



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE *CAMPUS* FORTALEZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL
MESTRADO ACADÊMICO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

OSILENE DOS SANTOS ROCHA

**AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA DA CIDADE DE FORTALEZA POR
MATERIAL PARTICULADO E SEU POTENCIAL GENOTÓXICO, UTILIZANDO O
BIOINDICADOR *Tradescantia pallida***

FORTALEZA

2021

OSILENE DOS SANTOS ROCHA

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA DA CIDADE DE FORTALEZA
POR MATERIAL PARTICULADO E SEU POTENCIAL GENOTÓXICO,
UTILIZANDO O BIOINDICADOR *Tradescantia pallida*

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado 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 parcial para obtenção do Título de Mestra em Tecnologia e Gestão Ambiental. Área de concentração: Instrumentos de Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Luís António da Cruz Tarelho.

FORTALEZA

2021

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)

R672a Rocha, Osilene dos Santos.

Avaliação da poluição atmosférica da cidade de Fortaleza por material particulado e seu potencial genotóxico, utilizando o bioindicador *Tradescantia pallida* / Osilene dos Santos Rocha. - 2021.
116 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva.

Coorientação: Prof. Dr. Luís António da Cruz Tarelho.

1. Poluição atmosférica. 2. Monitoramento do ar. 3. Material particulado. 4. Bioensaio Trad-MCN. I. Título.

CDD 628



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL (PGTGA)

Aos 28 dias do mês de setembro do ano de 2021, realizou-se a sessão pública de defesa de Dissertação de Mestrado intitulada “ESTUDO DE CASO DE MONITORAMENTO DE POLUENTES URBANO: POTENCIAL GENOTÓXICO DO AR MEDIANTE A QUANTIDADE DO MICRONÚCLEO COM *Trandescantia pallida*”, apresentada por **OSILENE DOS SANTOS ROCHA**, aluna do Mestrado Acadêmico em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal do Ceará (IFCE) *Campus* Fortaleza.

A sessão pública foi iniciada às **14h**, por videoconferência (*Google Meet* - link: <https://meet.google.com/ujm-yfec-byv>), pela banca examinadora constituída pelo Orientador da Dissertação Prof. Dr. **Adeildo Cabral da Silva** (Orientador), presidente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) e pelos seguintes examinadores:

Prof^ª. Dr^ª. **Rita Mickaela Barros de Andrade** - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof.^a Dr.^a **Eliane Tigre Guimarães Sant’Anna** - Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. **João José Hiluy Filho** - Universidade Federal do Ceará (UFC)

Terminada a apresentação, a banca examinadora passou à arguição da candidata, fazendo algumas observações que deverão ser consideradas na correção para elaboração da versão final da Dissertação.

Encerrados os trabalhos, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e a defesa oral, tendo sido atribuído o conceito: **APROVADA**.

Proclamado o resultado pelo presidente da banca examinadora foram encerrados os trabalhos e, para constar eu **Adeildo Cabral da Silva** lavrei a presente ata, a qual assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. **Adeildo Cabral da Silva** (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof^ª. Dr^ª. **Rita Mickaela Barros de Andrade**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof.^a Dr.^a **Eliane Tigre Guimarães Sant’Anna**
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. **João José Hiluy Filho**
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Documento assinado eletronicamente por **Adeildo Cabral da Silva, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 30/09/2021, às 11:41, 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 30/09/2021, às 14:36, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eliane Tigre Guimarães Sant'Anna, Usuário Externo**, em 30/09/2021, às 20:03, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rita Mickaela Barros de Andrade, Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 14/10/2021, às 09:26, 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 **3005525** e o código CRC **E7E53D21**.

OSILENE DOS SANTOS ROCHA

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA DA CIDADE DE FORTALEZA
POR MATERIAL PARTICULADO E SEU POTENCIAL GENOTÓXICO,
UTILIZANDO O BIOINDICADOR *Tradescantia pallida*

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado 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 parcial para obtenção do Título de Mestra em Tecnologia e Gestão Ambiental. Área de concentração: Instrumentos de Gestão Ambiental.

Aprovada em: ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva (Orientador)

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

Prof. Dr. João José Hiluy Filho

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Dra. Eliane Tigre Guimarães Sant'Anna

Faculdade de Medicina de São Paulo (FMUSP)

Profª. Dra. Rita Mickaela Barros de Andrade

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

A Deus.

Aos meus pais: Alzimar “Zima” e Socorro
“Mãe”.

À minha família.

Aos mestres.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me inspirar sabedoria, fortaleza e persistência.

Obrigada aos meus pais, Alzimar Rocha e Socorro Rocha, pelo apoio e por estarem prontos para me ajudarem, nos desafios, com atenção, carinho e amor e aos meus irmãos Ronan e Sanzio.

Obrigada a todos da minha família, avós Ana (*in memória*) e Ricardo (*in memória*), tios, tias pelo apoio e graça, primo Marcos André pela amizade e apoio, prima Valéria por me acompanhar na apresentação da qualificação e defesa, Angelina e Suzana pela companhia e amizade.

Meus padrinhos Renato e Elcy (*in memoria*) que desde criança estiveram presentes e atentos em minha trajetória tornando realizável minhas conquistas. À minha madrinha, Dra. Valdivia, que desde tenra infância esteve presente contribuindo para que minhas conquistas hoje fossem realizadas.

Ao meu orientador, professor Dr. Adeildo Cabral, pelos anos de trabalhos, pesquisa, publicação, confiança, presteza dos seus ensinamentos e aprendizado, o meu muito obrigada!

Ao grupo de estagiários do LERCA, como Paulo Vitor, Maria Gabriela, Wellington, Natan, Edson pela amizade, auxílio, descontração nos intervalos, companhia alegre e apoio na realização das atividades, os meus agradecimentos!

Aos colegas da turma do PGTGA, em especial aos professores, Soares, Dayanne, Débora, Lia, Jeferson e Joana pela amizade de grupo e por suas valiosas contribuições.

Aos colaboradores por cada etapa nos locais de estudo nesta pesquisa: Sr. Wesley e Sr. Constantino e aos funcionários (do Horto), Sra. Doris (na SEMA), Sr. Rafael (no Parque Rio Branco) a todos (as) minha gratidão!

Obrigada ao meu coorientador, professor Dr. Luís António da Cruz Tarelho, pelos ensinamentos e colaboração.

À Biologista Eliane Tigre (FMUSP), Ana Júlia (FMUSP), Prof.^a Rita Mickaela e ao Prof. João Hiluy (UFC) pelo aprendizado, horas de dedicação, amizade e atenção.

À FUNCAP, meu reconhecimento pelo apoio financeiro durante a pesquisa.

À coordenação do PGTGA, à Prof.^a Waleska, à Prof.^a Glória e aos professores que compartilharam sua sabedoria, muito obrigada!

E obrigada a todos que direta ou indiretamente, por terem sido uma peça importante na minha trajetória, favoreceram a realização dessa pesquisa, contribuindo nessa etapa da vida, na qual, agora, se inicia um novo ciclo na minha formação profissional.

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção.” (FREIRE, 1996, p. 12).

RESUMO

O material particulado está entre os poluentes com maior porcentagem de emissão na atmosfera. O contato com os poluentes de material particulado (MP_{10} e $MP_{2,5}$) em elevados níveis de concentração podem causar efeitos adversos na saúde. O monitoramento dos poluentes urbanos é um importante instrumento de gestão e visa a qualidade do ar urbano a fim de adequar aos limites conforme o padrão nacional do CONAMA e em atendimento à OMS. O presente estudo consiste no diagnóstico entre 2010 a 2021 de poluentes atmosféricos, monitoramento de particulado em Fortaleza – CE e contribuições do potencial genotóxico da qualidade do ar atmosférico mediante número de micronúcleo com *Tradescantia pallida*. A metodologia segue em três etapas: Revisão literária microclimática urbana de Fortaleza, poluição atmosférica e biomonitoramento; monitoramento de material particulado (MP_{10} e $MP_{2,5}$); e biomonitoramento de frequência do MCN (com *Tradescantia pallida*). Sobre o resultado no primeiro episódio, o ponto 3 (Parque Rio Branco) revelou nível mais elevado de $MP_{2,5}$ ($7,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e MP_{10} ($30,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), enquanto no segundo episódio, o ponto 1 (Horto) consta um nível maior de $MP_{2,5}$ ($6,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e MP_{10} ($11,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Apesar da extensa área verde dos pontos 1 e 3, ambos se encontram dentro dos limites estabelecidos do padrão definido pela CETESB (SÃO PAULO, 2013) e conforme o CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990). Ressalta-se que o segundo episódio registrou um aumento no fluxo veicular no período coletado nas avenidas em estudo dos pontos 2 (SEMA) e 4 (IFCE), gerando valores com nível mais alto e significativo de MP_{10} (8,0) e MP_{10} (21,0) respectivamente; no entanto, apresentaram concentrações médias diárias para MP conforme ao padrão de qualidade do ar. O ponto 1 (Horto) registrou baixa concentração significativa de $MP_{2,5}$ ($1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) possivelmente pela extensão da área verde e o baixo fluxo veicular, ao contrário dos pontos 2 (SEMA) e 4 (IFCE), os quais apresentaram concentrações médias diárias para MP_{10} , porém, conforme o padrão de qualidade do ar. Os registros da relação entre as Estações INMET e EQMAr (SEUMA) revelaram que a temperatura e velocidade de ventos coincidem com o registro da estação chuvosa; nas coletas mostrou-se possível transporte e difusão dos poluentes de material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) na atmosfera. Ao avaliar o potencial genotóxico, os resultados apontaram que o grupo Parque Rio Branco (PRB) é diferente do grupo SEMA. Ao comparar o efeito de micronúcleo entre os grupos (Horto, PRB, IFCE e SEMA), o Horto e PRB obtiveram frequência mais baixa, evidenciando um ambiente “limpo” de poluentes, contudo, PBR registrou valores significativamente mais altos para os poluentes. Concluindo-se que o monitoramento e biomonitoramento mostraram-se eficientes

para indicarem riscos provocados pela poluição atmosférica, assim como possível influência dos fatores climáticos.

Palavras-chave: Poluição atmosférica. Monitoramento do ar. Material particulado. Bioensaio Trad-MCN.

ABSTRACT

Particulate matter is among the pollutants with the highest percentage of emission into the atmosphere. Contact with particulate matter pollutants (PM₁₀ and PM_{2.5}) at high concentration levels can cause adverse health effects. The monitoring of urban pollutants is an important management tool and aims to improve urban air quality in order to adapt to the limits according to the national standard of CONAMA and in compliance with the WHO. The present study consists of the diagnosis between 2010 and 2021 of air pollutants, monitoring of particulates in Fortaleza – CE and contributions of the genotoxic potential of air quality by micronucleus number with *Tradescantia pallida*. The methodology follows in three stages: Literary review, urban microclimate of Fortaleza, atmospheric pollution and biomonitoring; monitoring of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}); and MCN frequency biomonitoring (with *Tradescantia pallida*). The results of the first episode, point 3 (Parque Rio Branco) revealed a higher level of PM_{2.5} (7.1 µg/m³) and PM₁₀ (30.6 µg/m³), while in the second episode, point 1 (Horto) there is a higher level of PM_{2.5} (6.0 µg/m³) and PM₁₀ (11.0 µg/m³). Despite the extensive green area of points 1 and 3, both are within the established limits of the standard defined by CETESB (SÃO PAULO, 2013) and according to CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990). It is noteworthy that the second episode recorded an increase in vehicular flow in the period collected in the avenues under study at points 2 (SEMA) and 4 (IFCE), generating values with higher and significant levels of PM₁₀ (8.0) and PM₁₀ (21.0) respectively; however, they presented mean daily concentrations for PM according to the air quality standard. The records of the relationship between the INMET and EQMAr Stations (SEUMA) revealed that the temperature and wind speed coincided with the record of the rainy season, in the collections it was possible to transport and diffuse particulate matter pollutants (PM_{2.5} and PM₁₀) In the atmosphere. When evaluating the genotoxic potential, the results showed that the Parque Rio Branco (PRB) group is different from the SEMA group. When comparing the micronucleus effect between the groups (Horto, PRB, IFCE and SEMA), Horto and PRB had a lower frequency, revealing a “clean” environment for pollutants, but PBR recorded significantly higher values for pollutants. In conclusion, monitoring and biomonitoring proved to be efficient to indicate risks caused by air pollution, as well as a possible influence of climatic factors.

Keywords: Atmospheric pollution. Air monitoring. Particulate matter. Trad-MCN Bioassay.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de dia com menor concentração e dia com maior concentração de poluentes, relacionados à visibilidade.....	26
Figura 2 – Diagrama das variações de temperatura ao longo de 2010 a 2020 em Fortaleza....	37
Figura 3 – Diagrama das variações de umidade ao longo de 2010 a 2020 em Fortaleza.....	37
Figura 4 – Diagrama das variações da direção do vento ao longo de 2010 a 2020 em Fortaleza	38
Figura 5 – Diagrama das variações de Velocidade do vento ao longo de 2010 a 2020 em Fortaleza	38
Figura 6 – Diagrama das variações de temperatura ao longo de 2020 em Fortaleza	39
Figura 7 – Diagrama das variações de umidade ao longo de 2020 em Fortaleza.....	39
Figura 8 – Diagrama das variações de velocidade do vento ao longo de 2020 em Fortaleza ..	40
Figura 9 – Temperatura diária dos dias de máxima concentração de CO ₂ de out. a dez. de 2011 (à esquerda). Máximas concentrações de CO ₂ de out. a dez. de 2011 (à direita).....	43
Figura 10 – Comparação das temperaturas do ar máximas encontradas nos seis pontos por diferentes autores ao longo de uma década	43
Figura 11 – Níveis de CO ₂ e temperatura do ar no dia de máxima concentração média de CO ₂ : (A) jan./2012, (B) fev./2012 e, (C) mar./2012.....	44
Figura 12 – Comparação das temperaturas do ar máximas encontradas nos seis pontos com as normais climatológicas para mês de julho.....	45
Figura 13 – Organograma metodológico da pesquisa	52
Figura 14 – Posição Geográfica e limites do município de Fortaleza no Estado do Ceará.....	53
Figura 15 – Localização do município e da região Metropolitana de Fortaleza (à esquerda); Mesorregião Geográfica de Fortaleza (à direita).....	54
Figura 16 – Representação das classes dos tipos climáticos do Ceará.....	55
Figura 17 – Mapa descritivo – Observatório de medições fixas para miniestação meteorológica entre as vias Treze de maio e Pontes Vieira – Fortaleza	57
Figura 18 – Estação 1 – IFCE <i>Campus</i> Fortaleza.....	59
Figura 19 – Mapa da Estação INMET Automática e Convencional	59
Figura 20 – Estação 1 – IFCE: Biomonitoramento com <i>T. pallida</i>	60
Figura 21 – Estação 2 – Parque Rio Branco	61
Figura 22 – Estação 2 – Parque Rio Branco: Biomonitoramento com <i>T. pallida</i>	62
Figura 23 – Estação 3 – SEMA-CE.....	63

Figura 24 – Estação 3 – SEMA: Biomonitoramento com <i>T. pallida</i>	64
Figura 25 – Estação 4 – Horto Florestal Municipal Falconete Fialho	64
Figura 26 – Estação Fortaleza (572): Parque Dois Irmãos – INMET	66
Figura 27 – Localização espacial da Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar – EMQAr	68
Figura 28 – Medição fixa de Métodos de Referência – Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar – EMQAr (SEUMA)	69
Figura 29 – METOne Model 831	69
Figura 30 – Estação 4 – Horto Municipal: Biomonitoramento com <i>T. pallida</i>	70
Figura 31 – Mudanças do espécime <i>Tradescantia pallida</i>	71
Figura 32 – Canteiro de mudas para o paisagismo urbano (à esquerda); Produção de mudas (à direita).....	71
Figura 33 – Substratos de composto a. Folha de poda de mudas vegetais; b. Arisco (areia) (no centro). Proporções de 1:2 de substrato (à direita)	72
Figura 34 – Substratos 1:2 de composto no saco (à esquerda); b. Substrato na proporção de 1:2 no vaso de jardim (à direita)	73
Figura 35 – Estaquia: sequência de secção de 10 cm no ramo do caule em estacas apicais	73
Figura 36 – Transplantes (à esquerda), irrigação (ao centro) e acompanhamento das mudas <i>Tradescantia pallida</i> (à direita)	74
Figura 37 – Espaços verdes – Praça Nossa Senhora de Fátima e Parque Rio Branco	74
Figura 38 – Estação Fortaleza (A305): Temperaturas do ar diárias (Máxima, Média, Mínima) – 12/2020	78
Figura 39 – Estação Fortaleza (A305): Umidade relativa do ar diária (Máximo, Média, Mínima) – 12/2020	78
Figura 40 – Estação Fortaleza (A305): Temperatura por hora (Máxima, Instantânea, Mínima) – 01/2021	79
Figura 41 – Estação Fortaleza (A305): Umidade relativa por hora (Máxima, Instantânea, Mínima) – 01/2021	79
Figura 42 – Estação Fortaleza (A305): Relação de temperatura e Umidade por hora – 12/2020	80
Figura 43 – Estação Fortaleza (A305): Velocidade do vento dez/2020	81
Figura 44 – Estação Fortaleza (A305): Velocidade do vento jan./2021	82
Figura 45 – Estação Fortaleza (A305): Rosa dos ventos – janeiro a junho/2021	83
Figura 46 – Teste de normalidade dos dados	94

Figura 47 – *Box Plot* da concentração do de material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10} nos grupos Horto, SEMA, PRB e IFCE..... 99

Quadro 1 – Classificação dos poluentes..... 29

Quadro 2 – Resumo de Teste de Hipótese..... 96

Quadro 3 – Comparação de pares de grupo..... 98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Poluentes monitorados, suas origens e efeitos à saúde.....	31
Tabela 2 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Atmosférico – Resolução CONAMA Nº 03 de 28/06/1990 (relatório CETESB 2001)	32
Tabela 3 – Padrões primários e secundários dos principais poluentes e método de medição – CONAMA 03/90	33
Tabela 4 – Níveis de atenção, de alerta e de emergência	33
Tabela 5 – Estágio de implementação de instrumentos de gestão de qualidade do ar no Brasil	35
Tabela 6 – Qualidade do Ar referente aos poluentes avaliados no período (1993 a 2001) e 2009	42
Tabela 7 – Lista de pontos para estação meteorológica para medições fixas.....	57
Tabela 8 – Lista de Praças e áreas verdes para implantação de <i>Tradescantia pallida</i> cv. Purpurea na cidade de Fortaleza	75
Tabela 9 – Escala para classificação do vento – Escala Beaufort adaptada da DHN.....	81
Tabela 10 – Padrão de Qualidade do ar e valores de material particulado (MP _{2,5} e MP ₁₀).....	89
Tabela 11 – <i>Test of Normality</i>	94
Tabela 12 – Estatísticas descritivas	95
Tabela 13 - Estatísticas descritivas	95
Tabela 14 – Classificações	96

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Fontes de emissão de material particulado nos Estados Unidos	25
Gráfico 2 – Fontes de emissão de poluentes em 2005 na região metropolitana de São Paulo .	25
Gráfico 3 – Distribuição proposta para partículas que poderia ser obtida no trânsito, apresentando a classificação modal.....	28
Gráfico 4 – Representação dos tipos por unidade de veículos em Fortaleza – CE	41
Gráfico 5 – Evolução (médias horárias) das concentrações de Partículas em Suspensão MP ₁₀ e MP _{2,5} (µg/m ³).....	85
Gráfico 6 – Evolução das concentrações de Partículas Inaláveis < 10 µm (µg/m ³) e Inaláveis Finas < 2,5 µm (µg/m ³) comparada ao padrão CONAMA 491/18	86
Gráfico 7 – Evolução (médias horárias) das concentrações de Partículas em Suspensão (MP ₁₀ e MP _{2,5}) (µg/m ³)	87
Gráfico 8 – Evolução das concentrações de Partículas Inaláveis < 10 µm (µg/m ³) comparada ao padrão CONAMA 491/18	88
Gráfico 9 – Valores médios de concentração de material particulado (MP _{2,5} e MP ₁₀) nos pontos C e D.....	91
Gráfico 10 – Valores médios de concentração de material particulado (MP _{2,5} e MP ₁₀) nos pontos A e B.....	92

LISTA DE SIGLAS

Ar	Argônio
°C	Celsius
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
DNA	Ácido desoxirribonucleico
FP	Fumaça Preta
HCL	Ácido clorídrico
HF	Ácido fluorídrico
HNO ₃	Ácido nítrico
H ₂ S	Sulfeto de hidrogênio
MP _{2,5}	Material particulado
MP ₁₀	Material particulado
N	Nitrogênio
NH ₃	Amônia
NO	Monóxido de nitrogênio
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
O ₃	Ozônio
PI	Partículas Inaláveis
PPM	Partículas por milhão
os	Partículas em Suspensão
PTS	Partículas Totais em Suspensão
PT	Partículas Totais
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SO ₃	Trióxido de enxofre

UV Radiação ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
2 OBJETIVOS	23
2.1 Geral	23
2.2 Específicos	23
3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	24
3.1 Poluição atmosférica.....	24
3.2 Fontes: Fixa e Móvel.....	29
3.3 Poluentes: Eutróficos e Naturais	29
3.4 Poluentes e Saúde.....	30
3.5 Estabelecimento de Normas para Níveis de Poluentes	31
3.6 Situação em Fortaleza: Meteorologia e Poluentes	36
3.7 Biomonitoramento	46
3.8 <i>Tradescantia pallida</i>	48
3.9 Bioensaio Trad-MCN	48
4 MATERIAIS E MÉTODOS	50
4.1 Área de Estudo.....	53
4.2 Método	54
4.3 Descrição de Ponto de Amostragem.....	56
4.3.1 Estação 1 – IFCE Campus Fortaleza	58
4.3.2 Estação 2 – Parque Rio Branco	60
4.3.3 Estação 3 – SEMA-CE	62
4.3.4 Estação 4 – Horto Florestal Municipal Falconete Fialho.....	64
4.4 Coleta de Indicadores	65
4.4.1 Climatologia Urbana	65
4.4.2 Poluição Urbana.....	67
4.4.2.1 Número de Particulado	69
4.4.3 Bioindicador – <i>Tradescantia pallida</i>.....	70
4.4.3.1 Disposição das plantas.....	71
4.4.3.2 Bioensaio Trad-MCN	75
4.4.3.3 Estatística.....	76
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
5.1 Em relação à climatologia urbana	78

5.2 A concentração da poluição urbana.....	84
5.3 Sobre a concentração de particulados na área de estudo	88
5.4 Bioindicadores e o nível de toxicidade do ar atmosférico no torno das áreas monitoradas.....	93
6 CONCLUSÃO.....	101
REFERÊNCIAS.....	103
ANEXO A – GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO (MP_{2,5} E MP₁₀) PARA O PERÍODO DE 25 DE OUTUBRO DE 2021 NO PONTO A – HORTO FLORESTAL DE FORTALEZA.....	112
ANEXO B – GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO (MP_{2,5} E MP₁₀) PARA O PERÍODO DE 26 DE OUTUBRO DE 2021 NO PONTO B – SEMA.....	113
ANEXO C – GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO (MP_{2,5} E MP₁₀) PARA O PERÍODO DE 27 DE OUTUBRO DE 2021 NO PONTO C – PARQUE RIO BRANCO DE FORTALEZA ..	114
ANEXO D – GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO (MP_{2,5} E MP₁₀) PARA O PERÍODO DE 28 DE OUTUBRO DE 2021 NO PONTO D – IFCE.....	115

1 INTRODUÇÃO

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.

Hoje as cidades modernas sofrem com a exposição de poluentes por atividades decorrentes de origens estacionárias (indústrias) e de origens móveis (com a queima de combustíveis fósseis). Os registros de poluição demonstram maior concentração desses níveis em áreas urbanas em relação à zona rural, fato decorrente tanto das emissões industriais, como das veiculares.

Para melhor compreensão da qualidade do ar nas cidades, Freitas (2016) ressalta que não depende somente da quantidade de poluentes lançados pelas fontes emissoras, mas também da forma como a atmosfera age ao concentrá-los ou dispersá-los, por entender-se que o controle dos processos climáticos se organiza dos níveis escalares para os inferiores. Na concepção de Monteiro e Mendonça (2003), a diagnose da poluição atmosférica requer dois cuidados: mensuração da qualidade do ar e levantamento das fontes poluidoras. Para Zavattini e Barros (2009), a dinâmica da poluição se dá em escalas horária e diária, observando-se determinados horários e dias em que ela é maior ou menor.

Miller (2011) cita que os efeitos da poluição do ar e da temperatura global podem ser significativos nas alterações do clima regional e, conseqüentemente, além de ameaçar a saúde humana e interferir no ecossistema, ameaçariam reservas de animais selvagens, implicando na perda da biodiversidade.

No Brasil consideram-se substâncias poluentes regulamentadas, segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, resolução n.º 03 de 28/06/1990 (BRASIL, 1990), onde estabelece os limites de emissões para Monóxido de Carbono, Dióxido de Nitrogênio, Ozônio, Dióxido de Enxofre e Material Particulado, tendo este último três indicadores: partículas Totais em Suspensão – PTS, Partículas Inaláveis – PI e Fumaça. E a partir destas

substâncias, propõe-se medidas a serem implantadas para efetivarem controle, bem como, elaboração de diagnósticos e manuais de orientação.

O CONAMA, com a Resolução nº 5 de 15 de junho de 1989 (BRASIL, 1989), criou o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar – PRONAR voltado à gestão e meio de instrumentalizar a criação de outros programas e a avaliação crítica. Nesse aspecto, evidenciou-se que no Brasil ainda são apresentados poucos resultados. O estágio de implementação do instrumento de gestão da medida de controle da qualidade do ar no estado do Ceará denota uma necessidade de estudos mais amplos.

No estado do Ceará para Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE (1992) o sistema de tráfego de Fortaleza, por onde circulam a maioria dos ônibus, compromete sistematicamente o centro e as vias urbanas, sendo um dos meios responsáveis pela má qualidade do ar.

Por meio da Lei n.º 11.411, de 28 de dezembro de 1987, que dispõe no art. 8 e integra o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) compete, dentre outros: “exercer o controle das fontes de poluição, de forma a garantir o cumprimento dos padrões de emissão estabelecidos.” (CEARÁ, 1988).

Visto os níveis de poluição acumulados na atmosfera pelos métodos tradicionais adotados, o biomonitoramento torna-se outro recurso mais adequado a fornecer informações. A planta tem o potencial mutagênico por apresentar danos identificáveis pela técnica de quantificação de micronúcleo, quando exposta a substâncias com tal potencial TRAD-MCN.

Para Moreira (2015, p. 28):

A utilização de bioindicadores vegetais para monitoramento da qualidade do ar tem sido amplamente utilizada em pesquisas (GRANT, 1994; GOMES *et al.*, 2002; ANDRADE-VIEIRA, 2011) em função de que algumas espécies apresentarem alta sensibilidade a poluentes atmosféricos, respondendo de forma positiva aos efeitos desses poluentes.

Resultados encontrados em vários estudos mostram que o uso de plantas como ferramentas bioindicadoras proporciona uma alternativa eficaz no monitoramento da poluição atmosférica (GUIMARÃES *et al.*, 2000; SISENANDO *et al.*, 2011; ALVES *et al.*, 2011; CARRERAS *et al.*, 2013).

Para utilizar plantas bioindicadoras, são necessárias técnicas, desde o cultivo e exposição, até a verificação dos efeitos e avaliação dos resultados, para que os dados possam ser válidos (KLUMPP *et al.*, 2001). Savóia (2007) afirma que dentre os bioensaios padronizados propostos para serem desenvolvidos com inflorescências desses clones de *Tradescantia*, encontra-se o bioensaio Trad-MCN.

Na região metropolitana de Fortaleza, deve-se considerar a escassez de equipamentos na adequação dos espaços urbanos para a obtenção consistente de informações sobre a concentração dos poluentes contaminantes por fontes móveis e diagnóstico meteorológico.

Nesse aspecto, o presente estudo contribuirá para futuras informações técnicas no que concerne às emissões de poluentes por fontes móveis sob o efeito de poluentes veiculares urbanos responsáveis pelo comprometimento da qualidade do ar atmosférico.

Assim sendo, o foco desta pesquisa é avaliar os níveis de poluição do ar em pontos específicos da cidade de Fortaleza – CE, ressaltando o período microclimático decorrido intervalo de tempo de 2010 a 2021; entretanto, ao discutir as concentrações atuais de poluentes atmosféricos, adotou-se como subsídio o potencial genotóxico mediante à quantidade de micronúcleos com *Tradescantia pallida* como recurso de biomonitoramento do ar.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Obter o perfil dos níveis de poluição por fontes móveis na cidade de Fortaleza – CE no período entre 2010 a 2021 com diagnóstico do particulado de MP_{10} e $MP_{2,5}$ da climatologia urbana e propor biomonitoramento mediante o potencial mutagênico, a partir da quantidade de micronúcleos com *Tradescantia pallida*.

2.2 Específicos

- I. Identificar a climatologia urbana dos parâmetros meteorológicos como condicionantes do comportamento dos poluentes atmosféricos dispondo como subsídio a estação meteorológica do INMET e EQMAr – SEUMA;
- II. Constatar o perfil da concentração atual de poluentes veiculares, a partir da quantificação de particulado do MP_{10} e $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) como estudo de caso de monitoramento com manuseio de uma miniestação meteorológica entre as avenidas Treze de Maio e Pontes Vieira, e no Parque Rio Branco em Fortaleza – CE;
- III. Elaborar o biomonitoramento da concentração de particulado MP_{10} e $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), utilizado com *Tradescantia pallida* nos pontos de estudo, como ferramenta de potencial genotóxico, medindo a frequência do micronúcleo sob o Ensaio Trad-MCN.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 Poluição atmosférica

Com a expansão da urbanização e o aumento da emissão de poluentes, tornou-se relevante o estudo sobre a medição dos níveis de concentração das principais fontes de poluição.

Santana, Cunha e Ferreira (2012) citam a preocupação em relação aos efeitos negativos da poluição atmosférica que ocorre com a identificação dos níveis (concentração dos principais poluentes no ar) que garantem a proteção da saúde humana e do meio ambiente.

Com base nos registros históricos, o carvão foi o recurso natural que contribuiu inicialmente na intensificação da poluição do ar. Uma das primeiras medidas propostas na época data de 1272, na Inglaterra, onde foi promovido o banimento do uso e posteriormente nos séculos XIV e XV a restrição no uso do carvão. Com o crescimento da atividade industrial, surgiram outras fontes de emissões e contaminação atmosférica.

Álvares Jr., Lacava e Fernandes (2002) ressaltam que a publicação do Ato de controle da Poluição do Ar pelo governo de Estado da Califórnia ocorreu sob dois dispositivos: primeiro, com base na proibição de emissões com o enegrecimento acima de um dado nível; segundo, o controle de emissões baseado no incômodo da população. O autor cita ainda a Lei que criou o *Clean Air Act* (Ato do Ar Limpo), promulgada nos Estados Unidos em 1963, a qual introduziu definitivamente a questão relacionada com a definição de padrões de emissão para veículos automotores, entrando em vigor somente em 1968.

