ReGeo ISSN: 2177-3246

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DO AR ATRAVÉS DO BIOMONITORAMENTO NA CIDADE DE BELÉM-PA: ESTUDO DE CASO DAS ESPÉCIES MANGIFERA INDICA L. E TERMINALIA CATAPPA L.

DIAGNOSIS OF AIR QUALITY THROUGH BIOMONITORING IN THE CITY OF BELÉM-PA: CASE STUDY OF THE SPECIES MANGIFERA INDICA L. AND TERMINALIA CATAPPA L.

DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE A TRAVÉS DEL BIOMONITOREO EN LA CIUDAD DE BELÉM-PA: ESTUDIO DE CASO DE LAS ESPECIES MANGIFERA INDICA L. Y TERMINALIA CATAPPA L.

https://doi.org/10.56238/revgeov17n7-037

Data de submissão: 23/05/2026 **Data de publicação:** 07/07/2026

Leticia Bianca Ferreira Cordovil
Engenheira Ambiental e Sanitária
Instituição: Universidade do Estado do Pará
E-mail: leticiabianca.ea@gmail.com

Maria Eduarda Silva da Silva
Engenheira Ambiental e Sanitária
Instituição: Universidade do Estado do Pará
E-mail: engeduarda18@gmail.com

Erik Cuellar Coutinho
Mestrando em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia
Instituição: Universidade do Estado do Pará
E-mail: erik.coutinho@uepa.aluno.br

Hosana Cristina Martins
Mestrando em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia
Instituição: Universidade do Estado do Pará
E-mail: hosana.martins@uepa.br

Claudio Maciel de Souza Coutinho
Mestre em Engenharia Elétrica
Instituição: Universidade do Estado do Pará
E-mail: claudio.coutinho@uepa.br

Iedo de Souza Santos
Doutor em Engenharia de Produção
Instituição: Universidade do Estado do Pará
E-mail: iedo@uepa.br

Ana Julia da Silva Soares da Silva Barbosa
Doutora em Engenharia de Recursos Naturais
Instituição: Universidade do Estado do Pará
E-mail: anajulia.barbosa@uepa.br

ReGeo
ISSN: 2177-3246

Lucy Anne Cardoso Lobão Gutierrez
Doutora em Ciências - Geologia
Instituição: Universidade do Estado do Pará
E-mail: lucyannegutierrez@gmail.com

Seidel Ferreira dos Santos
Doutor em Biotecnologia e Biodiversidade
Instituição: Universidade do Estado do Pará
E-mail: seidelsantos@uepa.br

Eliane de Castro Coutinho
Doutora em Ciências Ambientais
Instituição: Universidade do Estado do Pará
E-mail: elianecoutinho@uepa.br

RESUMO
Com a crescente urbanização no Brasil, tornou-se evidente o aumento da poluição atmosférica, assim como a concentração de metais e gases nocivos para a saúde humana e para o meio ambiente. Dessa forma, o presente estudo realizou um diagnóstico da qualidade do ar através do biomonitoramento na cidade de Belém do Pará, nas avenidas Nossa Sra. De Nazaré e Romulo Maiorana, adotando como critério de escolha dos locais, a presença das espécies Mangifera indica L. e Terminalia catappa L., considerando o fluxo moderado-intenso de veículos. Foram realizadas medições diárias dos poluentes CO, NO2, MP10 e MP2.5, O3, SO2 através de equipamentos analíticos conforme os padrões estabelecidos pela Resolução do CONAMA 491/218. Para a obtenção dos níveis de chumbo foram coletadas 20 amostras das espécies supracitadas para análise por meio de espectrometria, a fim de determinar o melhor bioindicador. A partir dos resultados obtidos por meio das coletas realizadas, concluiu-se que para os poluentes SO2, NO2, O3, MP10, MP2,5 a qualidade do ar pode ser considerada relativamente boa na cidade de Belém. Entretanto, verificou-se que durante o período chuvoso, os níveis de monóxido de carbono estavam acima do permitido pela legislação, mas os valores ainda estavam bem distantes dos níveis considerados de atenção. O Chumbo apresentou níveis alarmantes comparados a estudos anteriores e a legislação vigente, ademais, para o referido metal pesado a legislação não apresenta níveis de atenção, tal fato se torna preocupante tendo em vista os malefícios causados pelo metal pesado quando encontrado em altas concentrações.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica. Qualidade do Ar. Biomonitoramento. *Mangifera indica*. *Terminalia catappa*.

ABSTRACT
With the growing urbanization in Brazil, the increase in atmospheric pollution has become evident, as well as the concentration of metals and harmful gases for human health and the environment. Thus, the present study carried out a diagnosis of air quality through biomonitoring in the city of Belém do Pará, on Avenidas Nossa Sra. From Nazaré and Romulo Maiorana, adopting the presence of the species M. indica and T. catappa as a criterion for choosing the sites, considering the moderate-intense flow of vehicles. Daily measurements of pollutants CO, NO2, PM10 and PM2.5, O3, SO2 were carried out using analytical equipment according to the standards established by CONAMA Resolution 491/218. To obtain the levels of lead in the 20 samples of the aforementioned species were collected for analysis by means of spectrometry, in order to determine the best bioindicator. From the results obtained through the collections carried out, it was concluded that for the pollutants So2, No2, O3, PM10, PM2.5, the air quality can be considered relatively good in the city of Belém. However, it was found that during the rainy season, carbon monoxide levels were above the limits allowed by law, but the values were still far from the levels considered for attention. Lead showed alarming levels compared to

previous studies and the current legislation, in addition, for the aforementioned heavy metal the legislation does not show levels of attention, this fact becomes worrying in view of the harm caused by the heavy metal when found in high concentrations.

Keywords: Atmospheric Pollution. Air Quality. Biomonitoring. *Mangifera indica*. *Terminalia catappa*.

RESUMEN
Con la creciente urbanización en Brasil, el aumento de la contaminación atmosférica se ha hecho evidente, así como la concentración de metales y gases nocivos para la salud humana y el medio ambiente. Por lo tanto, el presente estudio realizó un diagnóstico de la calidad del aire a través del biomonitoreo en la ciudad de Belém do Pará, en las Avenidas Nossa Sra. de Nazaré y Romulo Maiorana, adoptando la presencia de las especies M. indica y T. catappa como criterio para elegir los sitios, considerando el flujo moderado-intenso de vehículos. Se realizaron mediciones diarias de contaminantes CO, NO2, PM10 y PM2.5, O3, SO2 utilizando equipos analíticos de acuerdo con los estándares establecidos por la Resolución CONAMA 491/218. Para obtener los niveles de plomo, se recolectaron 20 muestras de las especies mencionadas para análisis mediante espectrometría, con el fin de determinar el mejor bioindicador. A partir de los resultados obtenidos a través de las recolecciones realizadas, se concluyó que para los contaminantes So2, No2, O3, PM10, PM2.5, la calidad del aire puede considerarse relativamente buena en la ciudad de Belém. Sin embargo, se encontró que durante la estación lluviosa, los niveles de monóxido de carbono estaban por encima de los límites permitidos por la ley, pero los valores aún estaban lejos de los niveles considerados de atención. El plomo mostró niveles alarmantes en comparación con estudios anteriores y la legislación actual, además, para el mencionado metal pesado la legislación no muestra niveles de atención, este hecho se vuelve preocupante en vista del daño causado por el metal pesado cuando se encuentra en altas concentraciones.

Palabras clave: Contaminación Atmosférica. Calidad del Aire. Biomonitoreo. *Mangifera indica*. *Terminalia catappa*.

1 INTRODUÇÃO

A atmosfera da Terra naturalmente possui uma mistura de compostos derivados de milhões de anos que resultou na distribuição essencial para a vida no planeta, que segundo Varejão (2006), é constituído por 78% de Nitrogênio, o restante de Oxigênio e outros gases de menor concentração como os Óxidos de Enxofre e Nitrogênio, além de vapor d'água. Dentre estes gases que mantêm a temperatura de equilíbrio do planeta, existem os chamados pelo meteorologista Nils Gustaf Ekholm em 1901, de gases do efeito estufa compostos por Carbono, Metano e Ozônio (SERENDIPITY, 2017).

A emissão de poluentes, segundo SIMONI *et al.* (2021) não determina o seu comportamento na atmosfera, leva-se em consideração a química atmosférica, dispersão de gases e a topografia no cálculo meteorológico, pode-se classificar os poluentes como aqueles emitidos diretamente na atmosfera por fontes de emissão (Fonte Primária) e aqueles formados a partir das fontes primárias (Fonte Secundária).

