

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

ANA MAYARA ANDRIOLA MEDEIROS

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR COM A PANDEMIA DO
NOVO CORONAVÍRUS E DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MATERIAL
PARTICULADO NO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA/PB**

JOÃO PESSOA

2022

ANA MAYARA ANDRIOLA MEDEIROS

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR COM A PANDEMIA DO
NOVO CORONAVÍRUS E DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MATERIAL
PARTICULADO NO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA/PB**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente da
Universidade Federal da Paraíba.

Orientadora: Nataly Albuquerque dos Santos

Co-orientadora: Marcia Helena Pontieri

JOÃO PESSOA

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M488a Medeiros, Ana Mayara Andriola.

Avaliação da relação da qualidade do ar com a
pandemia do novo coronavírus e diagnóstico ambiental do
material particulado no município de João Pessoa/PB /
Ana Mayara Andriola Medeiros. - João Pessoa, 2022.
72 f.

Orientação: Nataly Albuquerque dos Santos.
Coorientação: Marcia Helena Pontieri.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Poluição do ar. 2. Novo Coronavírus. 3. Material
particulado. I. Santos, Nataly Albuquerque dos. II.
Pontieri, Marcia Helena. III. Título.

UFPB/BC

CDU 351.777.6(043)

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

FOLHA Nº 2/2022 - PRODEMA - MEST (11.01.14.50)

Nº do Protocolo: 23074.020833/2022-76

João Pessoa-PB, 11 de Março de 2022

ANA MAYARA ANDRIOLA MEDEIROS

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR COM A PANDEMIA DO NOVO CORONAVÍRUS
E DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MATERIAL PARTICULADO NO MUNICÍPIO DE JOÃO
PESSOA/PB**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA - da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

João Pessoa, 23 de fevereiro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Nataly Albuquerque dos Santos, Orientadora, Universidade Federal da Paraíba

Marcia Helena Pontieri Co-orientadora, Universidade Federal da Paraíba

Marília Gabriela dos Santos Cavalcanti, membro interno, Universidade Federal da Paraíba

Cláudia de Oliveira Cunha, Universidade Federal da Paraíba

(Assinado digitalmente em 11/03/2022 15:16)

CLAUDIA DE OLIVEIRA CUNHA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
Matrícula: 1746523

(Assinado digitalmente em 11/03/2022 15:15)

MARCIA HELENA PONTIERI
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
Matrícula: 2717750

(Assinado digitalmente em 11/03/2022 15:14)

MARILIA GABRIELA DOS SANTOS CAVALCANTI
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
Matrícula: 1644565

(Assinado digitalmente em 11/03/2022 15:14)

NATALY ALBUQUERQUE DOS SANTOS
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
Matrícula: 1964406

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpb.br/documentos/> informando seu número: 2, ano: 2022, documento (espécie): FOLHA, data de emissão: 11/03/2022 e o código de verificação: **dc1ec66fe5**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por toda a força que Ele me enviou diante das dificuldades enfrentadas até hoje.

Agradeço aos meus pais e irmã, Anaisa, Humberto e Alyne por tudo que me ensinaram, por toda dedicação e amor que sempre tiveram por mim. Jamais teria conseguido sem vocês.

Ao meu esposo, Daniel, por todo amor, companheirismo e alegria, além da inquestionável força em todos os momentos, por sempre incentivar e acreditar em mim.

Às orientadoras Nataly Albuquerque e Marcia Pontieri, pessoas admiráveis e excelentes profissionais, pela oportunidade em trabalhar com o tema e pelos diversos ensinamentos.

Ao colega, Rhafael Cainã, por toda paciência e auxílios prestados durante a montagem e uso do equipamento.

Aos que fazem o Laboratório de Estudos em Química Ambiental (LEQA), profa Cláudia Cunha, Kelvin e Alcides, pela acolhida e disponibilidade em ajudar.

Aos que integram o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

À banca examinadora pela gentileza em aceitar o convite.

À CAPES, pelo apoio financeiro para esta pesquisa.

À Universidade Federal da Paraíba, por ter proporcionado experiências, aprendizados e amadurecimento indispensáveis para minha carreira profissional.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão de mais uma etapa da minha vida.

Muito obrigada!

RESUMO

A poluição atmosférica é um dos problemas mais importantes do mundo atual devido aos inúmeros efeitos prejudiciais capazes de afetar a saúde humana e o meio ambiente, dentre os poluentes, o material particulado (MP) é um dos principais encontrado nas áreas urbanas. Além disso, outro grande problema do mundo atual é a pandemia do novo Coronavírus, que perdura até os dias de hoje. Diante disso, o primeiro capítulo trata-se de uma revisão de literatura da relação entre a qualidade do ar e a contaminação pelo Novo Coronavírus (SARS-CoV-2). O vírus pode ser aerotransportado por meio dos aerossóis e permanecer ativo durante determinado tempo; existe uma correlação entre a redução da poluição atmosférica e a diminuição da taxa de infecção e letalidade dos casos de Covid-19, além disso, os efeitos dos poluentes atmosféricos sobre os pulmões interferem no prognóstico e na involução do quadro dos pacientes. Alguns indicadores climáticos também estão significativamente correlacionados com a doença. O segundo capítulo é sobre as implicações das medidas restritivas de isolamento social nas emissões de material particulado antes e durante a pandemia, para os anos de 2019 e 2020. Neste capítulo é possível observar que as restrições impostas pelo Decreto Estadual nº 4606-R/2020 em duas cidades do Espírito Santo, influenciaram na concentração de MP₁₀ na cidade de Vitória (ES) que teve redução de 23% nos níveis de MP₁₀; já para a cidade de Vila Velha (ES) não foi identificada variação considerável na concentração de MP₁₀. O terceiro capítulo aborda a concentração do material particulado na cidade de João Pessoa- PB/Brasil, através do monitoramento de MP₁₀ em dois pontos distintos da cidade. Para o primeiro método de coleta, foi possível concluir que no Ponto 1 a concentração de MP₁₀ sofre influência da direção do vento, quanto mais a Leste o vento sopra maior é a concentração de particulado, além disso para esta posição de vento a concentração de MP₁₀ violou os limites da Resolução CONAMA nº 491/2018. Para o Ponto 2, a concentração esteve de acordo com a Resolução citada. No segundo método de coleta, constatou-se que no Ponto 1 as partículas ficam retidas na atmosfera e acumulam-se ao longo do dia. Já para o Ponto 2 não houve interferências.

Palavras-chave: Poluição do Ar. Novo Coronavírus. Material Particulado.

ABSTRACT

Air pollution is one of the most important problems in the world today due to the numerous harmful effects that can affect human health and the environment, among the pollutants, particulate matter (PM) is one of the main ones found in urban areas. In addition, another major problem in the world today is the new Coronavirus pandemic, which continues to this day. Therefore, the general objective of the study is: The first chapter is a literature review on the close relationship between air quality and contamination by Coronavirus (SARS-CoV-2). The virus can be airborne by aerosols and remain active for a certain time; it was also observed that there is a correlation between the reduction of air pollution and the decrease in the rate of infection and lethality of Covid-19 cases, moreover, the effects of air pollutants on the lungs interfere with the prognosis and involution of patients' conditions. Some climate indicators are also significantly correlated with the disease. The second chapter is about the implications of restrictive measures of social isolation on particulate matter emissions before and during the pandemic, for the years 2019 and 2020. In this chapter it is possible to observe that the restrictions imposed by State Decree No. 4606- R/ 2020, influenced the concentration of PM10 in the city of Vitória (ES), which had a 23% reduction in PM10 levels; already to the city of Vila Velha (ES) there was no considerable variation in the concentration of PM10. The third chapter addresses the concentration of particulate matter in the city of João Pessoa-PB/Brazil, through the monitoring of PM10 in two distinct points of the city. For the first collection method, it was possible to conclude that in Point 1 the PM10 concentration is influenced by vehicle traffic and the wind direction, the further east the wind blows the higher the particulate concentration, furthermore for this wind position the concentration of PM10 violated the limits of the Resolution CONAMA N 491/2018. For Point 2, the concentration was in accordance with the Resolution cited. In the second method of collection, it was found that in Point 1 the particles are retained in the atmosphere and accumulate throughout the day. For Point 2 there were no inferences.

Key-words: Air pollution. New Coronavirus. Particulate Matter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vantagens na redução de material particulado	18
---	----

CAPÍTULO 2

Figura 1 – Vista aérea da localização das Redes Automáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar, RAMQAr-4, na cidade de Vitória e RAMQAr-6 na cidade de Vila Velha, ES.....	39
Figura 2 – Médias diárias da concentração de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), na rede RAMQAr 4 – Enseada do Suá em Vitória (anos 2019 e 2020)	41
Figura 3 - Médias diárias da concentração de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), na rede RAMQAr 6 em Vila Velha (anos 2019 e 2020).....	43

CAPÍTULO 3

Figura 1 - Localização do Ponto 1 na Avenida Tancredo Neves	52
Figura 2 - Localização do Ponto 1 em outra perspectiva	53
Figura 3 - Localização do Ponto 2 na Avenida Arthur Monteiro de Paiva, orla do Bessa.....	53
Figura 4 - Localização do Ponto 2 em outra perspectiva	54
Figura 5 - Compartimento onde o filtro fica retido	55
Figura 6 – MicroVol em operação no Ponto 1	56
Figura 7 - MicroVol em operação no Ponto 2	56
Figura 8 - Balança analítica	58
Figura 9 - Valores de concentração de MP10 nos Pontos 1 e 2	59
Figura 10 - Direção dos ventos na segunda-feira (13/12/2021)	61
Figura 11 - Direção dos ventos na terça-feira (14/12/2021).....	61
Figura 12 - Direção dos ventos na quarta-feira (15/12/2021)	62
Figura 13 - Perfil de concentração de MP10 no Ponto 1.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites permissíveis para MP2,5, MP10 e PTS.....	21
Tabela 2 - Níveis de referência para MP2,5, MP10.....	22

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Limites de MP10 estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018.....	42
Tabela 2 - Limites estabelecidos pelo Decreto Estadual Nº 3463-R/2013.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGV	Amostrador de grande volume
CFCs	Clorofluorcarbonetos
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COV	Compostos orgânicos voláteis
GEE	Gás de efeito estufa
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ISS	Instituto de Saúde e Sustentabilidade
MP	Material particulado
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
PTS	Partículas totais em suspensão
RAMQAr	Redes Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar
RMV	Região Metropolitana de Vitória

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1	Hipóteses.....	14
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo geral	14
1.2.2	Objetivos específicos	14
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Atmosfera e poluição	14
2.2	Material particulado	16
2.3	Efeitos à saúde humana.....	17
2.4	Efeitos ao meio ambiente.....	19
2.5	Legislação ambiental	20
2.6	Coronavírus.....	22
	CAPÍTULO 1	24
1.	Introdução.....	25
2.	Discussão Teórica	26
2.1	Poluição atmosférica.....	26
2.2	Covid-19	27
2.3	Relação entre poluição atmosférica e contaminação pelo coronavírus	28
3.	Considerações finais.....	31
	Referências	32
	CAPÍTULO 2	35
1.	Introdução.....	36
2.	Metodologia	38
2.1	Área de estudo	38
2.2	Conjunto de dados	38

2.3 Tratamento de Dados	40
3. Resultados e Discussão.....	40
3.1 Concentração de MP10 antes e durante a Pandemia em Vitória	40
3.2 Concentração de MP10 antes e durante a pandemia em Vila Velha	43
4. Conclusão	44
Referências	46
CAPÍTULO 3.....	49
1. Introdução.....	49
2. Materiais e métodos	51
2.1 Área de estudo e pontos amostradores.....	51
2.2 Amostrador (<i>MicroVol</i>)	54
2.3 Amostragem.....	55
2.4 Gravimetria	57
3. Resultados e Discussão.....	58
3.1 Método 1 de amostragem.....	58
3.2 Método 2 de amostragem (perfil de concentração).....	63
4. Considerações finais.....	66
Referências	67
CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

A revolução industrial foi um marco para humanidade devido ao conjunto de mudanças e também de suas consequências, como o surgimento de novas fontes poluentes (COELHO, 2007). As atividades industriais, geração de energia e a intensa circulação de veículos automotores influenciam diretamente na qualidade do ar, e consequentemente no bem estar das pessoas.

A poluição atmosférica é um dos problemas mais importantes do mundo atual devido aos inúmeros efeitos prejudiciais capazes de afetar a saúde humana, a fauna e flora. Segundo Mattos (2015) nas áreas urbanas os principais poluentes atmosféricos encontrados são o material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de enxofre (SO₂ e SO₃), óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, oxidantes fotoquímicos, entre outros.

O material particulado é encontrado em suspensão no ar, e a inalação desse aerossol pode ser prejudicial à saúde da população influenciando casos de morbidade e mortalidade (MANTOVANI et al., 2016). A composição química do MP é bastante diversificada e cada elemento possui sua especificidade quanto ao grau de variabilidade espacial e temporal. Podem estar presentes íons orgânicos e inorgânicos, compostos de carbono, compostos orgânicos voláteis (COV), espécies metálicas, material de origem biológica (vegetais, bactérias e vírus), vapor de água (ROCHA et al., 2009).

Lopes et al., (2004) afirmam que é imprescindível conhecer os parâmetros que caracterizam as partículas, como: composição química, tamanho, forma, e a maneira como chegam ao sistema respiratório; pois, dessa forma, pode-se compreender as partículas e os danos causados à saúde.

A nova Agenda de 2030 guiada pela Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que foram desenvolvidos por meio do legado dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. São totalizados 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e 169 metas que trabalham de forma integrada e indivisível, e buscam o equilíbrio do tripé do desenvolvimento sustentável, contidos nos aspectos econômicos, sociais e ambientais (UNITED NATIONS, 2015).

É importante comentar sobre os ODS 3 e 11 e destacar as metas existentes que envolvem qualidade e contaminação do ar, assunto de extrema relevância para este trabalho.

“Objetivo 3. Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades. (...)”

Meta 3.9 Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo. (...)”

Objetivo 11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. (...)”

Meta 11.6 Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros.” (UNITED NATIONS, 2015, p. 16 e 22).

O saber ambiental foi incorporado através de reflexões acerca do conhecimento que envolviam problemas relacionados a questões ambientais tendo como base a relação sociedade-natureza, dessa forma a construção do saber e da racionalidade ambiental orientam processos de reapropriação da natureza e as práticas de desenvolvimento sustentável (LEFF, 1998).

A interdisciplinaridade é outro ponto fundamental, visto que promove o diálogo entre diversas dimensões do conhecimento com efetivas e relevantes contribuições dos problemas ambientais para a sociedade, além disso, por meio da ciência e tecnologia é possível encarar e solucionar complexos transtornos ambientais como a poluição (COSTA, 2000; PHILIPPI JR., 2000). Assim, é possível destacar a presença da interdisciplinaridade integrada a conhecimentos em química ambiental, saúde pública, meteorologia, economia, políticas públicas, direito ambiental.

A legislação brasileira conta com a Resolução nº 491 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, de 19 de novembro de 2018, que dispõe sobre padrões de qualidade do ar, integrada, como instrumento complementar ao Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, assim, a referida Resolução apresenta valores guia e critérios de implementação de acordo com recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) (BRASIL, 2018).

O Ministério do Meio Ambiente desenvolveu o Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar que tem como principal objetivo a melhoria da qualidade do ar no território nacional, com a padronização da atividade e a obtenção de dados consistentes. Este Guia foi elaborado para atender exigências da Resolução CONAMA nº 491/2018 e visa

estabelecer diretrizes e orientações de monitoramento da qualidade do ar através da atuação dos órgãos ambientais estaduais e distrital (BRASIL, 2020).

1.1 Hipóteses

- O material particulado pode transmitir o Coronavírus através do aerossol contaminado pelo vírus SARS-CoV-2.
- As concentrações de MP_{10} são menores nas cidades de Vitória e Vila Velha devido as restrições da pandemia.
- A concentração de material particulado na Avenida Tancredo Neves está acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018.
- As maiores concentrações de MP são apontadas no início e no fim do dia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a relação da qualidade do ar com a pandemia do Novo Coronavírus e obter informações acerca do material particulado atmosférico na cidade de João Pessoa/PB.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar como o material particulado pode contribuir indiretamente na contaminação de casos por Coronavírus.
- Interpretar resultados de concentração de MP_{10} nas cidades de Vitória e Vila Velha antes e durante as medidas restritivas decorrentes da pandemia do Coronavírus.
- Coletar amostras de MP_{10} em dois pontos diferentes da cidade de João Pessoa.
- Analisar a concentração de MP_{10} nos pontos coletados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Atmosfera e poluição

A atmosfera da Terra é a camada de gases que permanece retida em torno do planeta por meio da ação da gravidade e também pela influência do campo magnético. Atualmente, a

atmosfera é subdividida em cinco camadas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera, apresentadas de acordo com o nível de proximidade em relação à superfície.

A versão não poluída da atmosfera terrestre é composta principalmente por 78% de nitrogênio diatômico (N₂), 21% de oxigênio diatômico (O₂), 1% de argônio (Ar) e cerca de 0,04% de dióxido de carbono (CO₂) (BAIRD; CANN, 2011). Porém, a atmosfera é mais complexa do que apenas gases permanentes. Nela encontram-se também outros constituintes, principalmente concentrações variadas de vapor d'água e outros vapores, além de constituintes das fases líquida e sólida (aerossóis ou material particulado em suspensão) (VALLERO, 2014).

A poluição do ar é definida a partir da modificação das características químicas, físicas e biológicas da atmosfera através da introdução de qualquer substância, quanto maior a alteração da composição química do ar maior são os riscos à saúde humana e ao meio ambiente resultando em danos potenciais (BRITO; ARAÚJO; MARINHO, 2018).

O termo “poluente atmosférico” é expresso pela Resolução CONAMA nº 491/2018 que dispõe sobre padrões de qualidade do ar, onde define no Capítulo I, em seu Art. 2º:

I - poluente atmosférico: qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade;

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados quanto à sua origem, em primários e secundários. Os primários são gases lançados diretamente no ar; já os secundários originam-se na atmosfera e são provenientes de reações de substâncias químicas e de determinadas condições físicas (BAIRD; CANN, 2011).

Além disso, os poluentes podem ser emitidos para atmosfera por fontes móveis ou fixas; as fontes móveis representam a emissão durante o movimento (veículos, trens, aviões, etc), as fontes fixas constituem na emissão em um ponto específico como as indústrias, usinas, incineradoras, entre outros.

Alguns poluentes são encontrados com mais frequência na atmosfera por meio de fontes naturais ou antrópicas, como: material particulado (MP₁₀), material particulado (MP_{2,5}), dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃), fumaça, monóxido de

carbono (CO), partículas totais em suspensão (PTS) e chumbo (Pb).

Os padrões de qualidade do ar determinam a concentração dos poluentes atmosféricos e sua permanência no meio (tempo de exposição), e têm como finalidade a preservação dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente, assim, os padrões de qualidade do ar fazem parte da gestão ambiental integrada (BRASIL, 2018).

Para entender os fundamentos da poluição do ar, é necessário conhecer o poluente e o ar em que o poluente é encontrado, desta forma a ciência requer uma distinção mais objetiva acerca da poluição, pois ela não está apenas nos olhos de quem vê, mas também nos ouvidos, nariz, boca, pele e, principalmente, nos pulmões (VALLERO, 2014).

2.2 Material particulado

O material particulado atmosférico é composto de partículas sólidas em suspensão (aerossóis) e líquidas, apresenta tamanho e composição variáveis de acordo com a fonte e o processo de formação (QUEROL, 2001). O MP também é conhecido como Partículas Totais em Suspensão (PTS), Fumaça (FMC), Partículas Inaláveis (MP10) e Partículas Inaláveis Finas (MP2,5) (CETESB, 2020).

Segundo a Resolução CONAMA nº 491/2018, o material particulado pode ser representado e diferenciado através do diâmetro aerodinâmico, sendo o MP2,5 correspondente às partículas com tamanho de até 2,5 micrômetros, e o MP10 equivalente a diâmetro com até 10 micrômetros. Para ser considerada como PTS a partícula deve possuir diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 50 micrômetros (BRASIL, 2018).

