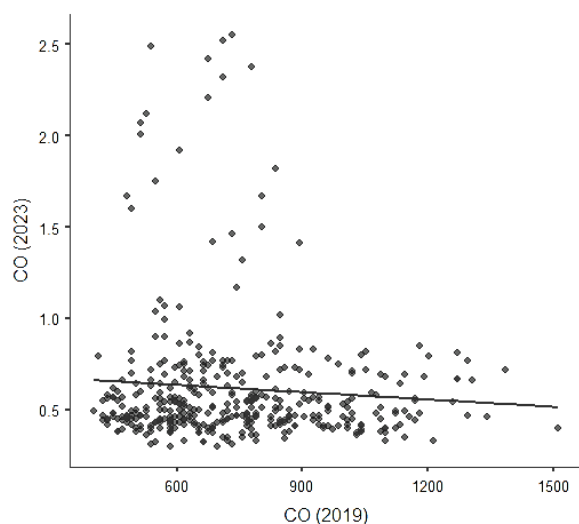


Fonte: Dados da Pesquisa.

A figura 47 mostra a análise de dispersão do CO em um Distrito Industrial do município de Maracanaú no Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023. De acordo com o

gráfico, apesar de haver uma leve diferença nas concentrações médias de O_3 no período avaliado, observa-se uma correlação forte entre as concentrações desse gás nos dois episódios avaliados.

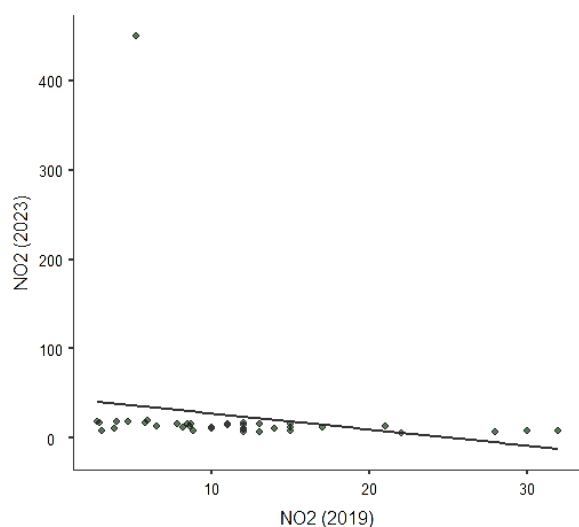
Figura 47 – Análise de dispersão do CO em um Distrito Industrial do município de Maracanaú 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.



Fonte: Dados da Pesquisa.

A figura 48 apresenta a análise de dispersão do em um Distrito Industrial do município de Maracanaú no Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023. De acordo com o gráfico, observa-se a variação das concentrações médias de NO_2 no período avaliado foi pequena, havendo uma correlação negativa, porém forte.

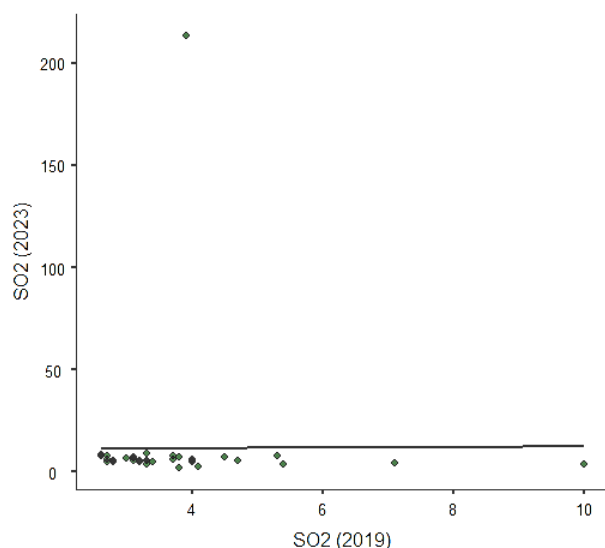
Figura 48 – Análise de dispersão do NO_2 em um Distrito Industrial no município de Maracanaú. Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.



Fonte: Dados da Pesquisa.