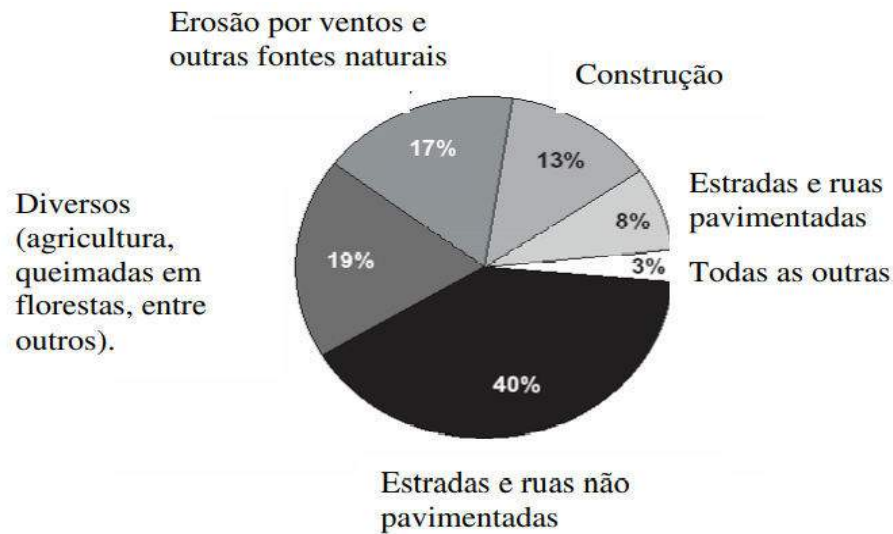
Para Freitas, Pereira e Saldiva (2002), o estabelecimento de relação de causalidade entre danos à saúde e poluentes atmosféricos deu-se a partir de episódios dramáticos de poluição do ar em centros urbanos da Europa e dos Estados Unidos. Dentre os episódios citados pelos autores, destaca-se caso que teve sede no Vale de Meuse, na Bélgica, onde ocorreu aumento de doenças respiratórias, de complicações cardiovasculares e com mais de 60 óbitos (FIRKET, 1931).

Outro caso registrado aconteceu nos Estados Unidos, na cidade de Donora, Pensilvânia, que teve 43% da população afetada, entre os dias 26 a 31 de outubro de 1948, devido aos altos níveis de poluentes atmosféricos (BASCOM *et al.*, 1996).

Logan (1953) cita um episódio da cidade de Londres, na Inglaterra, registrou picos de poluição atmosférica desde 1873, ocasionando muitas mortes, mas foi em 1952 que se registrou o episódio mais dramático, atingindo mais de 4.000 óbitos num período de 6 dias.

Nos Estados Unidos, a U.S. EPA propôs uma caracterização genérica das fontes de material particulado, conforme o Gráfico 1.

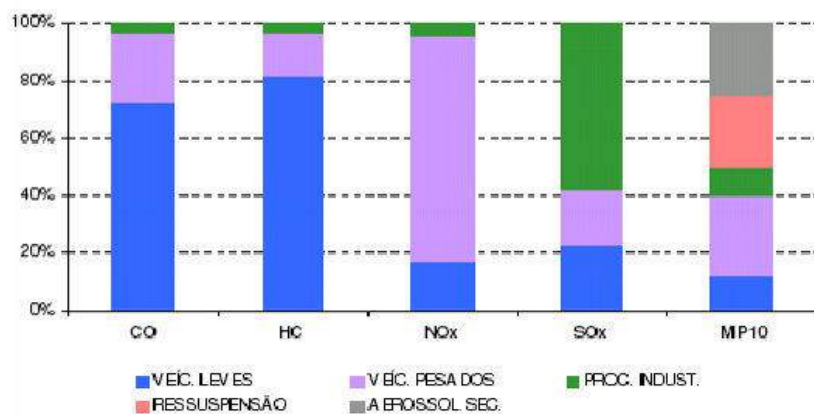
Gráfico 1 – Fontes de emissão de material particulado nos Estados Unidos



Fonte: Resende (2007, p. 5).

Dentre os componentes minoritários, o MP é aquele responsável pela formação do aerossol (BRITO; SODRÉ; ALMEIDA, 2018). O Gráfico 2 representa a caracterização da emissão dos poluentes, e destaca-se o MP₁₀ dentre várias ocorrentes na região metropolitana de São Paulo.

Gráfico 2 – Fontes de emissão de poluentes em 2005 na região metropolitana de São Paulo



Fonte: Resende (2007, p. 57).

O material particulado apresenta a característica de reduzir eficientemente a visibilidade nas áreas urbanas (SILVA, 2010). Silva (2010) cita que as partículas com diâmetro aerodinâmico entre 0,1 e 5 micra são provenientes de processos que ocorrem a altas

temperaturas, como combustão industrial e tráfego veicular. Na atmosfera, interfere na visibilidade, na quantidade de radiação que chega ao solo e na formação de nuvens, já que pode atuar como núcleos de condensação da água (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004), conforme mostra a diferença de concentração na Figura 1.

Figura 1 – Exemplo de dia com menor concentração e dia com maior concentração de poluentes, relacionados à visibilidade



Menor concentração

Maior concentração

Fonte: Resende (2007, p. 75).

Segundo Freitas, Pereira e Saldiva (2002), a partir destas ocorrências, iniciou-se todo um movimento de regulamentação dos níveis permitidos de poluentes, acoplado a medida de controle. Estas medidas surtiram efeito e atualmente não se conta com episódios tão críticos de poluição nos países desenvolvidos.

A definição de poluente atmosférico, conforme MMA (2020):

Qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

A respeito da poluição, Édis Milaré (2007, p. 11) esclarece:

A poluição do ar resulta da alteração das características físicas, químicas ou biológicas normais da atmosfera, de forma a causar danos ao ser humano, à flora, à fauna e aos materiais. [...] Ela é, sob certo aspecto, o retrato negativista da civilização industrial, que condiciona fortemente nosso estilo de vida. Milhões de toneladas/dia de emissões de elementos sólidos e gasosos alteram, passageiramente ou de forma estável, as condições de vida e influenciam nas atividades produtivas. [...] Temos que conviver – em níveis suportáveis, obviamente – com essa realidade do mundo moderno. No entanto, algumas medidas de ordenamento técnico e social devem ser incrementadas

para minimizar os impactos negativos e suas sequelas. Merecem destaque uma ampla tomada de consciência e o acesso à informação sobre o assunto.

Miller (2011) conceitua poluição do ar como sendo a presença de substâncias químicas na atmosfera em concentrações altas o suficiente para prejudicar organismos e materiais (como metais e pedras utilizados em construções e estátuas) e para alterar o clima.

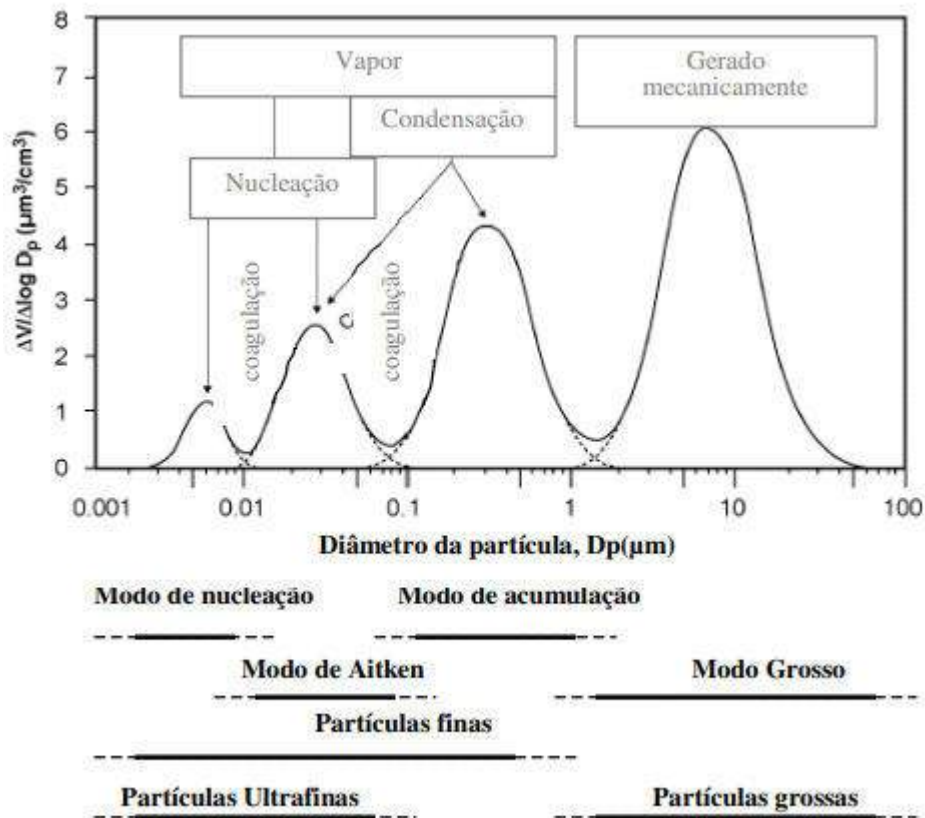
Dessa maneira, a preocupação em relação aos efeitos negativos da poluição nos obriga a buscar a medição dos níveis de concentração dos principais poluentes no ar que garantem a proteção da saúde humana e do meio ambiente (SANTANA; CUNHA; FERREIRA, 2012). Portanto, é importante a identificação dos níveis de poluentes que se encontram acima do estabelecido pelas normas, para haver um alerta e promover as medidas necessárias na redução e controle de modo a manter adequadas a proteção da saúde humana e do meio ambiente.

Nesse contexto, a poluição atmosférica é responsável por diversos efeitos no ambiente, e dentre o tipo presente em altas concentrações está o material particulado. Resende (2007) cita que o material particulado é uma complexa mistura de partículas sólidas e líquidas, emitidas por fontes poluidoras ou formadas na atmosfera. Quando dispersas no ar, essas partículas são chamadas aerossóis.

Pode-se afirmar que, em grande parte das variações na composição do ar, se dá nos componentes minoritários, entre o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o ozônio (O_3), em destaque nesse estudo está o material particulado (MP). Conforme Brito, Sodré e Almeida (2018), a presença e o transporte do MP na atmosfera relacionam-se diretamente ao tamanho das partículas. Para o autor, o MP atmosférico de menor dimensão possui cerca de $0,002 \mu\text{m}$, enquanto, partículas maiores atingirão cerca de $100 \mu\text{m}$. Dentre os componentes minoritários, o MP é agente causador pela formação do aerossol.

A classificação modal é baseada na observação da distribuição de tamanhos e mecanismos de formação. O Gráfico 3 apresenta a classificação modal para material particulado, baseado na distribuição idealizada pela U.S. EPA, que normalmente ocorre junto às áreas de tráfego de veículos (RESENDE, 2007).

Gráfico 3 – Distribuição proposta para partículas que poderia ser obtida no trânsito, apresentando a classificação modal



Fonte: Resende (2007, p. 62).

O MP também está diretamente relacionado a problemas de saúde em seres humanos, principalmente, àquele com partículas de menor tamanho, podendo comprometer o sistema respiratório e, em alguns casos, atingir também o sistema circulatório (KIM; KABIR, E.; KABIR, S., 2015).

Estudos sobre a poluição atmosférica e os efeitos na saúde da população demonstraram que, mesmo quando os poluentes se encontram abaixo dos níveis determinados pela legislação, estes conseguem provocar efeitos na saúde das pessoas (MARTINS *et al.*, 2002; MORAES *et al.*, 2010; AMÂNCIO; NASCIMENTO, 2012; GAVINIER; NASCIMENTO, 2014).

No Brasil, segundo os dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2017), a frota de veículos no estado teve crescimento de 180% nos últimos 10 anos. Em 2010, a frota de veículos da Região Metropolitana de Fortaleza contava com mais de 900 mil veículos, dos quais 80% pertenciam somente ao município de Fortaleza.

Segundo o IBGE (2018), a cidade de Fortaleza, região Nordeste do país, possui a quinta maior capital em população, com mais de 2 milhões de habitantes, possui uma frota de mais de 1 milhão de veículos automotores (DETRAN-CE, 2017; POLICARPO *et al.*, 2018).

No entanto, até 2011 a mobilidade no Brasil era caracterizada por uma frota de 33 milhões de veículos com um índice de motorização de 288 veículos/1.000 habitantes (IBGE, 2016; URBAN LEDS, 2017).

3.2 Fontes: Fixa e Móvel

O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. O MP pode ser emitido por fontes primárias ou ser formado na atmosfera de maneira secundária, ou seja, a partir de reações com outros componentes atmosféricos (MOZETO, 2001). A classificação dos poluentes é dividida da seguinte forma:

Quadro 1 – Classificação dos poluentes

Poluentes Primários	Poluentes Secundários
aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão.	aqueles formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera.

Fonte: CETESB (2022).

O tamanho e a composição do MP variam em função da fonte emissora (BAIRD; CANN, 2011; CASS, 1998). Uma das maneiras de classificar o MP baseia-se na estimativa do tamanho das partículas (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004).

Basicamente, a distribuição das concentrações de poluentes na atmosfera depende das condições meteorológicas, podendo alguns poluentes ser transportados a longas distâncias, antes de atingirem o nível dos solos (DANNI-OLIVEIRA, 2003).

Já os poluentes secundários, tais como o ozônio, demandam certo tempo, e ocorrem à medida que as massas de ar se deslocam, com isso é normal que concentrações elevadas desses poluentes atinjam áreas mais afastadas das fontes de emissão que o poluente primário (SEINFELD, 1986).

3.3 Poluentes: Eutróficos e Naturais

Poluentes atmosféricos originam-se a partir dos processos naturais e antropogênicos (ou eutróficos).

Freitas (2016) cita que as fontes poluidoras do ar são classificadas em **naturais** e **antropogênicas**. Para o autor, são exemplos de fontes naturais: cinzas e gases de emissões vulcânicas, tempestades de areia e poeira, decomposição de animais e vegetais, partículas e gases de incêndios florestais, poeira cósmica, evaporação natural, odores e gases da decomposição de matéria orgânica, umidade e sal.

São exemplos de fontes **Antropogênicas**: fontes industriais, fontes móveis (veículos a gasolina, álcool, diesel e gnv), queima de lixo a céu aberto, queima de combustíveis na indústria, termoeletricas e emissões de processos químicos.

3.4 Poluentes e Saúde

Para a ONU (2021), a cada ano, estima-se que a exposição à poluição do ar cause 7 milhões de mortes prematuras e resulte na perda de milhões de anos de vida saudáveis. A poluição atmosférica é uma das maiores ameaças ambientais à saúde humana, com a mudança do clima.

Cavalcanti (2010) cita que os efeitos da poluição do ar podem variar conforme o tipo e a concentração dos poluentes, os volumes aspirados, o tempo de exposição e as condições fisiológicas de cada organismo.

Esses poluentes se depositam no solo, nas plantas e na água, contribuindo para aumentar o espectro de exposição humana. No entanto, os impactos mais sérios dos poluentes atmosféricos são observados, sobretudo, no sistema respiratório (CAVALCANTI, 2010).

A questão da poluição atmosférica e seus impactos sobre a saúde tem sido foco de vários estudos epidemiológicos realizados pela comunidade científica em vários países, inclusive no Brasil (CAVALCANTI, 2010).

O MP também está diretamente relacionado a problemas de saúde em seres humanos, principalmente aquele com partículas de menor tamanho, podendo comprometer o sistema respiratório e, em alguns casos, atingir também o sistema circulatório (KIM; KABIR, E.; KABIR, S., 2015).

Massey *et al.* (2012) cita exemplo que os dados de mortalidade diários mostram que em uma escala global, 4 – 8% da mortalidade prematura podem ocorrer devido à exposição ao MP total e em especial ao material particulado com diâmetro menor que 2,5 µm (chamado material particulado fino ou MP_{2,5}).

A Tabela 1 apresenta os efeitos da poluição sobre a saúde e as fontes de emissão de cada poluente.

Tabela 1 – Poluentes monitorados, suas origens e efeitos à saúde

Poluentes Monitorados	Fontes de Emissão	Efeitos à Saúde
Partículas Inaláveis (MP10)	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Interfere no sistema respiratório, pode afetar os pulmões e todo o organismo.
Partículas em suspensão (poeira)	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol, marinho e solo. queimadas e poeiras diversas.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de Enxofre SO ₂	Queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre, como óleo combustível, carvão mineral e óleo diesel.	Ação irritante nas vias respiratórias, o que provoca tosse e até falta de ar. Agravando os sintomas da asma e da bronquite crônica. Afeta, ainda, outros órgãos sensoriais.
Óxidos de Nitrogênio NO ₂ e NO	Queima de combustíveis em altas temperaturas em veículos, aviões fornos e incineradores.	Agem sobre o sistema respiratório, podendo causar irritações e, em altas concentrações, problemas respiratórios e edema pulmonar.
Monóxido de Carbono CO	Combustão incompleta de materiais que contenham carbono, como derivados de petróleo e carvão.	Provoca dificuldades respiratórias e asfixia. É perigoso para aqueles que têm problemas cardíacos e pulmonares.
Ozônio (O ₃)	Não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, mas formado na atmosfera através da reação entre os compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio em presença de luz solar.	Irritação nos olhos e nas vias respiratórias, agravando doenças pré-existentes, como asma e bronquite, reduzindo as funções pulmonares.

Fonte: INEA (2010).

De acordo com Cavalcanti (2010), a qualidade do ar pode mudar em função das condições meteorológicas, que determinarão uma maior ou menor diluição dos poluentes, mesmo sendo mantidas as emissões. A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera definirá o nível de qualidade do ar que determina, no que lhe concerne, o surgimento de efeitos adversos da poluição sobre os receptores (CETESB, 2022).

Faz-se necessário entender as causas da poluição atmosférica, a natureza e os efeitos dos poluentes atmosféricos, para que um controle apropriado e efetivo da população seja introduzido (ELSOM, 1989). Para Leite *et al.* (2011), os efeitos dos poluentes causados ao meio ambiente e à qualidade de vida das pessoas, além de afetarem as comunidades próximas à fonte de emissão, podem viajar milhares de quilômetros pela atmosfera, atingindo locais distantes.

3.5 Estabelecimento de Normas para Níveis de Poluentes

A Lei 12.494, de 4 de outubro de 1995 dispõe sobre a fiscalização e o controle de emissões de poluentes atmosféricos por veículos automotores no Estado do Ceará (CEARÁ, 1995). Em seu parágrafo único, relata que os padrões de avaliação dos níveis de emissões de

poluentes dos veículos devem respeitar os termos de Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

O Art. 3 trata da responsabilidade do controle que se deve ao órgão Estadual, a Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE, segundo a qual, por ocasião do licenciamento anual de veículo, se articulará com o Departamento Nacional de Trânsito – DETRAN para o cumprimento do estabelecido no Art. 2 da presente lei. Este artigo estabelece que no licenciamento anual serão aferidos níveis de gases expelidos pelos veículos automotores.

A definição dos padrões de qualidade do ar está disposta conforme a Resolução n.º 3, de 28 de junho de 1990, do CONAMA (BRASIL, 1990). No Art. 1 do CONAMA, a resolução dispõe que as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A Tabela 2 apresenta os padrões acionais de qualidade do ar atmosférico, que seguem os Índices de Qualidade do Ar adaptado nas condições do Brasil pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) com base no *Pollutant Standard Index – PSI* e desenvolvido pela *Environmental Protection Agency – EPA* nos EUA.

Tabela 2 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Atmosférico – Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/1990 (relatório CETESB 2001)

QUALIDADE	ÍNDICE	MP ₁₀	O ₃	CO	NO ₂	SO ₂
BOA	0-50	0-50	0-80	0-4,5	0-100	0-80
REGULAR	51-100	50-150	80-160	4,5 - 9	100-320	80-365
INADEQUADA	101-199	150-250	160-200	9 - 15	320-1130	365-800
MÁ	200-299	250-420	200-800	15 -30	1130-2260	800-1600
PÉSSIMA	300-399	>420	>800	>30	>2260	>1600
CRÍTICA	> 400					

Fonte: CETESB (2002).

Para a regulação dos padrões nacionais responsáveis pelos níveis de poluição atmosférica e qualidade do ar, no Brasil são estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA e aprovados pela Resolução CONAMA 03/90 de 28/06/90.

A resolução do CONAMA 03/90 estabelece os padrões primários e secundários, tempo de amostragem permitida e a técnica utilizada para a medição, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Padrões primários e secundários dos principais poluentes e método de medição – CONAMA 03/90

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PADRÃO SECUNDÁRIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas Totais em Suspensão	24 horas ¹ MGA ²	240 80	150 60	Amostrador de Grandes Volumes
Partículas Inaláveis	24 horas ¹ MAA ³	150 50	150 50	Separação inercial/filtração
Fumaça	24 horas ¹ MAA ³	150 60	140 40	Pararosanilina
Dióxido de Enxofre	24 horas ¹ MAA ³	365 80	100 40	Reflectância
Dióxido de Nitrogênio	1 hora ¹ MAA ³	320 100	190 100	Quimiluminescência
Monóxido de Carbono	1 hora ¹ 8 horas	40.000 35 ppm	40.000 35 ppm	Infravermelho não dispersivo
		10.000 9 ppm	10.000 9 ppm	
Ozônio	1 hora ¹ MAA ³	160	160	Quimiluminescência

1. Não deve ser excedido mais de uma vez ao ano

2. Média Geométrica Anual

3. Média Aritmética Anual

Fonte: CETESB

Fonte: CETESB (2002).

Na Resolução n.º 491, de 19 de novembro de 2018, no Art. 10, dispõe da elaboração de um relatório que consta informações com base nos níveis de atenção, de alerta e de emergência. Destaca as concentrações do material particulado (MP₁₀ e MP_{2,5}) representado na Tabela 4, um Plano para Episódio Críticos de Poluição do Ar.

Tabela 4 – Níveis de atenção, de alerta e de emergência

Nível	Poluentes e concentrações					
	SO2 mg/m ³ (média de 24h)	Material Particulado	CO Ppm (média móvel de 8h)	O3 mg/m ³ (média móvel de 8h)	NO2 mg/m ³ (média de 1h)	
		MP10	MP2.5			
		mg/m ³ (média de 24h)	mg/m ³ (média de 24h)			
Atenção	800	250	125	15	200	1.130
Alerta	1.600	420	210	30	400	2.260
Emergência	2.100	500	250	40	600	3.000

Fonte: CONAMA (2021).

Além disso, a resolução considera, em parágrafo único, a definição de poluente atmosférico como qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos e tornarem

ou possam tornar o ar: I – Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; II – Inconveniente ao bem-estar público; III – Danoso aos materiais, à fauna e flora e; IV – Prejudicial à segurança ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

No documento do Ministério das Cidades, o Ministério da Saúde e o Ministério do Meio Ambiente (2009) lançaram, em conjunto, o Plano Nacional de Qualidade do Ar, e cita que:

Ações de gestão são necessárias para prevenir ou reduzir as emissões de poluentes e os efeitos da degradação do meio aéreo, o que já foi demonstrado ser compatível com o desenvolvimento econômico e social. A gestão da qualidade do ar envolve, portanto, medidas mitigadoras que tenham como base a definição de limites permissíveis de concentração dos poluentes na atmosfera, a restrição de emissão dos mesmos, bem como um melhor desempenho na aplicação dos instrumentos de comando e controle, entre eles o licenciamento ambiental e o monitoramento. (MMA, 2009, p. 1).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) e o Banco Mundial consideram a poluição do ar interior um dos problemas ambientais mais sérios no mundo (MILLER, 2011).

O Conselho Estadual de Meio Ambiente – COEMA aprovou uma resolução n.º 14 de 29/06/2011 e aprova o Plano de Controle de Poluição Veicular – PCPV do Estado do Ceará na 42.^a Reunião Extraordinária do COEMA (CEARÁ, 2011). O plano visa atender a Resolução CONAMA n.º 418 de 2009 (BRASIL, 2009) e estabelece as diretrizes gerais e critérios para o desenvolvimento de ações de controle da poluição gerada pela frota de veículos em circulação no Estado do Ceará.

A importância refere-se aos fatores que comprometem a qualidade do ar, problemas causados pelo aumento da frota desses veículos (fontes móveis), tornando a população susceptível a danos à saúde, o mobiliário urbano e vegetação, ressaltando sua ocorrência no interior, na capital, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF).

O CONAMA, por meio da Resolução n.º 05, de 15 de junho de 1989, criou o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar – PRONAR (BRASIL, 1989). O programa visa a necessidade de melhoria no gerenciamento de prevenção ou redução de poluentes atmosféricos, os efeitos na saúde humana e no meio ambiente, tendo em vista compatibilizar o crescimento econômico e a qualidade ambiental.

O PRONAR foi criado com o intuito de

Permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas à melhora da qualidade do ar, ao atendimento dos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar nas áreas consideradas não degradadas. (CONAMA, 2012, p. 476).

De modo a atender o gerenciamento de qualidade do ar, o programa propôs metas a serem cumpridas no curto, médio e longo prazo. Dentre as medidas de médio prazo está a criação do Inventário Nacional de Fontes e Emissões. Tanto parte da proposta desse estudo quanto parte da obtenção de dados de monitoramento ocorrem no prazo entre 2009 a 2020.

No entanto, observa-se que a implantação do PRONAR não englobou no planejamento setorial, territorial ou ambiental da forma ampla. A Tabela 5 consta como contribuição da avaliação crítica de resultados, o estágio de implementação de instrumentos de gerenciamento de qualidade do ar no Brasil (MMA, 2009), destacando, em especial, Nordeste – Ceará, a região e estado em estudo.

Tabela 5 – Estágio de implementação de instrumentos de gestão de qualidade do ar no Brasil

	Norte					Centro-Oeste					Nordeste					Sul		Sudeste									
Institucional	PA	TO	AP	AM	RR	RO	AC	MT	MS	GO	DF	BA	SE	AL	PE	PB	RN	CE	PI	MA	RS	SC	PR	SP	MG	ES	RJ
cooperações interinstitucionais																											
Legislação																											
para gestão																											
para aplicação de penalidades																											
para implantar o PRONAR																											
Gestão																											
planos e programas																											
cooperação internacional/financiamentos																											
Padrões de qualidade e limites de emissão																											
padrões mais restritivos que CONAMA 03/90																											
limites mais restritivos que os nacionais																											
Monitoramento																											
programa																											
equipe técnica própria																											
feito por terceiros																											
exigência do licenciamento																											
Áreas Críticas de poluição do ar																											
enquadramento em áreas críticas																											
plano de emergência																											
fontes naturais																											
Inventários de emissões																											
banco de dados sobre fontes																											
elaboração de inventários																											
Controle e Fiscalização																											
interface licenciamento e monitoramento																											
amostragem de chaminés																											
acompanhamento dos programas dos EIA																											
Sistema de informações																											
banco informatizado																											
validação de dados do monitoramento																											
aplicação de modelos de dispersão																											
comunicação de dados de qualidade do ar																											
incorporação de dados da rede privada																											
SIM																											
NÃO																											
PREVISTO																											
INSTRUMENTO IMPLANTADO PARCIALMENTE OU ATIVIDADE EM ANDAMENTO																											
SEM INFORMAÇÃO																											

Fonte: PRONAR (MMA, 2009).

Conforme o diagnóstico do COEMA (CEARÁ, 2010), ao analisar a evolução da frota do estado de Ceará, no período compreendido entre o ano 2000 e 2010, constatou-se o aumento de 169,20% no estado, passando de 633.871 em 2000 para 1.706.361 em 2010, dos quais mais de 300.000 possuem idade superior a 15 anos.

De acordo com o anuário do Ceará com base na fonte do DENATRAN, Ministério das Cidades e Registro Nacional de Veículos Automotores (RENAVAM), em 2018, a frota de veículos no estado totalizava em 3.113,596 e 1.12,960 em número de automóveis.

O diagnóstico ressalta ainda que caso essa tendência persista, em 2020, o Ceará terá cerca de 4.593.523 veículos, e assim, o crescimento da frota duplicou nos últimos dez anos na Capital, Interior e Região Metropolitana de Fortaleza – RMF. Vale ressaltar que o presente estudo analisa a evolução das emissões veiculares dos poluentes no período de 2010 a 2020.

No que diz respeito à poluição atmosférica, o diagnóstico do COEMA (CEARÁ, 2010), a contribuição das fontes na RMF, não pode ser identificada precisamente, tendo em vista que ainda não foi realizado no Estado do Ceará, o inventário das Fontes de Emissão Fixas e Móveis.

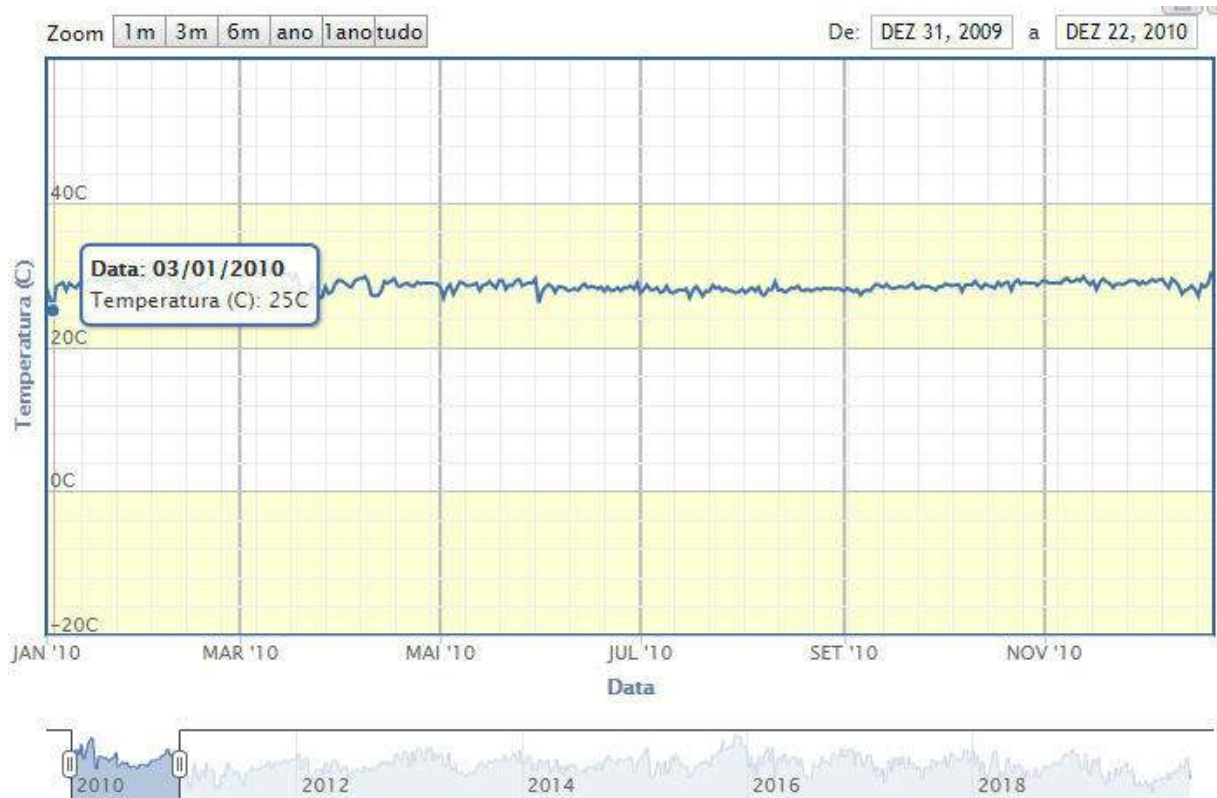
3.6 Situação em Fortaleza: Meteorologia e Poluentes

Lechner (2000) afirma que em uma região, em função de variados fatores, pode apresentar um clima modificado, dentre eles, a topografia, a presença de vegetação, a capacidade térmica, a orientação quanto à exposição solar, etc.

No Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram obtidas, da estação de Fortaleza, dados de temperatura, umidade, precipitação e evaporação que compreendem a sequência histórica representada entre o período em estudo (2009 a 2020).