O material particulado é classificado como primário quando emitido diretamente na atmosfera, podendo ser proveniente de fontes naturais (ressuspensão de poeira no solo, spray marinho, ventos, erupção vulcânica, plantas) e antrópicas (processo industrial, uso de pneus, veículos automotores, construção civil, queima de biomassa, entre outros) (BAIRD; CANN, 2011; BRITO et al., 2018).

Classifica-se como secundário quando o mesmo é formado na atmosfera através da conversão de gases em partículas. Essa formação se dá através da reação química entre poluentes primários e componentes presentes na atmosfera, por meio de gases como: óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂) e compostos orgânicos voláteis (COVs) (CETESB, 2020).

2.3 Efeitos à saúde humana

Vários agentes tóxicos e poluentes podem ser encontrados no ar que respiramos, como bactérias, compostos gasosos e particulados. Dessa forma, o sistema respiratório é o principal alvo das partículas em suspensão, visto que o pulmão constitui a principal interface entre o ambiente externo e o organismo (DIEME, 2011).

O MP em suspensão produz efeitos adversos sobre a saúde humana e o tamanho das partículas atmosféricas influenciam na capacidade de penetração e deposição no sistema respiratório, e consequentemente, na gravidade dos casos. Diante disso, quanto menor o diâmetro aerodinâmico, maior a capacidade de penetração (BAIRD; CANN, 2011; FERREIRA; SODRÉ; ALMEIDA, 2018).

Segundo Guarieiro et al., (2011) a fração inalável corresponde as partículas inaláveis grossas e apresentam diâmetro aerodinâmico médio (dp) na faixa $2,5 < dp < 10 \mu m$ (MP2,5 e MP10); a fração torácica refere-se as partículas finas ou respiráveis e possuem $dp < 2,5 \mu m$ (MP2,5); a fração respirável também é representada pelas partículas ultrafinas e finas e apresentam $dp < 1,0 \mu m$.

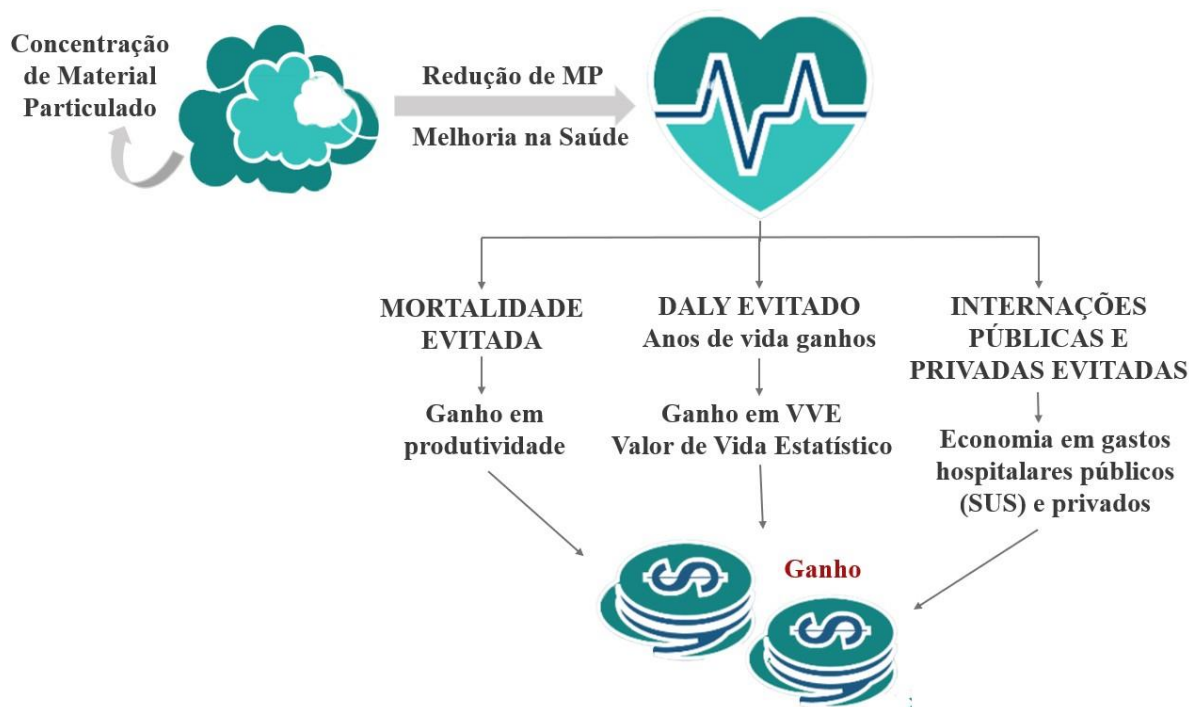
De acordo com estimativas da Organização Mundial de Saúde (OMS) cerca de 7 milhões de pessoas morrem por ano devido a exposição às partículas finas com ar contaminado, essas partículas chegam aos pulmões e ao sistema cardiovascular e são responsáveis pelo desencadeamento de graves doenças; além disso, a OMS estima que em todo o mundo, cerca de 91% das pessoas respiram ar contaminado (WHO, 2018).

Estudos realizados indicam que os efeitos adversos na saúde provocado pelo material particulado, incluem arteriosclerose, agravamento da asma, inflamação de pulmão, aumento de internações hospitalares, câncer respiratório, e em casos mais graves, até a morte (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020).

O material particulado interfere diretamente em três diferentes áreas do conhecimento científico: ambiental, epidemiológico e econômico. Existem vantagens para uma cidade quando a mesma diminui sua concentração de MP atmosférico (Figura 1), pois sabe-se que a redução desses níveis está diretamente relacionada com a melhoria na saúde resultando em diferentes tipos de ganhos, como a mortalidade evitada, o Daly evitado (*Disability Adjusted Life Years* – anos de vida perdidos ajustados por incapacidade), internações públicas e privadas evitadas, além disso, um dos ganhos é o econômico (monetário) para o Estado (INSTITUTO

SAÚDE E SUSTENTABILIDADE, 2019).

Figura 1 - Vantagens na redução de material particulado



Fonte: Adaptado de ISS (2019)

As melhores informações relacionadas as doenças causadas pela poluição atmosférica são desenvolvidas por estudos experimentais, considerando a exposição rotineira, nível dos poluentes e sua variação em cada região, dessa forma, os cientistas correlacionam estatisticamente as informações sobre saúde e poluição (BAIRD; CANN, 2011).

Silva et al., (2019) realizaram estudos de monitoramento do MP na cidade de Goiás, e puderam destacar sobre a necessidade de dispor de um maior banco de dados para efeitos comparativos que tornem possíveis correlações entre meio ambiente e saúde humana para a adoção de parâmetros legais, políticas e ações de prevenção.

Araujo (2011) concluiu através de estudos que há uma associação afirmativa entre a exposição ao material particulado e ao aumento da morbimortalidade cardiovascular, predominantemente de natureza isquêmica.

Nos estudos desenvolvidos por Cesar et al., (2013) constatou-se que as internações por doenças respiratórias em crianças estavam associadas com a exposição ao material particulado com menos de 2,5 micra de diâmetro aerodinâmico (MP_{2,5}).

É importante evidenciar que Zhong et al., (2019) concluíram em seus estudos sobre a

importância de informação para compreensão acerca das emissões atuais, pois, assim poderá haver redução das incertezas relacionadas a futuras mortes por poluentes atmosféricos.

Qi et al., (2020) apresentaram implicações importantes para a saúde pública e a gestão ambiental, visto que seus estudos forneceram evidências que a expectativa de vida pode ser prolongada com a redução do nível de poluição do ar; também consideraram a importância do entendimento por parte do Poder Público.

2.4 Efeitos ao meio ambiente

A dispersão dos poluentes na atmosfera atrelado a distância que os poluentes alcançam e seu tempo de exposição resultam em impactos locais e global. Entre os impactos relacionados ao meio ambiente estão os danos à vegetação, alterações climáticas, efeito estufa, chuva ácida, destruição da camada de ozônio.

Através do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da Organização Meteorológica Mundial (OMM) foi criado, em 1988, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) com o objetivo de fornecer conhecimento científico para o desenvolvimento de projetos e programas relacionados às políticas climáticas (IPCC, 2021).

Sabe-se que o efeito estufa é um fenômeno natural e necessário para a sustentação da vida, pois o mesmo é capaz de manter a Terra aquecida, em contrapartida a intensificação desse processo provocado pela ação humana é extremamente preocupante.

De acordo com o quinto relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa começaram a crescer, e hoje em dia, são maiores do que nunca; esses gases foram identificados em todo o sistema climático e podem ter sido a principal causa do aquecimento global desde meados do século XX (IPCC, 2014).

A camada de ozônio é responsável por filtrar a maioria dos raios ultravioletas (UV) que são nocivos aos seres vivos, promovendo proteção à saúde humana. Acontece que esta camada vem sofrendo desequilíbrio devido as substâncias químicas antropogênicas que contém cloro, onde se destacam os clorofluorcarbonetos (CFCs), compostos formados exclusivamente por cloro, carbono e flúor, muito comercializado devido a sua propriedade de condensação. As moléculas atingem a estratosfera e lá ocorre a fotólise, onde os átomos de cloro são liberados

e reagem com o ozônio, provocando a destruição da camada de ozônio (BAIRD; CANN, 2011).

As mudanças climáticas provocadas pelas alterações do clima resultam em impactos nos sistemas naturais e humano em todo o planeta; alguns poluentes podem ser mais influenciados pelas mudanças climáticas, como é o caso do ozônio (O₃) e do material particulado (MP). Além disso, as mudanças climáticas podem aumentar até as emissões de MP por fontes naturais, como as originadas por tempestades de poeira, incêndios florestais de secas, entre outros (JACOB; WINNER, 2009; IPCC, 2014).

Além disso, existem outros fenômenos climáticos que são causados pela poluição atmosférica e ocorrem com frequência em certas localidades, como é o caso da chuva ácida, smog fotoquímico e inversão térmica. Todos esses fenômenos resultam em efeitos negativos ao meio ambiente e à saúde humana.

A água da chuva não possui a mesma composição, um conjunto de fatores presentes na atmosfera a faz sofrer modificações; da mesma forma isso ocorre com a chuva ácida que é resultado de reações do vapor de água com compostos de enxofre e nitrogênio presentes na atmosfera (Costa et al., 2016).

Na inversão térmica os poluentes ficam impedidos de se movimentar e dispersar, pois permanecem retidos numa camada estagnada de ar frio acima da superfície, isso geralmente ocorre nas grandes cidades que devido a grande quantidade de áreas construídas absorvem muito calor durante todo o dia e resfriam durante a noite (BRAGA et al., 2001). A inversão térmica também é responsável pelo aparecimento do smog fotoquímico que é caracterizado pela formação de uma pluma de poluentes extremamente prejudiciais.

2.5 Legislação ambiental

A Constituição Federal de 1988 é considerada um marco na legislação ambiental brasileira, pois em seu Art. 225 dispõe sobre:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).”

Os assuntos relacionados às questões ambientais não se limitaram ao artigo 225, visto que a Constituição Federal de 1988 também discorre sobre artigos que asseguram a proteção

ambiental em consonância com os direitos e garantias, como o desenvolvimento econômico, a ordem social, entre outros.

É importante ressaltar que falar sobre qualidade do ar permite adentrar, além das questões ambientais, aquelas relacionadas à cidadania, aos direitos humanos e, principalmente, à vida, que é princípio fundamental da Constituição Federal de 1988.

Para efeitos de controle e monitoramento da qualidade do ar, a Resolução CONAMA n° 491/2018, sendo parte estratégica da chamada PRONAR estabelece limites permissíveis de concentração dos poluentes e restrições de emissões.

Esta Resolução tem como referência as recomendações da Organização Mundial da Saúde – OMS acerca dos principais poluentes monitorados (MP₁₀, MP_{2,5}, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ozônio, fumaça, monóxido de carbono, partículas totais em suspensão, chumbo), seus respectivos valores guia e os critérios de implementação.

Dessa forma, pela Resolução CONAMA n° 491/2018, o material particulado é apresentado como PTS – Partículas Totais em Suspensão, MP₁₀ – Material Particulado, MP_{2,5} – Material Particulado, e confere os respectivos limites para cada período de referência, sendo de 24 horas e anual, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Limites permissíveis para MP_{2,5}, MP₁₀ e PTS

Poluente	Período de Referência	
	Atmosférico	
	24 horas	Anual
MP_{2,5} (µg.m ⁻³)	60	20
MP₁₀ (µg.m ⁻³)	120	40
PTS (µg.m ⁻³)	240	80

Fonte: Adaptado pelo Autor (2021)

Além disso, a referida Resolução conta com a listagem dos principais poluentes e também dispõe para MP_{2,5} e MP₁₀ as concentrações referentes a níveis de atenção, alerta e emergência para média de 24 horas, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Níveis de referência para MP_{2,5}, MP₁₀

Nível	Poluentes e	
	Concentrações µg/m ³	
	(média de 24h)	
	MP _{2,5}	MP ₁₀
Atenção	125	250
Alerta	210	420
Emergência	250	500

Fonte: Adaptado pelo Autor (2021)

Assim, pode-se observar que a legislação brasileira possui diretrizes legais acerca do material particulado que contam com limites máximos permitidos bem definidos para o monitoramento da qualidade do ar no Brasil.

O monitoramento de poluentes atmosféricos é de extrema importância e deve ser realizado periodicamente para que haja entendimento acerca do ar que respiramos nas cidades. Além disso, a identificação de poluentes com concentração acima do nível máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 491/2018 permite alertar e precaver a população sobre os efeitos adversos da poluição do ar em relação à saúde.

O Instituto de Saúde e Sustentabilidade (2019) publicou o relatório de Análise do Monitoramento de Qualidade do Ar no Brasil, este documento apresenta um panorama nacional acerca dos dados referentes ao monitoramento de poluentes atmosféricos.

Foi possível destacar a ineficiência e precariedade do monitoramento a nível estadual e distrital. Do total de 27 unidades federativas, 20 delas não realizam o monitoramento da qualidade do ar, o que corresponde a 74%, apenas 7 unidades federativas (26%) (Pernambuco, Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e Distrito Federal) realizam o monitoramento (INSTITUTO DE SAÚDE E SUSTENTABILIDADE, 2019).

2.6 Coronavírus

Além de todos os problemas advindos da poluição do ar, outro contratempo dos dias atuais diz respeito a pandemia do Coronavírus, a qual teve início em dezembro de 2019 na cidade de Wuhan, província da China.

O vírus responsável pela doença é o SARS-CoV-2, o mesmo é caracterizado pelo rápido contágio. A transmissão do vírus se dá de diferentes formas, podendo ser por meio do contato direto com alguém infectado ou de forma indireta, através de gotículas ou superfícies contaminadas (OPAS, 2021).

Devido ao alto índice de transmissão a alternativa para frear o avanço foi aderir a estratégias de isolamento social, visto que nenhum medicamento se mostrou eficaz contra a doença. Com isso, as restrições sociais adotadas foram a quarentena e/ou lockdown.

CAPÍTULO 1

A estreita relação entre a qualidade do ar e a contaminação pelo Novo Coronavírus

(SARS-CoV-2): uma revisão¹

The close relationship between air quality and contamination by the New

Coronavirus (SARS-CoV-2): a review

Resumo

A pandemia provocada pelo novo Coronavírus causou diversas mortes em todo o mundo, a transmissibilidade e infecção pelo vírus SARS-CoV-2 pode ser intensificada por fatores indiretos. Este artigo de revisão consiste em explorar o assunto em questão através de estudos já desenvolvidos buscando compilar as informações mais relevantes em um único trabalho, assim faz-se necessário entender a relação encontrada entre a Covid-19 e a poluição do ar. Para a pesquisa, utilizou-se de diversos meios científicos nacionais e internacionais, livros, jornais, revistas, periódicos e sites eletrônicos. Foi possível constatar que o vírus pode ser aerotransportado por meio dos aerossóis e permanecer ativo durante determinado tempo; que existe uma correlação entre a redução da poluição atmosférica e a diminuição da taxa de infecção e letalidade dos casos de Covid-19, além disso, os efeitos dos poluentes atmosféricos sobre os pulmões interferem no prognóstico e na involução do quadro dos pacientes. Alguns indicadores climáticos também estão significativamente correlacionados com a doença. Políticas públicas verdes devem ser implementadas em todos os países com o propósito de diminuir a poluição e consequentemente melhorar a qualidade do ar, dessa forma, reduziriam as doenças provocadas pela própria poluição atmosférica, além da mesma não contribuir para a disseminação de outras enfermidades, como o caso da Covid-19.

Palavras-chave

Poluição do ar, Novo Coronavírus, Transmissão, Fatores meteorológicos.

Abstract

The pandemic caused by the new Coronavirus has caused several deaths worldwide, transmissibility and infection by the SARS-CoV-2 virus may be intensified by indirect factors. This review article is to explore the subject in question through studies already developed seeking to compile the most relevant information into a single study, so it is necessary to understand the relationship found between Covid-19 and air pollution. For the research, we used several national and international scientific means, books, newspapers, magazines, periodicals and electronic websites. It was possible to observe that the virus can be airborne by aerosols and remain active for a certain time; it was also observed that there is a correlation between the reduction of air pollution and the decrease in the rate of infection and lethality of Covid-19 cases, moreover, the effects of air pollutants on the lungs interfere with the prognosis and involution of patients' conditions. Some climate indicators are also significantly correlated with the disease. Preventive measures need to continue to be followed strictly until the time when mass vaccination is completed. Green public policies should be implemented in all countries with the purpose of reducing pollution and consequently improve air quality, thus, they would reduce diseases caused by air pollution itself, and not contribute to the spread of other diseases, such as the case of Covid-19.

Keywords

Air pollution, New Coronavirus, Transmission, Weather factors.

1. Introdução

Desde a primeira metade do século passado (XX) a poluição atmosférica tem sido considerada um assunto de extrema relevância devido a intensa urbanização nos grandes centros que acarretou num aumento das fontes poluidoras, como as indústrias e os veículos automotivos (BRAGA; SALDIVA, 2001).

O espaço urbano sofre constantemente as consequências do processo de urbanização visto que os impactos são diversos e cada vez maiores, além de influenciar diretamente na variação da qualidade do ar (GATTO PEREIRA et al., 2015).

Em dezembro de 2019, o novo coronavírus (SARS-CoV-2) foi identificado no espaço urbano de Wuhan, na China, o mesmo se espalhou facilmente pelo mundo dando origem a pandemia da Covid-19 ou pandemia do novo Coronavírus. A transmissão deste vírus pode ocorrer de diversas formas, sendo a principal delas pelo ar. Alguns estudos sugerem que o aumento da transmissão da doença ocorre em momentos de maiores níveis de certos poluentes atmosféricos, como também a incidência e mortalidade (SETTI et al., 2020; SHARMA; BALYAN, 2020). Devido a pandemia, o mundo viveu e ainda vive momentos de tensão e medo.

Durante o isolamento da Covid-19 diversas medidas foram implementadas, como o fechamento ou paralisação de alguns setores, diante disso, tornou-se perceptível como a ação antrópica interfere na dinâmica do Planeta Terra e de seus subsistemas – biosfera, atmosfera, hidrosfera, e até a própria antroposfera (SPERANDIO; GOMES, 2020).

Embora o funcionamento de alguns setores tenha sofrido restrições (bloqueio parcial), durante o período de *lockdown* foi identificado a redução das concentrações de poluentes e consequentemente uma melhora na qualidade do ar, em contrapartida os impactos negativos relacionados aos aspectos sociais, efeitos econômicos e mortes por Covid-19 foram assustadores (NAKADA; URBAN, 2020).

No decorrer da pandemia foi possível perceber que a qualidade do ar pode ser considerada um indicador chave para o desenvolvimento sustentável, os indicadores de poluição do ar estão correlacionados com casos confirmados de Covid-19, conforme o índice de qualidade do ar aumenta em 10 unidades o vírus se espalha em cerca de 5-7% a mais, comprovando essa relação (BARBIERI et al., 2020; ZHANG et al., 2020).

Este artigo consiste em uma discussão teórica sobre a qualidade do ar e a

contaminação pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2) e tem como principal objetivo a divulgação e sustentação de ideias sobre o tema. O trabalho foi realizado através de uma pesquisa bibliográfica, a qual utilizou-se de diversos tipos de produções científicas, nacionais e internacionais, como livros, jornais, revistas, teses, periódicos e sites eletrônicos.