A figura 49 mostra a análise de dispersão do SO_2 em um Distrito Industrial do município de Maracanaú no Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023. Esse gráfico mostra uma variação muito discreta na concentração desse gás entre os dois episódios, não havendo correlação a concentração no período avaliado

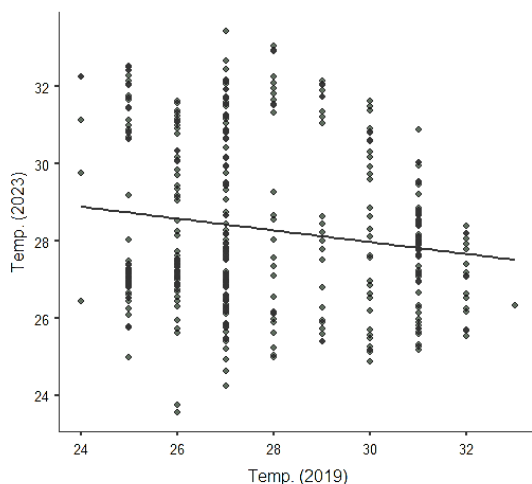
Figura 49 – Análise de dispersão do SO_2 em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.



Fonte: Dados da Pesquisa.

A figura 50 apresenta a análise de dispersão da temperatura ambiente em um Distrito Industrial no município de Maracanaú no Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023. De acordo com o gráfico, observa-se uma grande variação na temperatura ambiente no período avaliado.

Figura 50 – Análise de dispersão da temperatura do em um Distrito Industrial do município de Maracanaú. Episódio 1 – 2019 x Episódio 2 – 2023.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Desse modo, conforme constatado por meio desta pesquisa, percebe-se que os demais poluentes estudados mantiveram-se no padrão “BOA” em 2019 e 2023, conforme o ÍQAR. Entretanto, o Ozônio apresentou pequena elevação, saindo de 40,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 42,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Conforme estudo realizado por Lima (2017) na qual buscou realizar o monitoramento da qualidade do ar no distrito industrial de Maracanaú, o O_3 apresentou uma concentração média de 38,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciando uma elevação dos níveis diários de O_3 .

Destaca-se ainda que conforme Rocha et al. (2022) cujo objetivo foi realizar uma avaliação integrada sobre a influência dos efeitos da pandemia de 2020 na qualidade do ar na cidade de Fortaleza, investigando os níveis de $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , NO_2 , NO , SO_2 , CO e O_3 , riscos à saúde correspondentes, bem como a influência de variáveis meteorológicas e da atividade urbana, constatou-se um acréscimo nos níveis de O_3 de 3% em relação ao período pré-pandêmico.

Dessa forma, percebe-se que o O_3 no distrito industrial de Maracanaú vem apresentando elevação em suas concentrações, passando de 38,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2017 (LIMA, 2017) para 43,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (21,9 ppb) em 2023 conforme o presente estudo.

Algumas possibilidades justificam a elevação do O_3 ao invés de sua redução. Estudos revelam que devido à redução nos níveis de NO na atmosfera durante o período de pandemia proporcionou o acúmulo de O_3 na atmosfera devido à ausência de seu principal eliminador (ou seja, $\text{NO} + \text{O}_3 = \text{NO}_2 + \text{O}_2$) (Peralta et al. 2019; Sharma et al. 2020). Bem como, a atividade fotoquímica e a temperatura são os principais fatores na produção de O_3 (Peralta et al. 2019).

Vale salientar que a temperatura do ar também apresentou variação ao longo dos dois episódios, resultando em sua elevação, passando de uma média 27,8°C para 28,1°C.

Santos et al. (2020) ao realizarem um estudo com foco nas projeções de temperatura, com simulações para os cenários de aquecimento de 1,5 °C, 2°C e 4°C, para todo o Brasil, demonstraram uma elevação das temperaturas máximas e mínimas para toda a área de estudo, sendo as regiões Norte e Nordeste as que apresentaram maior severidade, aumentando, aproximadamente, 75% os números de dias mais quentes.

6. CONCLUSÃO

A qualidade do ar no distrito industrial de Maracanaú em praticamente todas as coletas realizadas em 2019 e 2023, evidenciou que as concentrações dos poluentes analisados, $MP_{2,5}$, MP_{10} , SO_2 , NO_2 , O_3 , CO e temperatura do ar, mantiveram-se abaixo dos limites estabelecidos pelo CONAMA 491.

O principal aspecto encontrado no episódio 1, referente ao ano de 2019, foi o $MP_{2,5}$ e MP_{10} terem apresentado classificação “MODERADO” pelo Índice de Qualidade do Ar. Os demais parâmetros analisados (O_3 , CO, NO_2 , SO_2 e a temperatura °C) do episódio 1 de 2019 a classificação do IQAr foi classificada em “BOA”, estando dentro dos limites esperados para uma qualidade ar adequada.