Entretanto, a poluição atmosférica não é recente ou inteiramente causada pela ação humana, a natureza emite gases e materiais particulados originados, por exemplo das atividades vulcânicas, tempestades, no solo com o processo de desnitrificação (N2O) e outros processos aeróbicos. Todavia com o desmatamento e incêndios que reduzem a capacidade de absorção do dióxido de carbono, o aumento da frota de veículos dentre outras ações antrópicas, evidenciam-se os efeitos alarmantes desses processos de expansão e consequentemente causa perturbações nos espaços afetando direta ou indiretamente a saúde das populações (MACHADO, *et al*. 2015; FIORATTI, 2021).

Com a crescente urbanização no Brasil, a liberação de combustão dos veículos, gotículas de óleo de motores, somado às atividades industriais se tem altas concentrações de Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO2) e Dióxido de Enxofre (SO2) na atmosfera diariamente (VAREJÃO, 2006), além da presença de Clorofluorcarbonetos que em contato com fótons solares são dissociados e liberam cloro implicando sérias consequências ao ambiente (FROTA e VASCONCELOS, 2019, p.87).

Segundo dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o município de Belém dobrou o número de veículos de 2010 até o senso de 2021, com aproximadamente duzentos e seis mil novos veículos, aumentando proporcionalmente as emissões de poluentes, nos quais podem conter metais pesados provenientes do processo de combustão, somados a pouco mais de 22% das vias públicas da cidade arborizadas, favorecem prejuízos a saúde e bem-estar da população local (IBGE, 2010; MACHADO, 2011; PIMENTEL, 2021; IBGE, 2021).

Dentre os organismos biológicos, destacam-se os biomonitores agregados cada vez mais ao controle da qualidade do ar, por verificarem e evidenciarem a existência de poluentes e responderem ao estresse causado pela acumulação de poluentes, especialmente em regiões com monitoramento

insuficiente. As plantas dos centros urbanos estão em constante exposição, absorvem e integram em seus sistemas nas quais causam danos às folhas com a diminuição da atividade fotossintética, crescimento reduzido, envelhecimento prematuro e distúrbios na permeabilidade (TIWARI, *et al*, 2006; RAI, 2016; SANTOS *et al*, 2019). Portanto, avaliar o nível genotóxico das plantas é importante pois sua relação com a cadeia alimentar e a biosfera são cruciais para a saúde do meio ambiente.

Referente aos métodos de verificação dos níveis de poluição por bioindicadores, destaca-se o baixo custo de instalação, acompanhamento e manutenção, eficiência de monitoramento amplo e por longos períodos (COLONE, 2019).

Para haver controle da emissão desses poluentes e manter o padrão de qualidade do ar previstos na Constituição Federal (1988) no qual garante ar sadio, fundamentando-se no artigo 196, o direito à saúde, juntamente ao caput do artigo 225 que garante a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, então se faz necessário o monitoramento físico-químico dos padrões de qualidade do ar através de estimativas, uso de medidas de concentração dos principais poluentes e modelos matemáticos, dessa forma, através Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado do Pará (Portaria n° 527, de 04 de junho de 2016) e da Resolução do Concelho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA n° 491, de 19 de novembro de 2018) pode-se fazer a delimitação dos parâmetros quantitativos e qualitativos. Conforme aborda em sua pesquisa, MOREIRA *et al*. (2018) acentua a importância dos bioindicadores para manter o bem-estar e proteger a saúde da população, sendo necessário monitorar as áreas urbanas como vias de grande fluxo de veículos e demais agentes poluidores do município para verificar analiticamente a presença e contribuição de metais pesados pela frota veicular às emissões atmosféricas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Diagnosticar a qualidade do ar através do biomonitoramento da cidade de Belém-Pa, através das espécies *M. indica e T. catappa*

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Avaliar a concentração do metal pesado, chumbo, nas espécies *M. indica e T. catappa*, por meio de espectrometria;
b) Avaliar a concentração de poluentes atmosféricos nos pontos de coleta;
c) Realizar uma análise comparativa das concentrações de poluentes com a legislação vigente.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E OS BIOINDICADORES

Estudos científicos acerca das alterações da composição química do ar e seus possíveis impactos ao meio biótico vem sendo realizados a mais de um século, entretanto, com a chegada da era tecnológica a poucas décadas, o uso de bioindicadores foi adotado como parte do escopo metodológico para avaliar os efeitos da poluição ambiental atmosférica. (LOPEZ *et al,* 2011; KRUGER *et al*, 2021). Tais efeitos notados se dão inicialmente pela emissão de poluentes por uma fonte emissora e por fatores climáticos como o vento e a precipitação que determinam a concentração do poluente sobre o meio. É possível dizer que todos os seres vivos são bioindicadores de forma holística, conforme a tabela 1 abaixo, visto que, "a resposta (reação) a fatores externos (ações) é um dos atributos fundamentais da vida em si" (MAIA, MARTOS, BARRELLA, 2001; CARDOSO, 2016; DAPPER, 2016; FERNANDES e SOUSA, 2018; BRAZ, 2019; SILVA, 2019).

Tabela 1. Tipos de bioindicadores utilizados em publicações em 2018

Tipo de Bioindicador	N° de publicações	Percentual % (aprox.)
Animal	34	48,6
Animal e Vegetal	4	5,7
Vegetal	12	17
Microrganismos	12	17
Líquens	8	11,4

Fonte: Braz (2019)

Braz (2019) aborda alguns desses elementos tóxicos que podem ser encontrados espontaneamente na atmosfera, além de que, algumas atividades sociais vêm contribuindo de maneira significativa para a alteração e o aumento da disponibilidade desses contaminantes em distintos ecossistemas. A supracitada alteração ocorre em virtude da modificação de suas funções vitais normais de sua composição química, ou seja, o próprio poluente que interfere na ecotoxicologia da planta. Os organismos monitores (biomonitores) são espécies que se encontram no local de estudo ou são administradas de forma predeterminada e monitoram a qualidade do ar, solo e água de sua área circundante (MASCARENHAS, 2016; BRAZ, 2019; DARIO, 2022).

3.2 URBANIZAÇÃO

Atualmente, o Estado do Pará possui cerca de 8,7 milhões de habitantes segundo informa o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), a maioria, 72,6%, vivendo em centros urbanos (IBGE, 2010). A forma como está ocorrendo o processo de expansão urbana na Amazônia acentua ainda mais os problemas socioeconômicos e ambientais da cidade (SILVA *et al*, 2017; FARIAS, 2019).

Apesar disso, observa-se que as questões urbanas são negligenciadas nos estudos com foco na região (BECKER, 2013), mesmo sendo consideradas essenciais para a implementação de estratégias de desenvolvimento sustentável. A região metropolitana de Belém é a segunda mais populosa da Amazônia, embora o território corresponda a menos de 1% do estado do Pará, concentra 1/3 da população do estado e é a principal expressão da centralidade da Amazônia oriental brasileira (IBGE, 2010).

Em sua formação, convivem duas dinâmicas lado a lado: uma associada à cidade de Belém, território de mais de 400 anos como "cidade primaz" da rede amazônica até meados do século XX, e a outra após esse período, quando a região foi incorporada à dinâmica econômica do Brasil (CARDOSO *et al*, 2015). A RMB, em específico Belém, destaca-se por sua especificidade como espaço urbano que representa uma variante do processo de metropolitanização no Brasil, onde, apesar de se apresentar como uma sede econômica e moderna, integra-se com dinâmicos centros regionais, nacionais e internacionais (CARDOSO *et al*, 2015).

3.3 BIOINDICADORES

Um indicador é uma característica ambiental que, quando medida, quantifica os níveis de estresse, as características do habitat, a exposição ao estressor ou mesmo a resposta ecológica ao contato (KAPUSTA, 2008; ARAUJO *et al*, 2014; SILVA *et al*, 2017; BRAZ, 2019). A designação biológica é o uso de organismos vivos para verificar e avaliar a qualidade ambiental ou os efeitos da poluição ambiental, seja do ar, da água ou do solo (OLIVEIRA *et* al, 2020; DARIO, 2022). As respostas biológicas tendem a integrar os efeitos independentes e interativos de múltiplos estressores.

Os estressores tendem a afetar as populações de organismos em níveis mais baixos de organização biológica e, em seguida, afetam os parâmetros em níveis mais altos (SANTOS *et al*, 2019). As informações obtidas a partir da análise do organismo, ou de níveis inferiores de organização, também são conhecidas como biomarcadores e o uso de feedback de níveis organizacionais mais altos é conhecido como bioindicadores (OLIVEIRA *et al*, 2020).