O presente estudo de revisão é uma importante fonte de contribuição para discutir os vários aspectos provocados pela poluição do ar e sua associação com a pandemia da Covid-19, buscando compreender cada vez mais essa relação e suas consequências com a saúde humana e o meio ambiente.

2. Discussão Teórica

2.1 Poluição atmosférica

Segundo a Resolução nº 491 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, de 19 de novembro de 2018, que dispõe sobre padrões de qualidade do ar, o termo poluente atmosférico é definido no Art. 2º:

“I - poluente atmosférico: qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade” (BRASIL, 2018).

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados de acordo com os tipos de fontes poluidoras, em primários ou secundários. São classificados como primários quando emitidos diretamente na atmosfera, através de fontes naturais (desintegração de rochas e solos, poeira e fragmentos de incêndios naturais, ventos, *spray* marinho) ou antrópicas (processo industrial, construção civil, veículos automotivos, frenagem de pneus, queima de biomassa); quando os poluentes primários sofrem reações químicas na atmosfera resultando em outro poluente, este é classificado como poluente secundário (BAIRD; CANN, 2011).

As emissões rotineiras de poluentes atmosféricos também são a causa de assuntos frequentes que atingem as cidades e o ambiente, como o efeito estufa, destruição da camada de ozônio, chuva ácida, smog fotoquímico e até mesmo as mudanças climáticas.

Na atmosfera estão presentes os gases, ditos majoritários: nitrogênio (N₂), oxigênio (O₂) e argônio (Ar), além dos componentes minoritários que são responsáveis pela variação na composição do ar tais como material particulado (MP), dióxido de carbono (CO₂), ozônio

(O₃) e metano (CH₄).

O dióxido de carbono é o principal gás de efeito estufa (GEE) devido a grande quantidade de emissões e de sua permanência na atmosfera. De acordo com o *ranking* da *Global Carbon Atlas* (2021) a China foi o país que liderou em emissões de dióxido de carbono em 2019 (10.175 Megatonelada CO₂), seguido dos Estados Unidos (5.285 MtCO₂) e Índia (2.616 MtCO₂), respectivamente. O Brasil está na décima terceira colocação com o equivalente a 466 MtCO₂.

De acordo com o *Air Quality Life Index*, a população está perdendo em média cerca de 1,8 anos de expectativa de vida devido a poluição por material particulado, números mais altos do que quando comparado com o tabagismo, doenças transmissíveis (HIV), malária, e até mesmo conflitos e terrorismos (GREENSTONE; FAN, 2018).

Segundo Isnard (2004) as principais doenças humanas associadas a má qualidade do ar são as alergias, distúrbios respiratórios, câncer, lesões degenerativas nos órgãos vitais e sistema nervoso. A poluição do ar é causadora de muitas mortes, além do aumento da incidência de doenças respiratórias (BRAUER, 2010). Araujo (2011) concluiu, através de estudos, que há uma associação afirmativa entre a exposição ao material particulado e ao aumento da morbimortalidade cardiovascular, predominantemente de natureza isquêmica.

Pela primeira vez, o Reino Unido atribuiu a morte de uma criança de 9 anos à poluição atmosférica que faleceu em Londres no ano de 2013 após apresentar quadros asmáticos severos adquiridos através da exposição à poluição excessiva do ar; O pesquisador Stephen Holgate concluiu através de estudos que as crises da criança tinham forte relação com os níveis de poluição por dióxido de nitrogênio (NO₂) e material particulado, os quais tinham seus limites excedidos constantemente (FIORATTI, 2020).

Além de apresentar consequências ambientais e à saúde humana, a poluição do ar também afeta a economia. De acordo com estudos da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (2016) este tipo de poluição causará morte prematura em 6 a 9 milhões de pessoas até 2060, além da diminuição de 1% do PIB global, cerca de US \$ 2,6 trilhões anuais.

2.2 Covid-19

A pandemia da Covid-19 foi declarada como uma emergência de saúde global pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e é resultado de uma doença infecciosa causada pelo

novo coronavírus (SARS-CoV-2), transmitida e notificada inicialmente em dezembro de 2019 na cidade de Wuhan, capital da província de Hubei, na China, e disseminada de pessoa a pessoa mundialmente (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020; OMS, 2020).

De acordo com o Ministério da Saúde (2020) a transmissão do vírus entre uma pessoa infectada para outra se dá através do contato com gotículas de saliva, tosse, espirro, toque de mãos contaminadas, superfícies ou objetos contaminados (talheres, celulares, maçanetas, entre outros). A doença pode ser diagnosticada através de critérios clínicos, clínico-epidemiológico, clínico-imagem e laboratorial.

Em cerca de 80% das pessoas o vírus pode se apresentar na forma mais leve da doença, na maioria dos infectados são diagnosticados os sintomas da gripe, ou até mesmo não aparecer sintomas (assintomáticos). Em aproximadamente 20% dos casos a doença se manifesta na forma mais grave com necessidade de atendimento hospitalar, dessa forma o vírus pode causar síndrome respiratória aguda grave, comprometendo pulmões e até o sistema cardiovascular.

Devido ao alto índice de contágio alguns países aderiram ao *lockdown*, uma forma de diminuir a circulação e proximidade entre pessoas, pois permitem funcionar apenas setores considerados essenciais (supermercados, farmácias e hospitais).

Segundo Sharma e Balyan (2020) o mecanismo da causalidade é guiado por uma complexa interação de componentes conhecidos, como uso de máscara e EPIs, distanciamento social, isolamento domiciliar, melhores práticas de higiene, além do componente poluição do ar; dessa forma, o resultado é direcionado por cada fator contribuinte e não por qualquer condição isolada.

Diversos medicamentos foram propostos para controlar a pandemia da Covid-19, mas nenhum deles se mostrou completamente eficaz ao tratamento. Isso fez com que diversos pesquisadores trabalhassem no desenvolvimento de vacinas (CoronaVac, AZD1222, mRNA-1273, Ad5-nCoV, BNT162, Sputnik V) para findar esta disseminação (PIOUS; INGOLÉ, 2020).

2.3 Relação entre poluição atmosférica e contaminação pelo coronavírus

A transmissão de doenças infectocontagiosas virais pode ser intensificada através da poluição do ar e das condições meteorológicas existentes (GONZAGA; FREITAS, 2020).

A disseminação do coronavírus ocorre de forma direta e indireta, podendo ser pela

proximidade com pessoas infectadas através das secreções expelidas, contato com objetos ou superfícies contaminadas. Além disso, os aerossóis (pequenas gotículas) podem permanecer em suspensão no ar por longos períodos (ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE, 2020). Segundo Mitra et al. (2020) existem três canais de transmissão: secreção nasal, saliva ou partículas transportadas pelo ar.

Para alguns pesquisadores este modelo de contágio não é o suficiente para explicar as divergências da pandemia em cada local, com isso existe a possibilidade do material particulado ajudar a transmitir o vírus pelo ar, no entanto, isto também não está completamente estabelecido, mas, pode-se afirmar que a redução da poluição atmosférica está intimamente ligada com a redução da taxa de infecção da Covid-19, a taxa de letalidade, e ainda, a redução da mortalidade e morbidade atribuíveis a própria poluição do ar (SETTI et al., 2020; SHARMA; BALYAN, 2020).

Em estudos realizados por Yao et al. (2020) no epicentro da pandemia em cidades situadas dentro e fora da província de Hubei, foi constatado que o MP possui uma associação consideravelmente positiva com a taxa de letalidade, dessa forma, os efeitos dos poluentes atmosféricos sobre os casos de óbitos por Covid-19 interferem na involução do quadro e no prognóstico.

Qin et al. (2020) fizeram um levantamento com 106 amostras de material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) aerotransportados na cidade de Pequim num período de 6 meses entre 2012 e 2013; foi possível constatar que espécies bacterianas, fúngicas e virais apresentam variabilidade associada a partículas em suspensão no ar urbano de acordo com os meses.

Os aerossóis contaminados pelo vírus SARS-CoV-2 gerados através de tosses, espirros e falas são aerotransportados e disseminados, sendo o meio aéreo considerado como uma forte rota de contaminação (MANOJ et al., 2020). Além disso, existe a possibilidade do vírus permanecer em aerossóis e em alguns tipos de superfícies por um período de até 3 horas, porém em menor concentração (van DOREMALEN et al., 2020).

Durante o surto de casos de Covid-19 na Itália, Coccia (2020) pôde concluir que a disseminação do vírus tem alta associação com a poluição atmosférica, além disso as condições meteorológicas (neblina, baixa velocidade do vento, alta umidade) desencadeiam o aumento da transmissão viral com danos para a sociedade e economia. Para evitar epidemias semelhantes, os limites definidos para MP_{10} e ozônio não podem exceder o número máximo de 45 dias por ano nas capitais italianas (COCCIA, 2020).

Bashir et al. (2020) utilizaram os testes de correlação de Kendall e Spearman para as variáveis climáticas: temperatura mínima, temperatura média, temperatura máxima, velocidade do vento, umidade média, precipitação e qualidade do ar. Foi possível concluir que as temperaturas média e mínima estão significativamente correlacionadas com a disseminação da Covid-19 na cidade de Nova York; a umidade também está relacionada com a propagação do vírus, acelerando ainda mais sua transmissão.

Para Srivastava (2021) existem alguns parâmetros meteorológicos que aumentam ou diminuem a incidência de casos, dessa forma foi constatado o declínio de casos quanto maior a temperatura e umidade; a radiação solar pode interferir na sobrevivência do vírus e nos índices de exposição; já a velocidade do vento está diretamente relacionada com o aumento de casos.

Chen et al. (2020) sugeriram que a temperatura média do ar diária possui impacto significativo com novos casos confirmados de Covid-19 durante um período de 14 dias. Ainda segundo os autores citados, torna-se mais interessante entender o comportamento epidemiológico quando há combinação de outros fatores meteorológicos, mas ainda não foi descoberto o impacto exato atribuído a um conjunto de variáveis meteorológicas sobre a taxa de transmissão do vírus (CHEN et al., 2020).

De acordo com estudos realizados por Magazzino et al. (2020) foi utilizado o algoritmo de Direção Causal da Dependência (D2C) com o objetivo de prever a ligação existente entre duas variáveis num cenário multivariado, assim foi possível confirmar que existe uma correlação direta entre a poluição do ar ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) e a Covid-19 em três cidades francesas, Paris, Lyon e Marseille.

Para Zhu et al. (2020) seus estudos sugerem uma relação significativa entre a poluição atmosférica e Covid-19, devido ao risco de infecção pela doença ser aumentado quando associado à exposição por um curto período de tempo em altas concentrações dos poluentes $MP_{2,5}$, MP_{10} , CO, NO_2 e O_3 .

No estudo de caso desenvolvido por Marquès et al. (2021) foram comparadas áreas na Província de Tarragona com características distintas, observou-se que as áreas industrializadas-urbanas possuíam maior incidência de casos de Covid-19 e de mortalidade do que nas áreas agrícolas-rurais; também é importante levar em consideração que pessoas que residem nas proximidades de complexos industriais podem ter uma pior condição de saúde devido às emissões rotineiras e nocivas de poluentes e consequentemente apresentar

um sistema respiratório inflamado (MARQUÈS et al., 2021).

A combinação das emissões locais, condições climáticas e topografia regional resulta na estagnação de poluentes que está diretamente correlacionado com os casos graves de Covid-19, sabe-se que as partículas virais podem permanecer em suspensão no ar por alguns minutos, diante disso a hipótese trabalhada é que quanto mais poluentes na atmosfera maior é o tempo de permanência desses microorganismos (FRONTERA et al., 2020).

3. Considerações finais

É necessário que sejam implementadas medidas mais rigorosas de controle e prevenção, como o distanciamento social, uso de máscara, melhores práticas de higiene (SHARMA; BALYAN, 2020) até o momento em que a vacinação em massa esteja finalmente concluída.

Também é importante que políticas ambientais verdes devam ser implementadas, uma vez que melhoraria a qualidade do ar e conseqüentemente a transmissão indireta de doenças infecciosas, como é o caso da Covid-19 (BASHIR et al., 2020).

As pesquisas envolvendo poluição do ar, infectividade viral e condições meteorológicas serão mais elucidativas através de maiores conhecimentos no transcorrer da pandemia COVID-19, sabe-se que estudar a relação em “tempo real” confronta em diversos desafios. De acordo com Zhang et al., (2020) os estudos são indispensáveis pois fornecem resultados para a prevenção e controle da Covid-19 e para prever outra possível pandemia semelhante à que vivemos.

No que diz respeito a direção de novas pesquisas é enriquecedora a continuação sobre este tema e é de grande utilidade incluir novos estudos regionais e locais (bairros), focando em maior detalhamento e caracterização nas emissões de poluentes e entradas de pessoas nos hospitais com o prognóstico da doença, a fim de prover informações mais consistentes da luta contra a Covid-19.

Referências

- ARAUJO, J. A. Particulate air pollution, systemic oxidative stress, inflammation, and atherosclerosis. **Air Qual Atmos Health** 4, 79–9, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0101-8>
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**; tradução: Marco Tadeu Grassi.. [et al.]; revisão técnica: Marco Tadeu Grassi. – 4. ed. – Porto Alegre: Bookman. 2011.
- BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. N. Poluição e saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**: II congresso de pneumologia e fisiologia do centro-oeste. I jornada de fisioterapia respiratória do centro-oeste. Cuiabá, p. 10-16, 2001.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 491/2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Ministério do Meio Ambiente. Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso: Dezembro 16, 2020.
- BRAUER, M. How much, how long, what, and where: air pollution exposure assessment for epidemiologic studies of respiratory disease. **Proc Am Thorac Soc**, 7(2):111-5., 2010. <https://doi.org/10.1513/pats.200908-093RM>
- BADDINI, B.; FERNANDES, D. Primeira pessoa é vacinada contra Covid-19 no Brasil. **CNN Brasil**, 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/2021/01/17/primeira-pessoa-e-vacinada-contracovid-19-no-brasil>>. Acesso: Janeiro 18, 2021.
- BARBIERI, D. M. et al. Survey data regarding perceived air quality in Australia, Brazil, China, Ghana, India, Iran, Italy, Norway, South Africa, United States before and during Covid-19 restrictions. **Data in Brief**, v. 32, p. 106169, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106169>
- BASHIR, M. F. et al. Correlation between climate indicators and COVID-19 pandemic in New York, USA. **Science of the Total Environment**, v. 728, p. 138835, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138835>
- CHEN, B. et al. Roles of meteorological conditions in COVID-19 transmission on a worldwide scale. **BMJ Open**, 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.03.16.20037168>
- COCCIA, M. Diffusion of COVID-19 Outbreaks: The Interaction between Air Pollution-to-Human and Human-to-Human Transmission Dynamics in Hinterland Regions with Cold Weather and Low Average Wind Speed. **SSRN Electronic Journal**, n. 48, 2020. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3567841>
- FIORATTI, C. Pela primeira vez, poluição do ar é apontada como causa de morte. **Super Interessante**, São Paulo. 17 de dezembro de 2020. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/saude/pela-primeira-vez-poluicao-do-ar-e-apontada-como-causa-de-morte/>>. Acesso: Janeiro 05, 2021.
- FRONTERA, A. et al. Regional air pollution persistence links to COVID-19 infection zoning. **Journal of Infection**, v. 81, n. 2, p. 318–356, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.03.045>
- GATTO PEREIRA, J. L.; NUNES FORTES, J. D.; MARTINS, E. M. Poluição Do Ar Por Material Particulado Em Área Intraurbana No Rio De Janeiro: Alguns Aspectos Metodológicos. **REEC - Revista Eletrônica de**

Engenharia Civil, v. 10, n. 3, 2015. <https://doi.org/10.5216/reec.v10i3.32901>

GLOBAL CARBON ATLAS. **CO2 Emissions**. Disponível em: <<http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>>. Acesso: Janeiro 07, 2021.

GONZAGA, A.C.; FREITAS, A. C. V. Análise da relação entre condições meteorológicas, poluição atmosférica e infecções respiratórias virais: o caso COVID-19. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e591985942, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5942>

GREENSTONE, M.; FAN, C. Q. Introducing the Air Quality Life Index. **Energy Policy Institute at the University of Chicago**, n. November, p. 1–34, 2018.

ISNARD, A. A. **Investigação computacional do escoamento e da dispersão de poluentes atmosféricos sobre topografias complexas**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2004.

LISBOA, V. Novos acordos podem aumentar o número vacinas previstas para 2021. **Agência Brasil**. 2021. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2021-02/novos-acordos-podem-aumentar-o-numero-vacinas-previstas-para-2021>>. Acesso: Fevereiro 12, 2021.

MANOJ, M. G. et al. Potential link between compromised air quality and transmission of the novel corona virus (SARS-CoV-2) in affected areas. **Environmental Research**, v. 190, n. November, p. 110001, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110001>

MARQUÊS, M. et al. Effects of air pollution on the potential transmission and mortality of COVID-19: A preliminary case-study in Tarragona Province (Catalonia, Spain). **Environmental Research**, v. 192, n. September 2020, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110315>

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **CORONAVÍRUS (COVID-19) Perguntas e Respostas**. Disponível em: <<https://coronavirus.saude.gov.br/index.php/perguntas-e-respostas>>. Acesso: Novembro 09, 2020.

MITRA, A.; CHAUDHURI, T. R.; MITRA, A.; PRAMANICK, P.; ZAMAN, S.; MITRA, A. et al. Impact of COVID-19 related shutdown on atmospheric carbon dioxide level in the city of Kolkata. **Sci Educ**, v. 6 (3), pp. 84-92, 2020.

NAKADA, L. Y. K.; URBAN, R. C. COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 730, p. 139087, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139087>

OECD - Organisation for Economic Co-Operation and Development. The economic consequences of outdoor air pollution. **Policy Highlights**, 2016. Disponível em: <<https://www.oecd.org/environment/air-pollution-to-cause-6-9-million-premature-deaths-and-cost-1-gdp-by-2060.htm>>. Acesso: Novembro 29, 2020.

OPAS – Organização Pan-Americana de Saúde. **Folha informativa COVID-19 - Escritório da OPAS e da OMS no Brasil**. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/covid19>>. Acesso: Novembro 09, 2020.

OPERA MUNDI. **Número de doses de vacina contra covid-19 já administradas (total)**. 2021. Disponível

em: <<https://operamundi.uol.com.br/coronavirus/67957/mapa-da-vacinacao-no-mundo-quantas-pessoas-ja-foram-imunizadas-contracovid-19>>. Acesso: Fevereiro 09, 2021.

PIOUS, N.; INGOLE, S. D. **Race for COVID-19 Vaccine**. v. 34, n. January, p. 62– 65, 2020.