No que se refere ao episódio 2 de 2023 todos os parâmetros mantiveram-se abaixo dos limites estabelecidos pela legislação do CONAMA 491. Os gases inorgânicos SO_2 , NO_2 e O_3 , quando comparados às legislação do CONAMA, mantiveram-se a abaixo dos limites estabelecidos, porém, notou-se elevação no gás O_3 e aumento da temperatura.

A qualidade do ar no estado do Ceará, especialmente em áreas industriais, apresenta poucos estudos, mostrando-se assim que há uma clara necessidade de estabelecer uma rede de monitoramento na capital e nas regiões metropolitanas.

O monitoramento das concentrações dos poluentes presentes na atmosfera e das variáveis meteorológicas é de grande importância na construção de banco de dados e formação de séries históricas para um melhor conhecimento e controle da poluição atmosférica.

É fundamental e aconselhável seguir mensurando a concentração desses poluentes, a fim de avaliar com precisão a qualidade do ar no município de Maracanaú. Ademais, é essencial levar em conta que, mesmo quando os níveis estão abaixo do limite aceitável, a presença de poluentes atmosféricos pode agravar doenças cardiorrespiratórias e diversos outros problemas associados a questões ambientais. O principal é garantir que a qualidade do ar se mantenha em um padrão saudável.

Um aspecto relevante que deve ser considerado é que todos os resultados apresentados neste estudo foram analisados à luz dos padrões nacionais estabelecidos pelo CONAMA 491.

Neste estudo, houve uma ênfase maior nas questões relacionadas à poluição do ar, levando em conta sua conexão com a saúde pública e o meio ambiente, além dos níveis de concentração de poluentes que são regulados pela legislação. Contudo, a legislação atual sobre a qualidade do ar aborda somente os aspectos de saúde pública, deixando a

desejar a questão ambiental e os fatores de poluição atmosférica que afetam e contribuem para a degradação dos materiais.

A ação para combater a poluição deve ser liderada, em grande parte, pelos órgãos governamentais, que precisam colaborar com os meios de comunicação para elevar a conscientização pública sobre a importância de estratégias de prevenção e controle da poluição do ar nas grandes cidades, especificamente nos Distritos Industriais e as grandes regiões Metropolitana.

É essencial que novas iniciativas contem com a participação do setor público e da iniciativa privada, visando à implementação de tecnologias que promovam baixas emissões, tanto locais quanto globais. Assim, torna-se fundamental estimular debates sobre a elaboração de planos de ação que contribuam para a melhoria da qualidade do ar. O compartilhamento de conhecimentos entre governo, ONGs, iniciativa privada e universidades que abordam este tema pode resultar em uma experiência mais rica para o desenvolvimento.

Nesse contexto, espera-se que novos temas regionais sejam estudados, novos limites de concentrações de poluentes sejam determinados a fim de serem utilizados na atualização dos índices de qualidade do ar, ao mesmo tempo em que poderão ser utilizados na formulação de legislações mais rigorosas no controle e preservação da saúde, materiais e meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ACADEMIA DE CIÊNCIAS DA ÁFRICA DO SUL et al. Poluição do ar e saúde - Uma iniciativa de ciência e política. **Annals of global health**, v. 85, n. 1, p. 140, 2019.

BELL, ML; DAVIS, DL Reavaliação da neblina letal de Londres de 1952: novos indicadores de consequências agudas e crônicas da exposição aguda à poluição do ar. **Environmental health perspectives**, v. 109, n. suppl 3, p. 389–394, 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Efeito Estufa e Aquecimento Global** (2018). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/ciencia-da-mudanca-do-clima/efeito-estufa-e-quecimentoglobal>>. Acesso em: 15 fevereiro de 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 491, de 19/11/2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama n.3, de 28 de junho de 1990. **Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar, previstos no Pronar**. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 03/09/2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama n.05, de 15 de junho de 1989. **Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - Pronar**. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>.

COLLS, J. **Air Pollution**. Spon Press, n. 0-20347-602-6, 2002.

CORPIO, IC, FERREIRA, AD, TREVISAN, IB, Tacao GY, Ramos EMC, Ramos D. **Poluição atmosférica e doenças cardiovasculares: impacto sobre as internações hospitalares**. ASSOBRAFIR Ciênc. 2023;14:e46781. [https:// doi.org/10.47066/2177-9333.AC.2022.0061](https://doi.org/10.47066/2177-9333.AC.2022.0061).