O biomonitoramento é a observação contínua de uma área, por meio de indicadores biológicos. Portanto, no monitoramento biológico, considera-se o monitoramento temporário, com uma certa frequência de amostragem (CARDOSO, 2016; FERNANDES, 2018; BRAZ, 2019).

3.3.1 Mangifera indica L.

A mangueira (*M. indica*), como é conhecida vulgarmente é amplamente utilizada como biomonitor no continente asiático em especial a Índia e existem estudos que se utilizam desta árvore para avaliar suas respostas fisiológicas por estarem em contato com o meio urbano. A castanhola (*T. catappa*), como é conhecida vulgarmente, é uma espécie exótica endêmica de regiões costeiras tropicais e subtropicais, nativa da Índia e com altura que pode chegar a até 45m. Ambas as espécies possuem diversas propriedades bioativas e nas partes comestíveis são benéficas à saúde humana devido aos seus frutos e folhas, ricos em nutrientes e minerais, como reportado pela literatura (ARAÚJO *et al*, 2014; SILVA, MURATORI, BACELAR, FILHO, COSTA, 2017; DIVYA *et al*, 2019).

VÉRAS *et al.* (2007) em sua metodologia se utilizou de pontos de coleta em detrimento do fluxo de veículos, adensamento populacional, direção dos ventos e fluxo de veículos na cidade, bem como a presença de indivíduos de *M. indica* nas quais, realizou-se coletas bimensais ao longo de um ano, onde folhas da espécie, cujo teor de clorofila total, altura da árvore e circunferência a altura do peito (CAP) foram determinadas em campo (AQUINO, 2011; MAKI *et al*, 2013; SILVA *et al*, 2017).

Segundo o autor Castro (2011), ao analisar amostras de folhas de mangueira colhidas de 12 pontos do Estado do Espírito Santo, em intervalos trimestrais totalizando um ano de amostragens, colhidas manualmente a uma distância 1,70 a 2,20 metros do chão, evitando folhas muito velhas ou novas. Foram analisados parâmetros fisiológicos, fluorescência e teor de clorofila, taxa de troca gasosa e quantidade de metais por meio de quimiometria, onde avalia-se a influência das variáveis na informação do conjunto de dados. Um dos parâmetros usados foi a análise de componentes principais, o qual visa a redução de dados variáveis para que a informação se torne mais significativa (CASTRO, 2011; AQUINO, 2011; MAKI *et al*, 2013; SILVA *et al*, 2017).

3.3.2 Terminalia catappa L

Para Costa *et al* (2015), em estudo avaliativo das condições biológicas da *T. catappa* em áreas urbanizadas com diferentes fontes poluidoras, com a finalidade de verificar se há diferenciação nas características morfoanatômicas foliares em comparação a outras árvores da mesma espécie em pontos diferentes (RODRIGUES *et al*, 2020). O estudo foi realizado em duas áreas da cidade do Recife - PE, possui clima tropical e influência do oceano atlântico, com temperaturas mínima e máxima de 22°C a

31°C respectivamente. A área foco do estudo foi determinada pela intensidade do tráfego automotivo, selecionados 10 pontos de recolha numa zona com menores emissões e 10 em uma área com maior emissão de poluentes atmosféricos, com acesso limitado para moradores locais, as amostras foram embaladas em sacos plásticos e sem passar por nenhum tipo de assepsia para o melhor aproveitamento dos dados absorvidos pela folha (COSTA *et al*, 2015; SANTOS *et al*, 2019).

Outro autor, Leite, *et al* (2015) utilizou-se da coleta de frutos e folhas por um período de 6 meses, onde se analisou pH, acidez, teor de água e resíduo de minerais (K, Ca, Fe, P).

Todo o material coletado para este trabalho foi obtido aleatoriamente de castanholas localizadas nas ruas da cidade de Cuité - PB, localizada na mesorregião do Agreste e microrregião de Curimataú Oeste na Paraíba, cujas coordenadas geográficas são 6° 28' 54" S e 36° 8' 59" de oeste. A coleta de frutos e folhas ocorreu em abril e setembro de 2015 e incluiu quantidades entre 20 e 25 amostras. (LEITE *et al*, 2015).

3.3.3 Análises físico-químicas das espécies

De acordo com de VERAS *et al.* (2007) pode se estabelecer um precedente forte sobre as alterações que a poluição atmosférica pode infligir a planta. As análises realizadas pelos autores mostraram que os valores de metais pesados, dióxido de enxofre e Material Particulado (MP) apresentaram conformidade com os valores encontrados na legislação, podendo sofrer interferências conforme o índice pluviométrico do ano. Os valores de Chumbo mantiveram baixos, com exceção para o mês de julho a setembro com valores de 15 ppm.

Conforme discorre Castro (2011), os elementos encontrados nas folhas da *M. indica* foram Al, Fe, Ti, Ca, Sr, Cu, Na, Fw, Zn e apresentaram elevada correlação mostrando evidências que a área mais poluída teve mais incidência de metais em comparação a área menos poluída.

As diferenças observadas entre as espécies, no estudo de Costa (2015), é que os parâmetros anatômicos na epiderme foliarem, entre a área mais poluída e a menos poluída, mostraram que a densidade de estômatos e cristais idioblastos foi maior para a área mais poluída. Tais resultados mostram adaptação foliar que pode representar inibição do crescimento da quantidade de células ou aumento do volume celular das folhas de *T. catappa*, ou seja, há uma queda no desenvolvimento das folhas, interferindo na biometria da planta e seu desenvolvimento. “Aspectos relacionados aos estômatos são diretamente afetados pela poluição atmosférica, pois estas estruturas são responsáveis pela troca gasosa das plantas e podem alterar suas características de acordo com a qualidade do ar” (COSTA, 2015).

As análises químicas para determinação de teor de umidade, ácido ascórbico, açúcares totais, ácidos graxos, carboidratos totais, minerais totais, ácidos graxos insaturados e saturados foram realizadas. A caracterização química apresentada após análises das folhas da *T. catappa* pelos estudos de Leite (2015) indicam que não houve correlação com a poluição urbana a qual a espécie está inserida (LEITE, 2015).

Através dos estudos de revisão de literatura, de Castro (2015) e Leite (2015), pode-se perceber que tanto a *M. indica* quanto a *T. catappa* possuem influência indicativa no monitoramento biótico de emissão atmosférica de poluentes, onde a mangueira apresenta maiores índices de absorção de metais e outros materiais que estão em suspensão no ar. Enquanto a *M. indica* absorve em suas folhas grandes quantidades de poluentes *T. catappa* tem pouco potencial de absorção desses elementos, ainda sim a castanhola pode ser utilizada como bioindicador visto que suas folhas sofreram alterações significativas em suas estruturas devido a localização.

3.4 LEGISLAÇÃO PERTINENTE

De acordo com Medauar (2007) com a crescente preocupação em torno dos problemas oriundos da poluição do ar houve necessidade de estabelecer uma legislação a fim de controlar a poluição. No artigo 225 da Constituição Federativa da República do Brasil (1988) diz que "todos têm o 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 (apud FREIBERG e PASQUALETTO, 2008)

Ainda neste contexto de demandas normativas, o CONAMA, criou em 1989, o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar – PRONAR, visando o desenvolvimento sustentável por meio da elaboração de instrumentos de controles. O primeiro dispositivo legal decorrente do PRONAR foi a resolução do Conama no 03, de 28 de junho de 1990, que estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar em substituição aos fixados pela Portaria Minter n° 231/76. (BERINGUI, K. *et al.*,2021)

Entretanto, em 2005, com a divulgação do trabalho "guias de qualidade do ar" da Organização Mundial da Saúde (OMS), foi possível perceber que os parâmetros da Resolução nº 03/1990 estavam ultrapassados carecendo de revisão. (BREDER, 2020). Em consonância com o referido trabalho e os objetivos estabelecidos pelo PRONAR, somente 2018 foi publicado Resolução CONAMA 491, contendo padrões de qualidade do ar do Monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre e de nitrogênio (SO2 e NO2), material particulado (MP10 e MP2,5), partículas totais em suspensão, ozônio (O3), fumaça e chumbo (Pb).