QIN, N. et al. Longitudinal survey of microbiome associated with particulate matter in a megacity. **Genome Biology**, v. 21, n. 1, p. 1–11, 2020. <https://doi.org/10.1186/s13059-020-01964-x>

SETTI, L. et al. Potential role of particulate matter in the spreading of COVID-19 in Northern Italy: First observational study based on initial epidemic diffusion. **BMJ Open**, v. 10, n. 9, 2020. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-039338>

SHARMA, A. K.; BALYAN, P. Air pollution and COVID-19: Is the connect worth its weight? **Indian journal of public health**, v. 64, p. S132–S134, 2020. https://doi.org/10.4103/ijph.IJPH_466_20

SPERANDIO, D. G., GOMES, C. H. Variações globais nos níveis de NO₂ durante a pandemia do Covid19 (Coronavírus): Uma breve discussão sobre geologia e Antropoceno. **Holos**. 36(5), 1-11, 2020. <https://doi.org/10.15628/holos.2020.10546>

SRIVASTAVA, A. COVID-19 and air pollution and meteorology-an intricate relationship: A review. **Chemosphere**, v. 263, p. 128297, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128297>

van DOREMALEN et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. **N. Engl. J. Med.**, v. 382, n. 16, p. 1564–1567, 2020. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>

YAO, Y. et al. Association of particulate matter pollution and case fatality rate of COVID-19 in 49 Chinese cities. **Science of the Total Environment**, v. 741, p. 140396, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140396>

ZHANG, Z.; XUE, T.; JIN, X. Effects of meteorological conditions and air pollution on COVID-19 transmission: Evidence from 219 Chinese cities. **Science of the Total Environment**, v. 741, p. 140244, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140244>

ZHU, Y. et al. Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. **Science of the Total Environment**, v. 727, n. December 2019, p. 138704, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704>

CAPÍTULO 2

Implicações das medidas restritivas de isolamento social nas emissões de material particulado antes e durante a pandemia do Novo Coronavírus ²

Resumo

Durante a pandemia do novo coronavírus foram adotadas algumas restrições sociais para conter o avanço da doença. No Estado do Espírito Santo, os Decretos Estaduais começaram a entrar em vigor a partir do dia 13/03/2020, porém, as principais restrições foram aplicadas no dia 21/03/2020 através do Decreto Estadual nº 4605-R de 20/03/2020. Diante disso, o objetivo deste trabalho permeia em verificar as concentrações de material particulado inalável (MP₁₀) antes e durante o período que foi decretado o isolamento social, entre 04 de março a 04 de abril, para os anos de 2019 e 2020. No ponto de amostragem RAMQAr 4, localizado na cidade de Vitória, foi possível observar que a redução da concentração de MP₁₀ coincidiu com uma drástica redução do tráfego veicular, com queda de 23% dos níveis de MP₁₀ e menos 55% de circulação de veículos na principal via, indicando que a presença de material particulado atmosférico está diretamente associado com as emissões veiculares, principalmente os veículos de carga. Para o ponto de amostragem RAMQAr 6, localizado no bairro de Ibes, na cidade de Vila Velha, não houve diferença significativa da concentração das partículas inaláveis quando comparado ao mesmo período para os anos de 2019 e 2020, a justificativa mais plausível é que a estação de monitoramento se encontra no bairro predominantemente residencial e o principal fluxo são dos veículos menores. Esses resultados ressaltam a associação do tráfego de veículos com a poluição do ar e são relevantes para despertar tomadas de decisões de gestores municipais e regionais para dispor de estratégias de mitigação acerca deste tema.

Palavras-chave: Qualidade do ar. Novo Coronavírus. Emissão veicular. Restrições sociais.

Abstract

During the pandemic of the new coronavirus, some social restrictions were adopted to contain the progress of the disease. In the State of Espírito Santo, the State Decrees began to enter into force from 13/03/2020, however, the main restrictions were applied on 21/03/2020 through the State Decrees nº 4605-R on 20/03/2020. Therefore, the objective of this work is to verify the concentrations of inalable particulate matter (MP₁₀) before and during the period that was that social isolation was enacted, between March 4 to April 4, for the years 2019 and 2020. At the RAMQAr 4 sampling point, located in the city of Vitória, it was possible to observe that the reduction in PM₁₀ concentration coincided with a drastic reduction in vehicle traffic, with a 23% drop in PM₁₀ levels and 55% less vehicle traffic on the main road, indicating that the presence of atmospheric particulate matter is directly associated with vehicle emissions, especially cargo vehicles. For the RAMQAr 6, located in Ibes neighborhood in the city Vila Velha, sampling point, there was no significant difference in the concentration of inalable particles when compared to the same period for the years 2019 and 2020, the most plausible justification is that the monitoring station is in the predominantly residential neighborhood, and the main flow is from smaller vehicles. These results highlight the association of vehicle traffic with air pollution and are relevant to awaken decision-making of municipal and regional managers to have mitigation strategies on this topic.

Keywords: Air quality. New Coronavirus. Vehicular emission. Social restrictions.

1. Introdução

A pandemia do novo coronavírus (SARS-CoV-2) ou da Covid-19 teve seus primeiros registros de contaminação no final do ano de 2019, na cidade de Wuhan, na China. Logo após, as notificações de novos casos foram surgindo e aumentando em cada parte do mundo (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2020).

Na América Latina, o Brasil foi o primeiro país a confirmar casos de Covid-19, em 26 de fevereiro de 2020 foi identificada a presença do vírus em um viajante no Aeroporto Internacional de Guarulhos, localizado na região metropolitana de São Paulo (DA S. CANDIDO et al., 2020).

A principal característica do vírus é sua rápida transmissão. Diante dessa particularidade alguns protocolos foram surgindo para evitar a contaminação direta ou indireta, como a utilização de máscaras, evitar o contato com objetos e superfícies, a lavagem periódica das mãos, uso de álcool em gel, entre outros ((MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020).

Para conter ainda mais a propagação dos casos foram adotadas medidas de isolamento social, a quarentena e o lockdown, uma maneira de diminuir a circulação de pessoas por um período pré determinado e/ou limitando o funcionamento de setores considerados essenciais (farmácias, supermercados e hospitais), respectivamente.

Com as medidas restritivas adotadas e consequentemente menor circulação de veículos automotivos, foi possível perceber que alguns poluentes atmosféricos sofreram redução em suas concentrações, como apresentado em diversos estudos (BARBIERI et al., 2020; BERMAN; EBISU, 2020; DUTHEIL; BAKER; NAVEL, 2020; RODRÍGUEZ-URREGO; RODRÍGUEZ-URREGO, 2020; SHEHZAD; SARFRAZ; SHAH, 2020; SON et al., 2020).

Na Área Metropolitana de São Paulo durante o período da quarentena, a população percebeu de imediato a melhoria na qualidade do ar, sendo a mesma relacionada a menor circulação de veículos nas ruas e a consequente redução das emissões veiculares (KRECL et al., 2020).

Além dos poluentes, a qualidade do ar também pode ser influenciada pelas condições meteorológicas (velocidade do vento, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e temperatura), por isso é importante levar em consideração tais variáveis visto que os poluentes podem sofrer dispersão, remoção, deposição seca ou úmida (SARRA; MÜLFARTH, 2021) que será abordado nos estudos a seguir.

Rudke et al., (2020) estudaram os impactos das restrições da mobilidade na qualidade do ar no estado de São Paulo, e puderam concluir que para o material particulado (MP10) não houve diferença significativa na concentração do poluente em comparação com os anos de 2019 e 2020, representando apenas 8% de redução média; os autores também acreditam na força da dinâmica da atmosfera sob as concentrações dos poluentes, visto que num cenário provável de redução nas emissões não houve diferença significativa, possivelmente devido a estação chuvosa anormal (RUDKE et al., 2020).

Apesar do MP2,5 e MP10 serem influenciados pela precipitação foi possível observar que para o MP2,5 obteve-se uma redução média maior para 2020, o que corresponde a cerca de 15%; esta diminuição pode evidenciar a contribuição das emissões antrópicas, principalmente veicular e industrial (RUDKE et al., 2020).

A concentração de MP10 apresentou resultados diferentes nas análises realizadas durante o lockdown parcial em três bairros da cidade do Rio de Janeiro. Foram apresentados valores medianos iguais para o bairro de Irajá (2019-2020), 28,70% menor e 19,35% maior que em 2019 para Tijuca e Bangu, respectivamente; efeito das características locais e das atividades predominantes de cada bairro, na área residencial notou-se diminuição devido as emissões veiculares, já na área industrial foi registrado aumento (DANTAS et al., 2020).

No Estado do Espírito Santo o Decreto nº 4593-R, de 13/03/2020, determinou estado de emergência em saúde pública decorrente do surto de coronavírus (Covid-19), com isso algumas medidas foram adotadas, como o isolamento social, quarentena, entre outros. Posteriormente, o Decreto nº 4597-R, de 16/03/2020, suspendeu todos os tipos de atividades educacionais. Um dia após, em 17/03/2020 o Decreto nº 4599-R foi mais rígido e suspendeu quaisquer atividades que ocasionavam aglomeração de pessoas.

Os Decretos nº 4600-R e nº 4601-R, ambos de 18/03/2020, estabeleciam a suspensão de academias e funcionamento de estabelecimentos (shoppings), além de medidas preventivas de disseminação pelos órgãos e entidades. O Decreto nº 4604-R, de 19/03/2020, suspendeu o atendimento presencial ao público em agências bancárias, unidades de conservação, e ao Instituto Estadual de Proteção e Defesa do Consumidor - PROCON estadual.

Por fim, o Decreto nº 4605-R, de 20/03/2020, estabeleceu medidas mais rigorosas e suspendeu em todo o Estado do Espírito Santo, durante um período de 15 dias, o funcionamento de estabelecimentos comerciais, a partir da data de 21/03/2020.

O presente estudo se propõe a discutir sobre o impacto das restrições da pandemia da Covid-19 com a qualidade do ar no estado do Espírito Santo. Portanto, o principal objetivo deste trabalho é verificar as concentrações de material particulado inalável (MP10) antes e durante o período que foi decretado o isolamento social para os anos de 2019 e 2020.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

A área de estudo é a Região Metropolitana de Vitória – RMV, localizada no Espírito Santo, compreendendo especificamente a capital Vitória e o município de Vila Velha. A capital capixaba possui população em 2020 estimada em 365.855 pessoas e densidade demográfica de 3.338,30 hab/km², o PIB per capita foi avaliado no ano de 2018 em 73.632,55 reais. A frota soma 202.845 veículos, sendo em sua maioria 124.589 automóveis, seguido por motocicleta (23.615) e caminhonete (17.650) (IBGE, 2021).

A capital Vitória registra temperatura média de 25,6 °C no mês de março e 24,5 °C no mês de abril. Nos meses de março e abril as chuvas totalizam 130mm e 95mm, e os dados de umidade correspondem a 81% e 80%, respectivamente (CLIMATE-DATA, 2021).

A cidade de Vila Velha está localizada no litoral do estado do Espírito Santo e faz parte da RMV. Conta com população em 2020 estimada em 501.325 pessoas, densidade demográfica de 1.973,59 hab/km² e PIB per capita de 24.936,10 reais. A frota possui um total de 238.290 veículos, sendo 138.653 automóveis, 39.873 motocicletas e 16.604 caminhonetes (IBGE, 2021).

Vila Velha possui temperatura média no mês de março em torno de 26,6 °C e 24,5 °C para o mês de abril. Para os meses de março e abril os dados de precipitação somam 130mm e 95mm, e os dados de umidade correspondem a 81% e 80%, respectivamente (CLIMATE-DATA, 2021).

A principal ligação rodoviária entre as duas cidades é a Terceira Ponte, com intenso trânsito diário de veículos. De acordo com a concessionária da via, a Rodosol, passam pela ponte cerca de 88 mil veículos diariamente (MELLO, 2020).

2.2 Conjunto de dados

Os dados utilizados neste estudo são referentes as concentrações das partículas inaláveis (MP10) e foram obtidos através do banco de dados de monitoramento da qualidade do ar

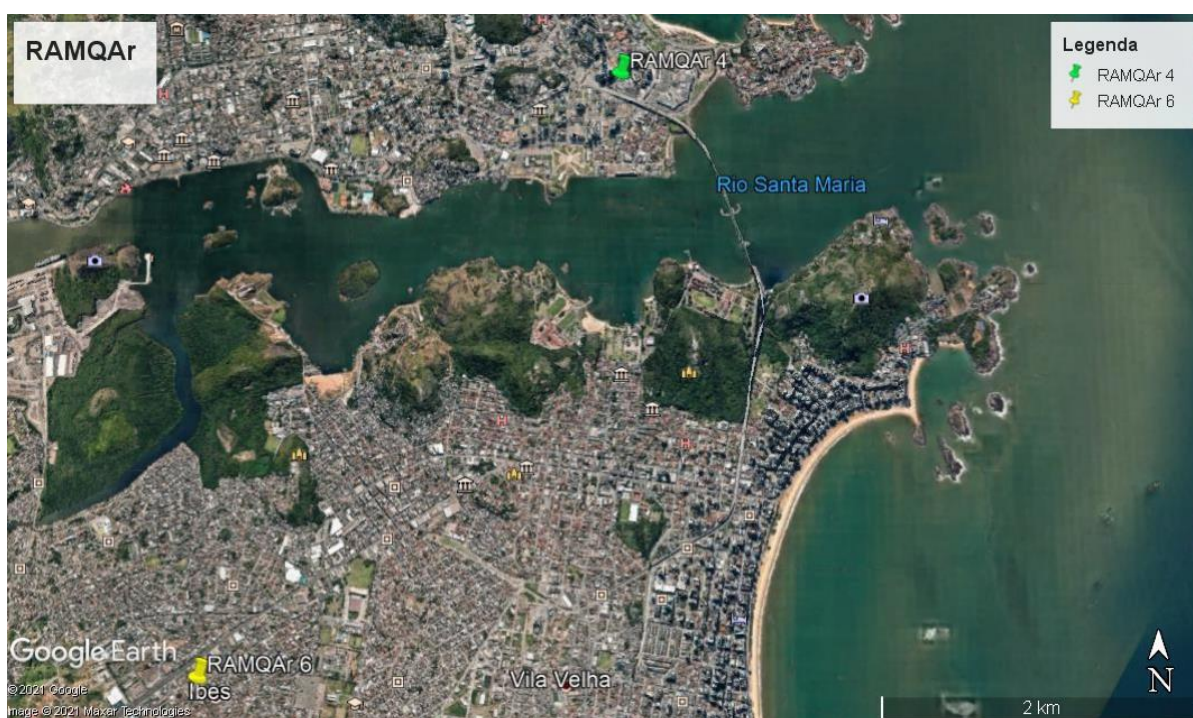
disponibilizado no site eletrônico do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA, do Governo do Estado do Espírito Santo (IEMA, 2021).

Atualmente, o IEMA conta com 9 Redes Automáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar – RAMQAR, sendo 4 na cidade de Vitória, 3 na cidade de Vila Velha, 2 na cidade de Serra e 1 na cidade de Cariacica.

As estações escolhidas para o estudo foram a RAMQAr 4 – Enseada do Suá, localizada na cidade de Vitória, no bairro Enseada do Suá, nas imediações da Terceira Ponte, que, como já descrito, é a principal via de ligação entre as cidades de Vitória e Vila Velha, com alto trânsito de veículos. A outra estação foi a RAMQAr 6 – IBES, localizada na cidade de Vila Velha, no bairro Ibes, considerado um bairro residencial. Estão apresentadas na Figura 1.

Para a seleção dessas estações foi analisado o banco de dados completo para os anos de 2019 e 2020 do MP10, considerando as concentrações horárias diárias.

Figura 1 – Vista aérea da localização das Redes Automáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar, RAMQAr-4, na cidade de Vitória e RAMQAr-6 na cidade de Vila Velha, ES



Fonte: Google Earth (2021)

Os dados referentes as variáveis meteorológicas foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. As variáveis em questão são: precipitação, pressão

atmosférica, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos.

Foram analisadas as concentrações de MP10 entre as datas 04/03 a 04/04 para os anos de 2019 e 2020. Durante este período existem cenários distintos, um ano que antecede qualquer ideia de pandemia e outro com medidas restritivas adotadas, respectivamente.

2.3 Tratamento de Dados

Os dados disponibilizados para as partículas inaláveis (MP10) são registrados pela respectiva RAMQAR de acordo com concentrações horárias diárias, diante disso calculou-se as médias diárias para 24 horas.

Os dados das variáveis meteorológicas compreendem médias diárias de precipitação, pressão atmosférica, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos.

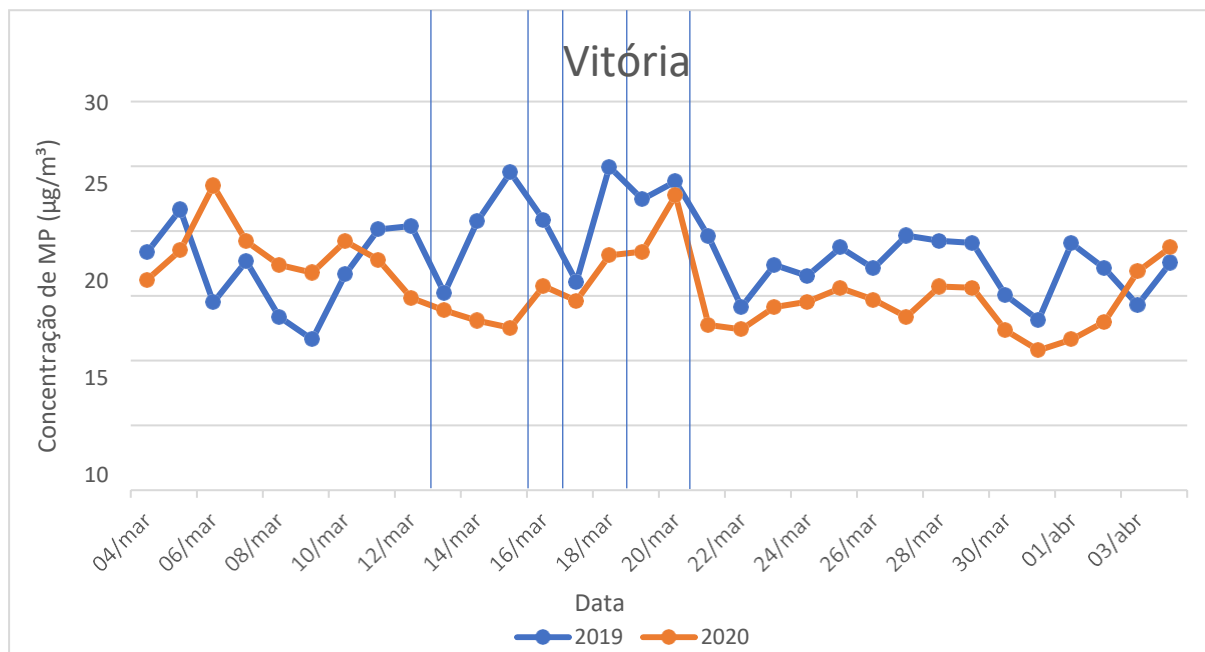
O tratamento de dados foi realizado considerando a estatística descritiva aplicada, que considera as médias aritméticas (medidas de posição), desvio padrão e intervalo de confiança (medidas de dispersão) (LOPES, 2003). Os resultados serão apresentados em forma de gráficos.

3. Resultados e Discussão

3.1 Concentração de MP10 antes e durante a Pandemia em Vitória

Os valores de concentração média diária de MP10 obtidos da rede RAMQAr-4, na cidade de Vitória para o período de 04 de março a 04 de abril dos anos 2019 e 2020 podem ser observados a seguir, na Figura 2.

Figura 2 – Médias diárias da concentração de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), na rede RAMQAr 4 – Enseada do Suá em Vitória (anos 2019 e 2020)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Os valores de concentração diária do MP_{10} entre 04/03 a 04/04 para o ano de 2019 variaram de $11,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $24,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ obtendo uma média de $18,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ com um intervalo de confiança de 95% de $16,9199 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $19,3723 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Já para as datas entre 04/03 a 04/04 de 2020, os valores de concentração diária do MP_{10} apresentaram valores entre $10,79$ e $23,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, atingindo uma média de $15,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ com um intervalo de confiança de 95% de $14,6610 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $16,8910 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Analisando o gráfico da Figura 2, é possível observar que, de uma forma geral houve diminuição da concentração de MP_{10} nas amostras de 2020 quando comparadas com as amostras de 2019 na cidade de Vitória. Durante o Decreto nº 4605-R, o qual estabeleceu medidas mais rigorosas entre os dias 21/03/2020 a 04/04/2020, pode-se notar que as concentrações permaneceram abaixo da média durante quase todo o período do decreto, exceto nos dois últimos dias. Logo no primeiro dia de vigência, houve redução de 54% na concentração de MP_{10} , deduzindo que a população aderiu ao isolamento social em decorrência do novo coronavírus. Em média a diminuição foi de 23,32%.

De acordo com a concessionária Rodosol, que administra a Rodovia 060-ES, conhecida como Rodovia do Sol, cujo quilometro Zero é o início da Terceira Ponte, o tráfego de veículos na ponte, diminuiu cerca de 55% na primeira semana do isolamento social, e à medida que as

semanas passavam, o movimento de veículos voltava a aumentar (MELLO, 2020).

Considerando que a RAMQAr 4 – Enseada do Suá está instalada na sede do Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo, e que esta fica muito próximo da Terceira Ponte, é possível concluir que a diminuição da circulação de veículos provocada pelo Decreto nº 4605-R/2020 ocasionou redução nas emissões veiculares e consequentemente na concentração de MP₁₀ atmosférico, nas amostras coletadas nessa rede.