DOCKERY, D. W. et al. Uma associação entre poluição do ar e mortalidade em seis cidades dos EUA. **The New England Journal of Medicine**. Waltham, v.329, n.24, p.1753-9, Dec. 1993.

FINLAYSON-PITTS, BJ. **Química da Atmosfera Superior e Inferior**. 2000.

GUARNIERI, M.; BALMES, J. R. **Outdoor air pollution and asthma**. **Lancet**, v. 383 (9928), p. 1581-1592, 2014.

IPCC, 2007: Easterling, W.E., P.K. Aggarwal, P. Batima, K.M. Brander, L. Erda, S.M. Howden, A. Kirilenko, J. Morton, J.-F. Soussana, J. Schmidhuber and F.N. Tubiello, 2007: Food, fibre and Forest products. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 273-313.

IPCC. Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) **Emissions Scenarios**. 2000.

IPCC. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group I. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis – Summary for PolicyMakers. Switzerland, 2013.

IPCC, 2014a. Climate Change 2014: Synthesis Report. Summary for Policymakers. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Switzerland, 2014.

KARIMI, B.; SHOKRINEZHAD, B. Mortality and hospitalizations due to cardiovascular and respiratory diseases associated with air pollution in Iran: A systematic review and meta-analysis. **Atmospheric environment**, p. 438–447, 2019.

KIM, K. H.; KABIR, E.; KABIR, S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. **Environment international**, v. 74, p. 136–143, 2015.

KIM, Ki Hyun; KABIR, Ehsanul; KABIR, Shamin. **A review on the human health impact of airborne particulate matter**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>

KORNBROT, D. **Point Biserial Correlation**. 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470013192.bsa485>. Acesso em: 05 março 2024.

LAKENS, D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. **Frontiers in Psychology**. v. 4. n. 863, 2013.

LIMA, R. J. et al **Avaliação da poluição atmosférica na área do distrito industrial de Maracanaú (CE), Brasil**. EngSanitAmbient | v.25 n.3 | maio/jun 2020 | 521-530.

LOUREIRO, L. N. **Panorâmica sobre emissões atmosféricas estudo de caso: Avaliação do inventário de emissões atmosféricas da região metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis**. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

LURIE, Kelly et al. PM_{2.5} in a megacity of Asia (Karachi): Source apportionment and health effects. **Atmospheric Environment**, [S. l.], v. 202, n. June 2018, p. 223-233, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.01.008>.

MEDEIROS, A. M. **Avaliação da relação da qualidade do ar com a pandemia do novo coronavírus e diagnóstico ambiental do material particulado no município de João Pessoa/PB**. João Pessoa, f 72. 2022.

MENDES, A. et al. Impactos da poluição atmosférica na Saúde: perspectivas do projeto FUTURAR. **Boletim Epidemiológico Observações**, v.6, n. 9, p. 11–46-50, 2017.

METCALFE, S. et al. Atmospheric Pollution and Environmental Change Hodder Headline Group. **Environmental Change**, ISBN: 9780340719596. v. 224, 2005.

OMS. Organização Mundial da Saúde. (2006). **WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment**. Genebra. Disponível em: https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/. Acesso em: 16/02/2023.

PBMC, 2014: **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp.

PERALTA, O. et al. Urban sprawl and ozone episodes in Mexico City. **Urban climate**, v. 27, p. 384–387, 2019.

PETERS, A. et al. **An expert report of the international society for environmental epidemiology (isee) and the european respiratory society (ers)**. Lausanne: ERS, 2019.

POPE, C. A., et al. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.s. adults. **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 151, n. 3_pt_1, p. 669–674, 1995.

SALDIVA, P. H. N. et al. Air pollution and mortality in elderly people: A time-series study in Sao Paulo, Brazil. **Archives of environmental health**, v. 50, n. 2, p. 159–163, 1995.

SANTOS, DJ DOS et al. Mudanças futuras de precipitação e temperatura no Brasil sob níveis de aquecimento global de 1,5 ° C, 2 ° C e 4 ° C. **Sustentabilidade em Debate**, v. 11, n. 3, p. 57–90, 2020.