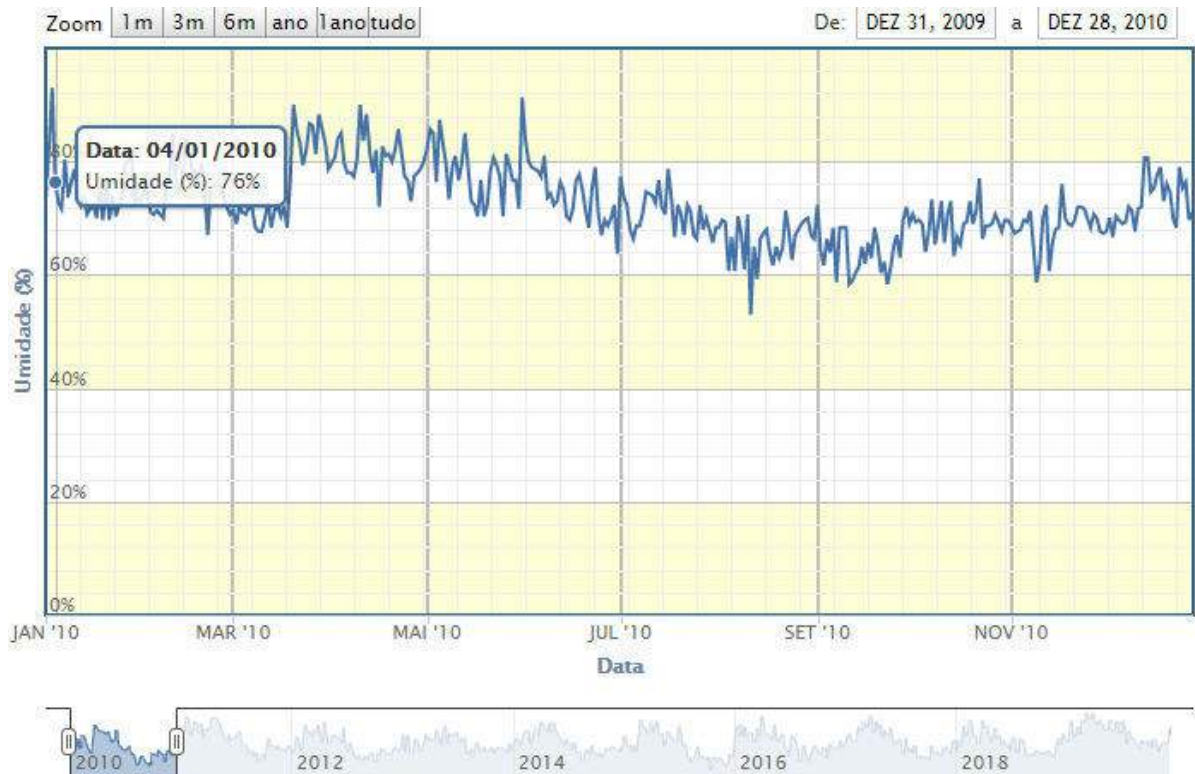
Desse modo, a meteorologia na Figura 2 mostra ao longo do ano de 2010, a temperatura máxima de 31 °C relativamente constante, enquanto a umidade 76% (FIGURA 3), variações da direção do vento a sudeste (SE) (FIGURA 4) e a variação da velocidade do vento chega a 4 m/s (FIGURA 5). Alguns meteorologistas alertam que um clima raramente muda linearmente.

Figura 2 – Diagrama das variações de temperatura ao longo de 2010 a 2020 em Fortaleza



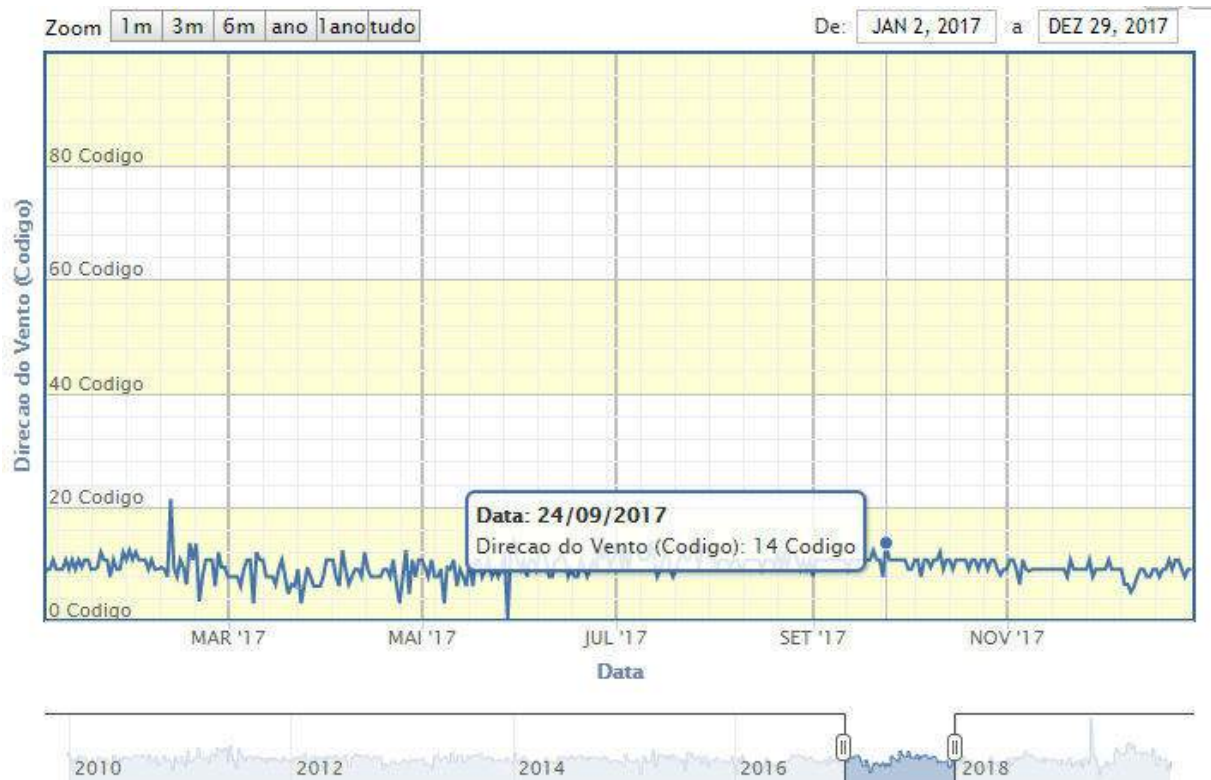
Fonte: INMET (2021).

Figura 3 – Diagrama das variações de umidade ao longo de 2010 a 2020 em Fortaleza



Fonte: INMET (2021).

Figura 4 – Diagrama das variações da direção do vento ao longo de 2010 a 2020 em Fortaleza



Fonte: INMET (2021).

Figura 5 – Diagrama das variações de Velocidade do vento ao longo de 2010 a 2020 em Fortaleza



Fonte: INMET (2021)

Contextualizando, a combinação das atividades humanas, como geração de emissão de poluição do ar urbana, impulsionam alterações climáticas e mudanças bruscas. Essas podem afetar o ciclo de vida humana e nos ecossistemas. Segundo Miller (2011), um estudo da Academia Nacional de Ciências, em 2002, sugeriu que a temperatura da troposfera poderia aumentar muito em apenas uma década ou mais.

Além das concentrações de gases – CO₂, CO e MP_{2,5} – outros fatores influenciam a região metropolitana de Fortaleza. A Figura 6 mostra dados da estação Fortaleza até o período de setembro de 2020, uma variação de temperatura de 30,30 °C (mínima de 22,24 em 07/07/2020). Enquanto destaca a umidade máxima 92,38 (mínima de 42,00 em 16/08/2020), velocidade do vento com máxima de 5,16 m/s (mínima de 0,00 em 26/04/2020) constatada nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

Figura 6 – Diagrama das variações de temperatura ao longo de 2020 em Fortaleza



Fonte: INMET (2021).

Figura 7 – Diagrama das variações de umidade ao longo de 2020 em Fortaleza



Fonte: INMET (2021).

Figura 8 – Diagrama das variações de velocidade do vento ao longo de 2020 em Fortaleza



Fonte: INMET (2021).

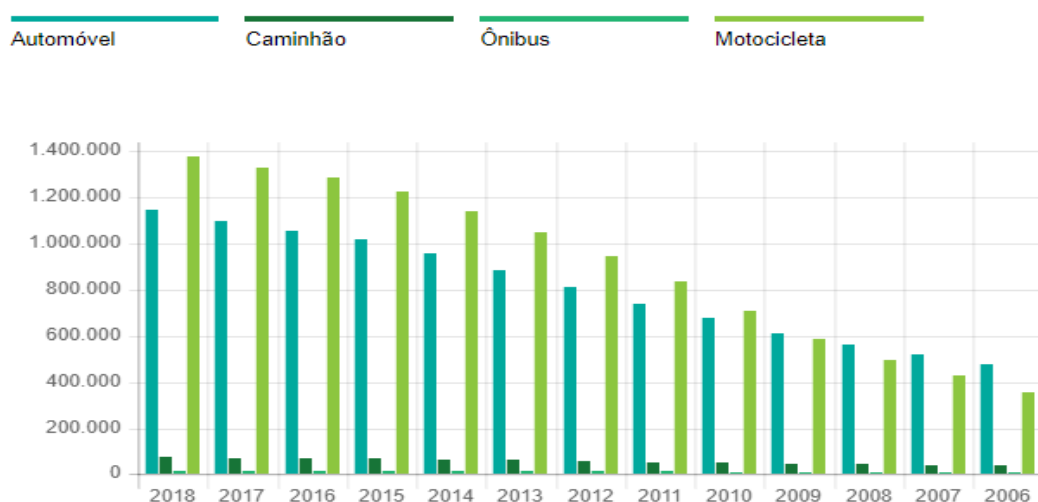
A cidade de Fortaleza destaca um quadro de dados sobre poluição atmosférica com base no diagnóstico técnico e a partir de registros da estação móvel de monitoramento da qualidade do ar pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE). No entanto, para melhor refletir a vulnerabilidade dos seus efeitos na atmosfera, vale salientar a necessidade de atualização destes dados coletados pela estação no atual período.

Fortaleza, como quinta cidade mais populosa do País, mostra a crescente frota de veículos e longos congestionamentos em ruas e avenidas da metrópole, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dessa forma, destaca a preocupação com as questões ambientais visto o aumento da emissão dos gases poluentes e o alerta dos médicos quanto ao alto risco à saúde humana decorrente da falta de controle e concentração dos poluentes no ar.

Diante desse contexto, é essencial a elaboração de inventário de emissões de poluentes na região urbana de Fortaleza. No entanto, é fundamental uma base metodológica com uso de equipamentos meteorológicos específicos, Sistema de Posicionamento Global (GPS), dados de monitoramento contínuo de poluentes que contribua no enquadramento dos Padrões de qualidade do ar para estabelecer uma contínua avaliação da qualidade do ar.

Historicamente, a frota de veículos no Ceará em especial a cidade de Fortaleza vem aglomerando a capacidade de suporte na região metropolitana (IBGE, 2018) no período de 2006 a 2018. Esse estudo disserta sobre concentração dos poluentes atmosféricos no período de 2009 a 2020, influenciando no comportamento microclimático no entorno de uma das principais vias urbanas da cidade de Fortaleza.

Gráfico 4 – Representação dos tipos por unidade de veículos em Fortaleza – CE



Fonte: IBGE (2018).

Segundo Oliveira (2019), desde 2007, oficialmente, nenhum monitoramento da qualidade do ar no município de Fortaleza tem sido reportado pelos órgãos ambientais locais, apesar da abundância de veículos em circulação e das centenas de indústrias potencialmente poluidoras distribuídas no território municipal e na região metropolitana.

Contudo, diversos trabalhos vêm sendo reportados na comunidade científica, porém é ainda incipiente quando se trata de um monitoramento contínuo e/ou até mesmo com maior amplitude nas zonas de cobertura do presente trabalho (DAY *et al.*, 2012; LIU; GE; GAO, 2014; COP21, 2015).

Silva (2010) cita que, na década de 90, a SEMACE (1992) realizou, na região metropolitana de Fortaleza (CE), um programa para o combate à poluição da Fumaça Preta, obtendo resultados bastante satisfatórios. No entanto, nos anos de 1993 e 2001, (TABELA 6), esse programa de monitoramento teve continuidade estabelecendo prioridade para as medidas de concentrações de PTS, SO₂ e Fumaça Preta (SILVA, 2010).

Assim sendo, as informações contidas neste estudo podem contribuir junto a SEMACE, SEUMA e DETRAM na tomada de decisões na redução dos poluentes no ar atmosféricos por fontes móveis e medida estratégica de modo a minimizar os efeitos na saúde da população de entorno.

De acordo com Silva (2010), os resultados obtidos no ano de 2009 (TABELA 6) mostraram que a qualidade do ar foi relativamente BOA, considerando que parte da justificativa quanto à ventilação da cidade de Fortaleza tenha contribuído para a rápida dispersão dos poluentes atmosféricos. Segundo a SEMACE, até o ano de 2001, em função de outras condições meteorológicas de vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar e pressão atmosférica, diante

da dispersão dos poluentes a qualidade do ar os dados sofreram significativa variação. Os dados mostraram-se REGULAR e tendeu ao aumento de concentrações para Partículas Totais em Suspensão – PTS e a se tornar uma qualidade INADEQUADA.

Tabela 6 – Qualidade do Ar referente aos poluentes avaliados no período de 1993 a 2001 e 2009

POLUENTE ANALISADO	QUALIDADE DO AR									
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2009
PTS	Regular	Boa	Regular	Boa	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	*
SO ₂	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa	*	*
CO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Boa
CO ₂	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Boa
MP _{2,5}	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Boa
FUMAÇA (Black carbon)	*	*	*	*	*	Boa	Boa	Regular	*	Boa

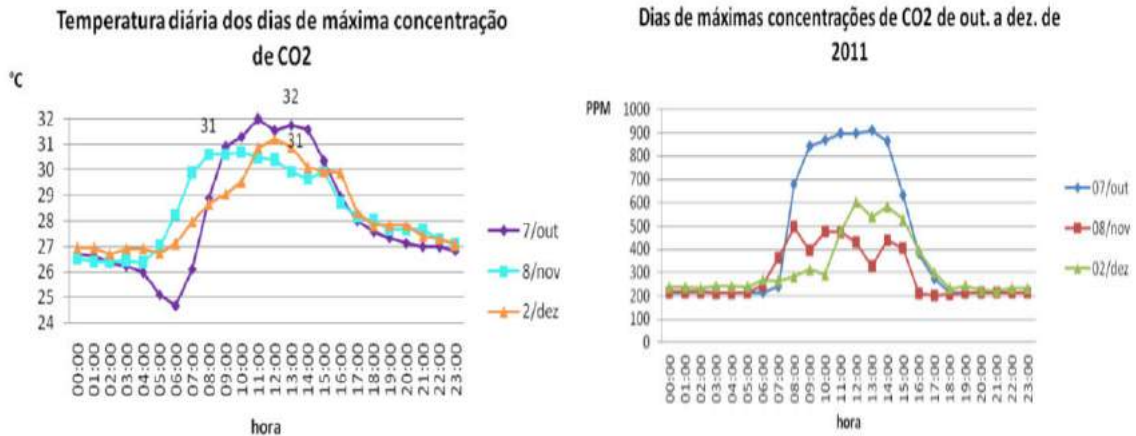
*Sem informação

Fonte: Silva (2010).

Rocha, Silva e Ferreira (2011) realizaram estudos iniciais da influência do CO₂ em relação à temperatura, no período de outubro a dezembro de 2011, remonta resultados preliminares, cuja temperatura do ar média e umidade relativa do ar histórica foi de 26,2°C e 80%, respectivamente.

Os dados obtidos da concentração CO₂ em relação à temperatura do ar (FIGURA 9), revelaram máxima no dia 07 de outubro de 428 ppm e maior pico chegando a 909 ppm, às 13 horas a 32°C. Para realização do levantamento foi utilizado o Método de Plotagem e os softwares HOBOWare PRO e considerou a justificativa do intenso trânsito de veículos automotores para explicar a máxima concentração de gases e a alta temperatura.

Figura 9 – Temperatura diária dos dias de máxima concentração de CO₂ de out. a dez. de 2011 (à esquerda). Máximas concentrações de CO₂ de out. a dez. de 2011 (à direita)

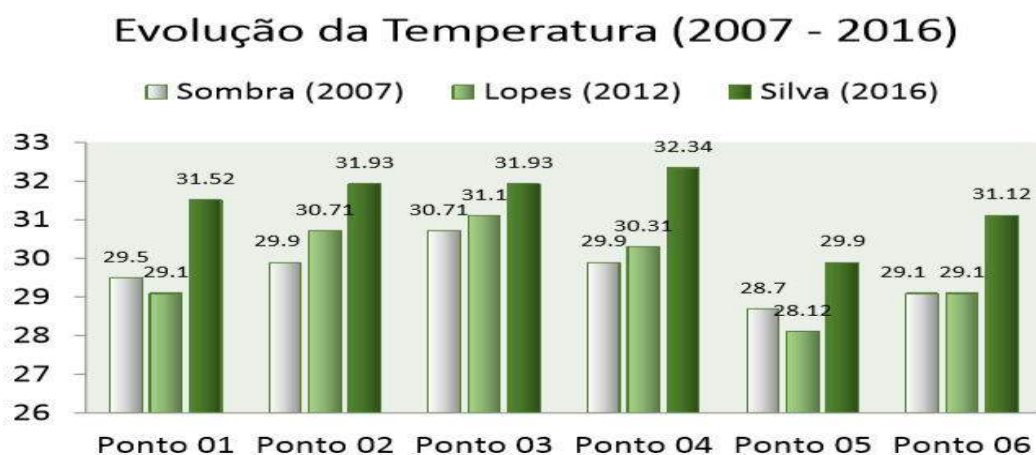


Fonte: Rocha, Silva e Ferreira (2011).

Silva, Gomes e Silva (2016) ressaltam a comparação entre as medições fixas obtidas por Sombra (2007 *apud* SILVA; GOMES; SILVA, 2016) e por Lopes, Silva e Silva (2010) em 2007 e 2012. Com seu estudo de 2016, pode-se observar o aumento evolutivo da temperatura ao longo dos anos nos seis pontos monitorados em Bairros de Fortaleza (FIGURA 4). Os pontos observados houve tendência ao aumento de temperatura.

Para Silva, Gomes e Silva (2016), na Figura 10, entre os pontos 02, 03 e 04, a temperatura salta de 29 °C em 2007 para 31 °C em 2016 (aumento de 2 °C) no ponto 02; de 30 °C para 31 °C (aumento de 1,2 °C) no ponto 03; e de 29 °C para 32 °C (aumento de 2,4 °C) no ponto 04. Enquanto nos pontos 05 e 06, (1,2 °C de 2007 para 2016 no ponto 05, e 2,02 °C no ponto 06).

Figura 10 – Comparação das temperaturas do ar máximas encontradas nos seis pontos por diferentes autores ao longo de uma década



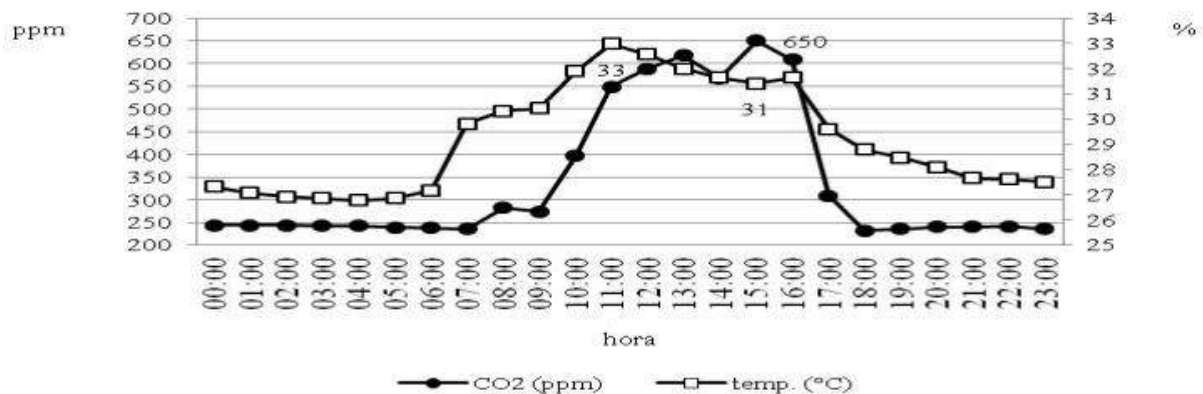
Fonte: Silva, Gomes e Silva (2016).

Rocha, Silva e Santos (2012) obtiveram em estudos iniciais da influência do CO₂ em relação à temperatura e umidade relativa, de janeiro a março de 2012, com temperatura média e umidade relativa do ar histórica foi de 26,2 °C e 80%, respectivamente. O levantamento tem por base o uso da Miniestação de monitoramento automático do Método de Plotagem e os softwares HOBOWare PRO.

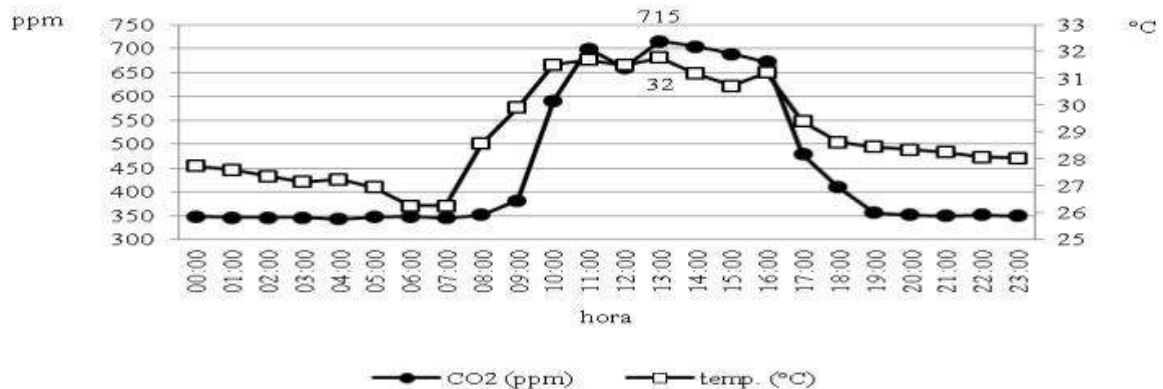
Na Figura 11 as análises obtidas dentre os três meses mostraram a máxima concentração de CO₂ a 342 ppm com um pico a 650 ppm às 15 horas e a temperatura do ar de 31 °C no dia 23 de janeiro (A), no dia 04 de fevereiro atingiu 715 ppm às 13 horas com máxima de 32 °C (B) e, no dia 07 de março atingiu 337 ppm com o pico da concentração a 664 ppm com a temperatura do ar de 32 °C.

Figura 11 – Níveis de CO₂ e temperatura do ar no dia de máxima concentração média de CO₂: (A) jan./2012, (B) fev./2012 e, (C) mar./2012

(A) jan./2012

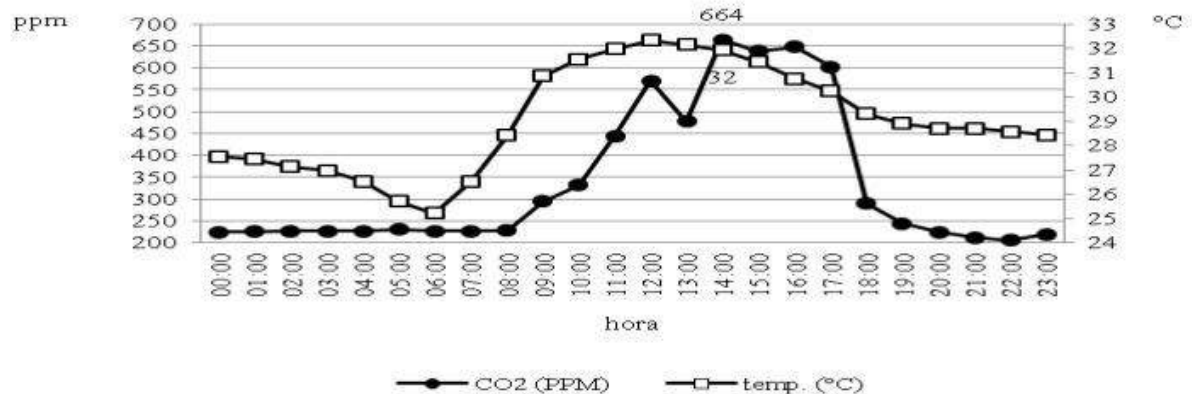


(B) fev./2012



(continua)

(C) mar./2012

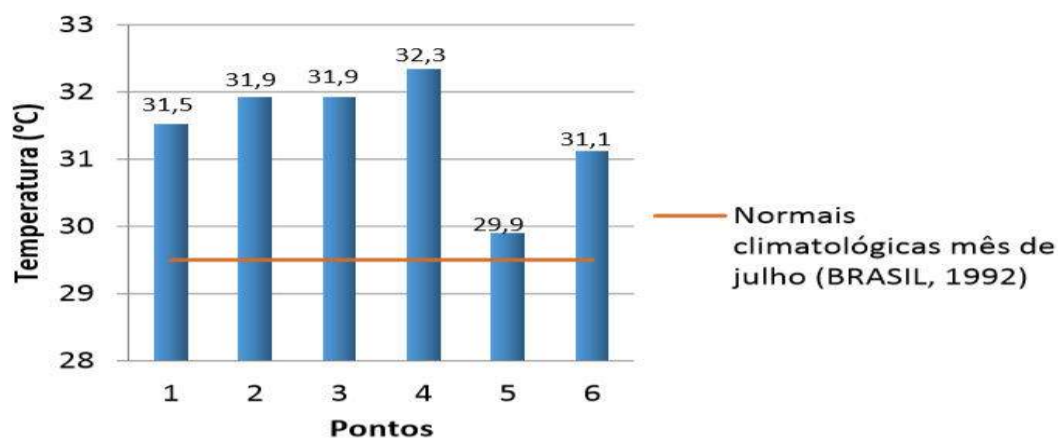


Fonte: Rocha, Silva e Santos (2012).

Rocha, Silva e Santos (2012) destacam que as altas temperaturas nos horários de máximas concentrações de CO₂ também corroboram com Baird (2002) devido à alta capacidade das moléculas de CO₂ de absorver luz infravermelho sobre uma curta faixa de frequência da luz e atingir a capacidade de armazenar calor como forma de energia.

Silva, Gomes e Silva (2016) realizaram o monitoramento da temperatura das condições ambientais urbanas das Avenidas Treze de Maio e Pontes Vieira, na cidade de Fortaleza, sob medição fixa (sensores HOBO-H8, protegidos por Shields a 2 m de altura) e medição por transecto móvel (sensores HOBO-H8, presos a um veículo).

Figura 12 – Comparação das temperaturas do ar máximas encontradas nos seis pontos com as normais climatológicas para mês de julho



Fonte: Silva, Gomes e Silva (2016).

Os dados climáticos comparativos (FIGURA 12) resultaram inicialmente uma temperatura do ar acima de 32,3 °C e no final do percurso acima de 29,1 °C (ambos registrados

às 12 horas), enquanto nos pontos 4 e 5 destacaram menor temperatura do ar, dentre as medições móveis e fixa, respectivamente.

3.7 Biomonitoramento

De acordo com Carneiro (2004, p. 20), biomonitoramento pode ser definido como:

[...] um método experimental indireto de se verificar a existência de poluentes numa certa área, utilizando-se de organismos vivos, que respondem ao estresse a que se encontram submetidos por modificações nos ciclos vitais ou pela acumulação de poluentes.

Vale destacar que a expressão apresenta outras denominações como monitoramento biológico, biomonitoramento ou Bioindicação. No entanto, autores afirmam diferentes abordagens conceituais entre biomonitoramento e bioindicador. Para Lima (2001), a indicação é um mecanismo espontâneo e ativo, enquanto o monitoramento é contínuo e passivo.

A partir de meados do século passado, iniciou-se o processo de utilização de organismos vivos, como método auxiliar de detecção de alterações perigosas da qualidade do ambiente, denominado monitoramento (AKSOY; ÖRTÜRK, 1997; GARTY; KLOOG; COHEN, 1998; XIAO *et al.*, 1998). De acordo com Pereira (2005), o biomonitoramento torna-se mais adequado quando fornece dados que podem ser comparados com informações obtidas pelos métodos convencionais de monitoramento ambiental.

Quanto à reação das plantas sob o efeito da poluição atmosférica, se deve aos fatores bióticos e abióticos de cada espécie específica, enquanto algumas plantas reagem, outras se adaptam e outras apresentam sintomas visíveis.

Quando uma determinada concentração de poluentes do meio interfere danosamente as plantas, Weinstein e Davidson (2003) ressaltam que a sensibilidade da planta ao apresentarem mudanças bioquímicas, fisiológicas, histológicas e genéticas são utilizadas em técnicas de Biomonitoramento da poluição.

Pereira (2005) destaca que para utilização de vegetais em programa de Biomonitoramento é necessário definir quadros de degradação específicos para elemento e concentrações. O autor acentua que os indicadores com base em estruturas menores, com organelas isoladas (cloroplastos e mitocôndrias, ou reações bioquímicas e fisiológicas) são mais sensíveis à instabilidade ambiental.

Com base em estudos analisados como bioindicadores de poluição atmosférica, Carneiro (2004) destaca as espécies vegetais que são utilizadas com maior frequência:

Angiospermas: *Nicotiana tabacum* (tabaco), *Tillandsia*, *Tillandsia usneoides*, *Tillandsia capillaris*, *Tillandsia bulbosa* e *Tillandsia caput-medusae*, *Tradescantia pallida* cv *purpurea* e dos clones híbridos *Tradescantia* 02 e *Tradescantia* 4430, *Tibouchina pulchra* (manacá-da-serra), *Tibouchina pulchra* (manacá-da-serra); **Coníferofitas:** *Pinus sylvestris*, *Picea abies* (pinheiro-da-noruega), *Pinus pinea* (pinheiro litorâneo); **Musgos:** *Pleurozium schreberi* e *Hylocomium splendens*, *Hipnum cupressiforme*; **Líquens:** gênero *Parmelia* (*Parmelia caperata*, *Parmelia sulcata*, *Parmelia consparca*), gênero *Usnea* (*Usnea amblyoclada*, *U. amblyoclada* e *U. hirta*), gênero *Xanthoria* (*Xanthoria parietina*).

Os resultados observados pelo autor levam a concluir que as espécies se comportam diferenciadamente no emprego de técnicas utilizadas para o biomonitoramento verificando-se assim determinação da especificidade de determinado poluente.

Carneiro (2004), em estudo de literatura do gênero *Tradescantia*, voltado à sua eficiência no uso de biomonitoramento da qualidade do ar, salienta identificar 9 (7,1%) da espécie *Tradescantia pallida* cv *purpurea* e dos clones híbridos *Tradescantia* 02 e *Tradescantia* 4430, como bioindicadores de CO, SO₂, NO₂ e MP₁₀.

Quanto aos estudos genotóxicos sobre o gênero *Tradescantia*, Rodrigues *et al.* (1997) cita que se deve à característica genética favorável, por ser constituído de apenas seis pares de cromossomos, facilmente observáveis em todas as células da planta.

Carneiro (2004), Alves *et al.* (2003) e Guimarães *et al.* (2000), ao estudarem a espécie, consideraram apropriada para ensaios de mutagenicidade e alertaram para o fato de moradores de centros urbanos estarem cronicamente expostos à substâncias genotóxicas, presentes na atmosfera. Carneiro (2004), ao submeter a exposição da espécie a intenso tráfego de veículos na cidade de São Paulo, verificou eventos de mutagenicidade pelo bioensaio “*Tradescantia* micronúcleos” (Trad-MCN).