Segundo a Resolução CONAMA nº 491/2018, as concentrações diárias de MP₁₀ não podem exceder os limites máximos permissíveis, a Resolução também conta com os padrões de qualidade do ar intermediários e final, os quais estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Limites de MP10 estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018

Material Particulado MP₁₀				
Período de	PI-1	PI-2	PI-3	PF
Referência	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)
24 horas	120	100	75	50

Fonte: Adaptado pelo Autor (2021)

De acordo com a referida Resolução, os padrões intermediários (PI-1, PI-2, PI-3) e final (PF) são aplicados pelos órgãos estaduais ou distrital a partir da conclusão dos Planos de Controle e Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar. Os padrões são adotados de forma subsequente, à medida que se faz necessário restringir cada vez mais os valores de concentração do poluente, tornando-o mais rigoroso (BRASIL, 2018).

No Estado do Espírito Santo desde o ano de 2013, o Decreto Estadual nº 3463-R estabelece padrões mais restritivos que a legislação nacional, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Limites estabelecidos pelo Decreto Estadual Nº 3463-R/2013

Material Particulado MP₁₀				
Período de	MI-1	MI-2	MI-3	PF
Referência	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)
24 horas	120	80	60	50

Fonte: Adaptado pelo Autor (2021)

Mesmo com medidas mais restritivas apresentadas nas metas intermediárias (MI) 2 e 3, ainda é o padrão MI-1 que está em vigor até os dias atuais (IEMA, 2021). Dessa forma, o valor de referência para MP₁₀ adotado neste estudo é o de 120 µg/m³.

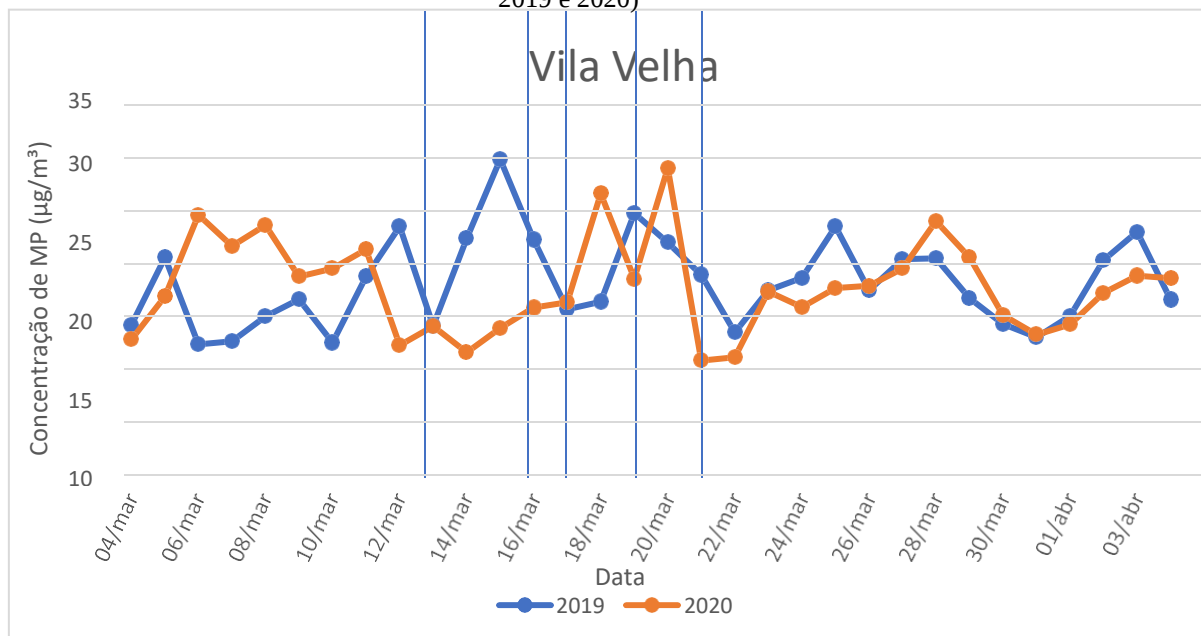
Diante do exposto, é possível constatar que na cidade de Vitória nenhuma concentração diária de MP₁₀ excedeu o limite máximo permissível disposto no Decreto Estadual nº 3463-R/2013 e na Resolução CONAMA nº 491/2018.

É pertinente comentar que as variáveis meteorológicas (umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação, velocidade dos ventos e temperatura) foram consideradas, mas não apresentaram correlação estatisticamente significativa.

3.2 Concentração de MP₁₀ antes e durante a pandemia em Vila Velha

Os valores de concentração média diária de MP₁₀ obtidos da rede RAMQAr-6, na cidade de Vila Velha para o período de 03 de março a 04 de abril dos anos 2019 e 2020 podem ser observados na Figura 3.

Figura 3 - Médias diárias da concentração de MP₁₀ (µg/m³), na rede RAMQAr 6 em Vila Velha (anos 2019 e 2020)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Em 2019, a concentração média de MP₁₀ foi de 17,82 µg/m³, variando de 12,00 µg/m³ a 29,39 µg/m³. O intervalo de confiança de 95% calculado para esses dados foi 16,2759 µg/m³ a 19,3747 µg/m³.

Para o ano de 2020, as concentrações de MP_{10} variaram de $10,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $28,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atingindo uma média de $17,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Também foi calculado o intervalo de confiança de 95% cujo resultado foi de $15,7635 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $19,0602 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Apesar dos valores mínimo e máximo da concentração média de MP_{10} , no ano de 2020 se mostrarem menores que os do ano de 2019, observando o gráfico da Figura 3, não é possível notar uma tendência a valores menores no período que sucedeu os decretos, inclusive ocorrendo, em alguns dias, valores maiores do que no ano anterior.

A rede RAMQAr-6 está instalada no 4º Batalhão da Polícia Militar, que fica em um dos bairros mais tradicionais da cidade, o bairro Ibes. Este bairro é predominantemente residencial, o que leva a crer que prevalece o tráfego de veículos menores, sendo pouco intenso o tráfego de veículos de carga, independentemente de haver medidas restritivas ou não. Portanto, essa é uma possível explicação para não ter ocorrido uma diminuição considerável de MP_{10} na região. O que confirma a hipótese que emissões veiculares, principalmente aquelas oriundas de veículos maiores, cujo combustível geralmente é o diesel, contribuem de forma significativa para a concentração de MP_{10} atmosférico.

Em ambos os anos, pode-se notar que a concentração máxima diária não ultrapassou os limites máximos permissíveis dispostos no Decreto Estadual nº 3463-R/2013 e na Resolução CONAMA nº 491/2018, citados anteriormente.

As variáveis meteorológicas (umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação, velocidade dos ventos e temperatura) foram consideradas, mas não apresentaram correlação estatisticamente significativa.

4. Conclusão

As restrições pandêmicas impostas pelo Decreto Estadual nº 4605-R/2020 estabeleceram indiretamente diferentes inferências para a concentração de MP_{10} nas duas estações de monitoramento da qualidade do ar.

Na cidade de Vitória, na região onde se encontra instalada a rede RAMQAr 4, durante a vigência do Decreto nº 4605-R/2020, o tráfego veicular foi reduzido drasticamente, com uma diminuição de 55% de veículos que transitam diariamente pela Terceira Ponte. Por consequência do mesmo Decreto, também houve redução de 23% de MP_{10} o que nos leva concluir que as concentrações de MP_{10} , naquela região, têm grande influência das emissões

veiculares, principalmente de veículos de carga que são abastecidos com diesel.

Já na cidade de Vila Velha, os dados obtidos na rede RAMQAr - 6, não mostraram diminuição significativa nas concentrações de MP_{10} durante o período em que os decretos estiveram vigentes. Embora não se tenha estimativas de tráfego de veículos para o bairro Ibes durante o período dos decretos, pode-se concluir que, o fato de ser uma região mais residencial e não haver trânsito de veículos pesados, a concentração diária de MP_{10} na região, foi pouco afetada pelas medidas de restrição.

Dessa forma, foi possível concluir neste estudo que antes e durante as restrições pandêmicas, nos anos de 2019 e 2020, respectivamente, as concentrações de MP_{10} foram menores na rede RAMQAr - 4, localizada em Vitória, e não apresentaram grande variação na rede RAMQAr - 6, situada em Vila Velha.

Também é preciso destacar que neste estudo as variáveis meteorológicas (umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação, velocidade dos ventos e temperatura) não apresentaram correlação estatisticamente significativa com as concentrações de MP_{10} , não tendo influência na variação dessas concentrações nas duas redes de monitoramento estudadas. Isso indica, mais uma vez, que a concentração do material particulado, principalmente em regiões de grande tráfego de veículos pesados, geralmente abastecidos com diesel, está fortemente relacionada com a emissão veicular.

Esses argumentos servem de subsídios para que sejam investidas tecnologias limpas e desenvolvidas novas políticas ambientais concentradas no transporte em geral, envolvendo redução da emissão veicular e incentivo em fontes de energia mais limpa, como os biocombustíveis.

Referências

BARBIERI, D. M. et al. Survey data regarding perceived air quality in Australia, Brazil, China, Ghana, India, Iran, Italy, Norway, South Africa, United States before and during Covid-19 restrictions. **Data in Brief**, v. 32, p. 106169, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106169>

BERMAN, J.D.; EBISU, K. Changes in U.S. air pollution during the COVID-19 pandemic. **Science of The Total Environment**, v. 739, p. 139864, 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 491/2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Ministério do Meio Ambiente. Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso: 03/08/2021.

CLIMATE-DATA.ORG. Clima: Vila Velha. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/espírito-santo/vila-velha-3163/>>. Acesso em: 10/07/2021.

CLIMATE-DATA.ORG. Clima: Vitória. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/espírito-santo/vitoria-2181/>>. Acesso em: 10/07/2021.

DA S. CANDIDO, D. et al. Routes for COVID-19 importation in Brazil. **Journal of Travel Medicine**, v. 27, n. 3, p. 1–3, 2020.

DANTAS, G. et al. The impact of COVID-19 partial lockdown on the air quality of the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Sci Total Environ.**, v. 729, p. 139085, 2020.

DUTHEIL, F.; BAKER, J. S.; NAVEL, V. COVID-19 as a factor influencing air pollution? **Environmental Pollution**, v. 263, p. 2019–2021, 2020.

ESPÍRITO SANTO. **Decreto Nº 4597-R, de 16 de março de 2020**. Dispõe sobre as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública decorrente do coronavírus (COVID-19) na área da educação, e dá outras providências. Diário Oficial do Espírito Santo, 17 de mar, 2020. Disponível em: <<https://servidor.es.gov.br/covid19>>. Acesso em: 14/07/2021.

ESPÍRITO SANTO. **Decreto Nº 4599-R, de 17 de março de 2020**. Dispõe sobre as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública decorrente do coronavírus (COVID-19) em diferentes áreas, e dá outras providências. Diário Oficial do Espírito Santo, 18 de mar, 2020. Disponível em: <<https://servidor.es.gov.br/covid19>>. Acesso em: 14/07/2021.

ESPÍRITO SANTO. **Decreto Nº 4600-R, de 18 de março de 2020**. Dispõe sobre medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública decorrente do coronavírus (COVID-19), e dá outras providências. Diário Oficial do Espírito Santo, 19 de mar, 2020. Disponível em: <<https://servidor.es.gov.br/covid19>>. Acesso em: 14/07/2021.

ESPÍRITO SANTO. **Decreto Nº 4601-R, de 18 de março de 2020**. Dispõe sobre as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública decorrente do coronavírus (COVID-19) de prevenção e de redução de circulação e aglomeração de pessoas nos órgãos e entidades do Poder Executivo Estadual e dá outras providências. Diário Oficial do Espírito Santo, 19 de mar, 2020. Disponível em: <https://servidor.es.gov.br/covid19>. Acesso em: 14/07/2021.

ESPÍRITO SANTO. **Decreto Nº 4604-R, de 19 de março de 2020.** Dispõe sobre medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública decorrente do novo coronavírus (COVID-19), e dá outras providências. Diário Oficial do Espírito Santo, 20 de mar, 2020. Disponível em: <https://servidor.es.gov.br/covid19>. Acesso em: 14/07/2021.

ESPÍRITO SANTO. **Decreto Nº 4605-R, de 20 de março de 2020.** Dispõe sobre medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública decorrente do novo coronavírus (COVID-19), e dá outras providências. Diário Oficial do Espírito Santo, 20 de mar, 2020. Edição Extra. Disponível em: <https://servidor.es.gov.br/covid19>. Acesso em: 14/07/2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE – Cidades@.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/vila-velha/panorama>. Acesso em: 10/07/2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE – Cidades@.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/vitoria/panorama>. Acesso em: 10/07/2021.

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Qualidade do Ar.** 2021. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/qualidadedoar>. Acesso em: 05/08/2021.

KRECL, P. et al. Drop in urban air pollution from COVID-19 pandemic: Policy implications for the megacity of São Paulo. **Environmental Pollution**, v. 265, p. 114883, 2020.

LOPES, L. F. D. **Apostila Estatística.** Departamento de Estatística, UFSM. 2003. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/>. Acesso em: 20/08/2021.

MELLO, M. **Terceira Ponte tem aumento no trânsito de veículos após primeiro mês de isolamento, no ES.** G1, Tv Gazeta. 18/04/2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/es/espírito-santo/noticia/2020/04/18/terceira-ponte-tem-aumento-no-transito-de-veiculos-apos-primeiro-mes-de-isolamento-no-es.ghtml>. Acesso em: 11/03/2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. CORONAVÍRUS (COVID-19) Perguntas e Respostas. Disponível em: <https://coronavirus.saude.gov.br/index.php/perguntas-e-respostas>. Acesso: 06/07/2021.

RODRÍGUEZ-URREGO, D.; RODRÍGUEZ-URREGO, L. Air quality during the COVID-19: PM2.5 analysis in the 50 most polluted capital cities in the world. **Environmental Pollution**, v. 266, p. 115042, 2020. ISSN 0269-7491. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115042>

RUDKE, A. P. et al. How mobility restrictions policy and atmospheric conditions impacted air quality in the State of São Paulo during the COVID-19 outbreak. **Environmental Research**, v. 198, n. March, p. 111255, 2021.

SARRA, S. R.; MÜLFARTH, R. C. K. Os impactos da Epidemia do novo Coronavírus sobre os níveis de poluentes no município de São Paulo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.4, p. 40415- 40438, apr, 2021. DOI:10.34117/bjdv7n4-482

SHEHZAD, K.; SARFRAZ, M.; SHAH, S. G. M. The impact of COVID-19 as a necessary evil on air pollution in India during the lockdown. **Environmental Pollution**, v. 266, p. 115080, 2020.

SON, J.Y.; FONG, K.C.; HEO, S.; KIM, H.; LIM, C.C.; BELL, M.L. Reductions in mortality resulting from

reduced air pollution levels due to COVID-19 mitigation measures. **Science of The Total Environment**, v. 744, p. 141012, 2020.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19). **Información básica sobre la COVID-19**. 2020. Disponível em: <https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19>>. Acesso em: 06/07/2021.

CAPÍTULO 3

Diagnóstico ambiental do material particulado no município de João Pessoa – PB/Brasil³

Resumo

Este trabalho visa monitorar o material particulado atmosférico em duas avenidas que possuem características ambientais distintas na cidade de João Pessoa. Para a coleta foi utilizado o equipamento *MicroVol*, da marca Ecotech, modelo 1100 e os filtros de fibra de vidro da marca Whatman. As amostragens foram realizadas em dois pontos utilizando dois métodos diferentes para cada ponto, sendo o primeiro método a amostragem com apenas um filtro durante 10 horas e ao longo de três dias, e o segundo método trocava-se o filtro a cada 3 horas, resultando em 12 horas consecutivas, também por três dias em cada ponto. O tratamento de dados envolveu a análise estatística através da correlação de Pearson e o *software* WRPLOT. Para o primeiro método de coleta, foi possível concluir que no Ponto 1 a concentração de MP₁₀ sofre influência do tráfego de veículos e da direção do vento e, quanto mais a Leste o vento sopra maior é a concentração de particulado, além disso para esta posição de vento a concentração de MP₁₀ violou os limites da Resolução CONAMA nº 491/2018. Para o Ponto 2, a concentração esteve de acordo com a Resolução citada. No segundo método, constatou-se que no Ponto 1 as partículas ficam retidas na atmosfera e acumulam-se ao longo do dia, já para o Ponto 2 não houve inferências.

Palavras chave: Material particulado. Tráfego de veículos. Qualidade do ar.

Abstract

This work aims to monitor atmospheric particulate matter on avenues with distinct environmental characteristics the city João Pessoa. For the collection will be used the equipment *MicroVol*, Ecotech brand, 1100 model, and Whatman fiberglass filters. The samplings were carried out at two points using two different methods for each point, being the first method to be sampled with only one filter for 10 hours and over three days, and the second method was changed every 3 hours, resulting in 12 consecutive hours, also for three days at each point. Data processing involved statistical analysis through Pearson correlation and WRPLOT software. For the first collection method, it was possible to conclude that in Point 1 the PM₁₀ concentration is influenced by vehicle traffic and wind direction and, the further east the wind blows the higher the particulate concentration, furthermore for this wind position the concentration of PM₁₀ violated the limits of the Resolution CONAMA N 491/2018. For Point 2, the concentration was in accordance with the Resolution cited. In the second method of collection, it was found that in Point 1 the particles are retained in the atmosphere and accumulate of throughout the day. For Point 2 there were no inferences.

Keywords: Particulate matter. Vehicle traffic. Air quality.

1. Introdução

A medida da poluição envolve concentração de determinados contaminantes, dentre eles, o material particulado. Este tipo de poluição permeia por uma série de questões contemporâneas, que incluem a saúde humana, os ecossistemas, o patrimônio nacional e também o próprio clima regional (MONKS et al., 2009).

A variação da qualidade do ar e da temperatura possibilita a formação de ilhas de calor, fenômeno que altera o microclima da região devido a parâmetros físicos ambientais, impermeabilização do solo, materiais que absorvem calor, falta de cobertura vegetal, além da pouca ventilação entre edifícios (GATTO PEREIRA; NUNES FORTES; MARTINS, 2015).

Um importante indicador de poluição atmosférica nas áreas urbanas é o fluxo de veículos na malha viária, uma vez que as emissões de poluentes nas cidades são atribuídas principalmente as fontes móveis. As emissões veiculares variam conforme alguns parâmetros como a quilometragem percorrida, idade e modelo do veículo, padrões de condução e manutenção; é interessante destacar que de acordo com o uso do veículo, a eficiência do motor tende a ser reduzida causando taxas de emissão mais elevadas (HABERMANN et al., 2011, SILVA et al., 2015).

Ji et al. (2018) caracterizaram e identificaram fontes de material particulado na área urbana de Beijing, e concluíram que as maiores concentrações se deram a um efeito combinado de tráfego intenso de veículos, condições meteorológicas desfavoráveis e aquecimento residencial.

As concentrações de MP_{10} podem variar conforme as condições meteorológicas do período de amostragem. Segundo Silva (2016) os principais parâmetros que influenciam no resultado de MP_{10} são a temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar.

Segundo Gatto Pereira et al., (2015) em seus estudos na área intraurbana do Rio de Janeiro foram obtidas concentrações de MP_{10} com valores variando abaixo e acima da concentração máxima permitida para MP_{10} , representando a dependência do material particulado aos efeitos localizados ocasionando na dispersão, formação, deposição e intensidade das concentrações.

Faria et al., (2018) analisaram as concentrações de material particulado no município de Campo dos Goytacazes e concluíram que o teor de particulado está em conformidade com os padrões preestabelecidos pelas normatizações vigentes, além disso, observaram que os dados climatológicos se relacionam de forma concreta com os índices de MP.

É importante destacar que as condições meteorológicas também influenciam na concentração do material particulado, visto que as variáveis meteorológicas como chuvas, estagnação do ar, precipitação, direção e velocidade dos ventos podem atuar de diferentes formas, na dispersão e transporte de poluentes ou até mesmo no aumento da concentração de

MP (FREITAS; SOLCI, 2009).

Independente da classificação do particulado, os níveis e variações das concentrações dos componentes passam por diversas transformações físicas e químicas e estão submetidos à acumulação ou transporte, remoção na atmosfera, ao efeito combinado da meteorologia (velocidade do vento, umidade, radiação), processamento de nuvens, entre outros (BARRERO et al., 2015, ZHANG et al., 2015).