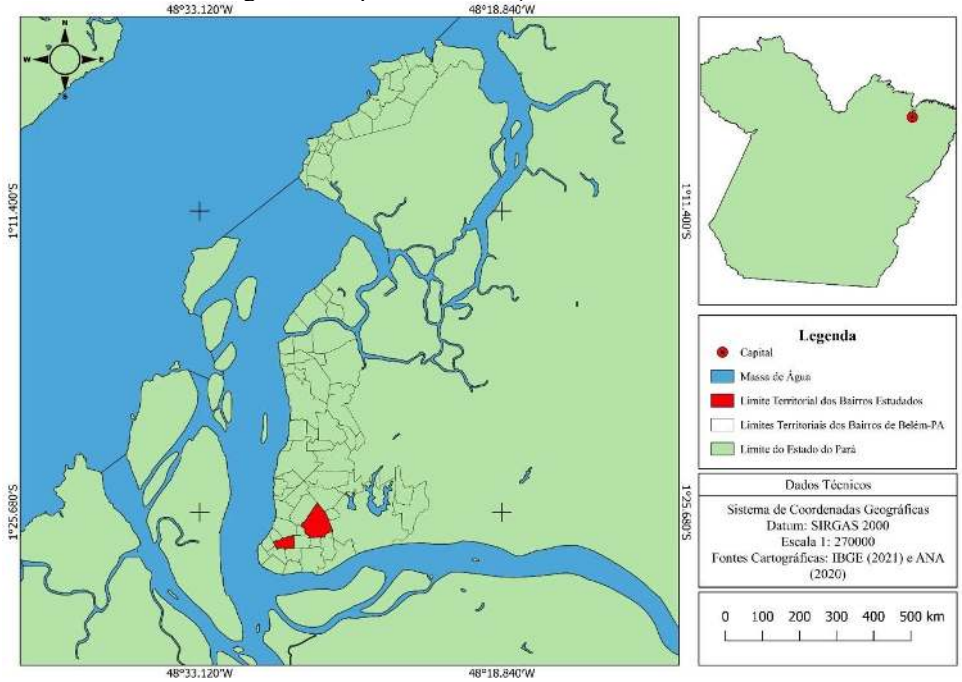
SANTANA *et al*. (2012) afirma que os padrões de qualidade do ar são de suma importância para a gestão da qualidade, uma vez que eles possibilitam um conjunto ações preventivas a fim de minimizar os efeitos causados pela poluição. Os autores também ressaltam que a poluição constitui um problema de múltiplas consequências e causas, logo, seu enfrentamento requer uma visão pluriangular.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na cidade de Belém/Brasil, que possui área territorial de 1.059,466 km² e densidade demográfica de 1.315,26 hab/km² (IBGE, 2021). A cidade está localizada no Estado do Pará, que fica a 22 metros de altitude, em relação ao nível médio do mar, com latitude de 1° 27′18′′Sul e longitude de 48° 30′ 9′′Oeste (Figura 1). A região apresenta clima predominantemente tropical úmido, que tem como principal característica as elevadas temperaturas e altos índices pluviométricos o ano todo, sendo classificado como clima Af acordo com Köppen-Geiger (CLIMATE-DATA.ORG, 2022).

Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo



Fonte: Autoras (2023)

4.2 SELEÇÃO DOS PONTOS DE COLETA

A definição dos pontos de coleta foi através do reconhecimento "*in loco*". Os critérios base para a seleção foram a incidência das espécies nos locais e o fluxo moderado- intenso de veículos. A avenida Nossa Sra. de Nazaré, localizada na Zona Centro-Sul da cidade (Figura 2) pertencente ao bairro de Nazaré e interliga outros seis bairros. Foram selecionados 10 pontos ao longo da avenida Nazaré, entre

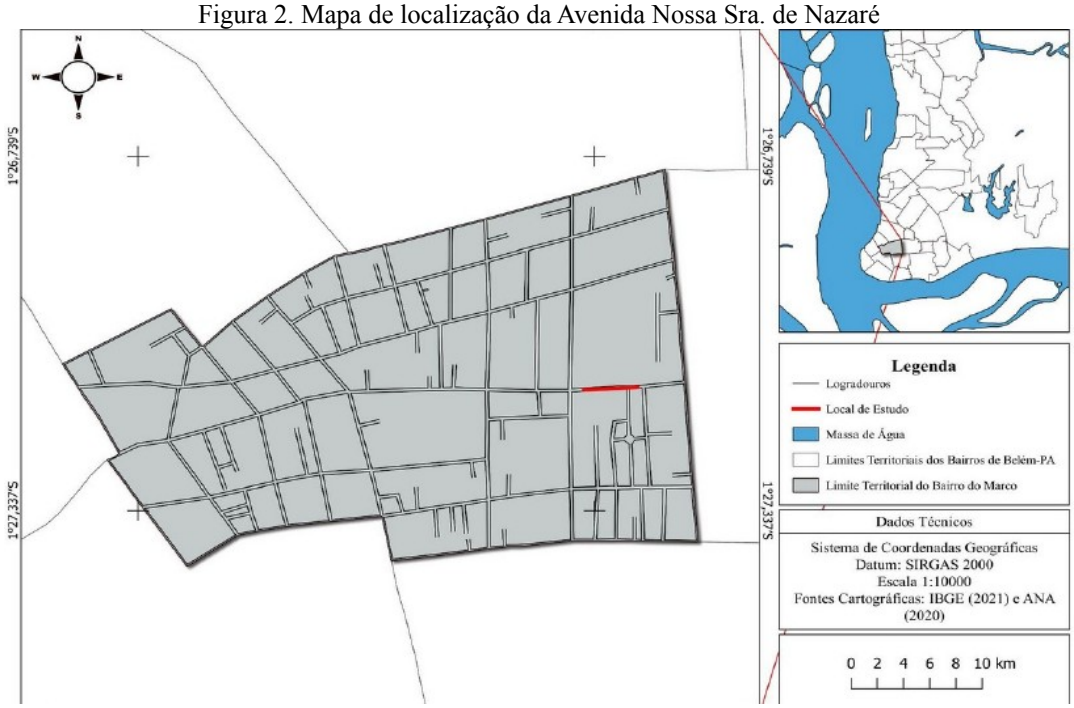
14 de março localizado a 1°27'08" Sul, 48°28'49" Oeste (Ponto 1) e José Faciola com latitude 1°27'07" Sul e longitude 48°28'45" oeste (Ponto 10) para a realização do biomonitoramento, e na Tabela 2 encontram-se as coordenadas geográficas dos pontos de coleta.

Tabela 2. Pontos de coletas e suas coordenadas geográficas

Pontos	Av. Nossa Sra. de Nazaré	Av. Romulo Maiorana
P1	1°27'08"S 48°28'49"W	1°25'55"S 48°27'34"W
P2	1°27'08"S 48°28'49"W	1°25'55"S 48°27'34"W
P3	1°27'08"S 48°28'48"W	1°25'56"S 48°27'34"W
P4	1°27'07"S 48°28'48"W	1°25'57"S 48°27'35"W
P5	1°27'07"S 48°28'47"W	1°25'57"S 48°27'35"W
P6	1°27'07"S 48°28'47"W	1°25'58"S 48°27'35"W
P7	1°27'07" S 48°28'46"W	1°25'58"S 48°27'35"W
P8	1°27'07"S 48°28'46"W	1°25'59"S 48°27'36"W
P9	1°27'07"S 48°28'46"W	1°25'59"S 48°27'36"W
P10	1°27'07"S 48°28'45"W	1°25'59"S 48°27'37"W

Fonte: Autoras (2023)

Figura 2. Mapa de localização da Avenida Nossa Sra. de Nazaré

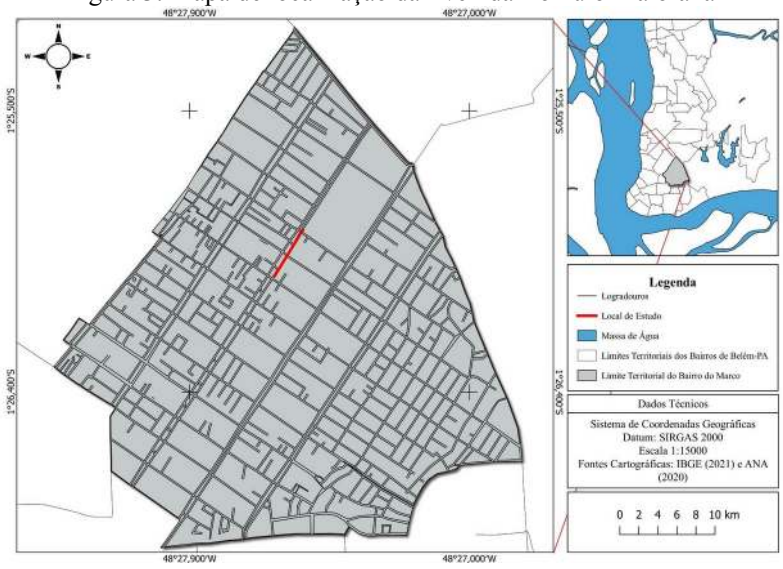


Fonte: Autoras (2023)

Já a segunda avenida é a avenida Romulo Maiorana, conforme a Figura 3, situada no bairro do marco, que apresenta características semelhantes às da avenida Nazaré. Localizada na Zona Centro-Sul da cidade, a avenida possui grande fluxo de pessoas e veículos, além de apresentar grande incidência da espécie *T. catappa* que tem como nome vulgar castanhola, que será utilizada para o biomonitoramento. Os pontos foram selecionados ao longo da avenida Rômulo Maiorana, entre as travessas Lomas

Valentina localizado a 1°25'55" Sul, 48°27'34" oeste (Ponto 1) e Barão de Triunfo com latitude 1°25'59" sul e longitude com 48°27'37" oeste (Ponto 10).