A coleta realizada diante da exposição da emissão de poluentes orgânicos, inorgânicos e outros gases os autores registraram variada concentração e concluíram que a vegetação pode ser utilizada para indicar as variações. Quanto aos poluentes, são eles: metais (Cd, Cu, Fe, Al, Ni, Mn, Te, V, Mo, S, Co, As, B, Hg, P, Sr, K, Fe, Zn, Ca, Mg, Ba, Be, Cr, Hg, Ni, Pb e Zn), NH₃, SO₂, NO_x, NO₂, mistura complexa de gases, elementos químicos inorgânicos, VOCs, PAHs, pesticidas organoclorados e PCBs, MP₁₀ (metais), Ozônio (O₃), mistura complexa de poluentes, Hidrocarbonetos, elementos químicos, flúor, F, compostos de S e N, fluoretos, metais pesados e poeira.

Desse modo, segundo Klumpp *et al.* (2001), a coleta sistemática, padronizada e documentada de dados sobre os efeitos sofridos em organismos bioindicadores permite a

comparação desses resultados e a implantação de um terceiro sistema de controle da qualidade ambiental.

3.8 *Tradescantia pallida*

O conhecimento dos efeitos de contaminação do ar sobre determinadas espécies de animais e vegetais são chamados bioindicadores, que pode ser utilizado para avaliações quantitativas e qualitativas da contaminação atmosférica (LUIZ *et al.*, 2005). Dentre os fatores da utilização do biomonitoramento da qualidade do ar ocorrem por fácil manuseio, cultivo, cuidado, baixo custo, além de fornecer respostas conservativas e de fácil avaliação.

Uma mutação é definida como uma mudança na sequência de DNA, que leva a uma alteração herdável da função gênica (MACHADO, 2008). Para a autora, os agentes que mudam a sequência do DNA (mutagênicos) são “tóxicos” para o gene e são, então, chamados “genotóxicos”.

Entre os organismos bioindicadores utilizados em programas de biomonitoramento estão os líquens, os musgos e as plantas superiores (vasculares). As plantas superiores, que inclui as divisões *Cycadophyta*, *Ginkgophyta*, *Coniferophyta*, *Gnetophyta*, e *Angiospermae*, em especial a *Angiospermae*. O gênero *Tradescantia* (família *Commelinaceae*) foi a espécie utilizada no presente estudo na qualidade do ar na área urbana de Fortaleza.

Conforme Machado (2008) e Savóia (2007) muitas espécies vegetais são usadas em trabalhos de biomonitoramento, cada qual com sua especificidade para reagir a determinados contaminantes. Carvalho (2005) ressalta a influência de agentes químicos e físicos (em especial a radiação) sobre a frequência de mutações que tem sido amplamente estudada mediante análise de alterações observadas em *Tradescantia*.

3.9 Bioensaio Trad-MCN

Avaliar a viabilidade do teste de micronúcleo em *Tradescantia pallida* (Rose) cv. Purpurea equivale a monitorar contaminantes da atmosfera e avaliar os agentes genotóxicos presentes no ambiente em estudo. Atualmente os biomonitores são utilizados para o monitoramento a partir de fontes de emissões de poluição.

No entanto, as técnicas e medidas necessárias para avaliar o controle da qualidade do ar são diferenciadas na medida dos objetivos de obtenção de dados: quanto à poluição de ar

exterior ou interior, de origens estacionárias e origens móveis ou quanto às categorias primárias e secundárias.

Algumas pesquisas já realizadas com organismos (animais e plantas) foram utilizadas para avaliar qualquer anormalidade nos padrões da qualidade do ar. Diferentes pesquisadores já realizaram trabalhos com animais, identificando os danos provados pelos poluentes (SALDINA *et al.*, 1985; SALDINA *et al.*, 1992).

Entretanto, as plantas têm demonstrado êxito nos resultados no biomonitoramento para qualidade do ar, conforme destaca, em geral, o fácil cultivo, manuseio e os custos relativamente baixos para a fácil avaliação como indicadoras de poluentes atmosféricos. Para Raya-Rodrigues (2000), as plantas podem ser indicadoras sensíveis e acumuladoras de poluentes atmosféricos e suas reações podem ser utilizadas como alarmes para a possível ocorrência de efeitos danosos da poluição em outros seres, objetos e materiais.

Dentre os ensaios com plantas bioindicadoras, o teste dos micronúcleos com *Tradescantia spp.* (Trad-MCN) é considerado o mais sensível para agentes genotóxicos (ENNEVER; ANDREANO; ROSENKRANZ, 1988; RODRIGUES *et al.*, 1997; MARTINS *et al.*, 2001).

A escolha do gênero *Tradescantia* para estudos justifica-se em função das características genéticas na qual parte da planta propicia um material citogenético com atividades genéticas associadas a ação de compostos químicos.

Assim, o ensaio Trad-MCN é baseado na formação de micronúcleos, como resultado da fragmentação cromossômica, visualizada na fase tétrade de células-mãe de grãos de pólen (MA; ANDERSON; AHMED, 1982). Os micronúcleos são contados e a frequência em que ocorrem indicará a toxicidade do ambiente (MACHADO, 2008).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo será realizado em quatro principais etapas: *i)* Caracterização da área de estudo da região Metropolitana de Fortaleza – CE; *ii)* Descrição do método por fontes de domínio público – SEUMA e INMET – mediante suas respectivas Estações de monitoramento do ar nas vias urbanas; *iii)* Descrição dos pontos de amostragens das quatro miniestação; *vi)* Mensuração de indicadores meteorológicos: clima urbano; poluição atmosférica: contador de partículas – material particulado (MP_{2,5} e MP₁₀) *in locu*, de modo a corroborar com os padrões da ANVISA, CETESB e OMS; teste Trad. MCN com *Tradescantia pallida*, espécie bioindicadora, e fortalecer com os padrões a genotoxicidade do ar monitorado na miniestação.

A primeira etapa trata da caracterização da área de estudo da coordenada geográfica, mapa e cartografia da região metropolitana de Fortaleza. Em segundo, se refere à descrição dos indicadores meteorológicos com base nas fontes da SEUMA e INMET conforme suas estações de monitoramento do ar. A terceira etapa, a caracterização de cada miniestação: a) Estação 1 – IFCE, b) Estação 2 – Parque Rio Branco, c) Estação 3 – SEMA, d) Estação 4 – Horto Municipal de Fortaleza para monitoramento e biomonitoramento.

O estudo foi realizado com um levantamento bibliográfico sobre poluentes atmosféricos ocorridos no período de 2010 a 2020 com a contribuição de órgãos ambientais. Para a concentração *in locu* dos poluentes atmosféricos serão analisados o material particulado (MP_{2,5} e MP₁₀) obtido por monitoramento e o seu respectivo potencial genotóxico por biomonitoramento do ar, com a *Tradescantia pallida*, cujos dados serão tratados e estimados em Gráficos e Tabelas.

Inicialmente propôs-se quatro pontos amostrais, sendo três localizados em duas principais avenidas: Treze de Maio e Pontes Vieira, nos pontos IFCE, Parque Rio Branco, SEMA, respectivamente, da região metropolitana de Fortaleza. Já o quarto ponto como “controle negativo”, o Horto Municipal de Fortaleza, localizado na avenida dos Paroaras.

Dessa maneira, o estudo abrangeu o protocolo de implantação de uma miniestação com aparelho MetOne durante oito horas, por quatro dias consecutivos. A coleta do material particulado em cada miniestação foi justificada pelo período de “pico de fluxo veicular” nas quatro avenidas propostas.

O referido trabalho conta com a Estação Móvel da Qualidade do Ar de Fortaleza – EMQAr (SEUMA), de modo a potencializar os dados de material particulado (MP_{2,5} e MP₁₀) obtidos nas miniestações indicadas nas avenidas de Fortaleza. Para os indicadores meteorológicos de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade (m/s) e

direção dos ventos e Precipitação (mm) foram utilizados os dados da Estação do INMET, localizada cerca de 550 m de distância do Horto Municipal de Fortaleza – “controle negativo” – e corroborados com a miniestação em estudo.

O registro dos poluentes atmosféricos pela Estação EMQAr (SEUMA) e os indicadores meteorológicos da Estação INMET serão obtidos no período de dezembro/2020 e janeiro/2021, enfatizando que, o ponto de localização da EMQAr (SEUMA) bem como, INMET difere das miniestações do proposto estudo.

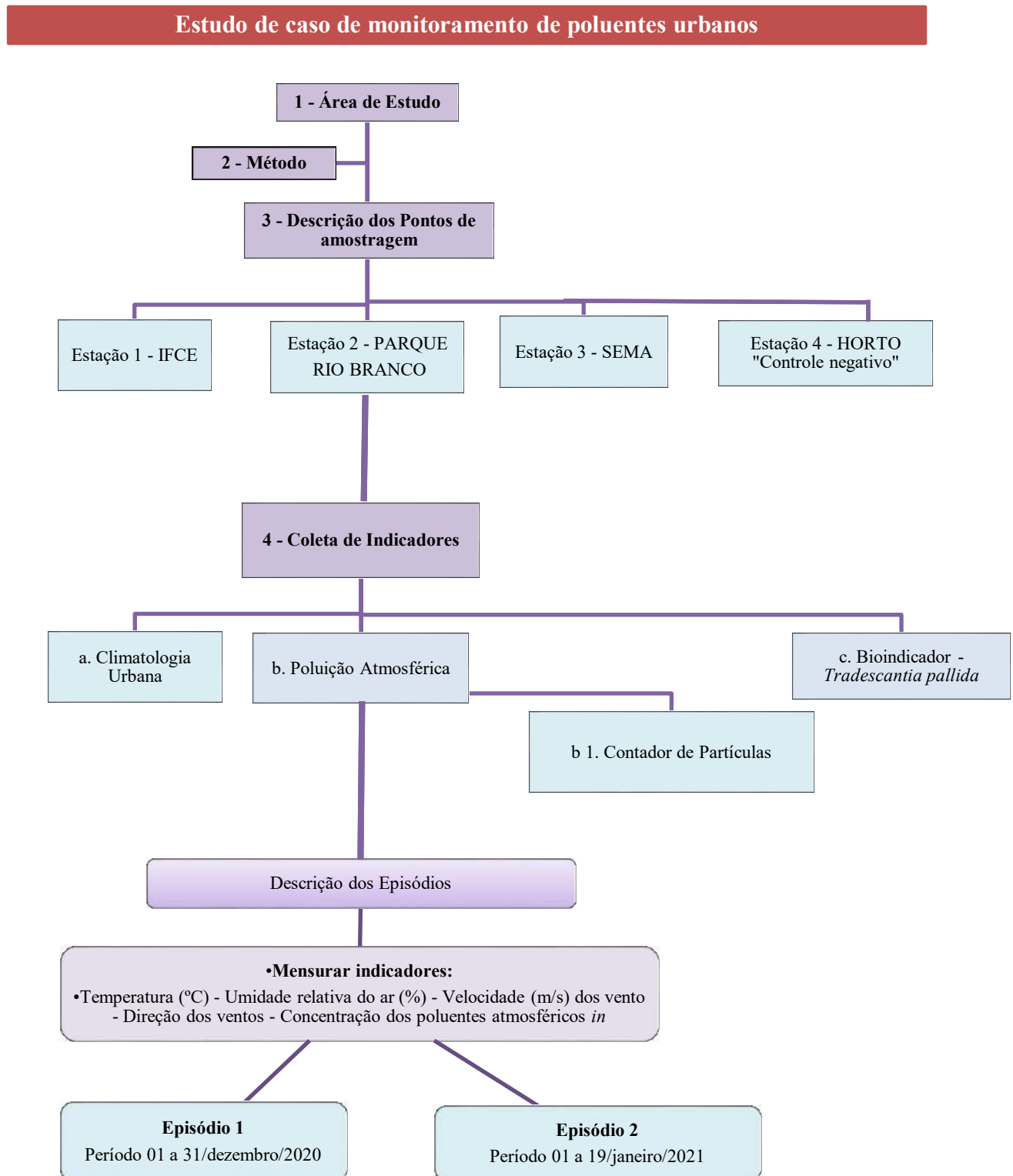
Para análise do respectivo potencial genotóxico do material particulado realizar-se-á o biomonitoramento do ar, com a *Tradescantia pallida*, fundamentada na coleta dos macronúcleos da planta, em cada miniestação apontado neste estudo, como também o Teste Trad-MCN cujos dados serão abordados e estimados em Gráficos e Tabelas.

A proposta de contemplar os dados da EMQAr (SEUMA), bem como INMET, se deve às restrições no território nacional, seguindo decretos adotados como medidas necessárias para conter a pandemia do novo coronavírus (COVID-19), consequentemente o isolamento da população.

Dessa forma, tornou-se inviável o levantamento dos dados pelos aparelhos do IFCE/LERCA, valendo-se, portanto, como alternativa a associação das duas estações como vantagem na abordagem sobre os poluentes atmosféricos e parâmetros meteorológicos utilizadas na região metropolitana de Fortaleza, porém, propondo intensificar o tratamento dos resultados obtidos do monitoramento e biomonitoramento das quatro estações e comparar com o padrão de qualidade do ar estabelecido pela CETESB e CONAMA.

Foi estruturado um organograma metodológico da pesquisa, visto na Figura 13, com o estudo de caso do monitoramento urbano em quatro etapas, destacando a descrição dos episódios.

Figura 13 – Organograma metodológico da pesquisa

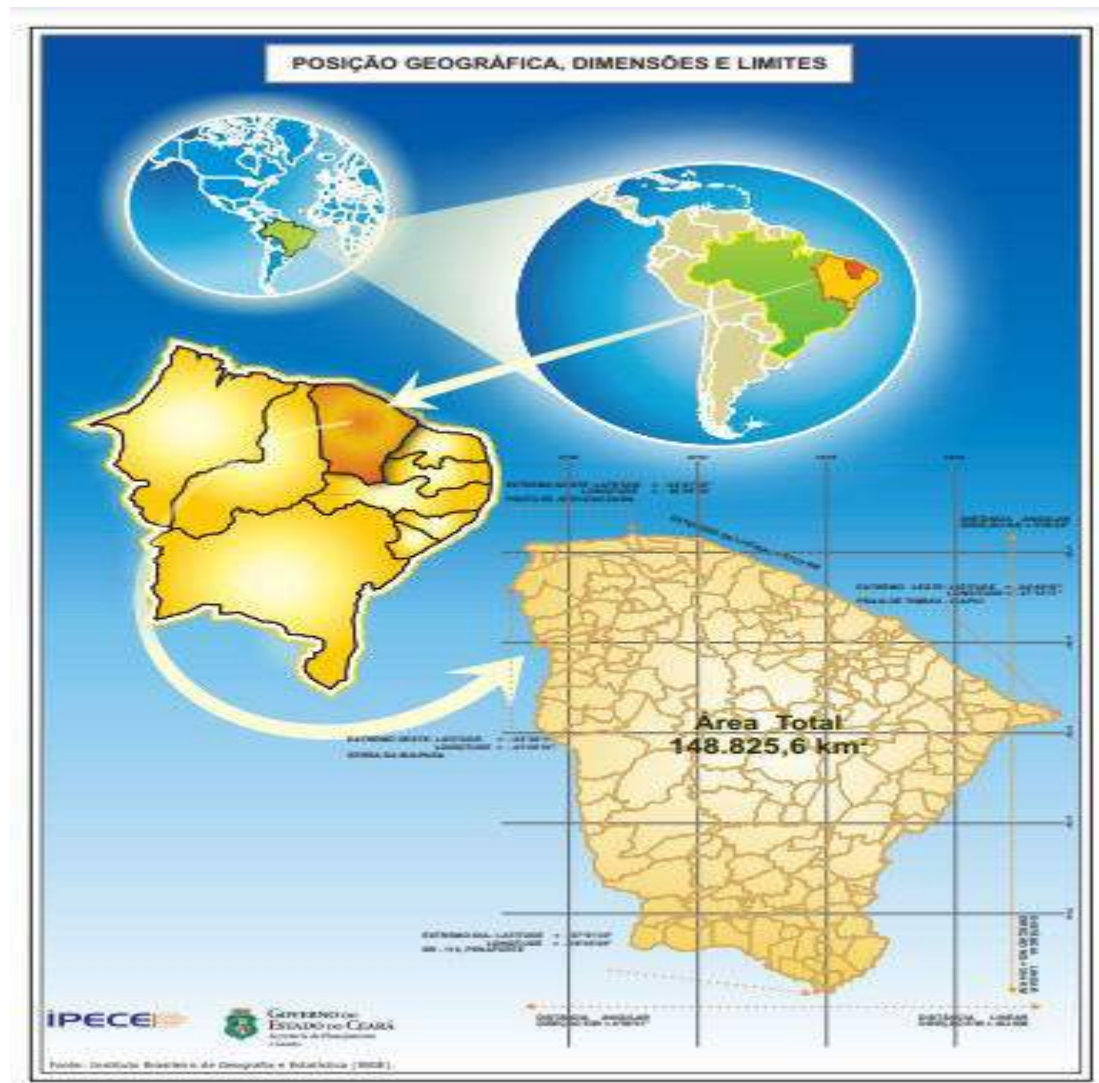


Fonte: Elaborado pela autora.

4.1 Área de Estudo

O Estado do Ceará possui uma área de 148.825,6 km², correspondendo a 9,58% da área nordestina e 1,75% da área do Brasil, tendo como limites o Oceano Atlântico (ao Norte), Pernambuco (ao Sul), Rio Grande do Norte e Paraíba (ao Leste) e o Piauí (à Oeste), como visto na Figura 14 (IBGE, 2016).

Figura 14 – Posição Geográfica e limites do município de Fortaleza no Estado do Ceará



Fonte: IPECE (2012a, p. 24).

Segundo o IPECE (2007d) quanto à distribuição da população por municípios, há uma maior concentração nos municípios que compõem a Região Metropolitana de Fortaleza, destaque o município de Fortaleza, o qual deteve 28,97% da população do Estado em 2010. A cidade de Fortaleza é situa-se na latitude 05°05'45" (Norte-Sul) e longitude 04°09'51" (Leste-

Oeste), fazendo parte dessa região metropolitana, e assim constituindo um importante centro de grande urbanização. A Figura 15 mostra a localização do município e da região Metropolitana de Fortaleza e a sua Mesorregião Geográfica.

Figura 15 – Localização do município e da região Metropolitana de Fortaleza (à esquerda); Mesorregião Geográfica de Fortaleza (à direita)



Fonte: IPECE (2007a, 2007b).

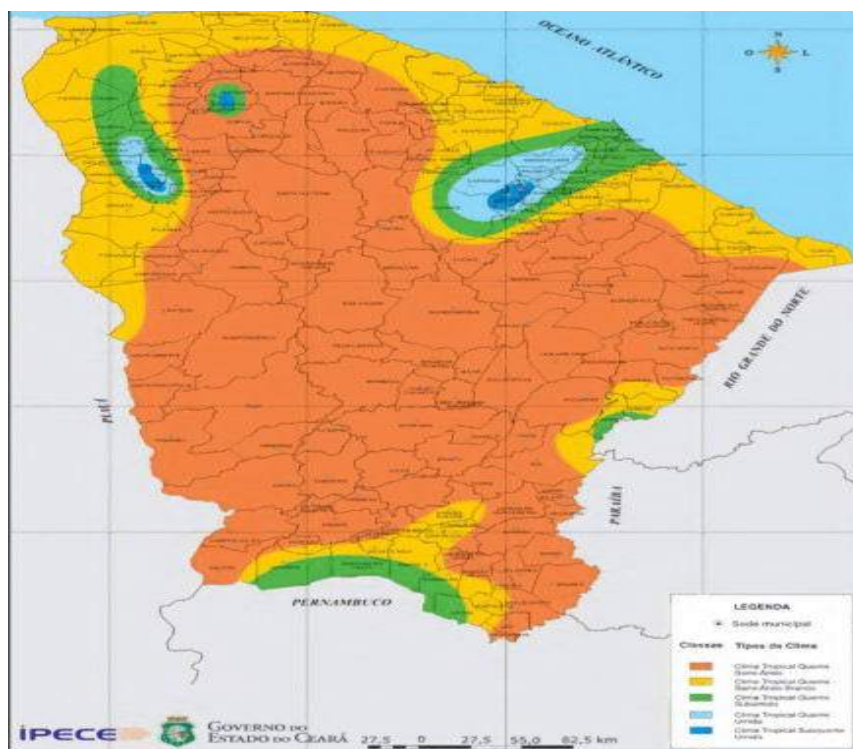
Conforme estimativa populacional do IBGE, o Ceará atingiu o quantitativo de 9.240.580 habitantes no ano de 2021, obtendo um crescimento relativo de 3,77% quando comparado ao ano de 2015 (IPECE, 2021, p. 5).

O Estado é o terceiro mais populoso da região Nordeste, detendo uma taxa de participação na região correspondente a 16,02%, e o oitavo do país, com uma participação equivalente a 4,33% da população brasileira (IPECE, 2021, p. 5).

4.2 Método

Historicamente o Ceará distingue-se dos demais estados brasileiros, pois é conhecido pelas suas restrições climáticas e econômicas. Em relação ao clima prevalente, no Estado do Ceará, o Tropical Quente Semiárido, como mostra a Figura 4, corresponde a 67,9% da área total do Estado representado por 98 municípios (FIGURA 16). Enquanto em Fortaleza predomina o Clima Tropical Quente Semiúmido e cerca de 4 municípios com precipitação pluviométrica de 1.600,01 até 2.000,00 mm (IPECE, 2007c).

Figura 16 – Representação das classes dos tipos climáticos do Ceará



Fonte: IPECE (2007c).

Os indicadores meteorológicos consistirão na seleção da estação, parâmetros, período, estatística de dados e representação destes a partir das seguintes fontes: SEUMA e INMET. Dessa forma, para subsidiar os indicadores meteorológicos serão utilizadas as estações de monitoramento instaladas na região Metropolitana de Fortaleza representados pelos órgãos da esfera Municipal (SEUMA) e Federal (INMET). As estações operadas justificam o atendimento da avaliação do nível de concentração de poluente atmosférico em função do variado fluxo veicular mediante.

As Estações Meteorológicas automáticas e convencionais adotadas no estudo e respectivos objetivos são: 1) Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar – EMQAr – SEUMA, no bairro Cajazeiras, com finalidade de obter MP_{10} e $MP_{2,5}$; 2) Sistema de Coleta e Distribuição de Dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET com efeito os indicadores meteorológicos. Dentre os três sistemas de coletas de informações em tempo real, foi definido em específico a estação do Bairro Parque Dois Irmãos, objetivando analisar os valores de temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a velocidade dos ventos, a direção dos ventos e a precipitação.

O monitoramento dos indicadores meteorológicos do INMET e o material particulado adquirido na EMQAr (SEUMA), foram definidos a partir de valores registrados no intervalo de dezenove dias do mês de janeiro de 2021. Os eventos e as ações monitoradas nesse período de

estudo são fundamentados pelos seguintes fatores: a) Transição entre as estações primavera e verão, correspondendo o período do dia 15 a 31 de dezembro de 2020 e b) Início dos dias 1 a 19 de janeiro de 2021.

Quanto à implantação da estação de Biomonitoramento do ar, ressalta-se uma escolha baseada inicialmente na literatura e metodologia conduzida por Moreira (2015) em “Estudo da qualidade do ar no município de Russas – CE sob influência das emissões das indústrias de cerâmica vermelha nessa perspectiva”. O estudo objetivou a avaliação da qualidade do ar e determinação do material particulado inalável (MP_{10} e $MP_{2,5}$), utilizando a *Tradescantia pallida* como espécie para o biomonitoramento e o bioensaio Trad-MCN.

Dessa forma, os valores de MCN adquiridos no Bioensaio na FAMUSP precisam consolidar com Moreira (2015) sobre a presença ou não de agentes nocivos capazes de causar genotoxicidade do ar nos quatro pontos definidos neste estudo. No entanto, dessa vez, os critérios meteorológicos foram realizados na região Metropolitana de Fortaleza para obtenção de material particulado (MP) sob circunstâncias específicas de fontes móveis.

4.3 Descrição de Ponto de Amostragem

Estabeleceu-se como método de amostragem a implantação de miniestação para o monitoramento da poluição atmosférica. A localização foi definida com o percurso de duas principais avenidas: Treze de Maio e Pontes Vieira, justificada pela concentração de fluxo veicular, emissão de poluentes atmosféricos e prejuízos à saúde humana.

Para a determinação dos pontos da implantação das miniestações meteorológicas levou-se em conta os seguintes critérios: 1) Pontos referencias de maior fluxo veicular de fonte móvel, emissão de poluentes atmosféricos e material particulado, considerados pontos de “controle positivo” e 2) Estações de monitoramento de domínio público, localizados próximo a miniestação considerado ponto “controle negativo” ou “branco” da pesquisa.

Visto os principais cruzamentos entre as Avenida Treze de Maio e Pontes Vieira, foram listados possíveis pontos da estação meteorológica para medições fixas listados na Figura 17. No entanto, reservou-se apenas três pontos amostrais identificados com “F”, “J” e “P” para atender ao objetivo do presente estudo de caso, os quais foram expostos na Tabela 7. Admitindo-se que, a partir dos pontos de amostragem “F”, “J” e “P” selecionados surgem significativamente como fonte de geração de poluentes que sofrem influência das emissões veiculares com maior concentração na atmosfera e contribuindo para o prejuízo a saúde da população.

Tabela 7 – Lista de pontos para estação meteorológica para medições fixas

Medições fixas	Cruzamento das avenidas
Ponto A	Av. Treze de Maio - Av. Jovita Feitosa - Av. José Jatahy
Ponto B	Av. Treze de Maio - Rua dos Pracinhas
Ponto C	Av. Treze de Maio - Av. Carapinima
Ponto D	Av. Treze de Maio - Av. Universidade
Ponto E	Av. Treze de Maio - Rua Marechal Deodoro
Ponto F	Av. Treze de Maio - Rua Senador Pompeu - Rua Expedicionários
Ponto G	Av. Treze de Maio - Rua Barão de Aratânia - Av. Luciano Carneiro
Ponto H	Av. Treze de Maio - Rua Sebastião Leme - Rua Martinho Rodrigues
Ponto I	Av. Treze de Maio - Av. Aguanambi
Ponto J	Av. Treze de Maio - Av. Visconde do Rio Branco - Av. Pontes Vieira
Ponto L	Av. Pontes Vieira - Rua Capitão Melo
Ponto M	Av. Pontes Vieira - Av. Barão de Studart
Ponto N	Av. Pontes Vieira - Av. Desembargador Moreira
Ponto O	Av. Pontes Vieira - Rua Barbosa de Freitas
Ponto P	Av. Pontes Vieira - Av. Senador Virgílio Távora

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 17 – Mapa descritivo – Observatório de medições fixas para miniestação meteorológica entre as vias Treze de maio e Pontes Vieira – Fortaleza



Fonte: Elaborada pela autora.

A seleção dos três pontos amostrais representativos e o ponto “controle negativo” atendeu conforme os critérios de indicadores meteorológicos: Temperatura do ar (°C); Umidade relativa do ar (%); Velocidade (m/s) e Direção dos ventos, concentração *in locu* dos poluentes atmosféricos e do material particulado (MP_{2,5} e MP₁₀).

O estabelecimento dos pontos de amostragem segundo os critérios acima são: a) Estação 1 - IFCE, b) Estação 2 – Parque Rio Branco, c) Estação 3 – SEMA e d) Estação 4 – Horto de Fortaleza – como ponto “controle negativo”. Os pontos SEMA, Parque Rio Branco e IFCE consistiram em controle “positivo” do estudo. Os resultados meteorológicos nos quatro pontos serviram de comparação no tratamento de dados do monitoramento e biomonitoramento de poluentes atmosféricos.

Portanto, foram definidos três protocolos de coleta: 1) Organizou-se os critérios meteorológicos: CO₂, temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade (m/s) e direção dos ventos a partir da fonte INMET, a fim de fundamentar o estudo, 2) A implantação da miniestação fixa com o METOne 831, um contador de partículas de MP_{2,5} e MP₁₀, para o monitoramento do ar, e 3) Implantação da estação de biomonitoramento, com a planta *Tradescantia pallida* para o biomonitoramento. A implantação fixa para o monitoramento decorreu em uma estação de ano, no caso, o outono.

Vale frisar que a sequência dos quatro episódios com o METOne ocorreram na ordem: Horto de Fortaleza – como ponto “controle negativo”, SEMA, Parque Rio Branco e IFCE. Em razão das condições climáticas do período chuvoso sucedido nos quatro dias de coleta, foi previsto programação de instalação local, como presença ou não de tomada para manter o aparelho ligado.

4.3.1 Estação 1 – IFCE Campus Fortaleza

A estação 1, IFCE, está localizada no bairro Benfica, entre os cruzamentos das avenidas Treze de Maio e Expedicionários (Latitude: -3.7446 e Longitude: -38.5351) visto na Figura 18. A região conta com uma população residente de 8.970 habitantes segundo IBGE de 2010 elaborado pelo IPECE (2012b) e situada na Regional VI do Território 15. Nesta estação, constitui-se um ambiente de fontes móveis, com os chamados poluentes primários, ou seja, emitidas da combustão internas dos automóveis lançadas diretamente na atmosfera. Isso posto, justifica a escolha do ponto devido a essa atividade diária com grande fluxo veicular trafegando nesta localização.

Figura 18 – Estação 1 – IFCE Campus Fortaleza

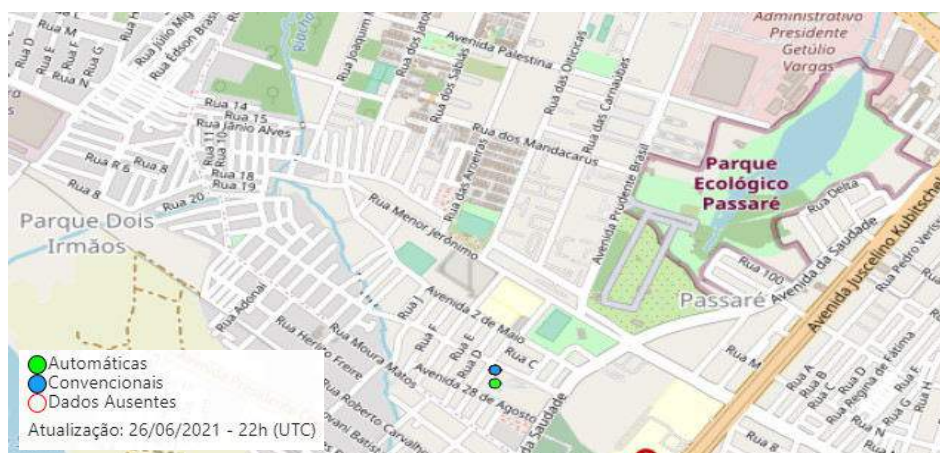


Fonte: Google Earth (2020).

Inicialmente foi implantada a estação fixa de monitoramento com o METOne a ser realizada em dois episódios, nos dias 17/06/2021 e 28/11/2021, no intervalo de oito horas, das 08:00 às 17:00 horas, para a coleta de contador de partículas $MP_{2,5}$ e MP_{10} . O episódio ocorreu no último dia devido às condições climáticas com período chuvoso, com a estação de ano em outono, além da questão estratégica de segurança local e oferta de energia elétrica.

As medidas referenciais de temperatura do ar e umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos serão estabelecidas conforme os dados obtidos da Estação INMET localizada na Avenida Central do bairro Parque Dois Irmãos (FIGURA 19). Os equipamentos foram mantidos nessa localização devido às condições de exposição de poluentes durante o fluxo de veículo urbano. As análises das medições locais de ambas as fontes foram corroboradas com a legislação vigente: ANVISA O9/2003, CETESB, ONU e CONAMA 491/2018.

Figura 19 – Mapa da Estação INMET Automática e Convencional



Fonte: INMET (2021).