A meteorologia local e a fonte de emissão comum podem ser atribuídas as semelhanças nas concentrações de determinada espécie química, mas essas concentrações também podem sofrer modificações devido a variação temporal causada por mudança na intensidade e direção dos ventos, tamanho de partícula, frequência de precipitação, fonte emissora (BOUROTTE et al., 2011).

Os índices pluviométricos possuem relação inversamente proporcional com a quantidade de particulados suspensos na atmosfera, ou seja, quanto menor são os índices de precipitação na região, maiores são os teores de material particulado, visto que o assentamento de partículas no solo é causado em decorrência das chuvas, havendo interferência do fator climático (FARIA; BARBOSA; RIBEIRO, 2018).

Muitos componentes apresentam fortes padrões sazonais, alguns mais concentrados no inverno, outros no verão, e outros sem padrões sazonais distintos, indicando o grau de variabilidade espacial e temporal por componente (BELL et al., 2007).

Diante disso, o objetivo geral deste estudo permeia no monitoramento do material particulado em duas avenidas do município de João Pessoa que possuem características distintas, tanto em relação ao fluxo de veículos como aos aspectos locais.

O trabalho é guiado pelas hipóteses de que a concentração de material particulado na avenida Tancredo Neves está acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018 e que a maior concentração de MP é apontada no início e no fim do dia.

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo e pontos amostradores

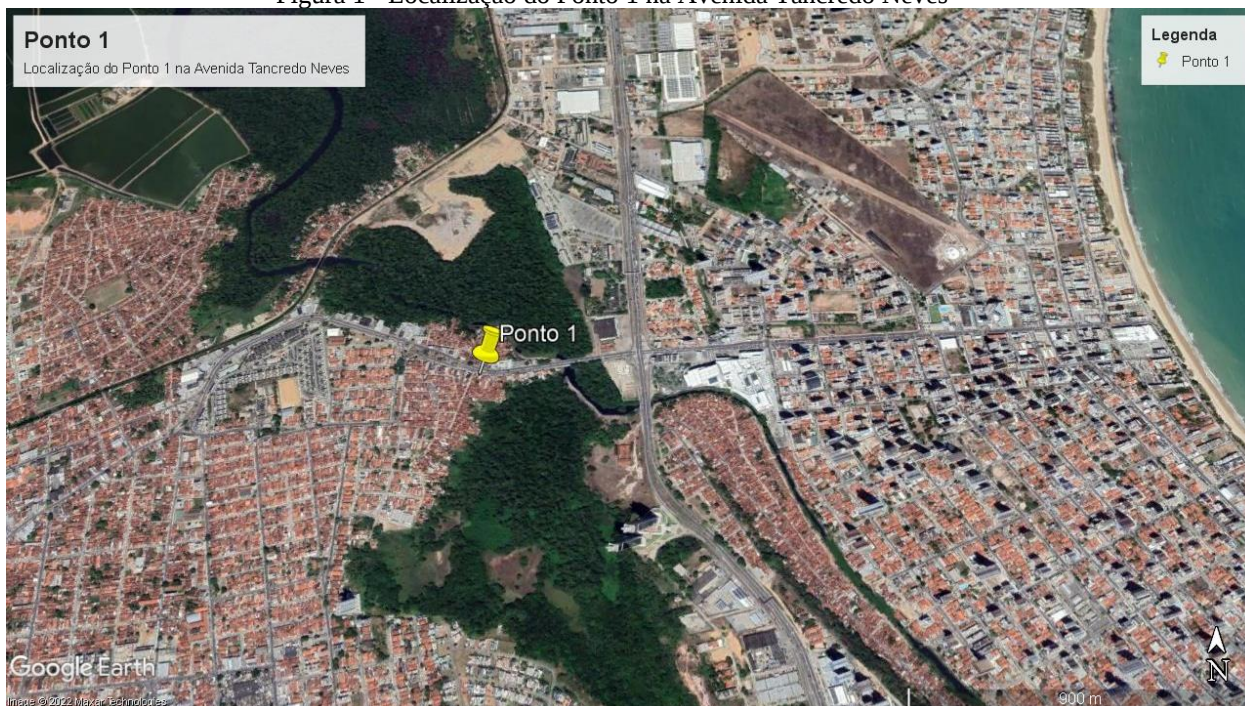
João Pessoa é a capital do estado da Paraíba, possui clima tropical úmido e umidade relativamente alta e seu índice pluviométrico concentra-se entre os meses de abril e julho. Segundo o IBGE (2021) a população estimada no ano de 2020 contava com 817.511 pessoas,

com frota de 387.392 veículos no ano de 2018.

As avenidas selecionadas estão localizadas em áreas com características ambientais distintas, na cidade de João Pessoa. O objetivo é que os pontos escolhidos sofram influência do fluxo veicular, além da interferência de outros tipos de fontes artificial e/ou natural.

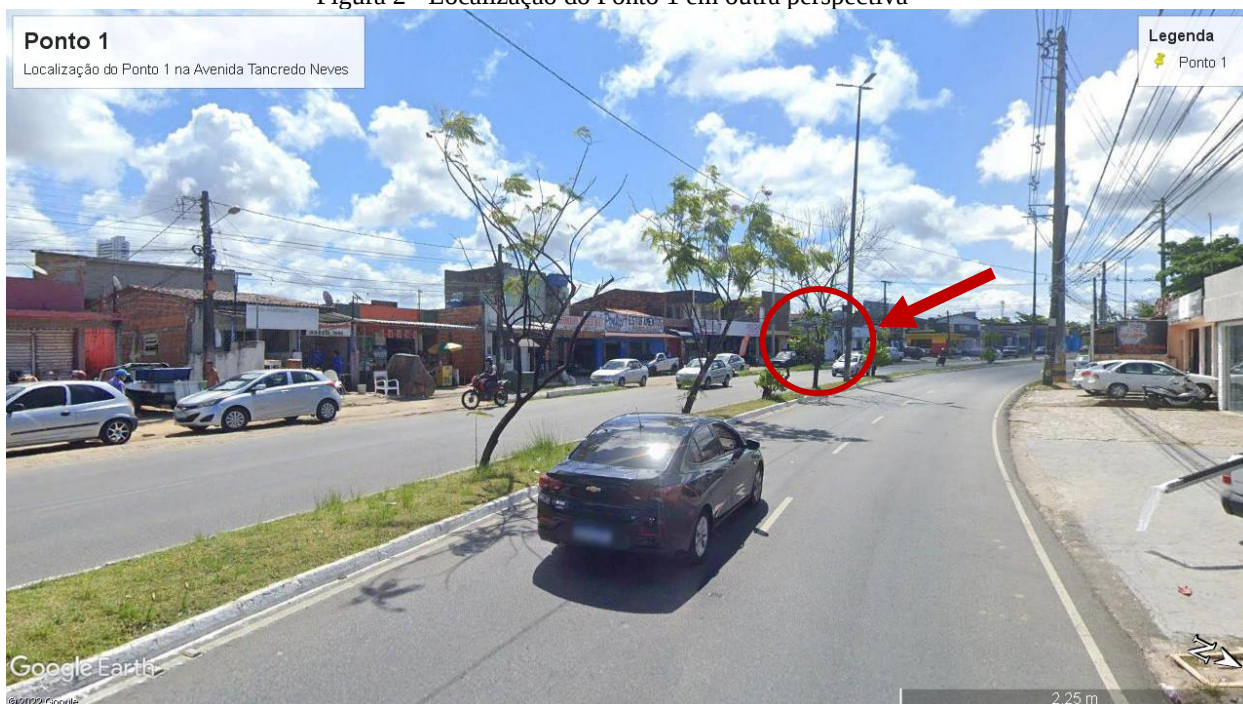
O primeiro ponto amostrador (P1) está localizado na Avenida Tancredo Neves no bairro dos Ipês (Figuras 1 e 2), esta é uma das principais avenidas da cidade de João Pessoa por interligar os bairros da praia com outras regiões, entre elas, o centro da cidade; para este ponto foi considerado como fator preponderante a intensa movimentação de veículos, motos, ônibus e caminhões (fontes artificiais). Neste ponto possui muitas áreas construídas o que pode interferir na incidência dos ventos, temperatura e umidade.

Figura 1 - Localização do Ponto 1 na Avenida Tancredo Neves



Fonte: Google Earth (2022)

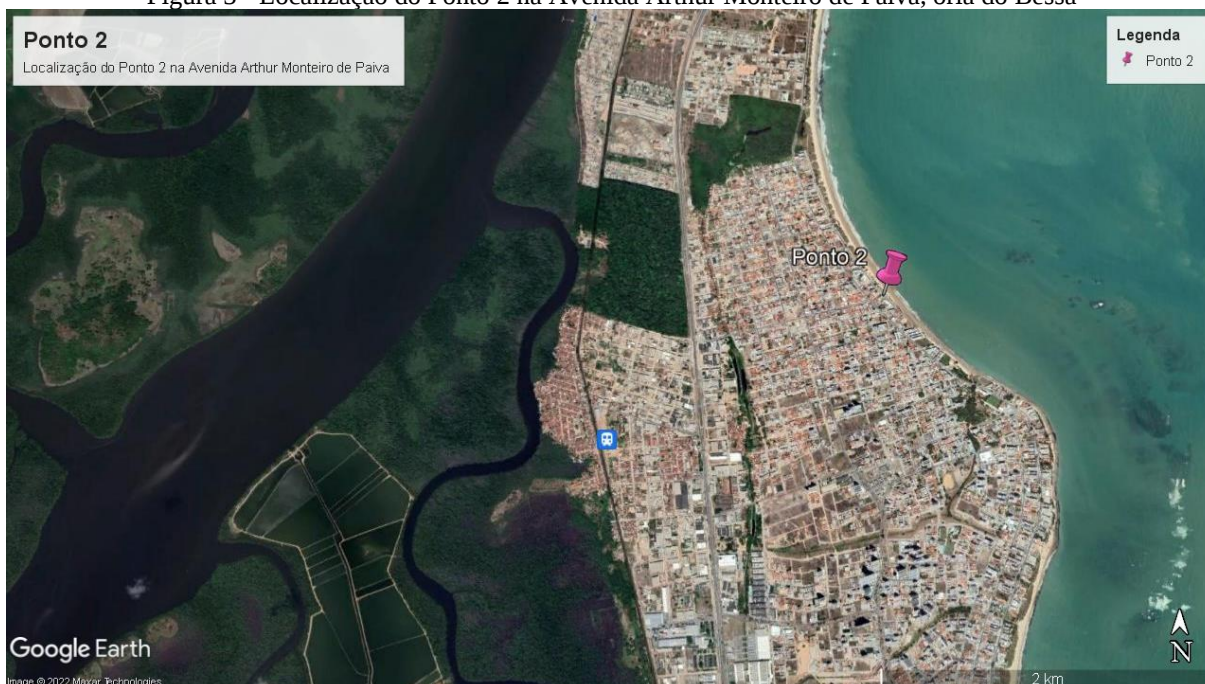
Figura 2 - Localização do Ponto 1 em outra perspectiva



Fonte: Google Earth (2022)

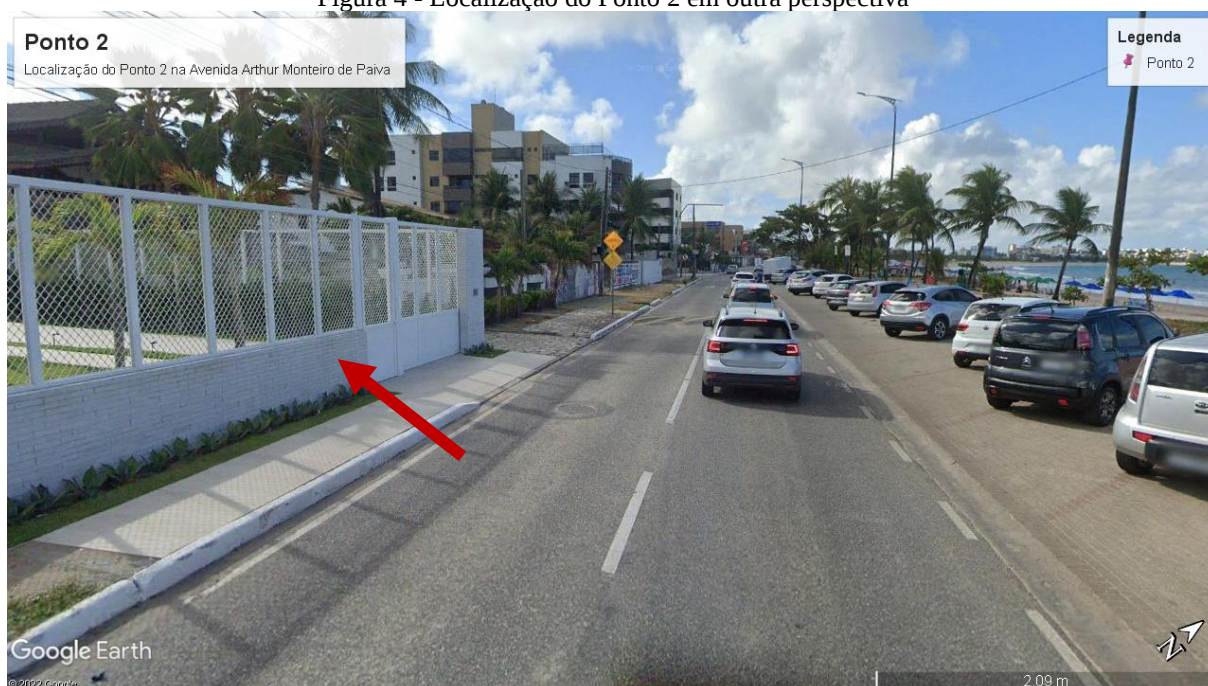
O segundo ponto amostrador (P2) está localizado na orla da praia do Bessa, na Avenida Arthur Monteiro de Paiva (Figuras 3 e 4); esse local foi escolhido por possuir uma considerável circulação de veículos, motos, ônibus (fontes artificiais), pela proximidade com a praia e incidência do spray marinho, vegetação e areia da praia (fontes naturais), além de que as partículas podem ser influenciadas pela grande incidência dos ventos.

Figura 3 - Localização do Ponto 2 na Avenida Arthur Monteiro de Paiva, orla do Bessa



Fonte: Google Earth, 2022

Figura 4 - Localização do Ponto 2 em outra perspectiva



Fonte: Google Earth, 2022

2.2 Amostrador (*MicroVol*)

Foi utilizado o equipamento *MicroVol*, da marca Ecotech, modelo 1100, amostrador de partículas que serve para monitorar a qualidade do ar interna e externa. O controle de fluxo volumétrico do equipamento permite manter uma taxa constante de 3 L/min, garantindo a correta medição das partículas.

Durante o funcionamento, o *MicroVol* aspira de forma contínua a vazão de ar durante o período pré-determinado, resultando no volume de ar amostral. O filtro fica inserido no exterior do equipamento, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Compartimento onde o filtro fica retido



Fonte: Autor, 2022

O *MicroVol* permite armazenar até aproximadamente 150 linhas de dados do volume amostrado e dos dados meteorológicos. O registrador (*Logger*) foi programado para auferir informações a cada 60 minutos, além disso, a cada término de coleta foi realizado o *download* dos dados através do *software Airodis* e, em seguida, foi feita a limpeza dos dados e programado para a coleta seguinte.

Durante a coleta de material particulado foram monitorados pelo *MicroVol* os seguintes parâmetros meteorológicos: pressão atmosférica (mmHg), temperatura (°C) e volume de ar amostrado (m³). Os dados meteorológicos: umidade (%), direção (°) e velocidade dos ventos (m/s) foram obtidos através do Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

2.3 Amostragem

Os dois pontos escolhidos para a realização das amostragens estão situados na Avenida Tancredo Neves e na Avenida Arthur Monteiro de Paiva, nomeados Ponto 1 e Ponto 2, respectivamente.

No Ponto 1, o *MicroVol* ficou na calçada de uma oficina mecânica, localizada pelas coordenadas 07°05'56" S (latitude) e 34°51'08" O (longitude), o equipamento ficou a uma altura de 1,50m do solo (Figura 6).

Figura 6 – *MicroVol* em operação no Ponto 1

Fonte: Autor, 2022

Já no Ponto 2, o equipamento ficou instalado no jardim de uma residência, localizada nas coordenadas 07°04'00" S (latitude) e 34°50'20" O (longitude), o *MicroVol* ficou a 1,50m de altura em relação ao solo (Figura 7).

Figura 7 - *MicroVol* em operação no Ponto 2

Fonte: Autor, 2022

Foram realizadas amostragens de MP₁₀ em ambos os pontos seguindo dois métodos; o primeiro método consiste em deixar o filtro continuamente por um período de 10 horas, especificamente de 7 horas da manhã até às 17 horas, o segundo método consiste na troca de filtros de 3 em 3 horas durante um período de 12 horas, iniciando às 06h10min da manhã e

finalizando às 18h16min.

Cada método foi realizado ao longo de três dias da semana (segunda, terça e quarta-feira), sendo 6 dias em cada ponto e 12 dias em sua totalidade. Para cada ponto foram coletados 15 filtros, sendo 3 filtros do primeiro método e 12 filtros provenientes do segundo, somando 30 filtros em ambos os pontos.

As coletas de MP₁₀ no Ponto 1 que tiveram apenas um único filtro por dia, ocorreram nos dias 13/12/2021 (segunda-feira), 14/12/2021 (terça-feira) e 15/12/2021 (quarta-feira). Já para os filtros com troca de 3 em 3 horas, as coletas foram nos dias 20/12/2021 (segunda-feira), 21/12/2021 (terça-feira) e 22/12/2022 (quarta-feira).

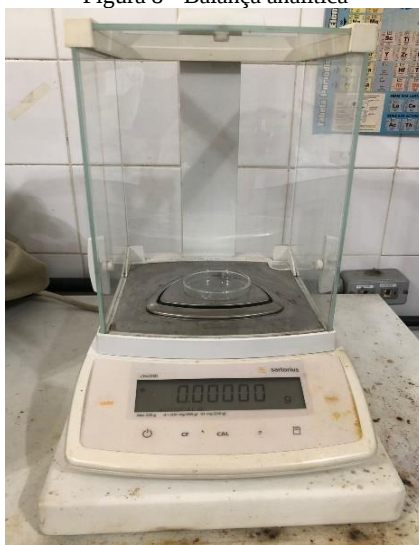
Para o Ponto 2 as coletas com apenas um filtro por dia, aconteceram nos dias 17/01/2022 (segunda-feira), 25/01/2022 (terça-feira) e 26/01/2022 (quarta-feira). Para os filtros que precisavam ser trocados a cada 3 horas, as coletas aconteceram nos dias 31/01/2022 (segunda-feira), 01/02/2022 (terça-feira) e 02/02/2022 (quarta-feira).

Para a realização da amostragem foi utilizado o filtro de fibra de vidro do tipo TE-7592-104, fabricados pela Whatman. A preparação dos filtros ocorreu no LEQA – Laboratório de Estudos em Química Ambiental, no qual os filtros ficaram previamente acondicionados por 24 horas antes das coletas em um dessecador com sílica em gel para retirar qualquer umidade presente e melhorar a aderência e vedação dos filtros. Após as amostragens eles retornaram para o dessecador por mais 24 horas para desumidificar.

2.4 Gravimetria

A determinação da concentração de massa do particulado foi realizada pela análise gravimétrica, onde os filtros de fibra de vidro foram devidamente pesados em uma balança analítica com precisão de 0,01mg, marca Sartorius, modelo CPA225D (Figura 8).

Figura 8 - Balança analítica



Fonte: Autor, 2022

Antes das pesagens dos filtros esperava-se a autocalibração da balança e era observado se a mesma estava marcando zero. Os filtros eram manejados com pinças para o prato da balança, sem nenhum tipo de contato manual e, após isso, esperava-se a estabilização do marcador digital para ser anotado o valor da massa na identificação do filtro.

Para a determinação da concentração de material particulado em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) será utilizada e aplicada a Equação 1:

$$MP \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \frac{m2 - m1}{Va} \quad \text{Eq. 1}$$

MP = concentração de Material Particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

m1 = massa do filtro antes da amostragem (μg);

m2 = massa do filtro após amostragem (μg);

Va = volume de ar amostrado (m^3).