Figura 3. Mapa de localização da Avenida Romulo Maiorana



Fonte: Autoras (2023)

4.3 COLETA DE AMOSTRAS E DADOS

A coleta das amostras foi realizada no período de julho, período em que o índice pluviométrico é menor, e no período de novembro, onde há maior pluviosidade, a fim de constatar se houve influência da variação da precipitação na quantidade de metais que são dispersos na atmosfera. Nestes períodos, o biomonitoramento foi realizado através de aparelhos para aferir os níveis de Monóxido de Carbono (CO) em µg/m3, Dióxido de Nitrogênio (NO2) em ppm, Material Particulado – MP10, Material Particulado – MP2.5 em µg/m3, Ozônio (O3) em ppm, Dióxido de Enxofre (SO2) em ppm e Chumbo (Pb) conforme os padrões estabelecidos pela Resolução 491, CONAMA. Também foram aferidos a temperatura em graus Celsius, umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento em km/h.

O monitoramento foi realizado duas vezes ao dia durante cinco dias entre 07:00 e 08:00 da manhã e entre 17:00 tarde e 18:00 noite, (segunda, terça, quarta, quinta e sexta) em cada uma das avenidas, em horários considerados de maior fluxo de veículos, de acordo com o aplicativo Waze.

É importante ressaltar que para a obtenção dos níveis de chumbo nos pontos, se fez necessário a análise da vegetação presente no local. A coleta da vegetação foi realizada em todos os pontos, onde foram cortados três folíolos de *Mangifera indica* L. e *Terminalia catappa* L. O corte foi realizado através de uma faca com lâmina revestida em Titânio (Figura 4), a fim de evitar interferências na análise da vegetação. Após o corte, os folíolos foram acondicionados em envelopes de papel kraft

(Figura 5) e devidamente identificados com nome da espécie, ponto coletado, localização, data e hora da coleta.

Figura 4: Faca utilizada para o corte da vegetação



Fonte: Autoras (2023)

Figura 5: Envelope de papel kraft



Fonte: Autoras (2023)

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Madeira, pertencente à Universidade do Estado do Pará, localizado no Centro de Ciências Naturais e Tecnologias de Belém, onde foi realizado o processo de secagem dos folíolos. Este processo consistiu em inserir as folhas coletadas na estufa por 24 horas à 50°C até apresentarem aspecto quebradiço (Figura 6). Após a secagem, as amostras secas foram trituradas (Figura 7) e pesadas em balança analítica (Figura 8).

Figura 6: Secagem dos folíolos na estufa



Fonte: Autoras (2023)

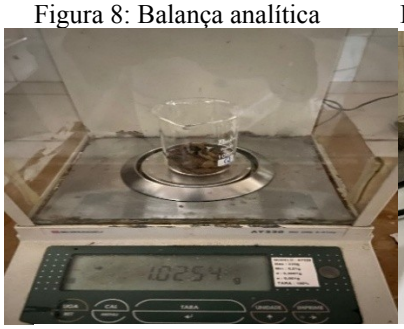
Figura 7: Matriz vegetal para digestão



Fonte: Autoras (2023)

Para a realização da determinação de Chumbo presente nos folíolos, utilizou-se da metodologia de Brait e Filho (2010) adaptada por Andrade (2021) que consistiu em selecionar aproximadamente 1,000 g da amostra triturada em um béquer de 100 mL adicionando 20mL de ácido clorídrico concentrado juntamente de 10 mL de ácido nítrico e levá-los para chapa de aquecimento em capela de exaustão (figura 9) até quase secura (figura 10). Chegado o ponto de quase secura, o material foi retirado da chapa e após a redução da temperatura, foi adicionado 20ml de água destilada e deionizada e devolvido para a chapa de aquecimento novamente até reduzir seu volume pela metade.

Figura 8: Balança analítica



Fonte: Autoras (2023)

Figura 9: Digestão com ácidos



Fonte: Autoras (2023)

Figura 10: Amostras secas



Fonte: Autoras (2023)

Figura 11: Papel para filtragem do sobrenadante



Fonte: Autoras (2023)

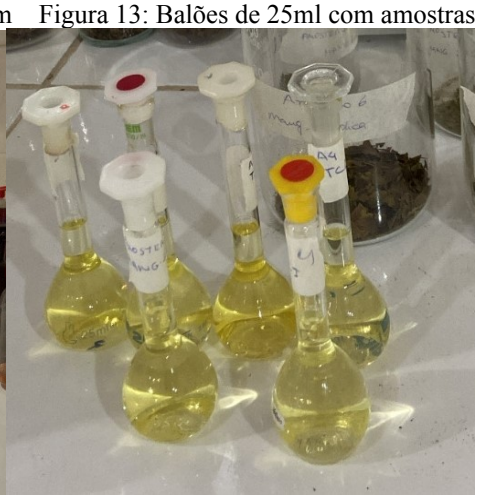
Para filtrar o sobrenadante foram utilizados balões volumétricos de 20 mL, 25 mL e 50mL e papel de filtro quantitativo faixa preta (figura 11) completando o volume com água destilada e deionizada no sistema de filtragem (figura 12). Finalizado o processo de digestão, as amostras foram transferidas dos balões volumétricos (Figura 13) para recipientes plásticos com suas devidas identificações. As amostras foram acondicionadas em um isopor térmico e encaminhadas para o Laboratório de Qualidade de Água da Amazônia (LabÁgua) para a análise do chumbo através de espectrômetro de absorção atômica (EAA).

Figura 12: sistema de filtragem



Fonte: Autoras (2023)

Figura 13: Balões de 25ml com amostras digeridas



Fonte: Autoras (2023)

Após a obtenção dos resultados laboratoriais e por meio das medições, foram realizados no Microsoft excel 2013 uma quantificação comparativa da concentração de Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO2), Dióxido de Nitrogênio (NO2), Material Particulado - MP10, Material Particulado - MP2.5, Ozônio (O3), Partículas Totais em Suspensão, Dióxido de Enxofre (SO2) e Chumbo (Pb) presentes nas avenidas Romulo Maiorana e Nossa Sra. De Nazaré em todos os pontos, verificando sua conformidade com a resolução 491 do CONAMA e as recomendações da OMS (2021). Das medições aferidas, apenas o Dióxido de Carbono não apresenta padrão estabelecido pelo CONAMA 491.

Os elementos Ozônio (O3) e o Chumbo (Pb) foram obtidos em ppm, e para realizar a comparação houve a necessidade da conversão de ppm para µg/m3 utilizando a equação dos gases ideais (LISBOA,2014) conforme a equação 1.

$$\mu g/m^3 = ¿ \frac{Peso\,molecular \times [ppm] \times 1000}{24,45} ¿ \qquad (1)$$

Onde, O peso molecular dos poluentes O3 e do Pb, são 48 g/mol e 207,2 g/mol respectivamente, de acordo com a tabela periódica; [ppm] é a concentração em parte por milhão e 24,45 é o volume que ocupa uma molécula a uma pressão de 1 atm e temperatura a 25 °C, de acordo com a equação dos gases ideais.

Para verificar a conformidade dos resultados obtidos, foram utilizados os padrões fixados pela Resolução CONAMA 491/18 (Tabela 3).