Na sequência, a implantação da estação de biomonitoramento, com a planta biomonitora *Tradescantia pallida* (FIGURA 20), por ser responsável pela capacidade de acúmulo de poluentes na fase de botões com inflorescências. Por apresentar característica distinta dentre as demais estações 2, 3 e 4 do estudo, a definição deste ponto foi recomendado devido à proximidade do cruzamento das avenidas Treze de Maio e Expedicionário diante de um intenso fluxo de veicular, principalmente, em horário considerado de “pico”, diante da estação de monitoramento do ar do IFCE/LERCA.

A espécie *Tradescantia pallida* já se encontrava cultivada no jardim da instituição, essa estação necessitou apenas da reposição de parte de mudas, exposta ao sol periódico, em condições hídricas ideais tornando fácil a manutenção e manuseio da coleta das hastes com inflorescências.

Figura 20 – Estação 1 – IFCE: Biomonitoramento com *T. pallida*



Fonte: Elaborada pela autora.

4.3.2 Estação 2 – Parque Rio Branco

A estação 2, Parque Rio Branco, está localizada no bairro São João do Tauape, da avenida Pontes Vieira (latitude -3.7446 e longitude -38.5351), visto na Figura 21. A região conta com uma população residente de 22.536 habitantes segundo IBGE de 2010 elaborado pelo IPECE (2012b) e está situada na Regional I do Território 10. Esta estação representa um ambiente de fontes móveis, e distingue-se da estação 1 por sobressair nas condições meteorológica e exibir plena área verde dentro do percurso entre as duas avenidas, maior tráfego veicular e menor densidade de edifícios. Portanto, justificando a escolha da realização do monitoramento e do biomonitoramento.

Figura 21 – Estação 2 – Parque Rio Branco



Fonte: Google Earth (2020).

Nesta Estação foi estabelecido um protocolo semelhante para implantação do monitoramento da estação fixa. No entanto, para a instalação do METOne Model 831 do contador de partículas (MP_{2,5} e MP₁₀), o registro ocorrerá em dois episódios, nos dias 16/06/2021 e 27/11/2021, cujo tempo transcorreu de duas formas.

No episódio do dia 16/06/2021, o tempo foi reduzido no intervalo de apenas 2 horas, das 08:00 às 10:00 horas (na estação de outono), devido à inexistência de energia elétrica no local e ao período de pandemia realocando as condições de instalação a aproximadamente 100 metros de distância da entrada do parque. No episódio do dia 27/11/2021, decorreu no intervalo de oito horas, das 08:00 às 17:00 horas, para a coleta de contador de partículas. A análise obtida nesta estação foi confirmada pela legislação vigente da ANVISA O9/2003, CETESB, ONU e CONAMA 491/2018.

Nesta Estação, foi estabelecido um protocolo semelhante para implantação da estação de biomonitoramento, com *Tradescantia pallida*, tratado nas quatro estações em estudo (Figura 22). A escolha do local foi justificada não somente pelo acúmulo de poluentes nos botões de inflorescências, mas pela maior arborização no local de estudo.

Portanto, prosseguiu-se a estação de monitoramento do ar implantada em frente à avenida Pontes Vieira sob o fluxo veicular. Em seguida, a restauração da *T. pallida* no jardim

local, fertilizada com terra vegetal e substrato complementar de formulação NPK (10:10:10), conservada em sol periódico e condições hídricas ideais.

Figura 22 – Estação 2 – Parque Rio Branco: Biomonitoramento com *T. pallida*



Fonte: Elaborada pela autora.

4.3.3 Estação 3 – SEMA-CE

A Estação 3, Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA-CE), localizada no bairro Dionísio Torres, da Avenida Pontes Vieira (latitude -3.75106 e longitude -38.4993), visto na Figura 23. A mesma apresenta população residente de 15.634 habitantes segundo IBGE de 2010 elaborado pelo IPECE (2012b) e está situada na Regional II do Território 10.

Nesta, devido à presença de ambiente por fontes móveis, com os poluentes primários e ao grande fluxo veicular trafegando no cruzamento fundamentou a definição local. A estação 3 distingue-se das estações 1 e 2, por apresentar somente o critério de fluxo veicular, sem nenhum destaque quanto à área verde e densidade de edifícios justificando assim a escolha desse ponto ao fundamentar apenas a análise meteorológica e do biomonitoramento.

Figura 23 – Estação 3 – SEMA-CE



Fonte: Google Earth (2020).

A Estação 3 manteve semelhante protocolo das quatro estações, como: 1) Os critérios meteorológicos, 2) A estação fixa para as análises do monitoramento de poluente do ar e 3) A estação de biomonitoramento com *Tradescantia pallida*.

Nessa estação, o monitoramento realizado com o METOne aconteceu em dois episódios, nos dias 16/06/2021 e 26/11/2021, no intervalo de oito horas, das 08:00 às 17:00 horas, para a coleta de contador de partículas $MP_{2,5}$ e MP_{10} (na estação de outono). Os registros obtidos para o estudo foram corroborados com a legislação vigente: ANVISA 09/2003, CETESB, ONU e CONAMA 491/2018, semelhante aos realizados nas estações 1 e 2.

Na sequência, procedeu com o protocolo do biomonitoramento tratado igualmente nas estações anteriores, com *Tradescantia pallida* (FIGURA 24), na proximidade da Avenida Pontes Vieira, explicado pelo fluxo veicular e da estação de monitoramento do ar. Verificou-se que a planta já se encontrava cultivada no jardim do órgão, facilitando apenas no reforço da adubação e acréscimo de substrato complementar com NPK (10:10:10) na terra, com sol periódico e condições hídricas ideais para a manutenção da planta.

Figura 24 – Estação 3 – SEMA: Biomonitoramento com *T. pallida*



Fonte: Elaborada pela autora.

4.3.4 Estação 4 – Horto Florestal Municipal Falconete Fialho

A estação 4, Horto Florestal Municipal Falconete Fialho, localizada no bairro Passaré na Avenida da Saudade, (longitude -38.53389 e latitude -3.82349) visto na Figura 25. Na região desta estação há uma população de 8.970 habitantes segundo IBGE de 2010 elaborado pelo IPECE (2012b), situada na Regional VIII do Território 20.

Figura 25 – Estação 4 – Horto Florestal Municipal Falconete Fialho



Fonte: Google Earth (2020).

Nessa estação, o monitoramento com o METOne ocorreu nos dois episódios, dos dias 14/06/2021 e 25/11/2021, no intervalo de oito horas, das 08:00 às 17:00 horas, para a coleta de contador de partículas $MP_{2,5}$ e MP_{10} .

As dependências internas do Horto Municipal são responsáveis pela composição do paisagismo das vias e equipamentos públicos que fornece a produção, o cultivo e a distribuição próprias das plantas da região metropolitana de Fortaleza. Dessa forma, tornou-se um dos fatores que colaborou na escolha da estação 4, além de apresentar baixa atividade diária de fluxo veicular e de concentração dos poluentes atmosféricos na região em estudo.

Estes fatores tornaram um diferencial entre as estações 1, 2 e 3 por apresentar também maior área verde interna, menor densidade de edifícios e, principalmente, está próxima à estação meteorológica do INMET. Portanto, justificando a localização como estação 4 para fundamentar a análise meteorológica e do biomonitoramento.

Nesta, foi estabelecido semelhante protocolo realizado nas estações 1, 2 e 3 para a implantação do monitoramento, segue: 1) Os critérios meteorológicos, 2) Estação fixa e 3) Estação de biomonitoramento, com *Tradescantia pallida*.

4.4 Coleta de Indicadores

A análise climática compreende na descrição dos indicadores a partir das fontes pelas estações meteorológicas da SEUMA e INMET. As estações em estudo já se encontram instaladas em determinadas bairros na região Metropolitana de Fortaleza onde existem vias urbanas com significativa concentração de emissões atmosféricas, fluxo veicular e material particulado. A proposta das Estações de monitoramento da poluição do ar deve fundamentar a relação dos indicadores meteorológicos e os poluentes do material particulado com dados dos órgãos Municipal, Estadual e Federal realizado em dezembro de 2020 e janeiro de 2021.

4.4.1 Climatologia Urbana

A priori, as informações foram obtidas a partir da Estação Fortaleza (572) – Parque Dois Irmãos, exposto pela rede meteorológicas do INMET, sob coordenada geográfica Longitude: -38.5378, e Latitude: -3.8157 (FIGURA 26).

Figura 26 – Estação Fortaleza (572): Parque Dois Irmãos – INMET



Fonte: INMET (2021).

O radar da estação meteorológico do INMET fornecerá medições, registros e mapas e imagens de satélite de dados meteorológico. Quanto aos dados referentes de hora em hora, automática e pertinentes ao objetivo deste estudo, são: a) Parâmetro meteorológico: Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); Temperatura atmosférica ($^{\circ}\text{C}$); Umidade relativa (%); Velocidade do vento (m/s) e Direção do vento.

A fim de subsidiar o estudo do monitoramento do ar, foi realizado biomonitoramento, com as inflorescências jovens da *Tradescantia pallida*, representado planta bioindicadora presente nos quatro pontos das estações de monitoramento.

As inflorescências de *T. pallida* passam a ser colhidas em episódios: a) Episódio 1 – Período de 15 a 31/12/2020, e b) Episódio 2 – Período 01/12/2021, justificado com: a) Fase final do processo de estadia – transplante – desenvolvimento em substrato NPK (10:10:10) e b) Coleta das inflorescências, conservação no etanol e álcool etílico (3:1). Para indicação da toxicidade, o recolhimento dos talos de inflorescência de *T. pallida* devem ser destinadas ao laboratório da Faculdade de Medicina de São Paulo (FAMUSP) para Teste de Bioensaio Trad-MCN, ou seja, da frequência de micronúcleos e efeito genotóxico do ar atmosférico.

Vale ressaltar que o presente estudo decorreu no período que foi registrado aumento do número de casos de coronavírus, conhecido como Sars-Cov-2, resultando na disseminação local a nível global e culminou na decisão da Organização Mundial da Saúde (OMS) declarando pandemia mundial. Foi estabelecida uma sequência de decretos pelas autoridades governamentais de cada país, conforme a particularidade dos estados, a fim de prevenir contágios e manter melhores condições de segurança à saúde e vida de cada população local.

Dessa forma, em função da recorrência da infecção viral atingir um patamar de elevado número de pessoas pelo mundo em curto prazo de tempo, os serviços locais, as atividades institucionais e acadêmicas foram impactados. Os decretos determinaram o isolamento social e, assim, impossibilitou consideravelmente a rotina e realização do estudo, interferindo parcialmente na proposta metodológica.

No entanto, foi sugerida nova proposta na metodologia a fim de possibilitar a coleta amostral nas quatro estações em estudo. Desse modo, foi justificada a redução do tempo de coleta dos dados meteorológicos e das hastes com inflorescências no período de dezembro de 2020 e janeiro de 2021.

4.4.2 Poluição Urbana

A avaliação qualitativa e quantitativa dos poluentes do meio ambiente e os indicadores meteorológicos serão obtidos com base na emissão direta e indireta de substâncias nocivas de poluentes atmosféricos na região Metropolitana de Fortaleza nas Estações de Monitoramento do Ar da SEUMA.

Dessa forma, optou-se pelas medições da Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar – EMQAr Móvel adquirida pela SEUMA junto à empresa contratada JCTM Comércio e Tecnologia Ltda/RJ (José Claudio da R. Souza). A estação foi implantada em frente ao estabelecimento do órgão estadual da SEUMA-CE no bairro Cajazeiras, mediante um quadro de Métodos de Referência para a medição: Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), O_3 (ppb), CO (ppm), NO (ppb), NO_2 (ppb), NO_x (ppb), SO_2 (ppb), NO (ppb), MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), $\text{MP}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), pressão barométrica (mbar), radiação solar (w/m^2), velocidade do vento (m/s), direção do vento ($^{\circ}$) e Precipitação pluviométrica (mm) obtidos por fontes móveis.

Para o atendimento ao método em estudo, foi atribuído apenas o material particulado MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$, em específico os dados do período dos dias 1 a 19 de janeiro de 2021. De acordo com a variação da concentração de poluentes atmosféricos, no percurso das avenidas Treze de Maio e Pontes Vieira, será considerado critério comparativo com base na legislação vigente: ANVISA 09/2003, CETESB, ONU e CONAMA 491/2018.

A estação dispôs os equipamentos com sensores a 3 metros de altura a fim de evitar paralelamente qualquer influência de partículas atípicas do esperado para medições fixas representando fluxo veicular urbano.

A Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar – EMQAr, exposto pela SEUMA, de coordenadas geográficas Longitude: -38.5574 e Latitude: -3.7951, cuja localização espacial da

Estação, notado na Figura 27 e sua implantação foi mantida na Avenida Deputado Paulino Rocha, nº 1343 bairro Cajazeiras.

Figura 27 – Localização espacial da Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar – EMQAr



Fonte: Google Earth (2021).

Na Estação SEUMA, especificamente, foram coletados somente os dados dos primeiros dezanove dias do mês de janeiro de 2021, justificado pelos seguintes fatores: a) Transição entre as estações primavera e verão, correspondendo aos dois episódios propostos (os dias 15 a 31 de dezembro de 2020, e início dos dias 01 a 19 de janeiro de 2021); b) Período da coleta amostral das inflorescências *Tradescantia pallida* obtido nos quatro pontos amostrais das estações de monitoramento e c) Ocorrência de eventos climatológicos diários relacionando com o fluxo veicular no mês final e inicial de um ano.

Dessa forma, realizou-se o levantamento dos dados da Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar – EMQAr, a partir de fontes móveis de poluentes do ar e contribuirá para corroborar na relação dos parâmetros obtidos entre os quatros pontos *in locu* amostral do presente estudo (FIGURA 28).

Figura 28 – Medição fixa de Métodos de Referência – Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar – EMQAr (SEUMA)



Fonte: SEUMA (2021).

4.4.2.1 Número de Particulado

Para a medição do contador de material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10} e avaliação da concentração em $\mu g/m^3$ durante atividade de maior fluxo veicular, a miniestação em estudo contou com o seguinte protocolo de coleta: 1) Definição do episódio nas estações IFCE, Parque Rio Branco, SEMA e Horto Municipal (como “controle negativo”), 2) Estabelecer o período em duas etapas: nos dias 14 a 17/06/2021 (variando entre 2h e 08h) e nos dias 25 a 28/11/2021 (durante 8h) e 3), Instalação do tripé para sustentar o aparelho contador de partículas METOne Model 83 e mensurar os dados de $MP_{2,5}$ e MP_{10} (FIGURA 29).

Figura 29 – METOne Model 831



Fonte: Elaborada pela autora.

4.4.3 Bioindicador – *Tradescantia pallida*

Quanto à análise genotóxica do ar, inicialmente serão instaladas floreiras em cada estação com uma espécie biomonitora, a *Tradescantia pallida*. Para contribuir nos dados genotóxicos a validação da contagem de micronúcleo (MCN) que definirá o nível de toxicidade do ar atmosférico em torno das estações em estudo.

Conforme as estações 1, 2 e 3, realizou-se na estação fixa os cinco diferentes episódios para o monitoramento local entre os dias 28/05/2021 com oito horas dessa data, e a coleta nos horários das 08:00 às 17:00 horas na estação de outono. As análises obtidas desta fonte na estação 4, bem como, para as estações 1, 2 e 3 será corroborado com a legislação vigente: ANVISA 09/2003, CETESB, ONU e CONAMA 491/2018.

O protocolo de implantação da estação de biomonitoramento incidiu na estação 1, 2, 3 e 4, com a planta *Tradescantia pallida* (FIGURA 30). Todavia, devido à ausência de fontes fixas poluidoras em torno do Horto Municipal de Fortaleza, esta área foi caracterizada com significativo índice de arborização justificando a estação 4 como “controle negativo”. No entanto, seguiu-se um protocolo diferencial das demais estações 1, 2 e 3 do estudo. A *T. pallida* é uma planta comum na produção de mudas destinadas ao paisagismo de Fortaleza. Entretanto, para o seguimento rígido do protocolo fez-se necessário o cultivo da planta, permanecendo como “controle negativo” entre as estações em estudo.

Figura 30 – Estação 4 – Horto Municipal: Biomonitoramento com *T. pallida*



Fonte: Elaborada pela autora.

4.4.3.1 Disposição das plantas

Quanto à aquisição de micronúcleos por biomonitoramento foi definido a *Tradescantia pallida* como espécime (FIGURA 31) utilizada no cultivo no Horto Municipal Falconete Fialho (HMFF) de Fortaleza. Parte das espécime *Tradescantia pallida* cultivada no Horto Municipal, após passar pelo processo de transplante, desenvolvimento no berçário sombra e berçário sol serão disponibilizadas para manutenção das outras três estações.

Figura 31 – Mudas do espécime *Tradescantia pallida*



Fonte: Elaborada pela autora.

As mudas da espécie em estudo foram obtidas a partir de quatro categorias: ornamentais, frutíferas, palmeiras e medicinais (FIGURA 32). A espécie é considerada ornamental e seu uso compreende um propósito não somente na estética paisagística da cidade tanto como finalidade científica contribuindo para o biomonitoramento do ar atmosférico.

Figura 32 – Canteiro de mudas para o paisagismo urbano (à esquerda); Produção de mudas (à direita)



Fonte: Adaptado de www.fortaleza.gov.br (2020).

Para o desenvolvimento das mudas foram utilizados os substratos: a) Composto (folha de poda de mudas vegetais) e b) Arisco (areia) nas proporções de 1:2, respectivamente (FIGURA 33). A mistura apresentou melhor resultado para tais substratos segundo o acúmulo de nutrientes, enraizamento das estacas e bem adaptadas ao clima chuvoso do período de cultivo inicial.

Especialistas em engenharia agrônômica sobressai que a mistura do composto indica uma boa condição para o desenvolvimento da planta, logo o substrato destinado a adubação de *T. pallida* apresenta condição ideais de aplicação.

Figura 33 – Substratos de composto a. Folha de poda de mudas vegetais; b. Arisco (areia) (no centro). Proporções de 1:2 de substrato (à direita)



Fonte: Elaborada pela autora.

Na proporção de 1:2 de substrato, foram realizados no mês de março de 2020 o enchimento dos sacos (material polipropileno, tamanho altura 17cm x - largura 17cm) para receber o caule em estacas (FIGURA 34a).

Na sequência foi preparado vaso de jardim (capacidade de 3,6 L, material polipropileno, tamanho altura 11cm – largura 15cm – profundidade 36cm) e sete dias depois realizou-se o transplante das mudas a fim de possibilitar o crescimento em meio a substrato selecionado (FIGURA 34b).

Figura 34 – Substratos 1:2 de composto no saco (à esquerda); b. Substrato na proporção de 1:2 no vaso de jardim (à direita)



Fonte: Elaborada pela autora.

Segundo Kampf e Costa (2000), a estaquia consiste na secção do caule das plantas, representa um método prático de multiplicação das plantas em pedaços com até 10cm ou mais e posteriormente enterrar em substrato específico. Conforme o autor, as estacas podem ser obtidas de qualquer parte dos ramos, no entanto convém dar preferência para as estacas apicais, pois são menos lignificadas, o que facilita a formação de raízes adventícias.

As 25 mudas do espécime *Tradescantia pallida* são provenientes do processo de estaquia com secção de 10 cm no ramo do caule em estacas apicais, retirando as folhas da base apical (FIGURA 35). Na base do caule, região próxima do nó, provavelmente dispõe de maior concentração de hormônios, o que explica a região apresentar melhor favorecimento para o desenvolvimento das raízes adventícias.

Figura 35 – Estaquia: sequência de secção de 10 cm no ramo do caule em estacas apicais



Fonte: Elaborada pela autora.

Em um período de até sete dias no mês de março, as mudas foram acompanhadas, irrigadas por motobombas e aspergidas três vezes na semana nas culturas, dispensando nos dias chuvosos, processo reservados em espaço de telado.

Uma vez enraizadas uma nova muda formada, seguiu-se com o transplante e acomodadas em número de 4 mudas por vasos de jardim padronizados totalizando uma população de 100 mudas, propondo receber mensalmente uma solução nutritiva de NPK (FIGURA 36), sendo 25 destas plantas representando, portanto, um ponto de controle.

Figura 36 – Transplantes (à esquerda), irrigação (ao centro) e acompanhamento das mudas *Tradescantia pallida* (à direita)



Fonte: Elaborada pela autora.

Kimati, Amorim e Bergamin Filho (1995) salientam que em um sistema deve ser considerado o tempo em que as plantas se encontram expostas a água, pois o aumento do tempo de molhamento das estruturas vegetais e a alta umidade favorecem o ataque de organismos fitopatogênicos.

Para demonstrar a relação entre a intensidade de tráfego veicular e a influência de espaços verdes na dispersão dos poluentes atmosféricos (FIGURA 37), foi escolhido, dentre os sete pontos do percurso, apenas o Parque Rio Branco como estação 2, justificado pela concentração arborista entre praças e áreas verdes no trajeto entre as Avenidas Treze de Maio e Pontes Vieira.

Figura 37 – Espaços verdes – Praça Nossa Senhora de Fátima e Parque Rio Branco



Fonte: Elaborada pela autora.

Convém lembrar que a escolha dos pontos foi estabelecida com base em fatores que interferem na condição de dispersão de poluentes, tais como: topografia, distância entre os pontos de dados de emissão de poluentes, velocidade do vento e coeficiente de dispersão atmosférico.

Já nas estações 1, 2, 3 e a estação 4 (“controle negativo”), o monitoramento teve por finalidade a obtenção de indicadores meteorológicos: CO₂, temperatura máxima e mínima (°C), umidade relativa máxima e mínima (%), velocidade (m/s) e direção dos ventos, para validar a relação das condições da área verde biomonitorado e dispersão dos poluentes.

Em relação à fixação das plantas, elas foram condicionadas em floreiro de vasos plásticos com 24 mudas dispostas na estação 4 do Horto Municipal. Vale frisar que a espécie que já se encontrava cultivada segundo sua particularidade local teve uma disposição amostral definida diferenciadamente entre as estações 1, 2 e 3, especificadamente citadas e justificadas anteriormente.

Inicialmente, foram averiguadas algumas praças ou espaços verdes no trajeto das avenidas citadas para a definição do Biomonitoramento com *Tradescantia pallida* cv. *Purpurea* (TABELA 8). E com base na representatividade significativa da cobertura vegetal foi selecionado somente o ponto “F” (Praça Rio Branco), na amostragem para implantação a ser monitorada.

Tabela 8 – Lista de Praças e áreas verdes para implantação de *Tradescantia pallida* cv. *Purpurea* na cidade de Fortaleza

Biomonitoramento	Praças e áreas verdes
Ponto A	Praça João Gentil
Ponto B	Praça do 23º Batalhão de Caçadores
Ponto C	Praça Argentina Castelo Branco
Ponto D	Praça Dom José Tupinambá
Ponto E	Praça Nossa Senhora de Fátima
Ponto F	Praça Rio Branco
Ponto G	Praça João Távora

Fonte: Elaborada pela autora.

4.4.3.2 Bioensaio Trad-MCN

A avaliação da genotoxicidade em *Tradescantia* também pode ser feita pela detecção fragmentos ou segmentos de DNA induzidos por agentes genotóxicos presentes no ar, no solo e na água (CARVALHO, 2005).

No presente estudo espécies foram expostas aos poluentes atmosféricos e as inflorescências jovens de *Tradescantia* submetidas a teste de citogenético. O ensaio Trad-MCN é realizado com técnica que se baseia na formação de micronúcleos como resultado da fragmentação cromossômica em fase tétrade de fase mãe. Para Machado (2008), os micronúcleos são contados e a frequência em que ocorrem revela a toxicidade do ambiente.

Com finalidade de avaliar a genotoxicidade das substâncias obtidas após submetidas a emissão de poluentes, foram utilizados para o bioensio Trad-MCN de 25 a 30 inflorescências jovens (com todos os botões fechados) de *Tradescantia pallida* cv. Purpurea.

Quanto às inflorescências dispostas nos floreiros da estação 4, “controle positivo”, e nas estações 1, 2 e 3, “controle negativo”, propôs-se uma coleta no período de 3 meses sequenciais de inflorescências jovens, com botões fechados. Foram selecionadas de 10 a 20 hastes ou cuttings com inflorescências no dia 02/02/2021, com tamanho de 10 a 15 cm com finalidade de prepará-las para a avaliação genotóxica.

As inflorescências jovens foram submetidas à fixação imediatamente posterior a coleta e na sequência dispostas em conserva em solução de etanol e ácido acético glacial na proporção de 1:3, a 95% por 24 horas. Esta condição justifica a coleta na fase de inflorescência jovem por apresentar botões com células em fase de tétrade e posteriormente colocadas no frasco de 30 ml em imersão com álcool.

As inflorescências passaram por quatro etapas que o antecede atender o protocolo de Ma *et al.* (1994), segue: a) A adaptação – as hastes foram imersas em solução de água por 24 horas, b) A fixação-segundo o protocolo de Ma (1981), assentar as hastes em solução Carnoy (ácido acético e álcool 98% na proporção de 3:1 por 48 horas), c) A intoxicação – submeter a solução “mãe” e mais 1 litro de água (na proporção de 1:3 por 48 horas) e d) A recuperação, em solução Hoagland e água (na proporção de 1:3) e expor ao sol por 24 horas.

Por fim, após a fixação, utilizou-se o protocolo desenvolvido por Ma *et al.* (1994), o ensaio Trad-MCN na seguinte sequência: a) Corante Carmin (1 gota), b) Preparo da lâmina e lamínula e c) Análise de micronúcleo (contagem de 15 MCN no mínimo por dias) foram destinadas no Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental – LPAE da Faculdade de Medicina da USP – FAMUSP.

4.4.3.3 Estatística

Para a análise estatística do teste de citogenética utilizou-se o programa SPSS *Statistics software version* 10.0 (IBM), com nível de significância adotado de $p < 0,05$. Os resultados do

teste de citogenética devem avaliar o efeito genotóxico da exposição à poluição atmosférica (MP_{2,5} e MP₁₀) realizado com *Tradescantia pallida* baseado no ensaio Trad-MCN.

A Tabela 12 demonstra a estatística descritiva da frequência de micronúcleos nos diferentes grupos amostrais Horto, SEMA, Parque Rio Branco e IFCE. Uma vez que os dados não assumem uma distribuição normal (segundo o teste Shapiro-Wilk, $p = 0,014$, TABELA 11), a análise de variância não-paramétrica foi realizada através do teste de Kruskal-Wallis para amostras independentes, seguidas pelo teste de comparações múltiplas de Dunn.

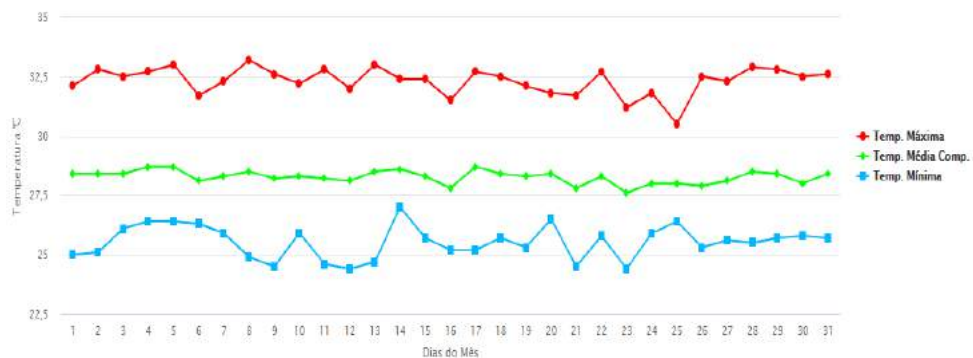
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Em relação à climatologia urbana

Os dados dos parâmetros meteorológicos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos, direção dos ventos e precipitação) estão apresentados a partir das informações da Estação Fortaleza (A305) – Parque Dois Irmãos, pela rede meteorológica do INMET.

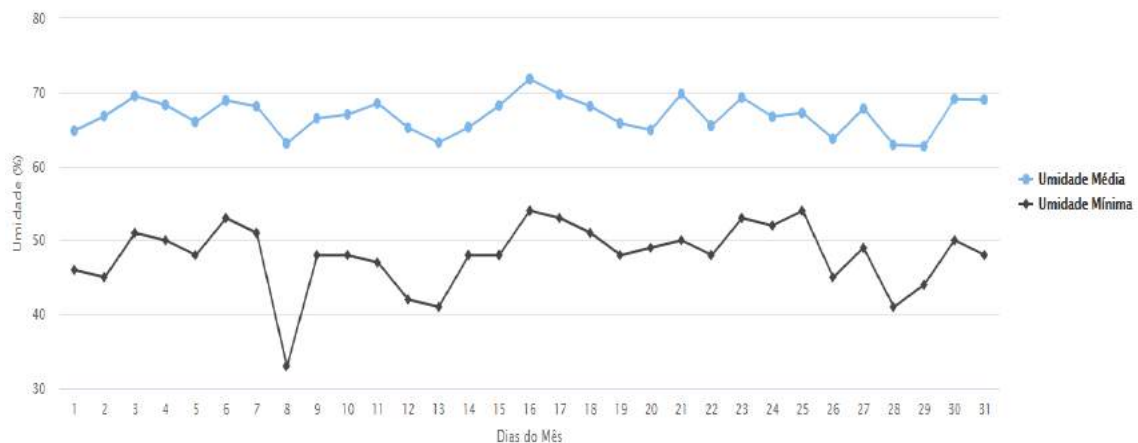
Os valores registrados diariamente pela estação anotaram em especial, os meses deste estudo: dezembro de 2020 e posterior janeiro de 2021, nas Figuras 38 e 39.

Figura 38 – Estação Fortaleza (A305): Temperaturas do ar diárias (Máxima, Média, Mínima) – 12/2020



Fonte: INMET (2021).

Figura 39 – Estação Fortaleza (A305): Umidade relativa do ar diária (Máximo, Média, Mínima) – 12/2020



Fonte: INMET (2021).

Acerca dos indicadores meteorológicos, baseado na Estação Meteorológica do INMET, é importante a discussão, visto que, o comportamento dos agentes poluidores lançados na

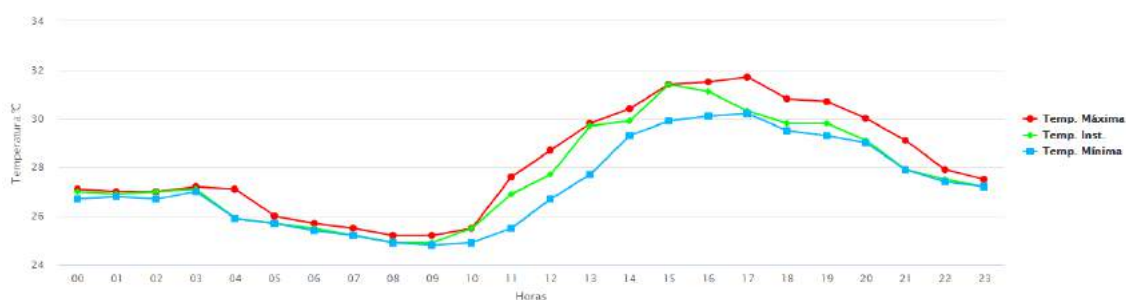
atmosfera da região em estudo, material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10} pode sofrer influência destes condicionantes.

O radar meteorológico dessa estação forneceu maiores medições de temperatura ($^{\circ}C$) máxima no dia 08/12/2020, média no dia 17/12/2020 e mínima nos dias 09, 11, 12, 13, 21, 23/12/2020 descritas na figura 38. Já a Figura 39 apresenta valores obtidos de umidade relativa (%) registrando queda brusca na média e aumento na mínima nos dias 08/12/2020 e 16/12/2020.