Também foi utilizado o *software* WRPLOT para interpretação da direção dos ventos e sua relação com a concentração de material particulado.

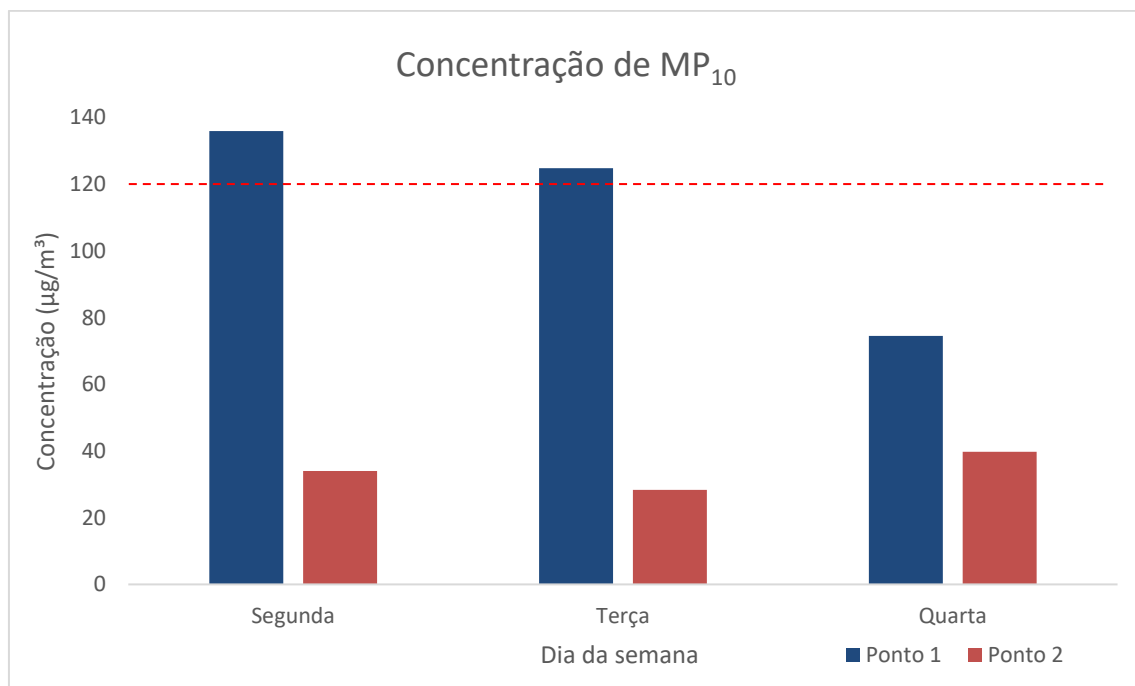
3. Resultados e Discussão

3.1 Método 1 de amostragem

A seguir, estão dispostos os dados referentes a concentração do material particulado nas

Avenidas Tancredo Neves (Ponto 1) e Arthur Monteiro de Paiva (Ponto 2), apresentando o método das coletas com apenas um filtro por dia, iniciando às 7 horas da manhã e finalizando às 17 horas, como mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Valores de concentração de MP₁₀ nos Pontos 1 e 2



Fonte: Autor, 2022

Para o Ponto 1 foi possível observar uma concentração significativa de material particulado. Na segunda-feira (13/12/2021) a concentração de MP₁₀ obteve um valor de 135,97 µg/m³, no dia seguinte (14/12/2021) a concentração de MP₁₀ ficou registrada em torno de 124,81 µg/m³, e na quarta-feira (15/12/2021) foi contabilizada uma concentração de 74,54 µg/m³.

No Ponto 2, em todos os dias de monitoramento a concentração de MP₁₀ ficou abaixo de 40 µg/m³, no primeiro dia útil da semana (17/01/2022) foi registrado um valor de 34 µg/m³, na terça-feira (25/01/2022) foi contabilizado o menor número, em torno de 28,36 µg/m³ e na quarta-feira (26/01/2022) a concentração de MP₁₀ foi de 39,73 µg/m³.

A Resolução CONAMA n° 491/2018 define os padrões de qualidade do ar e estabelece a concentração máxima permissível de MP₁₀ em torno de 120 µg/m³ para o período de referência de 24 horas, é imprescindível destacar que o método utilizado no presente estudo não foi o oficial e este limite é mencionado apenas como indicação.

Tendo este valor como referência, foi inferido que a concentração de MP₁₀ no Ponto 1 ultrapassou o limite máximo permissível em dois dos três dias de monitoramento. As elevadas

concentrações medidas podem estar diretamente associadas à intensa circulação de veículos automotivos durante o período de amostragem.

Para o Ponto 2, em todos os dias de coleta os níveis de material particulado ficaram bem abaixo do limiar determinado pela Resolução CONAMA n° 491/2018, esse comportamento é elucidado expressivamente pela pureza do ar, condicionado pela brisa marítima que faz o vento sopra do mar para o continente.

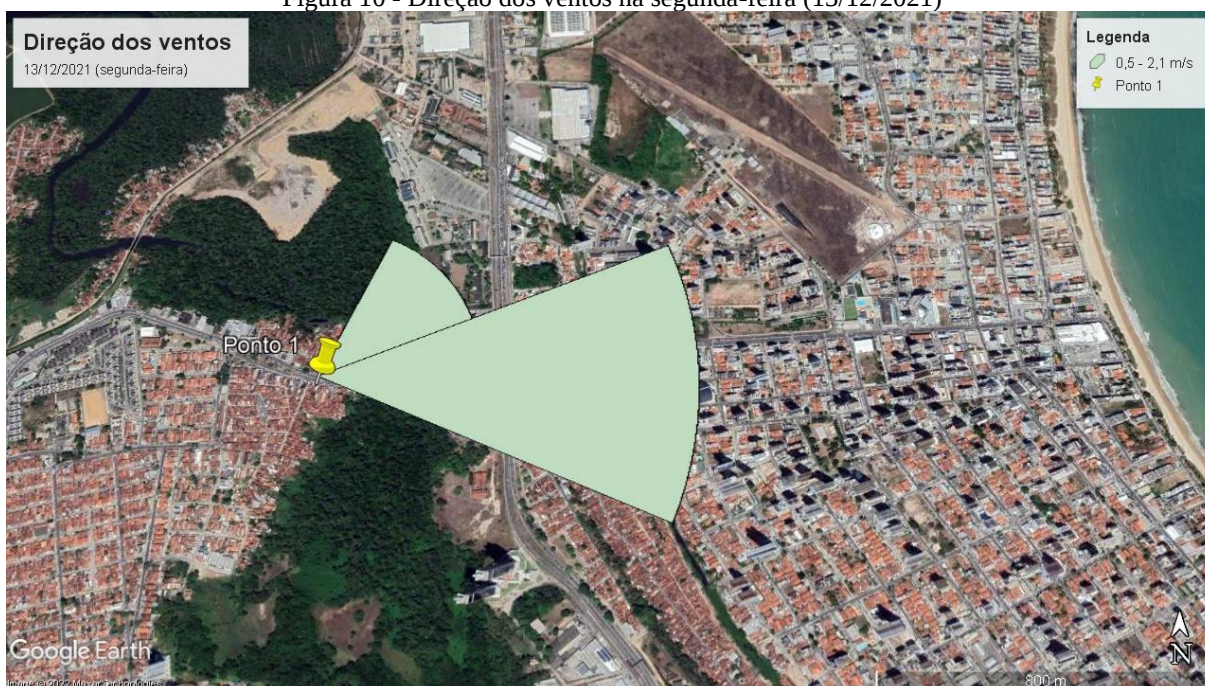
A respeito do Ponto 1, os resultados estão de acordo com o que foi observado durante os dias de coleta, pois percebeu-se que na segunda e terça-feira haviam uma quantidade maior de veículos quando comparado com a quarta-feira. Além disso, a influência dos ventos é apontada como uma forte candidata na quantidade de MP_{10} presente na atmosfera.

Em determinadas localidades os ventos podem influenciar e alterar a concentração de MP_{10} (FREITAS; SOLCI, 2009, GATTO PEREIRA; FORTES; MARTINS, 2015, MOURA et al., 2020). Dependendo da velocidade do vento as partículas podem sofrer ressuspensão, e assim diminuir ou aumentar os níveis do poluente em questão, de outra forma, as partículas também podem ser influenciadas pela direção do vento, permanecendo retidas ou sendo carregadas para outras direções (FALLAHSHORSHANI et al., 2012; SILVA et al., 2018).

Sendo assim, foi observado que durante o período de amostragem a velocidade do vento não apresentou grande variação para o Ponto 1, permanecendo com média de 1,54 m/s e desvio padrão de 0,17.

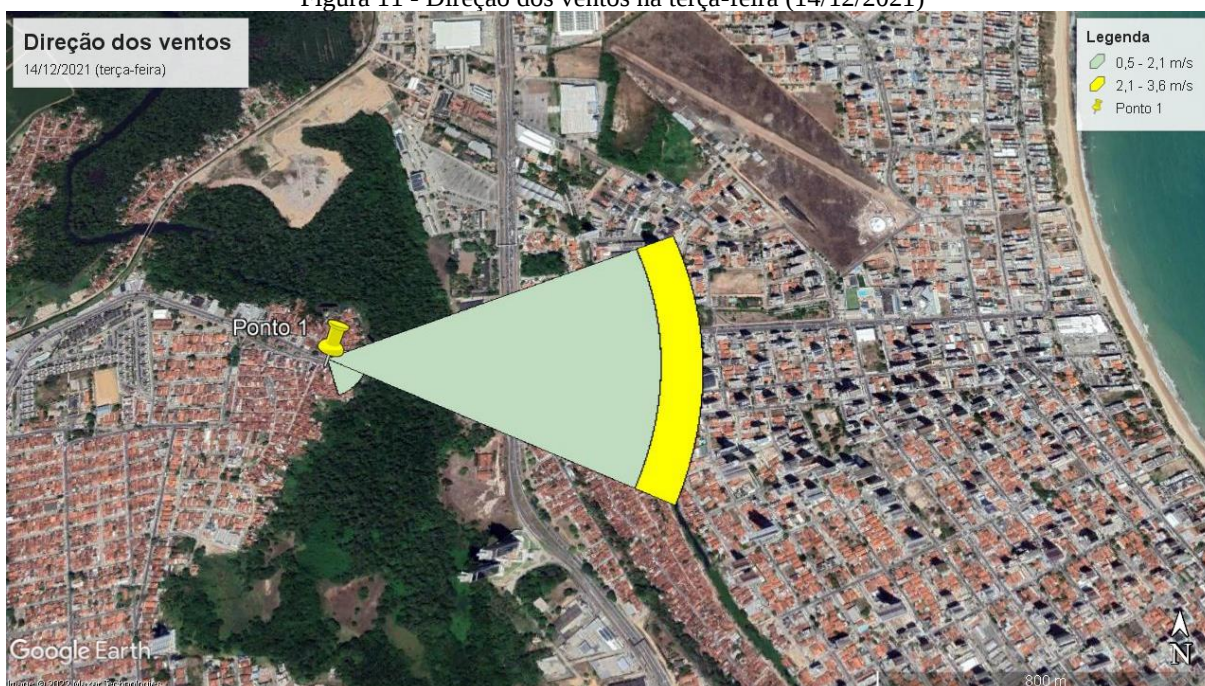
Nos dias 13/12/2021 e 14/12/2021 a direção do vento predominante durante o período de amostragem foi a posição Leste, como observado nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 - Direção dos ventos na segunda-feira (13/12/2021)



Fonte: Google Earth e WRPLOT (2022)

Figura 11 - Direção dos ventos na terça-feira (14/12/2021)



Fonte: Google Earth e WRPLOT (2022)

Os ventos provenientes de Leste mostram uma relação com a quantidade de MP_{10} presente no Ponto 1, visto que os níveis de particulado são maiores nos dias de segunda (135,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e terça-feira (124,81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) onde a direção do vento Leste é predominante.

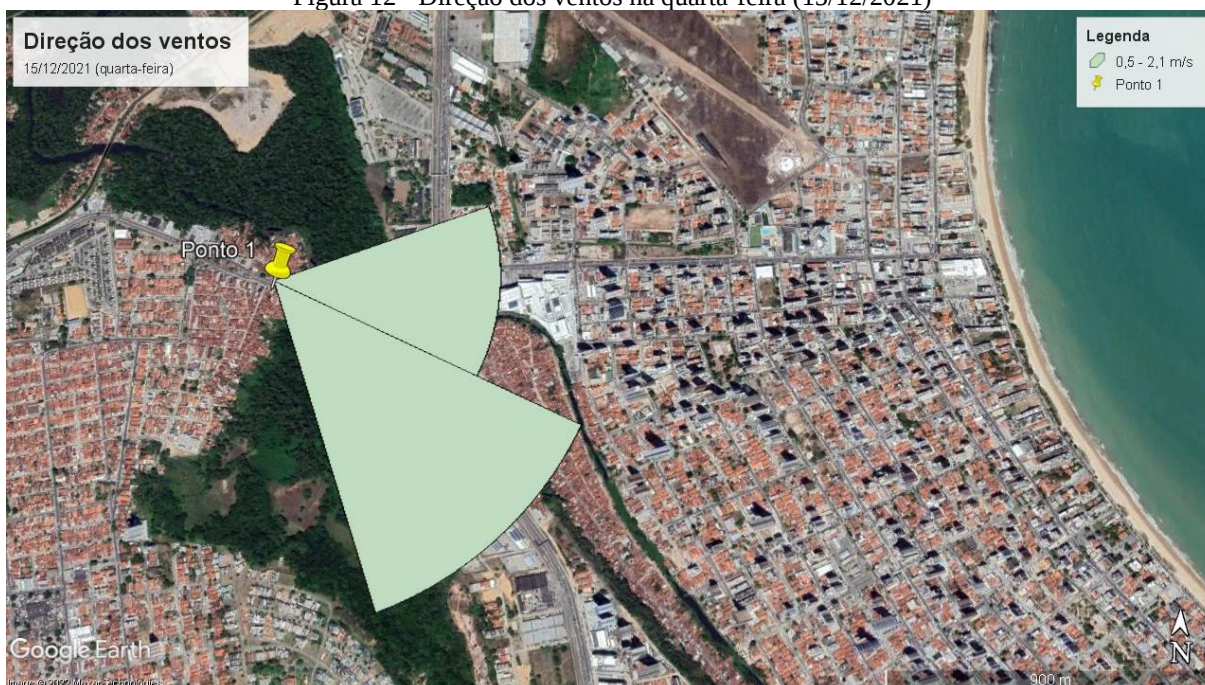
Também é importante considerar que a Avenida Tancredo Neves (Ponto 1) é uma

extensão do conhecido Retão de Manaíra, com isso, os ventos que sopram de Leste carregam o material particulado acumulado no Retão de Manaíra e essa poluição é varrida pelos ventos e somada com a própria poluição do Ponto 1.

O acúmulo de partículas está ligada com a constância dos lançamentos na atmosfera, ocasionando os problemas de poluição principalmente em áreas com grande fluxo de veículos automotivos (FU et al., 2013).

No dia 15/12/2021 os ventos predominantes durante o período de amostragem foram registrados na direção sudeste, Figura 12. Os ventos que sopram nesta direção vão de encontro com as áreas verdes antes de chegar no Ponto 1 de monitoramento.

Figura 12 - Direção dos ventos na quarta-feira (15/12/2021)



Fonte: Google Earth e WRPLOT (2022)

De acordo com Villar Filho (2013) as áreas verdes podem atuar como reguladoras dos ventos, pois são capazes de controlar a direção e a velocidade dos mesmos. Os efeitos de obstrução e canalização da ventilação podem ser determinados pela vegetação e também por outras características locais, como densidade de ocupação e orientação dos ventos (MASCARÓ; MASCARÓ, 2002).

Para esta situação, é perceptível que as áreas verdes atuam barrando os ventos, pois neste dia os ventos registrados foram provenientes de Sudeste e a concentração registrada de MP_{10} foi quase a metade ($74,54 \mu g/m^3$) quando comparada com os outros dois dias de monitoramento. Os ventos que sopram de Sudeste podem ser barrados pelas áreas verdes e

devido a sua posição não levam acúmulos de poluição do Retão de Manaíra para o Ponto 1.

Para o Ponto 2 o regime de ventos foi o mesmo durante os três dias de amostragem, a direção predominante foi Sudeste. Essa direção se apresenta como a preferencial em João Pessoa. De acordo com Peregrino (2014) a predominância de ventos alísios vindos de Sudeste é característico de zonas costeiras.

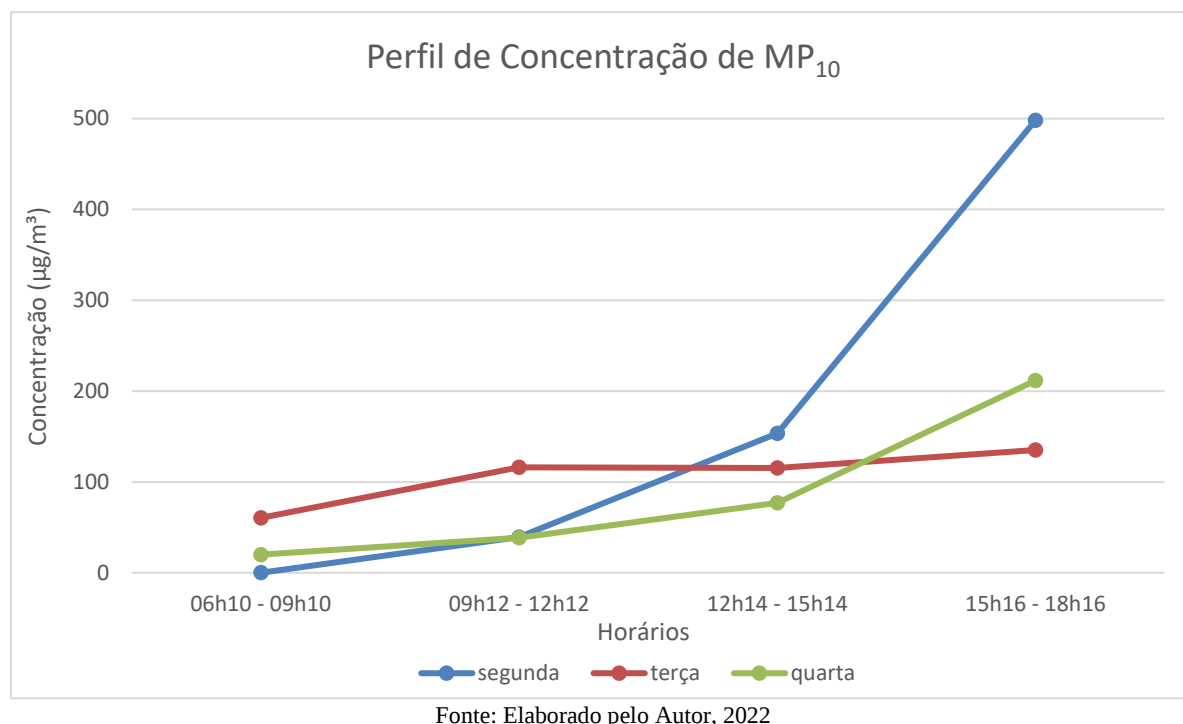
No Ponto 2, a velocidade do vento sofreu discretas alterações, com média de 1,12 m/s e desvio padrão de 0,15. Com o regime de ventos na direção Sudeste soprados do mar para o continente, a porção estudada está menos sujeita a níveis elevados de material particulado e consequentemente de poluição, como foi constatado nas amostragens em que os a concentração de MP_{10} encontram-se abaixo de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2 Método 2 de amostragem (perfil de concentração)

Foram realizadas amostragens de MP_{10} nos Pontos 1 e 2 por um período de 12 horas, onde a cada 3 horas os filtros eram trocados, esse método foi realizado com a finalidade de observar e conhecer o perfil da concentração das partículas no decorrer de todo o dia.