SANTOS, U. P. et al. **Poluição do ar ambiental: efeitos respiratórios**. J. Bras. Pneumol, v. 47 (1): e2020026, 2021.

SCHRAUFNAGEL, D. E. Air pollution and noncommunicable diseases: A review by the forum of international respiratory societies environmental committee, Part 1: The damaging effects of air pollution. **Chest**, v. 155, n. 2, p. 409–416, 2019.

SEIGNEUR, C. **Air Pollution: Concepts, Theory, and Applications**. 2019. 370 p. Cambridge University Press.

SHARMA, S. et al. Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India. **The Science of the total environment**, v. 728, n. 138878, p. 138878, 2020.

SILVA, J.A. **Um estudo da qualidade do ar na cidade de Fortaleza**. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza. 112f. (2010).

SQUIZZATO, R. **Concentrações atmosféricas de gases e partículas: identificação de fontes locais e de transporte de longa distância nas cidades de médio porte de Botucatu (SP) e Londrina (PR)**. 2022. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, (2022).

Taking Action. **9 em cada 10 pessoas no mundo respiram ar poluído, mas mais países estão tomando medidas.** Disponível em: <https://www.who.int/news/item/02-05-2018-9-> (2018).

TANURE, Tarik Marques do Prado. **Mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos regionais e por cultivo familiar e patronal** / Tarik Marques do Prado Tanure. – 2020. 257 f.: il e tabs.

TUNDO, P. et al. **Mudanças climáticas globais..** Consórcio Inter-Universitário Nacional da Química para o Ambiente T e IUPAC União Internacional de Química Pura e Aplicada. 2007.

THE JAMOVİ PROJECT. Jamovi (version 2.3), 2022. **Computer Software.** Disponível em: <https://www.jamovi.org/>. Acesso em: 05 mar. 2024.

VORMITTAG, E. DA M. P. A. DE A. et al. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 102, p. 7–30, 2021.

WALLACE, J. M. **Atmospheric Science An Introductory Survey.** Amsterdam, NL: Elsevier, 2006.

WARNECK, P. **Atmospheric Chemistry and Physics.** New York, NY: Academic Press Inc, 1998.

WATTS, A. **Strange events: Earth's upper atmosphere creating glowing clouds.** 2018. Disponível em: <https://wattsupwiththat.com/2018/08/15/strange-events-earths-upper-atmosphere-creating-glowing-clouds>. Acesso em: 16/08/2023.

WHO. **9 out of 10 People Worldwide Breathe Polluted Air, but More Countries Are out-of- 10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action**>. Acesso em: 17 de junho de 2023.

WHO. **New WHO Global Air Quality Guidelines Aim to Save Millions of Lives from.** who- global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>. Acesso em: 17 de junho de 2023.

ZHAO, S. et al. Temporal dynamics of SO₂ and NOX pollution and contributions of driving forces in urban areas in China. **Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)**, v. 242, p. 239–248, 2018.

APÊNDICES



Fortaleza, 11 de julho de 2023.

Ofício: Superintendência Estadual do Meio Ambiente (**Semace**)

Ilma. Sra
Liliane Lira
Gerente de Análise e Monitoramento

ASSUNTO: SOLICITAÇÃO DE APOIO À PESQUISA TECNOLÓGICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO.

Prezado,

Cumprimentando-a cordialmente, venho através deste solicitar a V.S.^a um apoio ao meu projeto de pesquisa de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental - PGTGA do IFCE – Campus Fortaleza, com o tema “AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO DO AR EM UMA ÁREA INDUSTRIAL NA CIDADE DE MARACANAÚ.”, tendo como Orientador da pesquisa o Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva. Esse apoio seria através dos dados gerados pela estação de monitoramento do órgão. É imprescindível esses dados para conclusão do projeto.

Sendo o que se apresenta no momento, coloco-me à disposição para quaisquer informações adicionais que se fizerem necessárias.