Na Estação Fortaleza (A305), rede meteorológica do INMET, foram registrados valores por hora no mês de janeiro de 2021, o radar meteorológico forneceu maiores medições de temperatura ($^{\circ}C$) máxima às 17 horas, instantânea às 15 horas e mínima entre 9h e 10 horas na Figura 40.

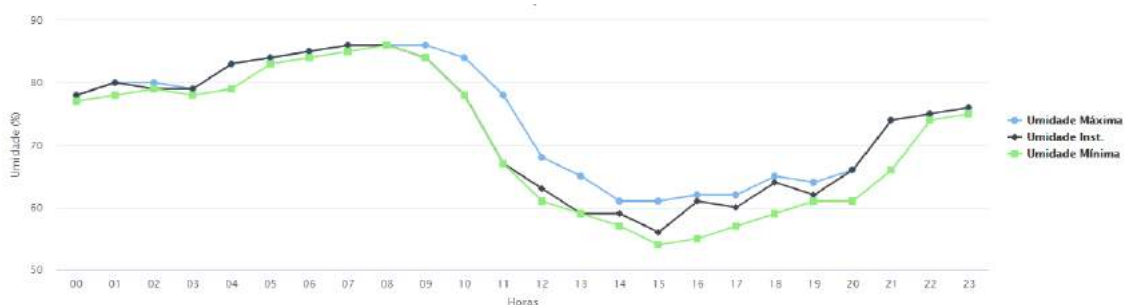
Ao passo que a umidade relativa (%) apresenta valores que guardam uma relação inversa, onde os maiores valores obtidos ocorreram em média em torno das 9 horas, instantânea próximo das 7 horas e, a mínima, às 15 horas, na Figura 41, no modelo automático.

Figura 40 – Estação Fortaleza (A305): Temperatura por hora (Máxima, Instantânea, Mínima) – 01/2021



Fonte: INMET (2021).

Figura 41 – Estação Fortaleza (A305): Umidade relativa por hora (Máxima, Instantânea, Mínima) – 01/2021



Fonte: INMET (2021).

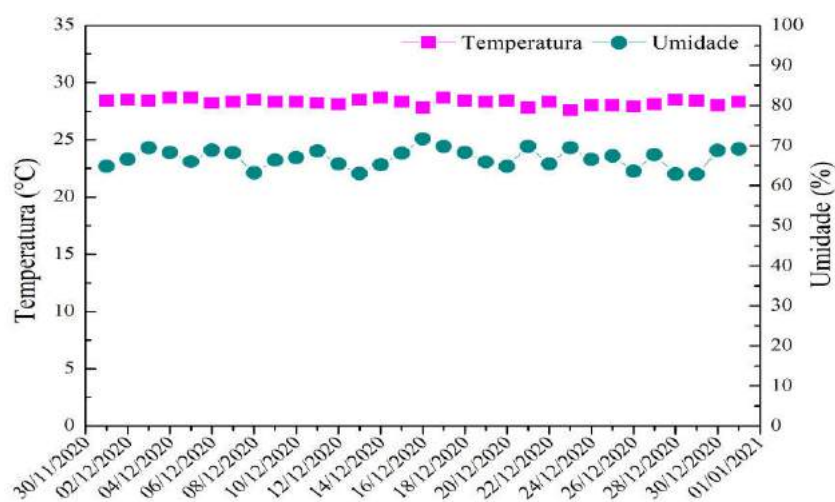
Na Figura 40, é representada a temperatura do ar por hora registrada na Estação do INMET, expondo valores constantes e máximos de aproximadamente $32^{\circ}C$, todavia registrou-

se uma variação nos horários entre 11 a 17 horas. Esta variação está assinalada na Figura 38, a partir do dia 16/12/2020 que se repetiu nos dias 21/12, 23/12 e 30/12/2020. Nota-se, na Figura 41, uma umidade relativa do mês de janeiro/2021 com oscilações mínimas significativas entre 09 e 22 horas, verificando-se uma considerável diferença nos dias 16/12, 21/12, 23/12, 25/12, 30/12 e 31/12/2020, visto na Figura 39. Percebe-se, então, a temperatura sendo um agente condicionante da massa do ar na vertical; esse aspecto possivelmente, um fator no transporte e na difusão dos poluentes.

No que diz respeito à umidade relativa (%) (FIGURA 41) na Estação do INMET aponta uma dinâmica inversa à temperatura. A umidade seguiu uma tendência exibindo valores maiores aproximadamente entre 75% e 80% em intervalo entre 20°C e 25°C.

Contudo, em contraste ao longo do período, essa variável apresentou variações chegando a registrar oscilações entre 65% e 70% nos dias 03, 06, 11, 16/12/2020. Somente a partir do dia 21, 23/12/2020 mostrou tendência para valores mais baixos entre 60% e 70%, reduzindo até os dias 27, 28/12, porém atingindo valores até 70% nos dois últimos dias 30 e 31/12/2020 (FIGURA 42).

Figura 42 – Estação Fortaleza (A305): Relação de temperatura e Umidade por hora – 12/2020



Fonte: Elaborada pela autora.

Ao analisar a velocidade dos ventos no período de dezembro/2020, com base nos valores na Escala Beaufort na Tabela 9, quanto ao levantamento da Estação INMET, verificou-se predomínio de aragem (1,6 a 3,3 m/s), onde nos dias 10, 13 e 21/12/2020 atingiram até 3,0 m/s; fraco (3,4 a 5,4 m/s), onde nos dias 02, 05, 18, 20/12/2020 chegaram a 3,4 m/s e nos dias 26 a 29/12/2020, mantendo a velocidade mais constante no final do mês.

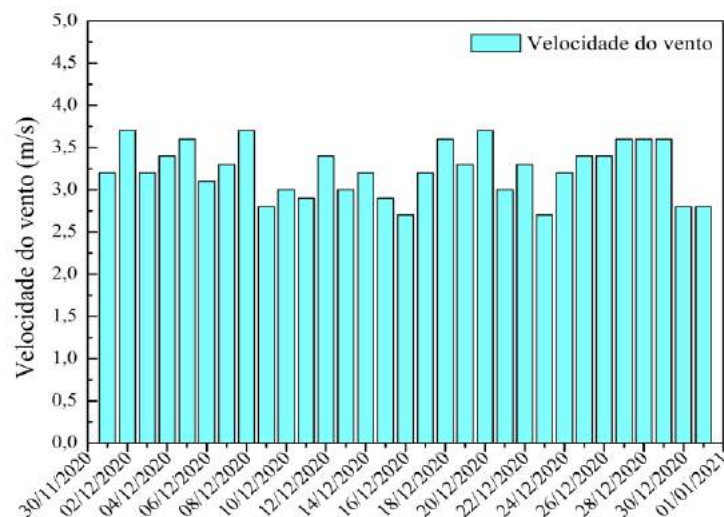
Tabela 9 – Escala para classificação do vento – Escala Beaufort adaptada da DHN

Força	Descrição	Velocidade média em Nós	Velocidade média em km/h	Velocidade média em m/s
0	Calmaria	< 1	< 1	< 0,3
1	Bafagem	1 a 3	1 a 5	0,3 a 1,5
2	Aragem (leve brisa)	4 a 6	6 a 11	1,6 a 3,3
3	Fraco	7 a 10	12 a 19	3,4 a 5,4
4	Moderado	11 a 16	20 a 28	5,5 a 7,9

Fonte: Epagri/Ciram (2021).

Os valores da velocidade do vento mostraram que foram registrados variação dos ventos nos meses em estudo, no entanto, janeiro/2021 predominou alta oscilação dos ventos quando comparado a dezembro/2020. A Figura 43 mostra registros dos valores de velocidade do vento (m/s) e direção do vento na Estação Fortaleza (A305) apresentado no mês de dezembro de 2020 e dia 01 de janeiro de 2021.

Figura 43 – Estação Fortaleza (A305): Velocidade do vento dez/2020



Fonte: Elaborada pela autora.

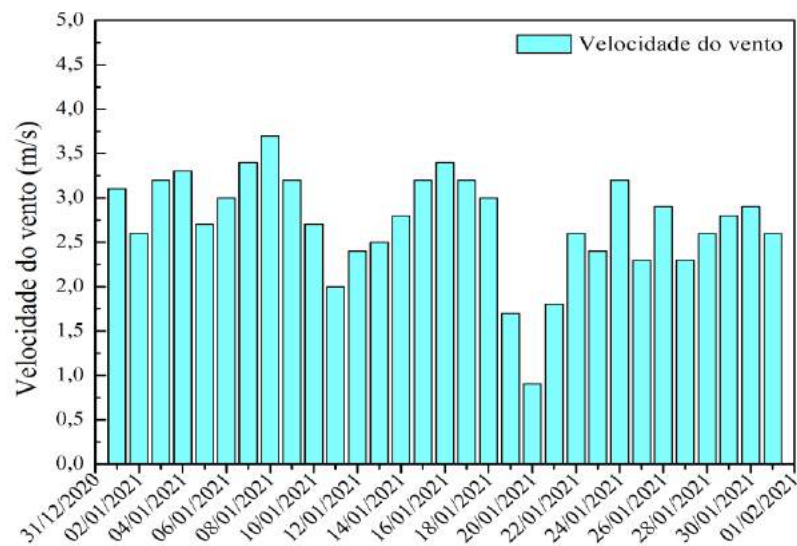
Para o período de janeiro/2021 a velocidade dos ventos na Escala Beaufort, apresentou de bafagem, aragem e fraco. De acordo com a escala, foi registrado predomínio bafagem (0,3 a 1,5 m/s) apenas no dia 20/01/2021, aragem (leve brisa) (1,6 a 3,3 m/s) com ênfase nos dias 19

e 21/01/2021 que atingiram valores mais baixos, fraco (3,4 m/s a 5,4 m/s) no dia 08/12/2021 atingiram valores maiores que 3,5 m/s.

De acordo com Cavalcanti (2010), a ocorrência de ventos fracos por exemplo, certamente influenciarão na dispersão de poluentes, porventura presentes no ar da região. Por isso os ventos fracos registrados nesse período de janeiro/2020 a dezembro/2021, provavelmente revelam significativa coincidência com as precipitações ocorridas em igual período refletindo na limpeza da atmosfera pelas chuvas. Sendo assim verificaram-se maiores registros dos ventos a 77% com ocorrência no mês de dezembro/2020.

Já a Figura 44 mostra uma variação da velocidade próximo de 2,5 m/s e valores maiores que 3,5 m/s (3,55 m/s). Na aferição da direção dos ventos na Estação INMET, com medição contínua e paralela, de forma geral, registraram baixa velocidade dos ventos, coincidindo com anotações da estação chuvosa durante o monitoramento.

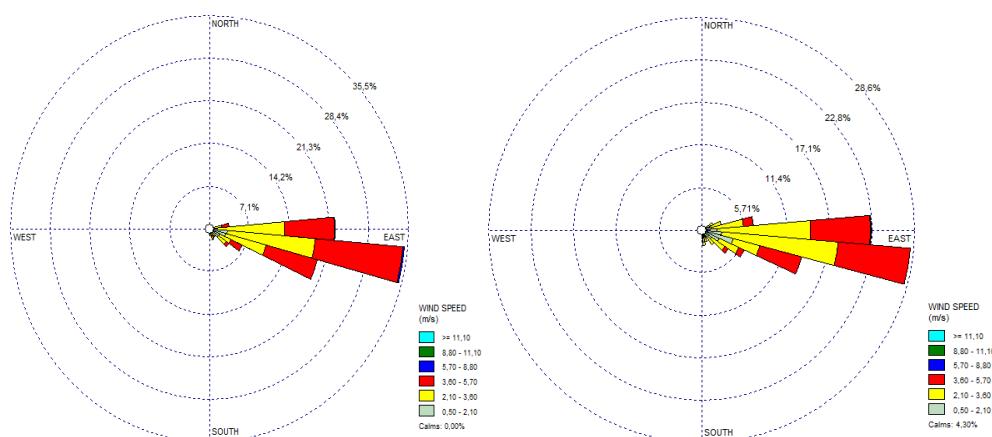
Figura 44 – Estação Fortaleza (A305): Velocidade do vento jan./2021



Fonte: INMET (2021), Autora (2021).

Na Figura 45 ressalta-se que, em função de aumento da precisão da rosa dos ventos, foi registrado neste período de dezembro/2020 e janeiro/2021 uma velocidade que variou entre 2,10 m/s e 5,70 m/s (entre o Leste (E) e o Sudeste (SE)). Cavalcanti (2010) cita dentre os principais parâmetros meteorológicos que o comportamento da direção e velocidade do vento é fundamental para a análise do transporte e da capacidade de dispersão em uma determinada região.

Figura 45 – Estação Fortaleza (A305): Rosa dos ventos – janeiro a junho/2021



Fonte: INMET (2021, adaptado).

A precipitação (ou chuva) é considerada um parâmetro meteorológico e constitui o chamado balanço hídrico de uma dada região, logo é possível obter dados climatológicos. Conforme Cavalcanti (2010), a precipitação possui um regime irregular e pode ser decorrente de diferentes fenômenos meteorológicos, os quais irão determinar sua intensidade e duração.

Mediante a rede meteorológica do INMET, é possível notar precipitações de 261,6 mm no período de janeiro de 2021, sendo fevereiro o maior pico de precipitação pluviométrica. No entanto, durante o monitoramento do material particulado, realizado nos quatros dias da coleta nos pontos amostrais no mês junho, verificou-se apenas 29,6 mm, considerado condição regular de precipitação para período de coleta.

Vale lembrar que no dia 16/06/2021 ocorreu precipitação atípica no horário considerado de “pico de veículos”, o que representa na sequência dos meses um comportamento descrito como normal climatológica. Este comportamento em junho difere do apresentado nos meses iniciais do ano de 2021, que durante o monitoramento da poluição do ar dos quatro pontos amostrais, a limpeza pelas chuvas, pode movimentar possivelmente partículas e concentrar na área de entorno.

Pode-se concluir que os elementos meteorológicos com base na Estação do INMET, apresentaram valores considerados típicos pela normal climatológica para o período de monitoramento em estudo.

5.2 A concentração da poluição urbana

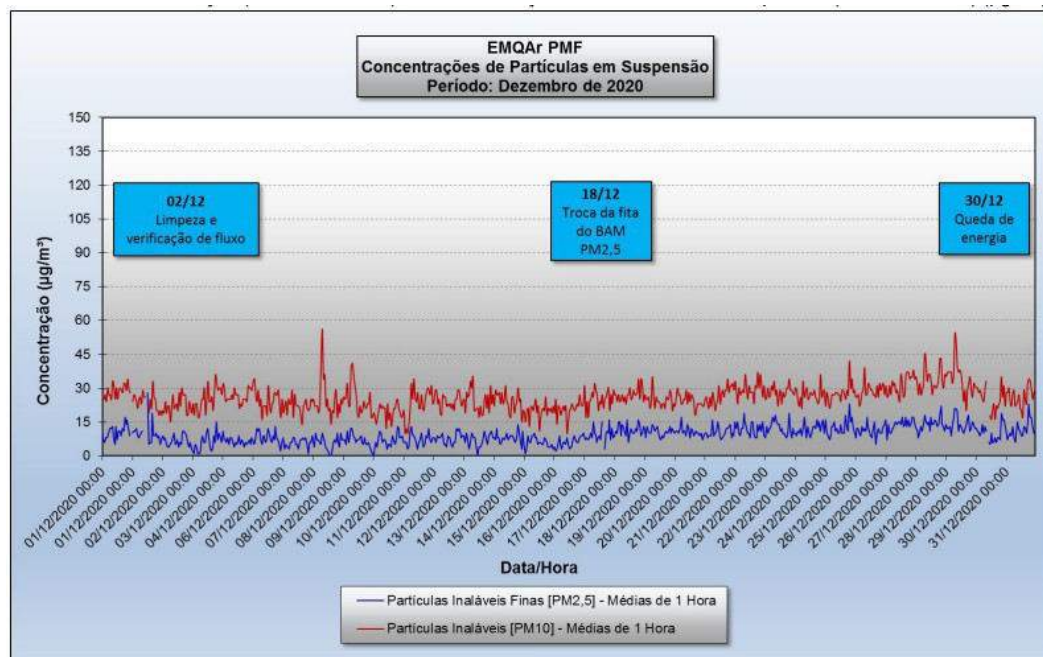
Quanto à avaliação qualitativa e quantitativa contínua da emissão dos poluentes atmosféricos, realizaram-se medições fixas, baseado na Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar – EMQAr Móvel – SEUMA. A Estação possui equipamentos com sensores e mediante um quadro de Métodos de Referência mensura os valores de: MP_{10} , $MP_{2,5}$ temperatura do ar, velocidade do vento, direção do vento e precipitação. Neste estudo, a discussão sobre MP_{10} e $MP_{2,5}$ foi averiguada a concentração da emissão dos poluentes atmosféricos relacionados aos efeitos da concentração nas estações fixas proposta mediante o fluxo veicular na região metropolitana de Fortaleza.

Para a média de valores do material particulado MP_{10} e $MP_{2,5}$ foi estimado o período do mês de dezembro/2020 e, especificamente pelos dias 1 a 19 de janeiro/2021, devido aos motivos que levaram a interrupção do tempo de monitoramento pela SEUMA. Na Estação EMQAr – SEUMA os dados coletados atenderam aos dois critérios propostos no estudo: a) A transição entre as estações primavera e verão, b) No período do dia 15 a 31 de dezembro de 2020 e início dos dias 01 a 19 de janeiro de 2021.

No Gráfico 5, no mês de dezembro/2020, foram registrados valores maiores de MP_{10} e oscilação com valores abaixo de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, atingindo um pico maior que $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Contudo houve adaptação na medição de 24 horas para 8 horas, tais valores de MP_{10} , portanto, está em conformidade com a qualificação do ar pela CETESB/CONAMA, considerado “BOA”, ou seja, concentração no intervalo de 0-50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Percebe-se que entre os dias 08 e 09/12/2020 $MP_{2,5}$ atingiu concentração no intervalo de 51-150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) com qualificação do ar “REGULAR”, e refletindo à saúde do pedestre local e fluxo veicular considera-se “sem efeitos” na saúde.

Diferentemente para o $MP_{2,5}$ cujos valores permaneceram reduzidos, porém, dentro do intervalo de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sob leve variação entre os dias 17 e 31/12/2020 e maiores que $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no caso de MP_{10} . Portanto, sob medição de 24 horas, tais valores estão conforme a qualificação do ar do CETESB, considerada “BOA” e “sem efeitos” para a saúde.

Gráfico 5 – Evolução (médias horárias) das concentrações de Partículas em Suspensão MP_{10} e $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

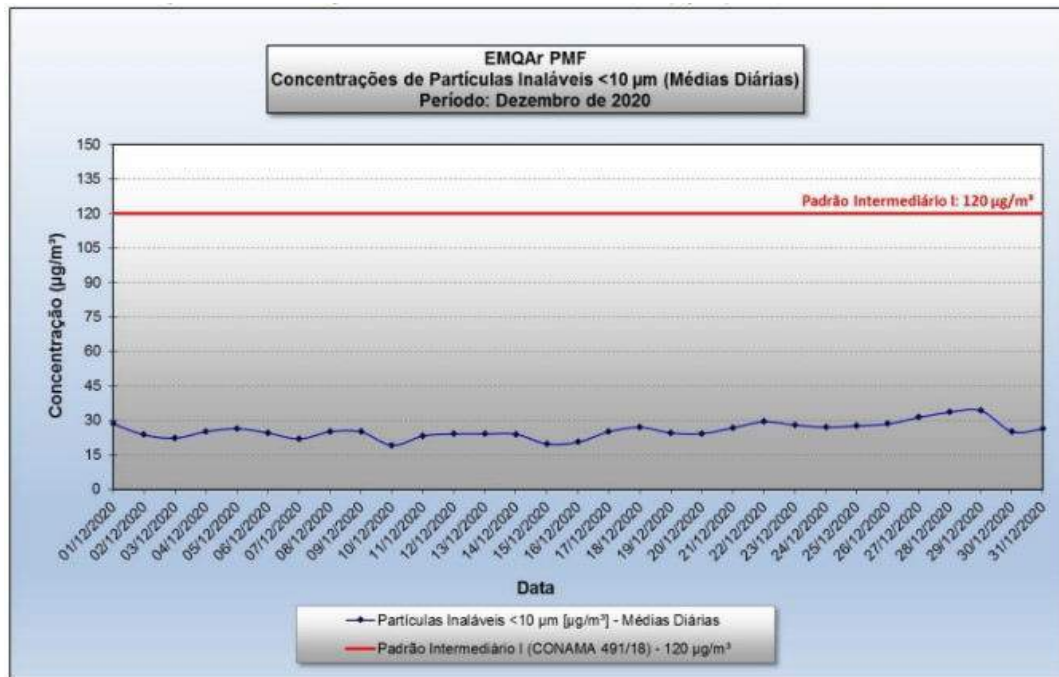


Fonte: SEUMA (2021).

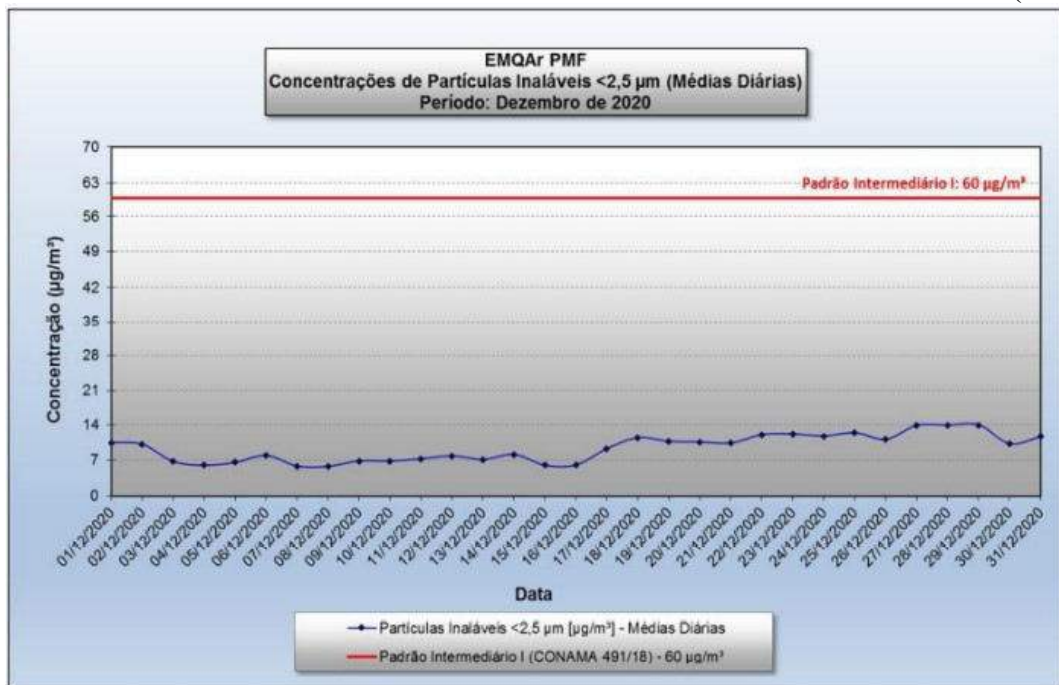
No Gráfico 6, ao conferir o modelo nacional de qualidade do ar do CONAMA 491/18, o padrão utilizado pela estação SEUMA, mostra que nos meses de dezembro/2020 e janeiro/2021 tais valores para Partículas Inaláveis $< 10 \mu\text{m}$ e Inaláveis Finas $< 2,5 \mu\text{m}$ se encontram de acordo com a qualificação do ar da CETESB.

Ao comparar com o padrão da OMS, Resende (2007) cita a concentração média anual de MP_{10} o padrão brasileiro ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) equivale à meta interina II da OMS; entretanto o modelo desta é de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para a concentração de 24 horas, o padrão brasileiro ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) equivale à meta interina I da OMS, quando o ideal, segundo esta organização, é de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No entanto, padrões para $MP_{2,5}$ não são previstos atualmente no Brasil.

Gráfico 6 – Evolução das concentrações de Partículas Inaláveis < 10 μm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e Inaláveis Finas < 2,5 μm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) comparada ao padrão CONAMA 491/18



(continua)



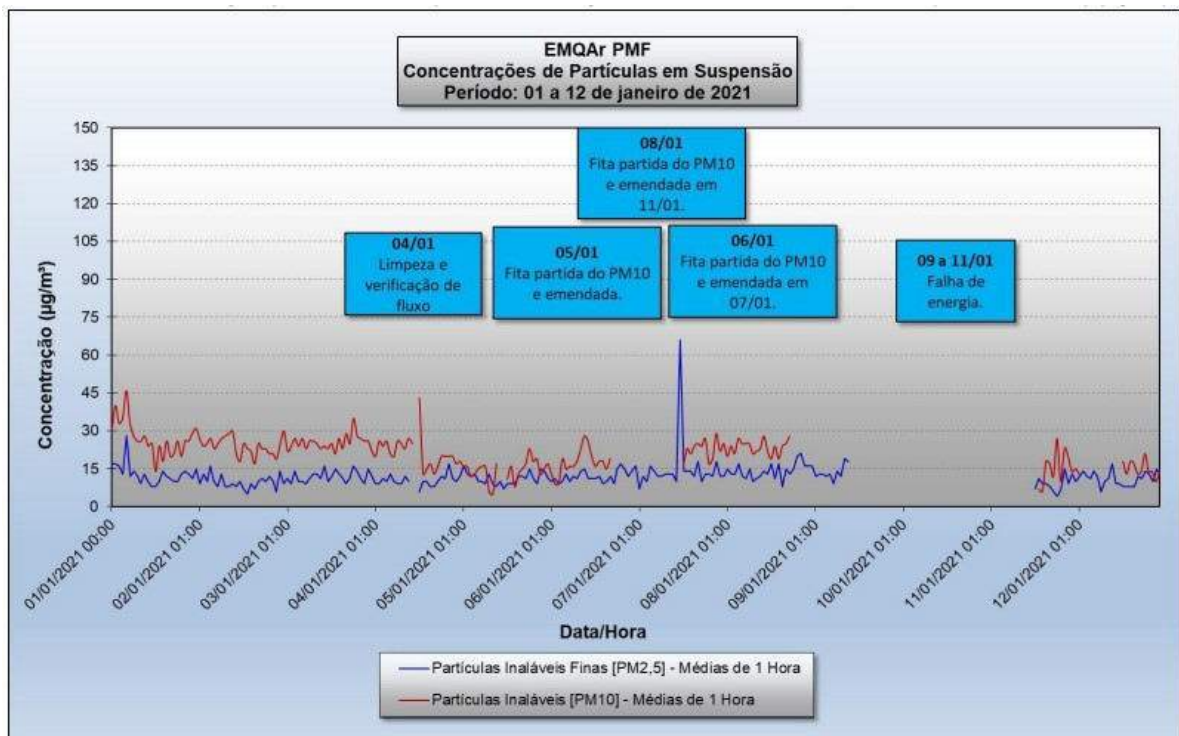
Fonte: SEUMA (2021).

O Gráfico 7 mostra que o mês de janeiro/2021 possui valores de MP_{10} e a concentração oscila entre 0-50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), destacando pontualmente um pico maior no dia 01 e 04/01/2021 a 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. No entanto, a medição de 24 horas, os valores registrados estão em conformidade com a qualificação do ar da CETESB/CONAMA, considerado “BOA”, e responde “sem efeitos” na saúde. Ressalta-se que durante o monitoramento da estação SEUMA, ocorreram eventos que

interromperam pontualmente na sequência de eventos, dentre eles, limpeza de fluxo e falha de energia, segundo mostrado no Gráfico 7.

Para o $MP_{2,5}$ os dados apresentaram conforme a qualificação do ar da CETESB, considerado “REGULAR” e “sem efeitos” à saúde. Contudo, houve permanência de números baixos no intervalo de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$; no entanto, de forma pontual, oscilou consideravelmente dados maiores que $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no dia 07/01/2021.

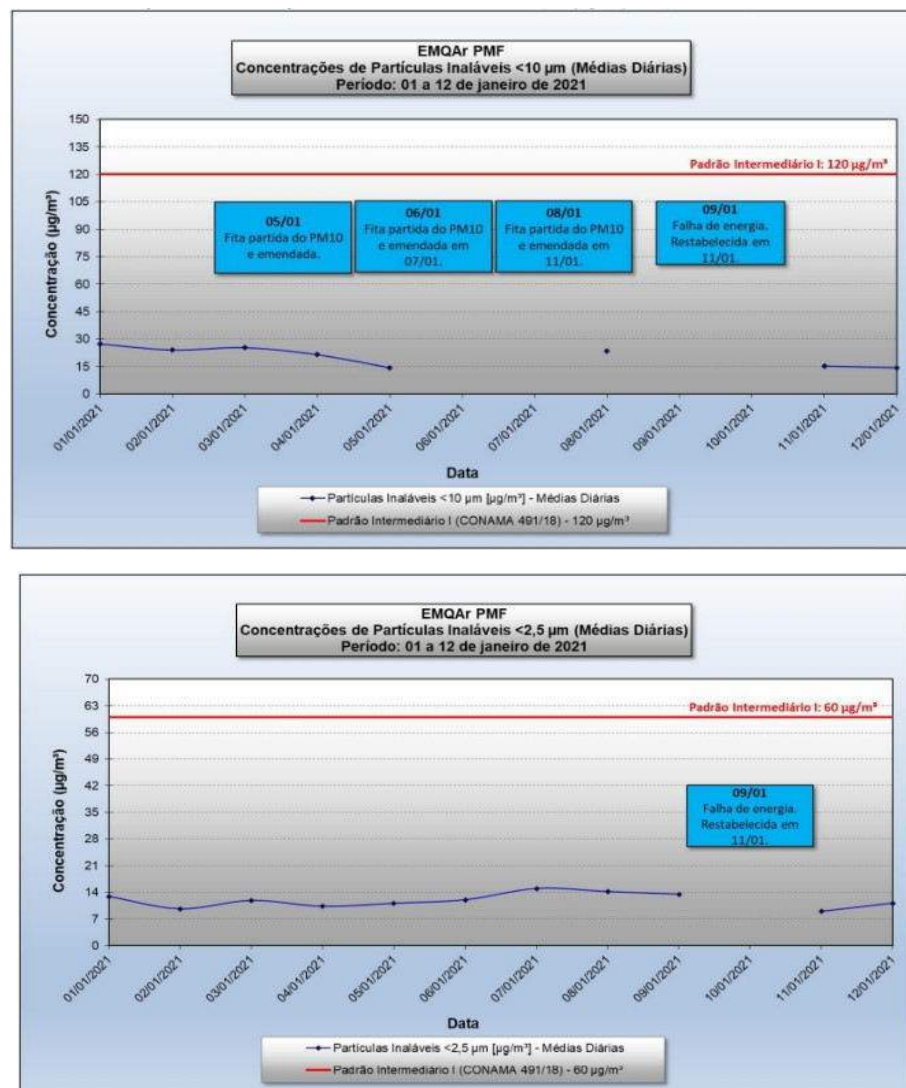
Gráfico 7 – Evolução (médias horárias) das concentrações de Partículas em Suspensão (MP_{10} e $MP_{2,5}$) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Fonte: SEUMA (2021).

No Gráfico 8, ao examinar o modelo nacional de qualidade do ar do CONAMA 491/18, nos meses de dezembro/2020 a janeiro/2021 para Partículas Inaláveis $< 10 \mu\text{m}$ e Inaláveis Finas $< 2,5 \mu\text{m}$, verificou-se conformidade do padrão de referência. Resende (2007) ressalta ao afirmar a concentração de 24 horas o padrão brasileiro ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) equivale à meta interina I da OMS, quando o ideal segundo esta organização é de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico 8 – Evolução das concentrações de Partículas Inaláveis < 10 µm (µg/m³) comparada ao padrão CONAMA 491/18



Fonte: SEUMA (2021).