No Ponto 1, as amostragens foram realizadas em 3 dias consecutivos: segunda-feira (20/12/2021), terça-feira (21/12/2021) e na quarta-feira (22/12/2021). A primeira coleta teve início às 06h10min e finalizou às 09h10min, a segunda coleta foi de 09h12min às 12h12min, a terceira coleta de 12h14min às 15h14min e a quarta e última foi de 15h16min às 18h16min. O intervalo de dois minutos entre os filtros corresponde ao tempo de troca dos mesmos.

A Figura 13 apresenta o perfil de concentração de MP_{10} no Ponto 1 durante os três dias de amostragem.

Figura 13 - Perfil de concentração de MP₁₀ no Ponto 1

Na segunda-feira as concentrações de MP₁₀ da primeira à última coleta foram: 0,000 µg/m³, 39,38 µg/m³, 153,24 µg/m³ e 497,98 µg/m³, respectivamente. Na terça-feira os valores registrados de MP₁₀ foram do primeiro ao último filtro: 60,40 µg/m³, 116,09 µg/m³, 115,48 µg/m³ e 135,09 µg/m³, respectivamente. E na quarta-feira as concentrações de MP₁₀ seguiram os números: 19,93 µg/m³, 38,47 µg/m³, 77,04 µg/m³ e 211,55 µg/m³.

De acordo com a Figura 13, observa-se que a concentração de MP₁₀ aumenta no decorrer do dia, a explicação para este comportamento é de que parte do material particulado, não sofre dispersão, permanecendo na atmosfera provocando um aumento da concentração no decorrer das horas.

As partículas depositadas no local ou nas proximidades podem ser ressuspensas no ar ou re-arrastadas por turbulência induzida pela própria movimentação dos veículos nas vias urbanas (GÉRARDIN; MIDOUX, 2016). A dispersão de poluentes nas áreas urbanas tem ligação com a turbulência do tráfego de veículos e com o efeito aerodinâmico da geometria da rua (FALLAHSORSHANI et al., 2012).

Montes-Muñoz et al., (2019) identificaram que a densidade de tráfego de veículos (veh./h) possui uma relação linear com a concentração de MP₁₀ (µg/m³), além disso, os autores ainda constataram que o peso do veículo influencia de forma proporcional na ressuspensão do material particulado.

Na segunda e quarta-feira o comportamento de acumulação de partículas foi maior, diferindo apenas os valores de concentração de material particulado entre os dias em questão. Nesta semana também foi possível observar um tráfego elevado de veículos, podendo ter relação com a proximidade da data festiva de Natal, tendo por consequência mais veículos circulando.

Na terça-feira, o perfil das concentrações mostrou um aumento de 92% entre as duas primeiras amostragens (60,4091 e 116,0968 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), respectivamente. A terceira amostragem, que aconteceu entre 12h14min às 15h14min, a concentração foi de 115,4890 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ manteve-se praticamente igual à encontrada no filtro anterior que foi de 116,0968 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A última amostragem apresentou valor de concentração um pouco mais elevada (135,0960 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Nesse dia, aconteceu um grave acidente por volta das 13h40min no Retão de Manaíra (continuação da Avenida Tancredo Neves), interferindo no trânsito, o qual ficou bastante congestionado até aproximadamente às 15 horas da tarde. Como o acidente teve grande repercussão na cidade, provavelmente muitas pessoas evitaram o trajeto da Avenida Tancredo Neves para desviar de um possível congestionamento no fim da tarde, o que não ocorreu pois o trânsito estava livre. Assim, o último filtro da terça-feira teve concentrações menores de MP_{10} quando comparado com o mesmo filtro da segunda e quarta-feira.

Assim, pode-se considerar que parte do material particulado permanece suspenso na atmosfera acumulando-se ao longo do tempo, mostrando que a ventilação no local, não é suficiente para a dispersão da totalidade das emissões de MP. As características físicas da Avenida Tancredo Neves, no local de amostragem, podem ter influenciado na dificuldade de dispersão do poluente, já que a mesma possui uma curva nas proximidades do Ponto 1. Também pode ocorrer ressuspensão do material particulado depositado, através da movimentação dos veículos.

No Ponto 2, as amostragens de MP_{10} foram realizadas, também em 3 dias consecutivos 31/01/2022 (segunda-feira), 01/02/2022 (terça-feira) e 02/02/2022 (quarta-feira). O horário inicial e final de amostragem foi o mesmo já mencionado no início deste tópico, assim como o tempo de 2 minutos para cada troca de filtro.

As diferenças de peso dos filtros, antes de depois da amostragem apresentaram discretas variações na última casa da balança, que corresponde a incerteza da medida. Portanto, a sensibilidade do método analítico utilizado, não foi suficiente para se fazer inferências sobre esses resultados.

4. Considerações finais

Nas amostragens de 10 horas, no Ponto 1, a quantidade de material particulado foi influenciada pelo tráfego de veículos e também pela direção dos ventos. Na segunda e terça-feira o vento soprou a Leste e a concentração de MP_{10} foi registrada acima dos limites máximos permissíveis da Resolução CONAMA n° 491/2018; já na quarta-feira com direção de vento Sudeste foi registrada uma menor concentração de MP_{10} , dentro dos limites da Resolução citada.

No Ponto 2, durante os três dias de amostragem os níveis de material particulado ficaram abaixo de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a posição predominante do vento foi Sudeste, sendo assim os valores máximos permissíveis da Resolução CONAMA n° 491/2018 não foram violados neste Ponto.

Em relação ao perfil de concentração de MP_{10} , no Ponto 1 foi possível constatar uma ascendência na concentração de partículas no decorrer do dia, e assim concluir que as mesmas ficam suspensas na atmosfera, não havendo dispersão total e também sofrem ressuspensão devido a turbulência dos veículos, acumulando-se. Para o Ponto 2, o perfil de concentração de MP_{10} não foi considerado devido ao fato de que a sensibilidade do método adotado não ter sido suficiente para medidas quantitativas.

O monitoramento das concentrações de MP_{10} em Avenidas de João Pessoa evidencia a importância e necessidade de mais estudos a respeito dessa temática para que se tenha uma base de dados comparativa e um melhor entendimento do comportamento do poluente.

Faz-se necessário que os gestores cumpram suas funções e possam dar maior atenção aos problemas fundamentais referentes ao monitoramento da qualidade do ar para então efetivar estratégias e políticas públicas com adoção de parâmetros legais.

Referências

- ARGUMEDO, C. D.; CASTILLO, J. F. Caracterización química de material particulado PM10 en la atmósfera de La Guajira, Colombia. **Rev. Colomb. Quím.**, v. 45, n° 2, p. 19-29, 2016.
- BARROS, L. V. L. Avaliação da relação entre parâmetros meteorológicos e concentrações de material particulado inalável (MP10) no campus da UFSC. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 88 f., 2014.
- BARRERO, M. A.; ORZA, J. A. G.; CABELLO, M.; CANTÓN, L. Categorisation of air quality monitoring stations by evaluation of PM10 variability. **Science of The Total Environment**, v. 524–525, p. 225-236, 2015.
- BELL, M. L.; DOMICINI, F.; EBISU, K.; ZEGER, S. L.; SAMET, J. M. Spatial and temporal variation in [PM.sub.2.5] chemical composition in the United States for health effects studies. **Environ. Health Perspect.**, v. 115(7), p. 989-995, 2007.
- BOUROTTE, Christine Laure Marie et al. Chemical composition of atmospheric particulate matter soluble fraction and meteorological variables in São Paulo State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 3, p. 419–432, 2011.
- BRITO, P. H. F. DE; ARAÚJO, R. D. S.; MARINHO, G. Composição Química Do Material Particulado Atmosférico: Uma Revisão De Literatura. **Holos**, v. 4, p. 62–74, 2018.
- FALLAHSHORSHANI, M.; ANDRÉ, M.; BONHOMME, C.; SEIGNEUR, C. Coupling traffic, pollutant emission, air and water quality models: Technical review and perspectives. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, 48, p. 1794–1804, 2012.
- FARIA, F. D. N.; BARBOSA, K. V.; RIBEIRO, O. P. Levantamento dos processos intervenientes na concentração de material particulado no município de Campos dos Goytacazes/RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 12, n. 1, p. 57–88, 2018.
- FERREIRA, G.; SODRÉ, F. F.; ALMEIDA, V. DE. O Impacto do material particulado na qualidade do ar. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 5, p. 1335–1354, 2018.
- FREITAS, A. M.; SOLCI, M. C. Caracterização do MP10 e MP2,5 e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1750-1754, 2009.
- FU, X; WANG, S., ZHAO, B., XING, J., CHENG, Z., LIU, H., HAO, J. Emission inventory of primary pollutants and chemical speciation in 2010 for the Yangtze River Delta region, China. **Atmospheric Environment**, v. 70, p. 39-59, 2013.
- GATTO PEREIRA, J. L.; NUNES FORTES, J. D.; MARTINS, E. M. Poluição Do Ar Por Material Particulado Em Área Intraurbana No Rio De Janeiro: Alguns Aspectos Metodológicos. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 3, 2015.
- GÉRARDIN, F.; MIDOUX, N. Attenuation of road dust emissions caused by industrial vehicle traffic. **Atmospheric Environment**, 127, p. 46-54, 2016.

HABERMANN M., M. A. P. P. G. N. Vehicular traffic as a method to evaluate air pollution in large cities [Tráfego veicular como método de avaliação da exposição à poluição atmosférica nas grandes metrópoles]. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 14, n. 1, p. 1–11, 2011.

Ji, Dongsheng et al. Characterization and source identification of fine particulate matter in urban Beijing during the 2015 Spring Festival. **Science of the Total Environment**, v. 628-629, pp. 430-440, 2018.

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. Vegetação Urbana. Porto Alegre. 1 ed. UFRGS, 2002.

MONKS, P. S. et al. Atmospheric composition change – global and regional air quality. **Atmospheric Environment**, v. 43, p. 5268-5350, 2009.

MONTES-MUÑOZ, P.; ZAFRA-MEJÍA, C.; PACHÓN-QUINCHE, J. Contaminación atmosférica por material particulado resuspendido: Factores físicos condicionantes en áreas urbanas. **Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública (CASP)**, p. 1-4, 2019. doi: 10.1109/CASAP.2019.8916730.

MOURA, P. H.; SANTOS, D. W. L.; MORENO, A. M.; SOBREIRA, P. G. P.; SILVA, F. P.; MAIA, L. F. P. G. Análise da qualidade do ar e fatores meteorológicos na cidade de Nova Iguaçu (Rio de Janeiro - Brasil) entre os anos de 2000 a 2016. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.8, n.1. 87-99 p., 2020.

PARK, S. S.; KIM, Y. J. Source contributions to fine particulate matter in an urban atmosphere. **Chemosphere**, v. 59, p. 217-226, 2005.

PEREGRINO, P. S. A. A influência do padrão de adensamento nas características de um escoamento urbano: uma aplicação à região do Altiplano Cabo Branco em João Pessoa – PB. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 197 f, 2014.

SANTOS, A. C. A.; NOGUEIRA, J. S. Análise do material particulado no pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 3, 254 - 264, 2015.

SANTOS, T. C.; REBOITA, M. S.; CARVALHO, V. S. B. Investigação da Relação entre Variáveis Atmosféricas e a Concentração de MP10 E O3 no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 4, 631-645 p., 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-7786334006>

SILVA, A. V. do N.; SOUZA, W. M.; PEREIRA, S.V. Emissão de Gases Poluentes por Veículos Automotivos em Recife – PE (Pollutant Gas Emission by Automotive Vehicles in Recife – PE). **Revista Brasileira de Geografia**, vol. 8, n. 2, pp. 253 – 267, 2015.

SILVA, L. I. D. Avaliação de Material Particulado Atmosférico (MP10) e metais associados na região metropolitana do Rio de Janeiro. Tese (Doutorado) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 123 f., 2016.

SON, Ji-Young et al. Characterization of fine particulate matter and associations between particulate chemical constituents and mortality in Seoul, Korea. **Environmental health perspectives**, v. 120 (6), pp. 872-8, jun 2012.

SOUZA, P. A.; MELLO, W. Z.; MARIANI, R. L.; SELLA, S. M. Caracterização do material particulado fino e grosso e composição da fração inorgânica solúvel em água em São José dos Campos (SP). **Química Nova**, v. 33, n. 6, 2010.

VILLAR FILHO, O. C. IMPLICAÇÕES MICROCLIMÁTICAS DOS TIPOS DE REVESTIMENTO DAS ESTRUTURAS VIÁRIAS: estudo em uma fração urbana de João Pessoa/PB. Doutorado (Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal da Bahia, 167 f., Salvador, 2013.

ZHANG, R.; WANG, G.; GUO, S.; ZAMORA, M. L.; YING, Q.; LIN, Y.; WANG, W.; HU, M.; WANG, Y. Formation of Urban Fine Particulate Matter. **Chem. Rev.** 115, p. 3803–3855, 2015. DOI: 10.1021/acs.chemrev.5b00067

ZHANG, Z. H. et al. Characterization of traffic-related ambient fine particulate matter (PM_{2.5}) in an Asian city: Environmental and health implications. **Atmospheric Environment**, v. 161, p. 132–143, 2017.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados ressaltam que o material particulado não é “apenas” mais um poluente presente na atmosfera, mas também um causador de doenças. Essas doenças podem ser as mais conhecidas, como asma, inflamação de pulmão, internações hospitalares, câncer respiratório, como também o MP pode ser uma via aérea de contaminação indireta do novo Coronavírus. Além de que os casos são agravados quando os infectados pela SARS-CoV-2 já possuem um sistema respiratório estressado.

Também foi concluído que as fontes antrópicas possuem um elevado percentual na quantidade de material particulado presente na atmosfera, especialmente os veículos de carga, movidos a diesel. Diante disso, é importante que sejam realizados investimentos na área das políticas ambientais, no âmbito dos transportes, incluindo redução de emissão veicular e incentivo em fontes de energia mais limpa, como os biocombustíveis.

Por fim, foi registrado no capítulo 3 que a direção do vento tem papel fundamental na concentração de MP_{10} . Além disso, o material particulado é capaz de acumular-se na atmosfera, apresentando níveis maiores no fim do dia devido a retenção e ressuspensão por turbulência induzida pela movimentação dos veículos. Dessa forma, foi constatado que nos pontos monitorados na cidade de João Pessoa, a concentração de material particulado é influenciada pelo tráfego de veículos e direção dos ventos.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, J. A. Particulate air pollution, systemic oxidative stress, inflammation, and atherosclerosis. **Air Qual Atmos Health** **4**, 79–9, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0101-8>
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**; tradução: Marco Tadeu Grassi.. [et al.]; revisão técnica: Marco Tadeu Grassi. – 4. ed. – Porto Alegre: Bookman, p. 156, p. 159, 2011.
- BRAGA, A. et al. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, v. 0, n. 51, p. 58, 2001.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar** / Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. Departamento de Qualidade Ambiental e Gestão de Resíduos. – Brasília, DF: MMA, 2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 491/2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Ministério do Meio Ambiente. Brasil, 2018.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.
- BRITO, G. F. S.; SODRÉ, F. F.; ALMEIDA, F. V. O Impacto do Material Particulado na Qualidade do Ar. **Rev. Virtual Quim.**, v. 10, nº 5, no prelo, 2018.
- BRITO, P. H. F. DE; ARAÚJO, R. D. S.; MARINHO, G. Composição Química Do Material Particulado Atmosférico: Uma Revisão De Literatura. **Holos**, v. 4, p. 62–74, 2018.
- CESAR, A. C. G.; NASCIMENTO, L. F. C.; CARVALHO JR, J. A. Asociación entre exposición al material particulado e internaciones por enfermedades respiratorias en niños. **Revista de Saúde Pública**, 47 (6), Dez 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004713>
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do Ar – 2020**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluantes/>>. Acesso em: 03/04/2020.
- COELHO, S. Z. S. M. Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de internações por doenças respiratórias em função de condições meteorológicas na cidade de São Paulo. 2007. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- COSTA, C. E. et al. Chuva ácida: estudo de caso na região metropolitana de Belém/PA. Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 4: Congestas, 2016. ISSN 2318-7603
- COSTA, V. L. **Interdisciplinaridade e Sociedade**. In: PHILIPPI JR., A.; TUCCI, C. E. M.; HOGAN, D. J.; NAVEGANTES, R. Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais. São Paulo: Signus Editora, p. 185-196, 2000.
- DIEME, D. Caractérisation physicochimique et étude des effets toxiques sur des cellules pulmonaires BEAS-2B des polluants particuliers de la ville de Dakar (Sénégal). **Médecine humaine et pathologie**. Université du Littoral Côte d'Opale, 2011.
- FERREIRA, G.; SODRÉ, F. F.; ALMEIDA, V. DE. O Impacto do material particulado na qualidade do ar. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 5, p. 1335–1354, 2018.
- GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Air Pollutants from the Burning of Fossil Fuels and Biofuels: A Brief Review. **Revista Virtual de Química**, Vol. 3, nº 5, 434-445, 2011. ISSN 1984-6835
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. About. 2021. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>.

Acesso em: 28/06/2021.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp, 2014.

ISS – Instituto Saúde e Sustentabilidade. **Análise do Monitoramento de Qualidade do Ar no Brasil**. Instituto Saúde e Sustentabilidade. São Paulo, 2019.

JACOB, D. J.; WINNER, D. A. Effect of climate change on air quality. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 1, p. 51–63, 2009.

LEFF, E. **Saber ambiental: sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder**. Siglo XXI/UNAM/PNUMA. 1º ed – México, 1998.

Lopes et al. Caracterização química do material particulado suspenso na atmosfera de Londrina empregando a fluorescência de Raios X Dispersiva em Energia (EDXRF). **LFNATEC - Publicação Técnica do Laboratório de Física Nuclear Aplicada**, v. 08, n. 02, julho 2004.

MANTOVANI, K. C. C.; NASCIMENTO, L. F. C.; MOREIRA, D. S.; VIEIRA, L. C. P. F. S.; VARGAS, N. P. Air pollutants and hospital admissions due to cardiovascular diseases in Sao Jose do Rio Preto, Brazil. **Ciencia & Saude Coletiva**, Vol.21(2), p.509, 2016.

MATTOS, C. E. Poluição do ar em áreas centrais urbanas. **Revista Científica UNILAGO**. Volume 1 – número 1. São Paulo, 2015. ISSN 2318-244X.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Poluentes Atmosféricos**. Ministério do Meio Ambiente, 2020. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos.html#:~:text=Efeitos%20%2D%20estudos%20indicam%20que%20os,e%20podem%20l e var%20%C3%A0%20morte.>>>. Acesso em: 11/08/2020.

OPAS – Organização Pan-Americana de Saúde. **Folha informativa COVID-19** – Escritório da OPAS e da OMS no Brasil. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/covid19>>. Acesso: 16/08/2021.

PHILIPPI JR., A. **Interdisciplinaridade como atributo da C&T**. In: PHILIPPI JR., A.; TUCCI, C. E. M.; HOGAN, D. J.; NAVEGANTES, R. Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais. São Paulo: Signus Editora, p. 3-15, 2000.

QI, J.; RUAN, Z.; QIAN, Z.; YIN, P.; YANG, Y.; ACHARYA, B. K., et al. Potential gains in life expectancy by attaining daily ambient fine particulate matter pollution standards in mainland China: A modeling study based on nationwide data. **PLOS Medicine** 17(1): e1003027. 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003027>

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. Introdução à Química Ambiental – 2 ed – Porto Alegre: **Bookman**, p. 117-119, 2009.

SILVA, A. C.; GOMES, A. C. F.; ROQUE, B. S. F.; SANTOS, N. P. Monitoramento quantitativo de material particulado na região central de Goiânia – GO. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 11, p. 25459-25467, nov. 2019. DOI:10.34117/bjdv5n11-208

UN – UNITED NATIONS. **A/RES/70/1** - Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Disponível em: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E. Acesso em 14 de abril de 2020.

VALLERO, D. A. Fundamentals of air pollution/ Daniel Vallero. - Fifth edition. 2014. ISBN:978-0-12-401733-7

WHO. World Health Organization. **Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado.** 02/05/2018. Disponível em: <<https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>>. Acesso em: 25/05/2021

ZHONG, M.; CHEN, F.; SAIKAWA, E. Sensitivity of projected PM_{2.5}- and O₃-related health impacts to model inputs: A case study in mainland China. **Environment International**, v. 123, p. 256-264, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.002>