Atenciosamente,

Leandro da Silva Diógenes

Mestrando pelo Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental – PGTGA
IFCE – Campus Fortaleza



FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE APOIO À PESQUISA TECNOLÓGICA		
Revisão: 01	Emissão: 11/07/2023	Página: 1 de 3

1 Dados de cadastro

- 1.1 Responsável pelo projeto: Leandro da Silva Diógenes
- 1.2 CPF: 047.094.523-00
- 1.3 E-mail: leandro.diogenes04@aluno.ifce.edu.br
- 1.4 Telefone: (88) 9.99611-0898
- 1.5 Instituição parceira: Instituto Federal – IFCE
- 1.6 Endereço: José Rangel, 123 – (Ap 408, Blc A) Papicu. Fortaleza
- 1.7 Currículo Lattes: <https://lattes.cnpq.br/9761488649352938>
- 1.8 Equipe do projeto:
Orientador: Adeildo Cabral da Silva
Mestrando: Leandro da Silva Diógenes

2 Dados Gerais do Projeto

2.1 Título do Projeto

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO DO AR EM UMA ÁREA INDUSTRIAL NA CIDADE DE MARACANAÚ.

2.2 Objetivos

Objetivo Geral

Avaliar a qualidade do ar do período de 2019 e 2023 em uma área industrial na cidade de Maracanaú, Ceará, Brasil.

Objetivos Específicos

Realizar um estudo comparativo entre as normatizações de padronização de qualidade do ar do Brasil;

Avaliar as concentrações de material particulado (MP2,5, MP10), poluentes gasosos (O3, CO, NO2 e SO2) e a temperatura do ar;

Avaliar a situação de conformidade, ou não, dos níveis de concentração dos poluentes com valores estabelecidos pelos Padrões de Qualidade do Ar.



FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE APOIO À PESQUISA TECNOLÓGICA

Revisão: 01

Emissão: 11/07/2023

Página: 2 de 3

2.3 Justificativas

A poluição do ar registra níveis de poluentes nos grandes centros urbanos que resultam da intensa atividade urbana em expansão, causando transtornos e refletindo na vida do homem e no ecossistema. No Brasil, com o desenvolvimento moderno das cidades, são registrados desordenada ocupação do solo para a urbanização e o aumento de veículos automotores em circulação nas grandes metrópoles.

A cidade de Fortaleza (CE), área de estudo desta pesquisa, registra o aumento da emissão de poluentes por fontes móveis, assim como outras grandes metrópoles, como as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, as quais têm enfrentado problemas com a poluição atmosférica e desperta preocupação, como a qualidade de vida da população.

A poluição do ar é um problema enfrentado em escala mundial pela sociedade civil, porém, os grandes centros urbanos, os quais detêm as maiores frotas de veículos e atividades industriais, são os que mais sofrem com os efeitos da degradação da qualidade do ar. Notadamente, diversas pesquisas mostram que a poluição atmosférica prejudica o meio ambiente e a saúde humana elevando os níveis de hospitalização e mortalidade por doenças cardíacas e respiratórias. Diante do exposto, destaca-se que o monitoramento dos níveis e/ou indicadores da poluição do ar é um estudo necessário para se avaliar (e conhecer) os impactos destas alterações antrópicas sobre a qualidade de vida das populações em ambientes urbanos.

2.4 Entidades participantes:

IFCE: Recursos humanos (estudante);
SEMACE: Dados extraídos da estação móvel.

2.5 Resultados e impactos esperados?

Em termos, a partir dos dados gerados neste estudo acredita-se que se pode constituir conhecimentos que favoreçam a elaboração ou modificações de políticas públicas capazes de mitigar estes problemas ambientais, promovendo a melhoria do bem-estar da sociedade.

2.6 Outras fontes de recursos

Sim (quais?) Não

Não



FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE APOIO À PESQUISA TECNOLÓGICA		
Revisão: 01	Emissão: 11/07/2023	Página: 3 de 3

2.7 Contrapartidas

Coparticipação em trabalhos/artigos/patentes e outros insumos necessários para pesquisa

2.8 Forma de multiplicar resultados e impactos

Publicações, congressos e palestras nas instituições de ensino.

Leandro da Silva Diógenes

Mestrando pelo Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental – PGTGA
IFCE – Campus Fortaleza

ANEXOS



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ

SISTEMA DE VIRTUALIZAÇÃO DE PROCESSOS-VIPROC

Nº DO PROCESSO: 06452860/2023

DATA: 11/07/2023

HORA: 09:35:53

ORIGEM

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE

ASSUNTO

ADMINISTRATIVO / ADMINISTRATIVO

OBSERVAÇÕES	
-------------	--

ENCAMINHA OFICIO SOLICITANDO APOIO A PESQUISA TECNOLÓGICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO.

AUTOR(ES)

LEANDRO SA SILVA DIÓGENES

FAVORECIDO(S)

TRAMITAÇÕES DO PROCESSO

[illegible]