Tabela 3. Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA nº 491, de 19/11/2018)

Poluente	Tempo de Amostragem	PI 1 (µg/m³)	PI 2 (µg/m³)	PI 3 (µg/m³)	PF (µg/m³)
partículas inaláveis (MP_{10})	24 horas	120	100	75	50
	MAA[1]	40	35	30	20
partículas inaláveis finas ($MP_{2,5}$)	24 horas	60	50	37	25
	MAA[1]	20	17	15	10
dióxido de enxofre (SO_2)	24 horas	125	50	30	20
	MAA[1]	40	30	20	-
dióxido de nitrogênio (NO_2)	1 hora[2]	260	240	220	200
	MAA[1]	60	50	45	40
ozônio (O_3)	8 horas[3]	140	130	120	100
monóxido de carbono (CO)	8 horas[3]	-	-	-	9 ppm
fumaça (FMC)	24 horas	120	100	75	50
	MAA[1]	40	35	30	20
partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas	-	-	-	240
	MGA[4]	-	-	-	80
chumbo (Pb)[5]	MAA[1]	-	-	-	0,5

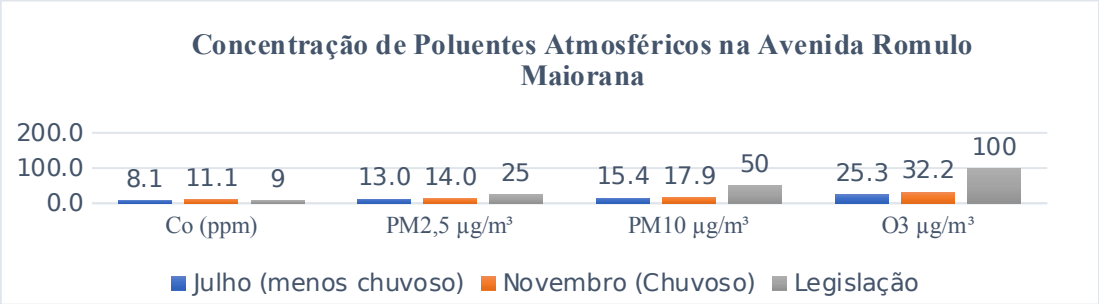
Nota: padrões vigentes em vermelho
1 - Média aritmética anual.
2 - Média horária
3 - Máxima média móvel obtida no dia
4 - Média geométrica anual
5 - Medido nas partículas totais em suspensão
Fonte: CETESB (2021) adaptado da Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018a)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos gráficos 1 e 2 é possível verificar os níveis de Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado - MP10, Material Particulado - MP2.5 e Ozônio (O3) presentes na avenida Romulo Maiorana (Gráfico 1) e na avenida Nossa Sra. de Nazaré (Gráfico 2) nos períodos de julho (azul) e novembro (alaranjado).

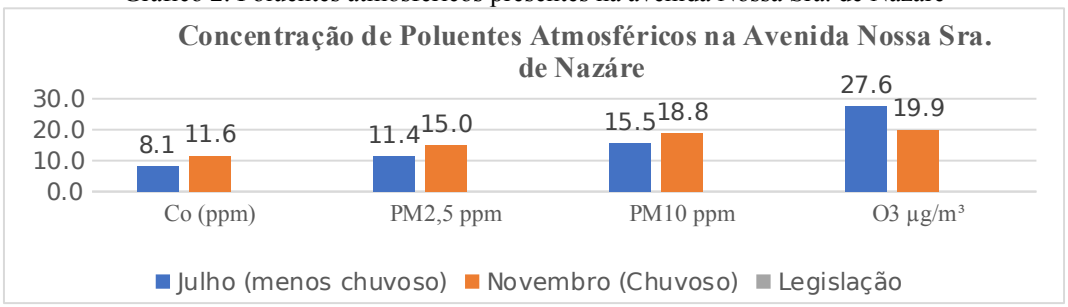
Realizando um comparativo com padrões estabelecidos pelo Conama 491/2018 (Cinza), constatou-se que, na avenida Romulo Maiorana (Gráfico 1) todos os poluentes supracitados apresentaram um aumento no período de novembro, em que há maior índice pluviométrico. Entretanto, apesar das variações ocorridas de um período para o outro, os poluentes PM 2,5, PM10 e o O3 se mostraram em conformidade aos padrões estabelecidos pelo CONAMA. O único poluente que apresentou valores acima do que é permitido pela legislação foi o Monóxido de Carbono estando 2,1 ug/m3 acima do que é permitido por lei durante o período mais chuvoso.

Gráfico 1. Poluentes atmosféricos presentes na avenida Rômulo Maiorana



Fonte: Autoras (2023)

Gráfico 2. Poluentes atmosféricos presentes na avenida Nossa Sra. de Nazaré



Fonte: Autoras (2023)

No segundo gráfico referente aos valores obtidos por meio das medições realizadas na avenida Nossa Sra. de Nazaré, é possível observar que o monóxido de carbono, o material particulado2,5 e material particulado10 apresentaram aumento comparando aos resultados representados no gráfico 1. Destes poluentes, somente o CO não está em conformidade com os padrões fixados na legislação, estando 2,6 µg/m3 acima do estabelecido que é de 9 µg/m3. É possível afirmar que o aumento dos níveis do CO nas avenidas Nossa Sra. de Nazaré e Romulo Maiorana, possui forte relação com o fluxo de veículos, uma vez que, a quantidade de veículos circulantes, evidencia também, dependendo do combustível utilizado, uma maior emissão de gases (ANDRADE, 2022). Nas duas vias, foi observado o tráfego intenso de ônibus, que são veículos pesados considerados grandes emissores de altas quantidades de CO, principalmente quando dirigidos em marchas mais pesadas. (JACHIC, 2001).

D'Amelio, Campo e Alvim (2017) alerta que, determinadas concentrações de monóxido de carbono podem ser consideradas nocivas para a saúde humana, por ser um poluente altamente tóxico, podendo causar intoxicação aguda, com sequelas, ou até causar morte por asfixia.

Embora esteja dentro do permitido pela legislação, no gráfico 2 é possível perceber que os níveis de O3 apresentaram uma alta de aproximadamente 8 µg/m3 no período de julho, onde o índice pluviométrico é mais baixo. Entretanto, no referido período também é perceptível a intensificação de veículos nas principais vias urbanas da cidade em detrimento das férias escolares, o que corrobora consequentemente para a formação dos poluentes que formam o O3, uma vez que este poluente é

proveniente da queima de combustíveis fosseis (PIMENTEL, 2011). Vale ressaltar que para a realização das comparações demonstradas nos gráficos 1 e 2, foram adotados os padrões finais (PF) do CONAMA no período de 24 horas, conforme mostrado na Tabela 3.

A tabela 4 se refere aos valores médios obtidos por meio das medições realizadas nas avenidas Nossa Sra. de Nazaré e Romulo Maiorana ao longo dos períodos mais e menos chuvosos. Sendo assim, pode se observar a concentração dos poluentes em cada avenida, assim como a diferenças de valores quando comparadas de uma via para outra. No Monóxido de Carbono (CO) a diferença observada de foi de 0,05 (ppm) , Material Particulado – MP2.5 1,62 (ppm) Material Particulado - MP10 0,05 (ppm), e Ozônio (O3) 2,33 µg/m³ no período menos chuvoso. No período mais chuvoso, os níveis de poluentes coletados também não apresentaram alterações significativas, a diferença percebida no Monóxido de Carbono (CO) foi de 0,5 (ppm), Material Particulado – MP2.5 1,01 (ppm), Material Particulado - MP10 0,91 (ppm), e Ozônio (O3) 12,29 (µg/m³). Vale ressaltar que a ausência de valores em SO2 e NO2 foi ocasionada por uma série de fatores, tais como: calor, convecção elevada e a alta dispersão, fazendo com que os poluentes não obtivessem concentração suficiente para serem aferidos pelo equipamento utilizado.

A medição destes poluentes nos dois períodos sazonais (mais e menos chuvoso) possibilitou a determinação da média anual destes poluentes no local de estudo, expressos na tabela 4 e para realização comparativa dos referidos dados, foram adotados os padrões finais (PF) e a Média Aritmética Anual (MAA) do CONAMA 491/218 (tabela 3).