5.3 Sobre a concentração de particulados na área de estudo

Para quantificar a concentração de particulado MP_{10} e $MP_{2,5}$ neste estudo, nas quatro estações, o monitoramento do ar, foram utilizados critérios comparativos ao instalar a miniestação com o Contador de Partículas 831 Aerossol Mass METOne® (TABELA 10).

Destaca-se que as medições em atendimento ao modelo CETESB necessitaram de adaptação de 24h para 8 horas. Devido aos decretos justificados pela pandemia em função da disseminação do COVID-19, a pesquisa foi restringida no tempo e espaço, nos quatro pontos amostrais das avenidas Treze de Maio e Pontes Vieira, e no Horto.

Ao considerar o modelo da CETESB/CONAMA para o material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10} , o Ponto 3 (TABELA 10) registrou elevadas concentrações tanto para $MP_{2,5}$ e MP_{10} ao utilizar um monitor portátil. Observa-se neste ponto que o MP_{10} aferiu um nível consideravelmente mais elevado, porém dentro dos limites estabelecidos, conforme a Média aritmética anual (MAA) do valor padrão CETESB (SÃO PAULO, 2013).

A elevada concentração do MP_{10} no Parque Rio Branco se deve ao tempo adaptado de 24h para 2 horas quanto ao modelo CETESB/CONAMA. No entanto, para melhor averiguação com o Contador de Partículas 831 Aerossol Mass METOne®, valeu-se de um segundo episódio no mês de outubro com o fim de ajustar os valores de MP_{10} e $MP_{2,5}$ do primeiro episódio referente ao Ponto 3, em relação aos pontos amostrais Horto, SEMA e IFCE, conforme os anexos. Os valores contidos nos anexos A, B, C e D, destaca o anexo C com o MP_{10} e $MP_{2,5}$, ajustado dentro dos limites estabelecidos conforme o modelo CETESB/CONAMA.

Tabela 10 – Padrão de Qualidade do ar e valores de material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10})

Pontos Amostrais	Data	Tempo de amostra	Poluente Atmosférico	
			$MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Méd.	MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Méd.
P1 – Horto	14/07	8h	1,9	9,3
P2 – SEMA	15/07	8h	1,1	8,3
P3 – Parque Rio Branco	16/07	2h	7,1	30,6
P4 – IFCE	17/07	8h	2,3	8,2

Fonte: Elaborada pela autora.

A Tabela 10 apresenta o primeiro registro dos episódios decorrido nos dias 14, 15, 16 e 17/07/2021. Em geral, com a medição de 24 horas adaptada a 8h, os valores de MP_{10} e $MP_{2,5}$ variou de 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ atingindo um pico maior de 30,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tais valores apresentaram conformidade com a qualificação do ar da CETESB/CONAMA. Segundo o padrão, os dados foram definidos como “BOA”, ou seja, concentração no intervalo de 0-50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e “sem efeito” ao considerar a saúde humana (pedestres no local) e sob o fluxo veicular nos pontos amostrais.

Nos resultados obtidos com pico maior de 30,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} , ao considerar a saúde humana como “sem efeito” atribuído no modelo CETESB/CONAMA, vale registrar que na

qualificação do ar, o padrão oferece indicativo apenas uma margem limite do aceitável no organismo. Não obstante, não é o limite seguro para a saúde sob o efeito do MP_{10} e $MP_{2,5}$.

Uma vez que, durante o monitoramento, provavelmente obteve-se uma medida de poluentes menor e com um horário cujo pico de poluentes é mais elevado. Já para os dados da poluição submetidos pelos bioindicadores, possivelmente estavam iguais incluindo o Horto, o qual, de fato, apresentou uma atmosfera mais limpa entre os outros pontos SEMA, Parque Rio Branco e IFCE.

O fluxo de veículos, com combustão do diesel, por exemplo, pode adicionar fontes de partículas de $MP_{2,5}$ e MP_{10} . Freitas (2016) ressalta quanto à classificação das fontes do tipo antropogênica, são as fontes industriais e poluentes móveis (veículos a gasolina, álcool, diesel e GNV). Portanto, os resultados baseados em fontes móveis podem adicionar $MP_{2,5}$ e MP_{10} e com certeza influenciou de forma significativa na concentração no ponto 3 (Parque Rio Branco).

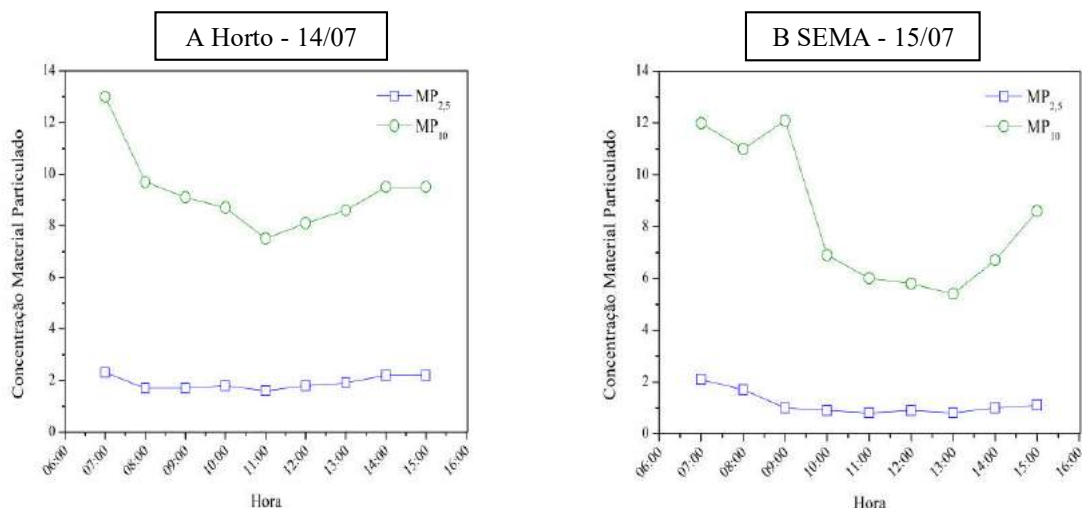
Considerando-se os parâmetros meteorológicos, os resultados indicaram eventualmente uma variação da concentração de particulado a partir de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ com valores de $MP_{2,5}$ $7,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e MP_{10} $30,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, em função dos eventos de chuva, velocidade e direção dos ventos realizaram-se no dia 16/06/2021 (manhã).

Ao analisar a Estação INMET como referência sobre os parâmetros meteorológicos discutidos anteriormente, percebe-se uma relação da precipitação na influência da concentração de $MP_{2,5}$ e MP_{10} . Logo, a relação do monitoramento do particulado e o fluxo veicular, nos remeta à conclusão de que a limpeza pelas chuvas supostamente pode trazer, as partículas e concentrar na área de entorno.

Para examinar a relação dos poluentes atmosféricos e os valores obtidos na Estação EMQAr – SEUMA, o mês de dezembro/2020 registrou, de modo geral, valores de MP_{10} oscilando entre menores que $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, atingindo um pico maior e pontual com $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Enquanto em janeiro/2021 houve pico pontual de $MP_{2,5}$ a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$; no entanto, os dois particulados dos dois períodos se encontram, respectivamente, dentro da qualificação do ar pela CETESB, considerado “BOM” e “REGULAR”, sem danos à saúde. Enfatizando que a discussão aqui apresentada, tanto pelas Estações INMET e EMQAr – SEUMA também foi significativa nos pontos A, B e D nos pontos de coleta (GRÁFICO 9).

Gráfico 9 – Valores médios de concentração de material particulado (MP_{2,5} e MP₁₀) nos pontos C e D



Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta operação do equipamento, no ponto 3, realizou-se em tempo reduzido de 8 para 2 horas devido à chuva; a funcionalidade do Parque dependia de Decreto Estadual devido ao período de pandemia e, outros impedimentos locais, tais como: energia elétrica (ausência adaptador de tomada), a falta de segurança, bem como, a inconsistência do equipamento no momento da medição. Assim, o equipamento contador de partículas METOne foi instalado a aproximadamente 100m do Parque.

Concernente à discussão sobre o fluxo de veículos dos cruzamentos das vias em estudo, no item B (SEMA) do Gráfico 9 (Avenida Pontes Vieira e Rua Virgílio Távora) foi verificado baixo nível de MP_{2,5}, apresentando variação constante ao longo do dia. Todavia, as concentrações médias diárias registrando MP₁₀ (8,3µg/m³), no item B do Gráfico 9, revelaram uma oscilação coincidindo nos “horários de pico” com maior fluxo veicular durante o período amostral (no intervalo de 8 horas de coleta) com o monitor portátil METOne.

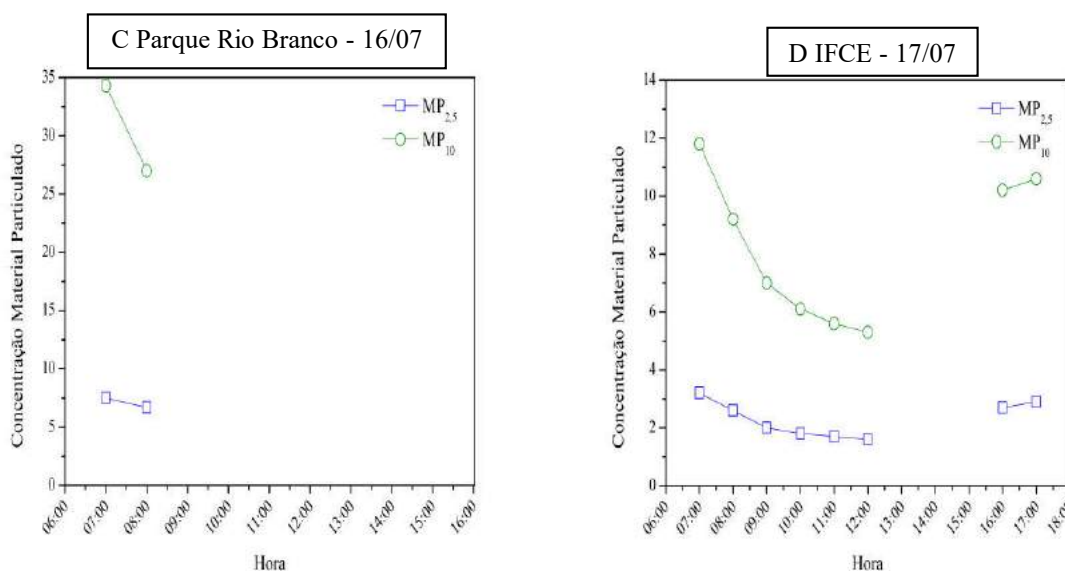
Baseado nos padrões da CETESB/CONAMA considera-se “BOA” e “sem efeitos” à saúde. No item D (IFCE) (Avenida Treze de Maio – Rua Senador Pompeu – Avenida dos Expedicionários) do Gráfico 10, os níveis de MP₁₀ e MP_{2,5} apresentaram tendenciosos à redução de seus valores mesmo coincidindo nos “horários de pico” com maior fluxo veicular, porém se mantiveram dentro nos padrões da CETESB/CONAMA, considera-se “BOA” e “sem efeitos” à saúde.

Ao destacar o contexto das áreas arborizadas dentre os pontos representados, está o item A (HORTO), o Horto Municipal de Fortaleza, e o item C (Parque Rio Branco), Gráfico 10, tornou-se como referência evidências sobre áreas arborizadas como bioindicadores vegetais no

indicativo de processos de poluição atmosférico. No item A (HORTO) observa-se a correlação encontrada a baixos valores de $MP_{2,5}$ ($1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), porém um aumento de MP_{10} ($9,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$); no entanto, ao comparar com o padrão da CETESB, observa-se que manteve para o valor máximo diário os particulados.

Diferente do item C (Parque Rio Branco), Gráfico 10, o comportamento do particulado obteve-se valores de $MP_{2,5}$ ($7,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e mais altos para MP_{10} ($30,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) porém mantiveram conforme o padrão da CETESB para o valor máximo diário que é $0-50 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ dos particulados e “sem efeito” para a saúde. Apesar da concentração de MP_{10} ($30,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ainda sim esteve dentro do padrão (primário e secundário) estabelecido pelo CONAMA e dentro dos limites proposto pela OMS que é $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$; por isso, ainda que baixa concentração, mas foi significativa ao ser relacionado as fontes antropogênicas e primárias, como veículos a gasolina, diante do fluxo veicular.

Gráfico 10 – Valores médios de concentração de material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) nos pontos A e B



Fonte: Elaborado pela autora.

Baseado no elevado nível de MP_{10} em relação ao $MP_{2,5}$, a discrepância dos dados favoreceu a realização de um novo episódio a fim de melhor caracterizar os resultados comparativos quanto à concentração e aos efeitos do fluxo de veículos tratado nas quatro estações amostrais.

Assim, com a medição do contador de material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10} , foi possível avaliar a concentração em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante atividade de maior fluxo veicular. Dessa forma, os resultados desse estudo, diante dos episódios em quatro miniestações na área urbana de

Fortaleza, indicaram o comportamento do particulado na atmosfera deixando contribuição do monitoramento. Contudo, para eficácia em outras regiões da cidade faz-se propor planejamento a fim de minimizar efeitos da poluição na saúde humana.

Portanto, ao corroborar os dados amostrais em estudo com os parâmetros meteorológicos do INMET e poluentes da SEUMA, constatou-se uma significativa relevância do monitoramento do ar. Assim, os dados tornam-se importantes na composição de um possível banco de informações sobre a qualidade do ar em dados pontos da região metropolitana de Fortaleza, já que se encontram dentro do padrão da CETESB e em consonância com o ao padrão CONAMA 491/18 e da OMS.

5.4 Bioindicadores e o nível de toxicidade do ar atmosférico no torno das áreas monitoradas

Objetivando reunir conhecimento referente ao uso de bioindicadores vegetais, como método complementar de monitoramento da qualidade do ar atmosférico, foi feita uma análise genotóxica do ar. O resultado deste estudo contou com uma miniestação e uma espécie biomonitora, *Tradescantia pallida*, a fim de contribuir na validação da contagem de micronúcleo (MCN) que definirá o nível de toxicidade do ar atmosférico.

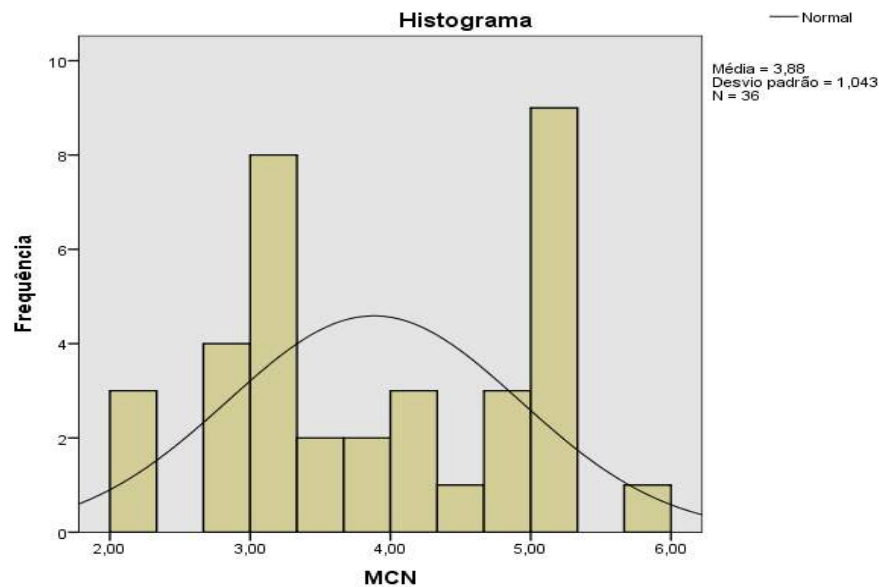
Durante o período de exposição da *Tradescantia pallida* nos locais, foram obtidas frequências médias expressas como MCN, ao determinar as tétrades jovens de células-mães de grãos de pólen. Para o tratamento dos dados foi utilizada a análise de variância não paramétrica (teste de Kruskal-Wallis), ou seja, ao nível de 5%, foi identificado que, dentre os valores dos quatro grupos amostrais independentes; há evidências de que não existem diferenças na frequência de material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10} obtidos pelo monitor portátil (METOne) e os pontos amostrais. Entretanto, destaca-se a presença de um ponto amostral atípico e merece uma investigação que motiva ser um valor diferencial dos outros pontos (grupos).

A Figura 46 mostra as variações na frequência de micronúcleos em inflorescências proveniente dos pontos amostrais, representado pelo histograma para o teste de normalidade dos dados, e nesta análise, possivelmente seja reflexo da ação das variáveis climáticas e dos poluentes ($MP_{2,5}$ e MP_{10}). Porém, em função das condições de pandemia motivada pela proliferação do COVID-19, houve limitações definidas com os decretos em cada estado limitando assim as condições ideais para a coleta de parâmetros climático nos pontos em estudo.

Dessa forma, para o *Test of Normality* foi utilizado o Shapiro-Wilk por ser uma amostra pequena de dados, por se tratar de $n < 50$, cujo nível de significância foi menor que 0,05. Ao

considerar os pontos (ou grupos) amostrais, verificou-se que os dados não assumiram uma distribuição normal, ou seja, os dados não assumem uma distribuição normal, segundo o teste Shapiro-Wilk ($p = 0,014$), visto na Tabela 11.

Figura 46 – Teste de normalidade dos dados



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 11 – *Test of Normality*

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	df	Sig.	Estatística	Df	Sig.
MCN	,136	36	,089	,922	36	,014

a. Lilliefors Significance Correction

Fonte: Elaborada pela autora.

Segundo à análise no teste Shapiro-Wilk, ressalta-se que, como houve diferença estatística entre os grupos, onde o $N = 36$ corresponde ao total somando os quatro grupos, que representa a população total, seguiu-se com a importante etapa de identificar quais grupos são diferentes entre si.

Os valores numéricos (mínimo, máxima e média) dos dados da estatística descritiva das Tabela 11 e 12 quanto aos 36 casos, na qual cada $N = 9$ representam as inflorescências de cada grupo, estão descritos na Tabela 12.

Visando identificar e comparar os grupos estudados, verificou-se maiores frequências de micronúcleos nas variáveis do Horto e no Parque Rio Branco (PRB) onde diferenciaram da SEMA e IFCE. A análise estatística revelou que ampla variação como os dados não seguem uma distribuição normal, ao utilizar o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, cujo nível de significância utilizado foi $p < 0,05$.

Tabela 12 – Estatísticas descritivas

Grupo	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	
Horto	MCN	9	2,33	5,00	3,1378	,86620
	N válido (de lista)	9				
SEMA	MCN	9	3,66	5,33	4,7911	,59984
	N válido (de lista)	9				
PRB	MCN	9	2,33	5,71	3,2267	,98528
	N válido (de lista)	9				
IFCE	MCN	9	3,53	5,00	4,3722	,61032
	N válido (de lista)	9				

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 13 - Estatísticas descritivas

	N	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Percentis		
						25th	50th (Median)	75th
MCN	36	3,8819	1,04305	2,33	5,71	3,0000	3,6700	5,0000
Grupo	36	2,50	1,134	1	4	1,25	2,50	3,75

Fonte: Elaborada pela autora.

Visando identificar e comparar os grupos estudados, verificou-se frequências de micronúcleos nas variáveis do Horto e no Parque Rio Branco (PRB) onde diferenciaram da SEMA e IFCE, os dados também passaram pela classificação do Test Statistics^{a,b} (TABELA 14).

A diferença se explica, primeiramente, devido à localização da SEMA e do IFCE no cruzamento com semáforos, refletindo no grande fluxo de veículos, constatando-se que os valores médios das variáveis 4,7911 e 4,3722, respectivamente, houve significância na contaminação do ar com a emissão veicular. A coerência de exposição e resposta do

bioindicador corrobora com os valores resultantes do METOne ao mostrar maiores valores para MP_{10} 8,3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e 8,2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), SEMA e do IFCE respectivamente.

Apesar da variação entre os dois grupos não houve padrão evidente de contaminação do ar com a emissão veicular mantendo-se nos padrões considerado pela CETESB como “BOA” e “sem efeito” à saúde. Ainda nesse contexto, vale ressaltar que, a climatologia local (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade, direção dos ventos e precipitação) pode ter contribuído na concentração e nos efeitos adversos destes poluentes.

Apesar da falta de uma caracterização da exposição adequada, por exemplo, número de carros que circulam por dia nos locais da amostra, foi possível comprovar um nível de significância em resposta do bioindicador dos poluentes.

Tabela 14 – Classificações

	Grupo	N	Mean Rank
MCN	1	9	10,89
	2	9	27,67
	3	9	12,00
	4	9	23,44
	Total	36	

<i>Test Statistics^{a,b}</i>	
	MCN
Qui-quadrado	17,087
Df	3
Significância Assintótica	,001

a. Kruskal Wallis Test

b. Variável de agrupamento: Grupo

Fonte: Elaborada pela autora.

Quadro 2 – Resumo de Teste de Hipótese

Resumo de Teste de Hipótese				
	Hipótese nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de MCN é a mesma entre as categorias de Grupo.	Teste de Kruskal-Wallis de Amostras Independentes	,001	Rejeitar a hipótese nula.

São exibidas significâncias assintóticas. O nível de significância é ,05.

Fonte: Elaborado pela autora.

Apesar da variação entre os dois grupos não houve padrão evidente de contaminação do ar com a emissão veicular mantendo-se nos padrões considerado pela CETESB/CONAMA como “BOA” e “sem efeito” à saúde. Ainda nesse contexto, é importante afirmar que, a

climatologia local (temperatura, umidade relativa, velocidade, direção dos ventos e precipitação) pode ter contribuído na concentração e nos efeitos adversos destes poluentes.

Apesar da falta de uma caracterização da exposição adequada, por exemplo, número de carros que circulam por dia nos locais da amostra, foi possível comprovar um nível de significância em resposta do bioindicador dos poluentes.

Para a frequência de micronúcleo no Horto e PRB (Parque Rio Branco), foram significativamente mais baixos em relação aos demais. Outro fator são as alterações de micronúcleos nos pontos menos poluídos (ou “mais limpo”) do grupo Horto (3,1378) e PRB (3,2267), na Tabela 12.

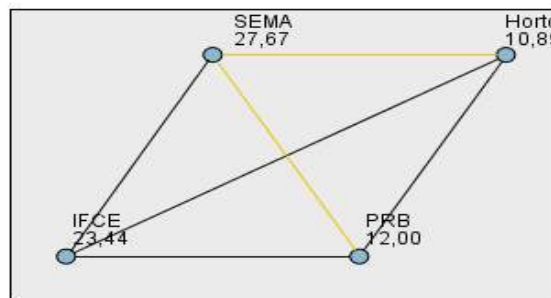
Ao analisar o PRB, foram registradas variáveis meteorológicas, precipitação no dia da coleta, eventualmente apresentou uma correlação na concentração do material particulado. Ao comparar com o padrão (primário) estabelecido pelo CONAMA, foi abaixo da média que é de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no entanto, se manteve acima do limite proposto pela Organização Mundial de Saúde (OMS), o que provavelmente esteja relacionado às atividades antrópicas, como o fluxo de veículos no local.

Como houve diferença estatística entre os grupos ($p = 0,001$), fizemos a comparação de pares para identificar, entre quais grupos está a diferença (QUADRO 1).

A comparação estatística de pares e a classificação média das inflorescências de cada grupo e sob o teste de Kruskal-Wallis estão descritos no Quadro 3.

Quadro 3 – Comparação de pares de grupo

Comparações de pares de Grupo



Cada nó mostra a classificação média de amostra de Grupo.

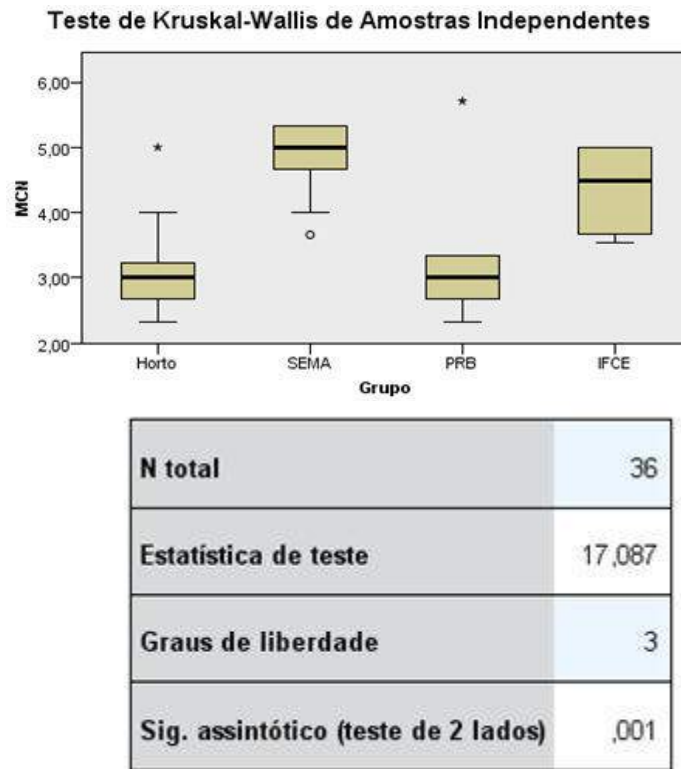
Amostra1-Amostra2	Estatística de Teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Sig. Aj.
Horto-PRB	-1,111	4,942	-,225	,822	1,000
Horto-IFCE	-12,556	4,942	-2,541	,011	,066
Horto-SEMA	-16,778	4,942	-3,395	,001	,004
PRB-IFCE	-11,444	4,942	-2,316	,021	,123
PRB-SEMA	15,667	4,942	3,170	,002	,009
IFCE-SEMA	4,222	4,942	,854	,393	1,000

Cada fileira testa a hipótese nula de que as distribuições de Amostra 1 e Amostra 2 são a mesma. Significâncias assintóticas (testes de 2 lados) são exibidas. O nível de significância é ,05.

Fonte: Elaborado pela autora.

Elaborou-se Gráficos do tipo *Box Plot* no R tendo a melhor comparação na análise dos dados para a concentração de material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10} (FIGURA 48) a partir das inflorescências dos grupos em relação à posição, à dispersão e a distribuição dos dados. Neste Gráfico foi possível visualizar a variabilidade e assimetria dos dados resultando então na descrição do primeiro (Q1) ou 25% e terceiro (Q3) ou 75% dos dados, a média, mediana e os valores máximo, mínimo e discrepantes (*outliers*).

Figura 47 – *Box Plot* da concentração do de material particulado MP_{2,5} e MP₁₀ nos grupos Horto, SEMA, PRB e IFCE



1. A estatística de teste está ajustada para empates.

Fonte: Elaborada pela autora.

Ao analisar a Figura 47, verificou-se que quanto maior a amplitude maior a dispersão dos dados. Nesse caso registrado pela distribuição não paramétrica dos dados, mostra que foi a não coincidência entre a média e mediana. Logo, os valores para as inflorescências diante dos poluentes atmosféricos foram aparentemente diferentes e indica um possível fator sazonal e espacial entre os grupos, destacando que o grupo SEMA e IFCE registrou valores maiores que os grupos Horto e PRB. Contudo, observa-se novamente no IFCE maiores valores entre os demais grupos e possivelmente se deve à precipitação e ao decorrente acúmulo de partículas na atmosfera devido maiores fluxos de veículos na sua localização.

Desta forma, conclui-se que o teste de Kruskal-Wallis mostrou e evidenciou o efeito do grupo sobre a frequência de micronúcleos [$X^2(3) = 17,087$; $p = 0,001$] e que a comparação em pares mostrou que o grupo Horto é diferente do grupo SEMA ($p = 0,004$) e o grupo PRB é diferente do grupo SEMA ($p = 0,009$).

A relação dos grupos do Horto (PRB, IFCE e SEMA), PRB (IFCE e SEMA), IFCE e SEMA são comparados a fim de verificar o efeito de micronúcleos. Na relação Horto-SEMA foi encontrado no Horto, por ser controle-negativo, apresentou uma significativa diferença de

micronúcleos ao associar às concentrações de MP_{10} 9,3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e SEMA 8,3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Mas, na relação PRB-SEMA indicou maior diferença de micronúcleos ao associar às concentrações de MP_{10} 30,6 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e SEMA 8,3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Dessa forma, a análise estatística revelou que o fluxo de veículos seja 70% responsável pelo MP_{10} na área.

6 CONCLUSÃO

Na análise da concentração de material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10} entre os quatro pontos amostrais em igual sazonalidade, o MP_{10} foi caracterizado com uma elevada concentração no caso do grupo PRB, mesmo em decorrência de precipitação pontual no dia da coleta, registrou-se concentrado acúmulo de partículas.

O levantamento de dados de poluição entre os anos 2010 e 2021 mostraram que para os poluentes $MP_{2,5}$ e MP_{10} não houve nenhuma elevação significativa do ponto de vista de ultrapassar os limites estabelecidos pela OMS.

Nos parâmetros meteorológicos na Estação Fortaleza (A305) do INMET foram indicados valores nos dias específicos de dez./2020 e jan./2021. Os registros tanto para temperatura do ar, velocidade dos ventos fraco (3,4 m/s a 5,4 m/s) e o registro da estação chuvosa nas coletas mostrou-se possível responsável pelo transporte e difusão dos poluentes de material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) lançados na atmosfera.

Esses dados corroboram também com Cavalcanti (2010) onde é citado ser fundamental o comportamento da direção e velocidade do vento para a análise do transporte e da capacidade de dispersão em uma determinada região. Portanto, é importante monitorar a poluição atmosférica a fim de identificar possíveis níveis elevados e inadequados dos poluentes. E com tal informação, faça-se um planejamento de futuras estratégias de controle e redução dos poluentes.

As medições da Estação EQMAr – SEUMA obteve maiores registros de ocorrência de particulado no mês de dezembro/2020, logo foi possível avaliar a concentração de material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), durante o período de estudo em outro ponto da região metropolitana de Fortaleza.

Os dados indicaram o comportamento do particulado na atmosfera diante da atividade de maior fluxo veicular, ressaltando a importância de o monitoramento ser necessário para planejamento do controle da poluição atmosférica na cidade e tornam-se importantes na composição de um provável banco de informações sobre a qualidade do ar em dados pontos da região metropolitana de Fortaleza, no modelo CETESB e em consonância com o padrão CONAMA 491/18 e da OMS.

O biomonitoramento utilizando-se a espécie *Tradescantia pallida* e o Trad-MCN de quantificação de micronúcleos, pode identificar os níveis distintos de potencial mutagênico entre os locais avaliados sem, contudo, buscar correlação com os níveis de poluição de $MP_{2,5}$ e MP_{10} , cujos valores foram abaixo dos estabelecidos pela OMS ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

No bioensaio Trad-MCN, em células de grão de pólen obtidas das inflorescências dos grupos (Horto, PRB, IFCE e SEMA), submetidos a tratamento estatístico com Teste de Kruskal Wallis, revelou-se que PRB é diferente do grupo SEMA ($p = 0,004$) e o grupo PRB é diferente do grupo SEMA ($p = 0,009$). Dessa forma, o biomonitoramento mostrou-se eficiente para detectar riscos provocados pela poluição atmosférica e suposta influência dos fatores climáticos.

Ao destacar o fator da dispersão e excesso de emissão dos poluentes devido ao fluxo veicular causando as alterações de micronúcleos, verifica-se que os grupos SEMA-IFCE devido à localização dos cruzamentos com semáforos e o grande fluxo veicular, nota-se maiores valores médios das variáveis 4,7911 e 4,3722, respectivamente, em relação aos grupos menos poluídos (ou “mais limpo”) do grupo Horto (3,1378) e PRB (3,2267), por isso, houve significância no cumprimento no papel de bioindicador pela *T. pallida*.