Tabela 4. Concentração dos poluentes atmosféricos nos períodos sazonais

Concentração no período menos chuvoso						
Local	Co (ppm)	PM2,5 (ppm)	PM10 (ppm)	O3 (µg/m³)	SO2 (µg/m³)	NO2 (µg/m³)
Av. N.S.N	8,14	11,40	15,48	27,64	0,00	0,00
Av. R.M	8,09	13,02	15,43	25,31	0,00	0,00
Concentração pesados no período chuvoso						
Local	Co (ppm)	PM2,5 (ppm)	PM10 (ppm)	O3 (µg/m³)	SO2 (µg/m³)	NO2 (µg/m³)
Av. N.S.N	11,58	14,97	18,83	19,95	0,00	0,00
Av. R.M	11,08	13,96	17,92	32,24	0,00	0,00
RES. CONAMA 491	9	25	50	100	20	200

Fonte: Autoras (2023)

A tabela 5 expressa os resultados encontrados a partir da análise da concentração de chumbo por meio de absorção atômica em espectrofotômetro para *M. indica e T. catappa*, que totalizaram 20 amostras, sendo coletada 1 amostra por ponto. É importante ressaltar que a coleta da vegetação para análise foi realizada somente no período de novembro considerado mais chuvoso, dessa forma, a nível de comparação, só foram adotados como referência resultados obtidos por outros autores referentes ao mesmo período sazonal.

Tabela 5: Concentração de Chumbo (Pb) presente nas espécies Castanhola e Mangueira

Amostras	Castanhola (ppm)	Mangueira (ppm)
Branco 50 mL	n/d	-
Branco 25 mL	n/d	-
Branco 20 mL	n/d	-
P1	0,74	0,78
P2	1,46	0,82
P3	0,78	0,84
P4	0,48	0,24
P5	0,56	1,11
P6	0,76	0,48
P7	0,2	0,7
P8	0,96	1,24
P9	n/d	n/d
P10	0,62	0,56
RES. CONAMA 491/2018	0,5 µg/m3 (0,000059 ppm)	-

Fonte: Autoras (2023)

Ferreira (2019) analisou os metais pesados presentes nos folíolos da espécie arbórea *T. catappa* (castanhola) com uso de espectrometria, entretanto, os níveis de chumbos aferidos na vegetação presente na avenida Romulo Maiorana encontravam-se zerados nos dois períodos sazonais, estando dentro dos padrões permitidos por lei.

A partir dos dados obtidos por meio da análise laboratorial, mostrados na tabela 5, foi possível estimar uma concentração média de 0,65 (ppm) de Pb na espécie *T. catappa*, o que representa um aumento expressivo de concentração do metal pesado comparado ao ano de 2019, além de estar em desconformidade com a Resolução 491/18.

Em uma análise da qualidade do ar por monitoramento passivo na cidade de Belém do Pará, Andrade (2022) obteve os seguintes valores referentes a concentração de Chumbo na vegetação presente na avenida Nossa Sra. de Nazaré 0,096 (ppm) e 0,039 (ppm) para os períodos menos chuvoso e mais chuvoso, respectivamente. Comparando os valores obtidos por Andrade aos obtidos no presente estudo, foi adotado o resultado referente ao Ponto 7, que foi de 0,7 (ppm), considerado o de menor concentração do metal na espécie, entre entanto observou se que até mesmo o menor valor ainda é maior que o obtido no ano de 2022, de 0,039 (ppm). Assim, além do aumento expressivo denotado a partir da diferença dos valores obtidos de 2022 para 2023, de acordo com os padrões estabelecidos pelo CONAMA 491, convertendo o menor valor obtido de ppm para µg/m³ obteve-se 5931,10 µg/m³ apresentando desconformidade com a legislação considerando o padrão estabelecido de 0,5 µg/m³. É perceptível o aumento da concentração do metal pesado no local de estudo, haja vista que nenhuma das amostras coletadas na espécie mangueira apresentou conformidade com a legislação.

Para BARGAGLI (1998) o transporte é a fonte mais significativa de poluição do ar nas zonas urbanas. Se tratando da emissão veicular de partículas de Chumbo para o ambiente, sua origem pode ocorrer por uma série de sistemas do veículo, como por exemplo: o desgaste de pneus, elementos de atrito dos sistemas de frenagem e embreagem, assim como as emissões pelo escapamento dos veículos. Pelo escapamento são emitidas partículas e óxidos metálicos, fuligem (carbono com hidrocarbonetos adsorvidos) e, em alguns casos, partículas que se desprendem do conversor catalítico e dos abafadores de ruido (BRANCO, 1990).

A presença do metal pesado na atmosfera é oriunda da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) assim como de indústrias que empregam a fusão de chumbo em seus processos de fabricação. A contaminação do meio ambiente com chumbo pode decorrer, ainda, de acidentes e da destinação inadequada de resíduos.

A toxicidade do chumbo gera desde efeitos claros, ou clínicos, até efeitos sutis, ou bioquímicos. Estes últimos envolvem vários sistemas de órgãos e atividades bioquímicas. Nas crianças, os efeitos críticos atingem o sistema nervoso, enquanto nos adultos com exposição ocupacional excessiva, ou mesmo acidental, os cuidados são com a neuropatia periférica e a nefropatia crônica. Em situações raras, os efeitos sobre a síntese da heme proporcionam indicadores de exposição ao chumbo na ausência de consequências quimicamente perceptíveis. Também os sistemas gastrintestinal e reprodutivo são alvo da intoxicação pelo chumbo. (Moreira FR, Moreira JC. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. Rev Panam Salud Publica. 2004;15(2):119–29)

Observou-se a partir do presente estudo que, tanto o aumento do CO, quanto os níveis preocupantes de Pb nas referidas avenidas possuem uma fonte em comum, pois são considerados poluentes do tráfego (BARGAGLI,1998) além de serem elementos considerados nocivos à saúde humana quando encontrados em grandes quantidades.

Os valores obtidos a partir a média aritmética dos níveis de Pb nas amostras foram de e 0,67 (ppm) 0,65 (ppm) em *M. indica* (Mangueira) e *T. catappa* (Castanhola), indicando que *M. indica* apresentou melhor respostas como bioindicadora para o biomonitoramento de metais pesados na cidade de Belém-do Pará.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo possibilitou a avaliação da qualidade do ar na cidade de Belém do Pará, e a partir dos dados obtidos foi possível inferir que os valores medidos nas avenidas Nossa Sra. De Nazaré e Romulo Maiorana através das medições evidenciaram conformidade quando comparados aos

padrões de referências utilizadas para os poluentes MP10, MP2,5 e O3. O diagnóstico da Qualidade do Ar da realizado nos pontos de estudo, foi balizado pelo índice da Qualidade do Ar, que teve sua classificação como BOA/REGULAR, atendendo a Legislação Ambiental ditada pela Resolução CONAMA 491/18 para os poluentes supracitados.

Os níveis de monóxido de carbono aferidos no período de novembro, considerado o de maior índice pluviométrico, se mostraram acima dos padrões fixados pelo CONAMA nas duas avenidas. Entretanto, apesar da desconformidade encontrada, os níveis obtidos estavam distantes dos considerados níveis de atenção dispostos na mesma resolução.

Observou-se a partir dos resultados uma correlação das concentrações dos poluentes atmosféricos com a intensificação do fluxo de veículos principalmente no período chuvoso, dando destaque para o metal pesado chumbo, que é um poluente do tráfego proveniente da queima de combustíveis fósseis. Foi possível concluir também que houve um aumento preocupante da concentração de Pb na cidade quando realizado um comparativo dos níveis obtidos nos anos de 2019 e 2022. Todos os 20 pontos em que foram coletadas amostras da vegetação para a verificação da presença do metal pesado indicaram desconformidade com a legislação vigente, apontando níveis altíssimos do Pb. A espécie *Mangifera indica* apontou as maiores concentrações.

Vale ressaltar que a cidade de Belém possui uma série de fatores que favorecem a dispersão natural de poluentes, devido seus altos índices pluviométricos e sua localização. Entretanto, a presença de gases e metais poluentes em grandes concentrações, com ênfase para o Pb, apontam a necessidade do monitoramento constante dos poluentes na cidade a fim de prevenir futuros problemas tanto para a saúde da população, quanto para o meio ambiente e uso de espécies arbóreas como indicadoras de alterações é indicado para os ambientes urbanos uma vez que as estruturas foliares apresentam grande plasticidade.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Lana Gabriela Pardal de. ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR POR MONITORAMENTO PASSIVO NA CIDADE DE BELÉM-PA. 2022. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Estado do Pará, Belém, 2022.