O presente estudo apresenta as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- ✓ Propor plano de controle utilizando como referência as estações INMET e SEUMA para os parâmetros meteorológicos e poluentes atmosféricos;
- ✓ Propor monitoramento de material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10} ($\mu g/m^3$) em pontos estratégicos, ou seja, pontos com maior emissão de poluentes na região metropolitana de Fortaleza;
- ✓ Propor biomonitoramento com *Tradescantia pallida* utilizando Bioensaios Trad-MCN e tratamentos estatísticos para o estudo de poluentes atmosféricos, de material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10} ($\mu g/m^3$), na região metropolitana de Fortaleza;
- ✓ Propor manual de indicador ambiental contendo banco de informações sobre qualidade do ar de poluentes veiculares em dados pontos da Região Metropolitana de Fortaleza

REFERÊNCIAS

- AKOSY, A.; ÖZTÜRK, M. A. *Nerium oleander* L. of lead and other heavy metal pollution in Mediterranean environments. **The Science of the Total Environment**, v. 205, p. 145-150, 1997. Disponível em: <http://www.sibi.usp.br/sibi/biblioteca/revista/selecao.php>. Acesso em: 20 mar. 2020.
- ÁLVARES JR., O. de M.; LACAVA, C. I. V.; FERNANDES, P. S. **Emissões atmosféricas. Tecnologias e gestão ambiental**. Brasília: SENAI, 2002.
- ALVES, E. S.; SALDIVA, P. H. N.; GUIMARÃES, E. T.; DOMINGOS, M. PEDROSO, A. N. V. Biomonitoramento indoor do potencial mutagênico do ar em laboratórios e herbário do Instituto de Botânica por meio do bioensaio Trad-MCN. **Hoehnea**, São Paulo, v. 30, n. 2, 2003.
- ALVES, N. O.; LOUREIRO, A. L. M.; SANTOS, F. C. dos; NASCIMENTO, K. H.; DALLACORT, R.; VASCONCELLOS, P. de C.; HACON, S. de S.; ARTAXO, P.; MEDEIROS, S. R. B. de. Genotoxicity and composition of particulate matter from biomass burning in the eastern Brazilian Amazon region. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 74, p. 1427-1433, 2011.
- AMÂNCIO, T. C.; NASCIMENTO, C. F. L. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 58, n. 3, p. 302-7, 2012.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- BASCOM, R.; BROMBERG, P. A.; COSTA, D. L.; DEVLIN, R.; DOCKERY, D. W.; FRAMPTON, M. W.; LAMBERT, W.; SAMET, J. M.; SPEIZER, F. E.; UTELL, M. Health effects of outdoor air pollution. **Am. J. Respir. Crit. Care Med.**, v. 153, n. 2, p. 477-498, 1996.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF: 15 jun. 1989. Disponível em: https://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/resolucao/Resolu%c3%83%c2%a7%c3%83%c2%a3o_CONAMA_005.1989.pdf. Acesso em: 06 fev. 2020.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre os padrões da qualidade do ar. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF: 28 jun. 1990. Disponível em: <http://www.gov.br/port/CONAMA/index.cfm>. Acesso em: 06 fev. 2020.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 418, de 25 de novembro de 2009. Dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular – PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF: 26 nov. 2009. Disponível em:

<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0418-251109.PDF>. Acesso em: 06 fev. 2020.

BRITO, G. F. da S.; SODRÉ, F. F.; ALMEIDA, F. V. de. O Impacto do Material Particulado na Qualidade do Ar. **Revista Virtual de Química**, Brasília-DF, v. 10, n. 5, p. 1335-1354, 2018.

CARNEIRO, R. M. A. **Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica**: uma contribuição para a saúde da comunidade. 2004. 146 p. Dissertação (Mestrado em Enfermagem em Saúde Pública) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2004.

CARRERAS, H. A.; CALDERÓN-SEGURA, M. E.; GÓMEZ-ARROYO, S.; MURILLO-TOVAR, M. A.; AMADOR-MUÑOZ, O. Composition and mutagenicity of PAHs associated with urban airborne particles in Córdoba, Argentina. **Environmental Pollution**, v. 178, p. 403-410, 2013.

CARVALHO, H. A. A Tradescantia como bioindicador vegetal na monitoração dos efeitos. Clastrogênicos das radiações ionizantes. **Radiologia Brasileira**, v. 38, p. 459-462, 2005.

CASS, G. R. Organic molecular tracers for particulate air pollution sources. **TrAC – Trends in Analytical Chemistry**, v. 17, n. 6, p. 356-366, 1998.

CAVALCANTI, P. M. P. S. **Modelo de gestão da qualidade do ar – abordagem preventiva e corretiva**. 2010. 252 p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CEARÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. Lei nº 11.411, de 28 de dezembro de 1987. Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente, e cria o Conselho Estadual do Meio Ambiente – COEMA, a Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Ceará**. Fortaleza, 04 jan. 1988. Disponível em: [https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/meio-ambiente-e-desenvolvimento-do-semiarido/item/815-lei-n-11-411-de-28-12-87-d-o-de-04-01-88#:~:text=DE%2004.01.88\),-tamanho%20da%20fonte&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Estadual,SEMACE%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias](https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/meio-ambiente-e-desenvolvimento-do-semiarido/item/815-lei-n-11-411-de-28-12-87-d-o-de-04-01-88#:~:text=DE%2004.01.88),-tamanho%20da%20fonte&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Estadual,SEMACE%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias). Acesso em: 22 ago. 2020.

CEARÁ. Assembleia Legislativa do Ceará. Lei nº 12.494, de 4 de outubro de 1995. Dispõe sobre a fiscalização e o controle da emissão de poluentes atmosféricos por veículos automotores no Estado do Ceará. **Diário Oficial do Estado do Ceará**. Fortaleza, 31 de outubro de 1995. Disponível em: [https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/meio-ambiente-e-desenvolvimento-do-semiarido/item/2710-lei-n-12-494-de-04-10-95-d-o-de-31-10-95#:~:text=DE%2031.10.95\),-tamanho%20da%20fonte&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20fiscaliza%C3%A7%C3%A3o%20e,automotores%20no%20Estado%20do%20Cear%C3%A1](https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/meio-ambiente-e-desenvolvimento-do-semiarido/item/2710-lei-n-12-494-de-04-10-95-d-o-de-31-10-95#:~:text=DE%2031.10.95),-tamanho%20da%20fonte&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20fiscaliza%C3%A7%C3%A3o%20e,automotores%20no%20Estado%20do%20Cear%C3%A1). Acesso em: 22 ago. 2020.

CEARÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução COEMA nº 14, de 29 de junho de 2011. Plano de controle da poluição por veículos em uso – PCPV. **Diário Oficial do Estado do Ceará**. Fortaleza, 11 jul. 2011. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=134211>. Acesso em: 22 ago. 2020.

CEARÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução COEMA nº 14, de 5 de agosto de 2010. **Diário Oficial do Estado do Ceará**. Fortaleza, 05 ago. 2010. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/resolucoes-coema-2010/>. Acesso em: 22 ago. 2020.

CETESB. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2001**. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo: CETESB, 2002. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 06 fev. 2020.

CETESB. Qualidade do ar. **Poluentes**. São Paulo: CETESB, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 06 fev. 2020.

EPAGRI/CIRAM. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. **Escala para classificação do Vento e do Estado do Mar**. Santa Catarina: Ciram, 2021. Disponível em: <https://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php/escalas-de-vento-e-mar/>. Acesso em: 04 ago. 2021.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Ministério do Meio Ambiente. **Resoluções do Conama**: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Brasília: MMA, 2012.

COP21. **United Nations Conference on Climate Change**. Paris, 2015. Disponível em: <http://www.cop21paris.org/>. Acesso em: 22 mar. 2020.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. A cidade de Curitiba/PR e a poluição do ar. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. v. 1. p. 155-174.

DAY, D. E.; CHEN, X.; GEBHART, K. A.; CARRICO, C. M.; SCHWANDNER, F. M.; BENEDICT, K. B.; SCHICHTEL, B. A.; COLLETT JR., J. L. Spatial and temporal variability of ammonia and other inorganic aerosol species. **Atmospheric Environment**, v. 61, p. 490-498, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.045>. Acesso em: 22 mar. 2020.

DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. **Quantidade de Veículos por Município**. 2016. Disponível em: <https://www.denatran.gov.br/estatistica/237-frota-veiculos>. Acesso em: 20 jan. 2020.

DETRAN-CE. Departamento Estadual de Trânsito do Estado do Ceará. **Quantidade de veículos por município**. Fortaleza, 2017. Disponível em: <http://www.detran.ce.gov.br/site/arquivos/estatistica/ve%C3%ADculos/2016/VEÍCULOS%200%20MUNICÍPIOS%20-20AT%C3%89%20DEZEMBRO%202016.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

ELSOM, D. **Atmospheric pollution**: causes, effects and control policies. New York: Brasil Blackwell Inc., 1989.

ENNEVER, F. K.; ANDREANO, G.; ROSENKRANZ, H. S. The ability of plant genotoxicity assays to predict carcinogenicity. **Mutation Research**, v. 205, p. 99-105, 1988.

FIRKET, M. Sur les causes des accidents survenus dans la vallée de la Meuse, lors des brouillards de décembre 1930. **Bull. Acad. Roy. Med. Belg.**, v. 11, p. 683-741, 1931.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREITAS, L. C. L. de. **A qualidade do ar na região metropolitana de Fortaleza – CE sob a perspectiva do sistema clima urbano**. 2016. 195 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

FREITAS, C. U. de; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. **Vigilância dos efeitos na saúde decorrentes da poluição atmosférica**: estudo de factibilidade. 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237237572_VIGILANCIA_DOS_EFEITOS_NA_SAUDE_DECORRENTES_DA_POLUICAO_ATMOSFERICA_ESTUDO_DE_FACTIBILIDADE. Acesso em: 20 mar. 2020.

GARTY, J.; KLOOG, N.; COHEN, Y. Integrity of lichen cell membranes in relation to concentration of airborne elements. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 34, p. 136-144, 1998. Disponível em: <http://www.sibi.usp.br/sibi/biblioteca/revista/selecao.php>. Acesso em: 20 mar. 2020.

GAVINIER, S.; NASCIMENTO, C. F. L. Air pollutants and hospital admissions due to stroke. **Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 9, n. 3, 2014.

GUIMARÃES, E. T.; DOMINGOS, M.; ALVES, E. S.; CALDINI, N.; LOBO, D. J.; LICHTENFELS, A. J.; SALDIVA, P. H. Detection of genotoxicity of air pollutants in and around the city of São Paulo (Brazil) with the *Tradescantia*-micronucleus (Trad-MCN) assay. **Environ. Exper. Bot.**, v. 44, p. 1-8, 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**: Ceará, 2016. 2016. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=ce>. Acesso em: 06 dez. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**: População, Ceará, 2018. 2018. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/municipio/2304400>. Acesso em: 06 fev. 2020.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Legislação Ambiental**. 2010. Disponível em: www.inea.rj.gov.br. Acesso em: 22 mar. 2020.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Meteorológicos**. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 23 nov. 2019.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Ceará em Mapas. Caracterização Territorial. Limites e Regionalizações. **Mesorregiões Geográficas**. Fortaleza:

IPECE, 2007a. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11/129x.htm>. Acesso em: 12 mar. 2021.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Ceará em Mapas. Caracterização Territorial. Limites e Regionalizações. **Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: IPECE, 2007b. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11/125x.htm>. Acesso em: 12 mar. 2021.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Ceará em Mapas. Caracterização Territorial. Caracterização Territorial. Meio Ambiente. **Tipos Climáticos**. Fortaleza: IPECE, 2007c. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/126x.htm>. Acesso em: 11 mar. 2021.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Ceará em Mapas. Demografia. **Distribuição da População**. Fortaleza: IPECE, 2007d. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo2/21.htm>. Acesso em: 04 dez. 2021.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Ceará em Números. **Características Geográficas, Recursos Naturais e Meio Ambiente**. Fortaleza: IPECE, 2012a. Disponível em: http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2012/territorial/01_001_caracteristicas_geograficas.pdf. Acesso em: 04 fev. 2020.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Informe nº 47 – Dezembro de 2012**. Perfil Municipal de Fortaleza. Tema XI: Perfil do Analfabetismo nos bairros. Fortaleza: IPECE, 2012b. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2012/12/Ipece_Informe_47_03_dezembro_2012.pdf. Acesso em: 13 mar. 2021

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Sobre o Painele Indicadores Sociais e Econômicos**: os 10 maiores e os 10 menores municípios cearenses. Fortaleza: IPECE, 2021. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2022/01/Painel_Indicadores_2021.pdf. Acesso em: 23 maio 2021.

KAMPF, A. N.; COSTA, G. J. C. da. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de fitopatologia**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. 2v.

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.

KLUMPP, A.; ANSEL, W.; KLUMPP, G.; FOMIN, A. Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede europeia para avaliação da planta qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet). **Rev. Bras. Bot.**, v. 24, n. 4, p. 511-518, São Paulo, 2001.

LECHNER, N. **Heating, Cooling, Lighting**. Design Methods for Architects. 2. ed. New York, 2000.

LEITE, R. C. M.; GUIMARÃES, E. C.; LIMA, E. A. P. de; BARROZO, M. A. S.; TAVARES, M. Utilização de regressão logística simples na verificação da qualidade do ar atmosférico de Uberlândia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 175-180, jan./mar. 2011.

LIMA, J. S. Bioindicação, Biomonitoramento: aspectos bioquímicos e morfológicos no período 2001. **ECOLATINA – Evento Ambiental da América Latina**. 2001. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2001.

LIU, Y. L., GE, Y. E.; GAO, H. O. Improving estimates of transportation emissions: modeling hourly truck traffic using period-based car volume data. **Transportation Research Part D, Transport and Environment**, v. 26, p. 32-41, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2013.10.007>. Acesso em: 22 mar. 2020.

LOGAN, W. P. D. Mortality in the London fog incident, 1952. **Lancet**, v. 1, p. 336-338, 1953.

LOPES, W. M.; SILVA, A. C. da; SILVA, N. M. da. Clima Urbano: Monitoramento da temperatura e da umidade da avenida Treze de maio, Fortaleza – CE. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 5., 2010, Maceió. **Anais eletrônicos** [...]. Instituto Federal de Alagoas: V CONNEPI, 2010.

LUIZ, E. J.; LAVENDOWSKI, I. M. F.; OLIVEIRA, G. P.; GUIMARÃES, E. T.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P. H. N. **Biomonitoramento da qualidade do ar em Santo André**. Santo André: SEMASA, 2005.

MA, T. H. Tradescantia micronucleus bioassay and pollen tube chromatic aberration test for in situ monitoring and mutagens screening. **Environ. Health Perspect.**, v. 37, p. 85-90, 1981.

MA, T. H.; ANDERSON, V. A.; AHMED, I. Environmental clastogens detected by meiotic pollen mother cells of Tradescantia. In: TICE, R. R.; COSTA, D. L.; SCHAICH, K. M. (ed.). **Genotoxic effects of airborne agents**. New York: Plenum Press, 1982. p. 141-157.

MA, T. H.; CABRERA, G. L.; CHEN, R.; GILL, B. S.; SANDHU, S. S.; VANDENBERG, A. L.; SALAMONE, M. F. Tradescantia micronucleus assay. **Mutation Research**, v. 310, n. 2, p. 221-230, 1994.

MACHADO, A. C. F. E. **Avaliação da viabilidade de utilização de Tradescantia pallida cv. Purpurea no biomonitoramento de fontes estacionárias de contaminação atmosférica**. 2008. 95 p. Tese (Doutorado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) – Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2008.

MARTINS, L. C.; LATORRE, M. do R. D. de O.; SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F. Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 220-229, 2001.

MARTINS, L. C.; LATORRE, M. do R. D. de O.; CARDOSO, M. R. A.; GONÇALVES, F. L. T.; SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F. Poluição atmosférica e atendimentos por

pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 1, p. 88-94, 2002.

MASSEY, D.; KULSHRESTHA, A.; MASI, J.; TANEJA, A. Seasonal trends of PM₁₀, PM_{5.0}, PM_{2.5} and PM_{1.0} in indoor and outdoor environments of residential homes located in North-Central India. **Building and Environment**, v. 47, p. 223-231, 2012.

MILARÉ, É. **Direito do Ambiente**. 5. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2007.

MILLER, G. T. **Ciência ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Compromisso pela Qualidade do Ar e Saúde Ambiental**. Brasília: MMA, 2009. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Compromisso%20pela%20Qualidade%20do%20Ar%20e%20Saude%20Ambiental.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Gestão Ambiental no Brasil: um compromisso com o desenvolvimento sustentável**. Brasília: MMA, 2020.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Qualidade do Ar**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar.html>. Acesso em: 20 jun. 2019.

MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MORAES, A. C. L.; IGNOTTI, E.; NETTO, P. A.; JACOBSON, L. da S. V.; CASTRO, H.; HACON, S. de S. Sibilância em crianças e adolescentes vizinhos a uma indústria petroquímica no Rio Grande do Norte, Brasil. **Jornal de Pediatria**, Rio de Janeiro, v. 86, n. 4, p. 337-344, 2010.

MOREIRA, J. R. **Estudo da qualidade do ar no município de Russas-CE sob influência das emissões das indústrias de cerâmica vermelha**. 2015. 104 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2015.

MOZETO, A. A. Química Atmosférica: a química sobre nossas cabeças. **Química Nova na Escola**, v. 1, n. 41, 2001. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/atmosfera.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2021.

OLIVEIRA, M. L. M.; LOPES, M. H. P. S.; POLICARPO, N. A.; ALVES, C. M. A. C.; ARAÚJO, R. dos. S.; CAVALCANTE, F. S. Á. Avaliação de poluentes do ar em áreas de recreação urbana da cidade de Fortaleza. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, p. 1-15, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180187>. Acesso em: 20 jun. 2019.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Novas diretrizes da OMS sobre a qualidade do ar**. 23 set. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/145721-novas-diretrizes-da-oms-sobre-qualidade-do-ar-reduzem-valores-seguros-para-poluicao>. Acesso em: 01 out. 2021.

PEREIRA, V. C. M. **Bioindicadores para o monitoramento da qualidade do ar: estado da arte e perspectivas**. Instituto de pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: São Paulo, 2005.

POLICARPO, N. A.; SILVA, C.; LOPES, T. F. A.; ARAÚJO, R. dos S.; CAVALCANTE, F. S. Á.; PITOMBO, C. S.; OLIVEIRA, M. L. M. Road vehicle emission inventory of a Brazilian metropolitan area and insights for other emerging economies. **Transportation Research Part D**, v. 58, p. 172-185, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.004>. Acesso em: 15 mar. 2020.

RAYA-RODRIGUES, M. T. O uso de bioindicadores para avaliação da qualidade do ar de Porto Alegre. In: ZURITA, M. L. L.; TOLFO, A. M. (org.). **A qualidade do ar em Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2000. p. 68-76.

RESENDE, F. **Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios**. 2007. 210 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia e Construção Civil, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2007.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

ROCHA, N. N.; SILVA, A. C. da; FERREIRA, A. R. B. **Estudos iniciais sobre a influência do gás dióxido de carbono em relação à temperatura diária na Avenida Treze de Maio, Fortaleza – Ceará**. Fortaleza: IFCE, 2011.

ROCHA, N. N.; SILVA, A. C. da; SANTOS, P. G. de L. **Estudos sobre a influência do gás dióxido de carbono em relação à temperatura diária na Avenida Treze de maio, Fortaleza – Ceará**. Fortaleza: IFCE, 2012.

RODRIGUES, G. S.; MA, T.; PIMENTEL, D.; WEINSTEIN, L. H. Tradescantia bioassays as monitoring systems for environmental mutagenesis. A review. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 16, p. 325-359, 1997.

SALDIVA, P. H. N.; MASSAD, E.; CALDEIRA, M. P. do R.; CALHEIROS, D. F.; SALDIVA, C. D.; NICOLELIS, M. A. L.; BÖHM, G. M. Pulmonary function of rats exposed to ethanol and gasoline fumes. **Brasilian J. Med. Biol. Res.**, v. 18, p. 573-577, 1985.

SALDIVA, P. H. N.; KING, M.; DELMONTE, V. L.; MACCHIONE, M.; PARADA, M. A.; DALIBERTO, M. L.; SAKAE, R. S.; CRIADO, P. M.; SILVEIRA, P. L.; ZIN, W. A. Respiratory alterations due to urban air pollution: an experimental study in rats. **Environmental Research**, v. 57, p. 19-33, 1992.

SANTANA, E.; CUNHA, K. B; FERREIRA, A. L. **Padrões de qualidade do ar: experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia**. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2012. Disponível em: <http://www.energiaeambiente.org.br/wpcontent/uploads/2015/09/padroses-final01.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

SÃO PAULO. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Secretaria Geral Parlamentar. Departamento de Documentação e Informação. **Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013.** Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. São Paulo, 2013.

SAVÓIA, E. J. L. **Potencial de *Tradescantia pallida* cv. Purpúrea para biomonitoramento da poluição aérea de Santo André – São Paulo, por meio do bioensaio Trad-MCN e do acúmulo foliar de elementos tóxicos.** 2007. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SEINFELD, J. H. **Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution.** New York: John Wiley & Sons, 1986.

SEUMA – Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. Canal Urbanismo e Meio Ambiente. Monitoramento da qualidade do ar. **Estação de Monitoramento da qualidade do ar.** Fortaleza: SEUMA, 2021. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/urbanismo-e-meio-ambiente/766-monitoramento-da-qualidade-do-ar>. Acesso em: 24 fev. 2021.

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

SILVA, M. L.; GOMES, C.; SILVA, A. C. da. **Uma década de monitoramento das condições ambientais urbanas (temperatura do ar) das avenidas na Avenida Treze de Maio e Pontes Vieira em Fortaleza – Ceará.** Fortaleza: IFCE, 2016.

SISENANDO, H. A.; MEDEIROS, S. R. B.; SALDIVA, P. H. N.; ARTAXO, P.; HACON, S. S. Genotoxic potential generated by biomass burning in the Brazilian Legal Amazon by *Tradescantia* micronucleus bioassay: a toxicity assessment study. **Environmental Health**, v. 10, n. 41, p. 1-9, 2011.

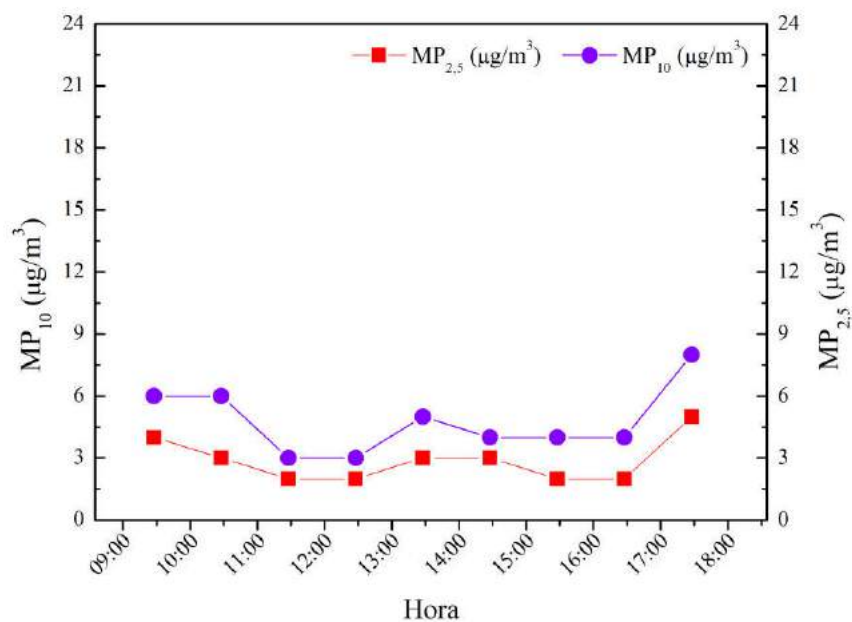
URBAN LEDS. **Urban low emissions development strategy Project.** 2017. Disponível em: <http://urbanleds.iclei.org/index.php?id=177>. Acesso em: 21 mar. 2020.

WEINSTEIN, L. H.; DAVIDSON, A. W. Native plant species suitable as bioindicators and for airborne fluorid. **Environmental Pollution**, v. 125, p. 3-10, 2003.

XIAO, Z. SOMMAR, J.; LINDQVIST, O.; GIOULEKA, E. Atmospheric mercury deposition to grass in southern Sweden. **The Science of the Total Environment**, v. 213, p. 85-94, 1998. Disponível em <http://www.sibi.usp.br/sibi/biblioteca/revista/selecao.php>. Acesso em: 20 mar. 2020.

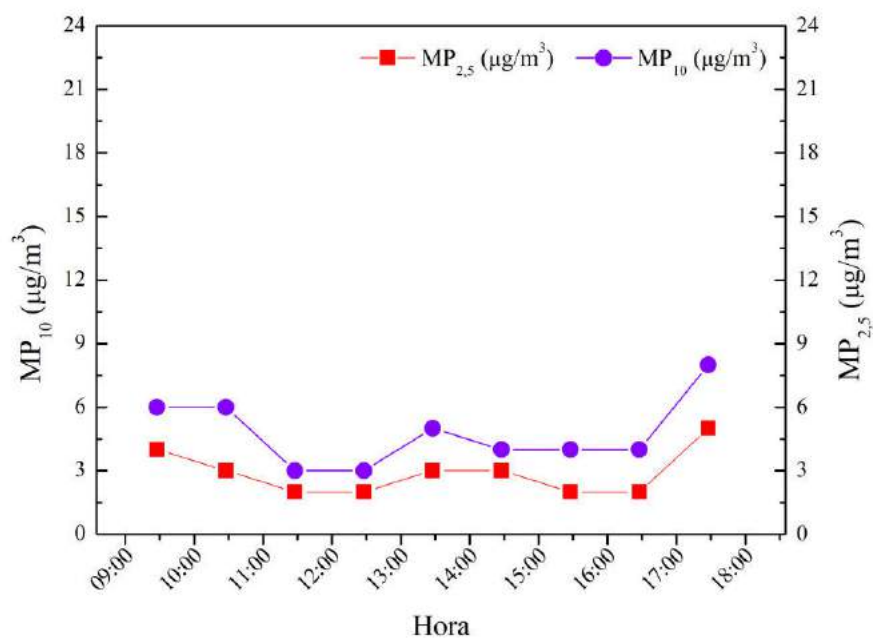
ZAVATTINI, J. A; BARROS, J. R. Bases conceituais em Climatologia Geográfica. **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, n. 16, p. 255-261, 2009.

ANEXO A – GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO (MP_{2,5} E MP₁₀) PARA O PERÍODO DE 25 DE OUTUBRO DE 2021 NO PONTO A – HORTO FLORESTAL DE FORTALEZA



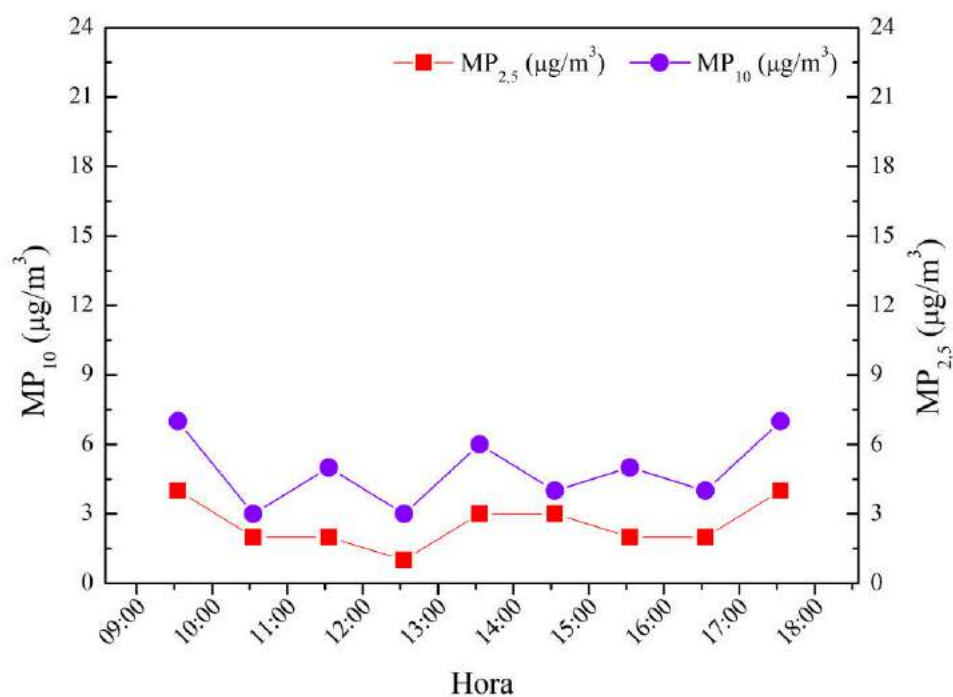
Fonte: Elaborado pela autora.

**ANEXO B – GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE
MATERIAL PARTICULADO (MP_{2,5} E MP₁₀) PARA O PERÍODO DE 26 DE
OUTUBRO DE 2021 NO PONTO B – SEMA**



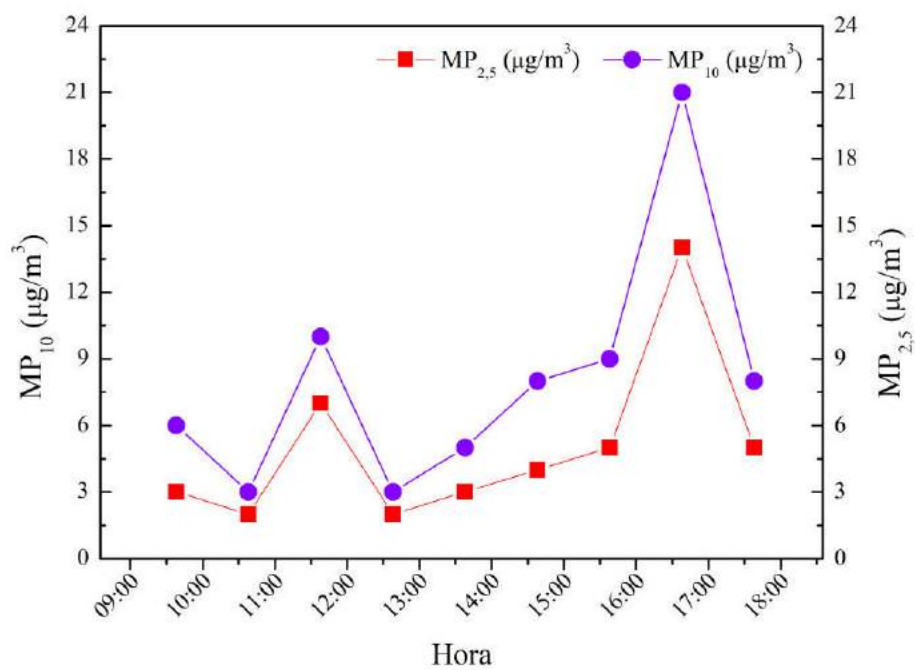
Fonte: Elaborada pela autora.

ANEXO C – GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO (MP_{2,5} E MP₁₀) PARA O PERÍODO DE 27 DE OUTUBRO DE 2021 NO PONTO C – PARQUE RIO BRANCO DE FORTALEZA



Fonte: Elaborada pela autora.

**ANEXO D – GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE
MATERIAL PARTICULADO (MP_{2,5} E MP₁₀) PARA O PERÍODO DE 28 DE
OUTUBRO DE 2021 NO PONTO D – IFCE**



Fonte: Elaborada pela autora.