ARAUJO B. M., GONÇALVES, R. V. PELUZIO, M. C. G., LEITE, J. P. V., CHAVES, G. S., LOPES, S. O., MIRANDA, C. C., QUEIROZ, J. H. Uso do extrato de folhas de *Mangifera Indica L.* e da Mangifera na lesão aterosclerótica em camundongos após. Bioscience Jornal, Uberlândia, v. 30 (6) 1873-1881, 2014.

BARGAGLI, R. Trace Elements in Terrestrial Plants: An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery. Berlin: Springer, 1998.

BERINGUI, K. *et al.*. Avaliação da concentração e composição inorgânica do material particulado coletado no estado do Rio de Janeiro. Química Nova, v. 44, n. Quím. Nova, 2021 44(6), jun. 2021.

BRAIT, C; FILHO, N. Desenvolvimento e aplicação de sistema passivo de coleta de poluentes atmosféricos para monitoramento de cd, cr, pb, cu, fe, mn, zn e particulados totais. Quim. Nova, Vol. 33, No. 1, 7-13, 2010.

BRASIL. CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 28 mai. 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 491, de 19 de novembro de 2018. Padrões de qualidade do ar. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895>. Acesso em: 28 mai. 2022.

BREDER, L. A evolução do monitoramento da qualidade do ar e desafios para o atendimento dos padrões da organização mundial de saúde (OMS). DispoRevista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula, v.3, No 1, 2020.

CARRERAS, H. A.; PIGNATA, M. L. Comparison among air pollutants, meteorological conditions and some chemical parameters in the transplanted lichen *Usnea amblyoclada*. Environmental Pollution, vol 11, p.45-52. 2001

CASTRO, L. Z. Biomonitoramento da qualidade do ar de regiões do Espírito Santo empregando folhas de *Mangifera Indica* L. Dissertação de mestrado, Centro Universitário Vila Velha, 2011.

CLIMATE-DATA. ORG. Clima Belém (Brasil), 2022. Disponível em: https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/para/belem-4299/. Acesso em: 10 jan. 2023.

COLONE, J. G. Concepção de manual de campo para diagnóstico e monitoramento da qualidade do ar utilizando fungos liquenizados. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade do sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4855. Acesso em: 31 maio 2021.

COSTA, V. B. S., SILVA, W. J. M. S., ALMEIDA, G. M. A., FERREIRA, M. H. G., OLIVEIRA, T. H., GALVÍNCIO, J. D., PIMENTEL, R. M. M. Influência da poluição atmosférica em *Terminalia catappa Linn* em áreas urbanizadas. Revista Brasileira de Geografia Física. v. 8 (2), 236-252. 2015. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/profile/Rejane-Pimentel/publication/

286404377_Influence_of_Air_Pollution_in_Terminalia_catappa_L_in_Urban_Areas/links/571609a408aed2dd5cfc61ec/Influence-of-Air-Pollution-in-Terminalia-catappa-L-in-Urban-Areas.pdf>>. Acesso em: 10 de novembro de 2022.

D'AMELIO, M. T. S.; CAMPO, L. C. L.; ALVIM, D. S. ESTUDO DA VARIABILIDADE DO MONÓXIDO DE CARBONO ATMOSFÉRICO NA REGIÃO METROPOLITANA DE CAMPINAS – SP E COMPARAÇÃO COM SÃO PAULO – SP. Ensaios USF, *[S. l.]*, v. 1, n. 1, p. 80–90, 2017. DOI: 10.24933/eusf.v1i1.50. Disponível em: https://ensaios.usf.edu.br/ensaios/article/view/50. Acesso em: 25 fev. 2023.

DYVIA *et al.* Phytotherapeutic efficacy of the medicinal planta Terminalia Catappa L. Saudi Journal of Biológicas Sciences, v. 26 (5), 985-988, 2019.

FERREIRA, Raphael de Abreu. BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR NAS RUAS E AVENIDAS DO BAIRRO DO MARCO, BELÉM-PA. 2019. 25 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Pará, Belém, 2019

FREIBERG, Márcia Regina; PASQUALETTO, Antonio. DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DO AR DE GOIÂNIA-GO. 2008.

FROTA, E. B., VASCONCELOS, N. S. Química Ambiental

IBGE. 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e estados: Belém. Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/belem.html. Acesso em: 2 dez. 2022.

JACHIC, J.; João Jachic. Poluiçao Monóxido de Carbono em Ambiente Fechado. Revista Tuiuti Ciência e Cultura, p. 19-41 2001.

KRUGER, M. F. D., RODRIGUES, R. A., ESCOBAR, C. C., CORREA, E. K. Poluição atmosférica - percepção da poluição de pelotas/RS. Revista Thema, ed. IFECT Sul-Rio-Grandense. v. 19 (2), 201-209. Rio Grande do Sul, 2021.

LEITE, D. M. Composição física, química, toxicidade e aproveitamento alternativo da *Terminalia catappa Linn*. Monografia Curso de Licenciatura em Química, Centro de Educação e Saúde. Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba. 2015. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/8414/DAYANA%20MOREIRA%20LEITE-TCC%20LICENCIATURA%20EM%20QU%c3%8dMICA%20CES%202015.pdf?sequence=3&isAllowed=y>>. Acesso em: 6 de novembro de 2022.

LEITE, D. M., SILVA, A. P. F., MATTOS, M. A., SOUSA, A. P. M., SANTANA, R. A. C., CAMPOS, A. R. N. Caracterização física e química de *Terminalia catappa Linn*, utilizadas na arborização de áreas urbanas de Cuité-PB. Blucher Chemistry Proceedings, v. 3 (1), Campina Grande, Paraíba. 2015.

LISBOA, H.M. Controle da poluição atmosférica, 2014. Disponível em: http://repositorio.asces.edu.br/bitstream/123456789/418/4/Cap%201%20%20Introdu%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso: 11 fev. 2023.

LÓPEZ, M. L., CEPPI, S., PALANCAR, G. G., OLCESE, L. E., TIRAO, G., TOSELLI, B. M. Elemental concentration and source identification of PM10 and PM2.5 by sr-xrf in Córdoba City, Argentina. Atmospheric Environment, v. 45 (31), 5450-5457, 2011.

MAIA, N. B., MARTOS, H. L., BARRELLA, W. Indicadores ambientais:conceitos e aplicações. Educ, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. v. 1, 76-86. 2001. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=20gKlAy-H1QC&oi=fnd&pg=PA77&dq=bioindicadores+urbaniza%C3%A7%C3%A3o+mangifera+indica+qualidade+do+ar&ots=muOBuc7tJM&sig=g6sLmHhfWuygbqH0FUBTJxWaWd8#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 6 de novembro de 2022.

MOREIRA, FR., MOREIRA J.C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. Rev Panam Salud Publica. 2004;15(2):119–29)

Padrões de qualidade do ar : experiência comparada Brasil, EUA e União Européia / Eduardo Santana...[*et al.*]. -- São Paulo : Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2012. 5Mb ; PDF

PIMENTEL, C.. Metabolismo de carbono de plantas cultivadas e o aumento de CO2 e de O3 atmosférico: situação e previsões. Bragantia, v. 70, n. Bragantia, 2011 70(1), 2011.

RAI, P. K. Impacts of particulate matter pollution on plants: implications for environmental biomonitoring. Ecotoxicology and Environmental Safety vol. 129. 2016.

SILVA, J. G. R. M., MURATORI, M. C. S., BACELAR, R. G. A., FILHO, J. H. S., COSTA, T. P. Avaliação da atividade antimicrobiana do extrato da folha de amendoeira (Terminalia catappa L.). Revista interdisciplinar Ciências e Saúde, II simpósio nordestino de recursos naturais e potencialidades terapêuticas. v. 4 (4), 128-132, 2017.

SILVA, Moacir Ferreira da. Emissão de metais por veículos automotores e seus efeitos à saúde pública. 2007. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/D.6.2007.tde-08112007-152445. Acesso em: 2023-01-26.

SIMONI, W. *et al*. O Estado da qualidade do ar no Brasil. Working Paper. São Paulo, WRI Brasil, 2021. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes>>, acesso em 31 maio 2021.

TIWARI, S.; AGRAWAL, M.; MARSHALL, F. M. Evaluation of ambient air pollution impact on carrot plants at a suburban site using open top chambers. Environmental monitoring and assessment, vol 119. 2006.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. Versão digital 2. Recife, Brasil. 2006.

VÉRAS, T. F., SANTO, A. A. E., LIMA, J. S., SILVA, D. B., RIBEIRO, L. P. Programa de biomonitoramento da qualidade do ar da cidade de Salvador, BA. VII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxambu, Minas Gerais. 2007.