

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS

LILIANE NEIVA ARRUDA LIMA

**MONITORAMENTO BIOLÓGICO PARA IDENTIFICAÇÃO DE FONTE DE
POLUIÇÃO EM ÁREA RESIDENCIAL CONTÍGUA À INSTALAÇÃO DO PORTO
DE SANTOS EM GUARUJÁ-SP, BRASIL**

São Paulo

2023

LILIANE NEIVA ARRUDA LIMA

**MONITORAMENTO BIOLÓGICO PARA IDENTIFICAÇÃO DE FONTE DE
POLUIÇÃO EM ÁREA RESIDENCIAL CONTÍGUA À INSTALAÇÃO DO PORTO
DE SANTOS EM GUARUJÁ-SP, BRASIL**

**BIOLOGICAL MONITORING FOR THE IDENTIFICATION OF POLLUTION
SOURCES IN A RESIDENTIAL AREA ADJACENT TO THE PORT OF SANTOS
FACILITY IN GUARUJÁ-SP, BRAZIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Cidades Inteligentes e Sustentáveis**

ORIENTADOR: PROF. DRA. ANDREZA
PORTELLA RIBEIRO

São Paulo

2023

Lima, Liliane Neiva Arruda.

Monitoramento biológico para identificação de fonte de poluição em área residencial contígua à instalação do porto de Santos em Guarujá-SP, Brasil. / Liliane Neiva Arruda Lima. 2023.

38 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2023.

Orientador (a): Prof^ª. Dr^ª. Andreza Portella Ribeiro.

1. Guarujá- SP. 2. Poluição atmosférica. 3. Monitoramento biológico.

I. Ribeiro, Andreza Portella. II. Título.

CDU 711.4

**MONITORAMENTO BIOLÓGICO PARA IDENTIFICAÇÃO DE FONTE DE
POLUIÇÃO EM ÁREA RESIDENCIAL CONTÍGUA À INSTALAÇÃO DO PORTO
DE SANTOS EM GUARUJÁ-SP, BRASIL**

Por

Liliane Neiva Arruda Lima

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, sendo a banca examinadora formada por:

Professor Doutor Diego de Melo Conti - PUC-Campinas

Professora Doutora Andreza Portella Ribeiro – Universidade Nove de Julho – UNINOVE

Professor Doutor Cristiano Capellani Quaresma – Universidade Nove de Julho – UNINOVE

São Paulo, 31 de março de 2023.

RESUMO

Guarujá, cidade turística da Baixada Santista – SP, comporta a margem esquerda do Porto de Santos, que está situado mais precisamente em Vicente de Carvalho, bairro com infraestrutura voltada para comércio e que conta com uma população de cerca de 150.000 habitantes. Diante da expansão das atividades nos terminais de negociação, a região foi surpreendida com um importante gargalo de logística de escoamento da produção, o que gera intenso congestionamento nas ruas próximas a área portuária. A falta de fluidez no trânsito culmina em intensa emissão de gases e material particulado (MP), resultando em aumento da poluição. Apesar de a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB ser responsável pela fiscalização da qualidade do ar, em Guarujá este monitoramento é recente e conta apenas com uma estação de coleta, em área que não é afetada pelo tráfego de transporte de cargas. O monitoramento da CETESB não é representativo das emissões veiculares, principal fonte de poluição local. Portanto, este trabalho representa uma contribuição científica aos estudos de planejamento da cidade de Guarujá, pois traz um levantamento sobre os níveis de contaminantes atmosféricos, associados ao tráfego veicular, como os de metais pesados, que foram determinados, por meio de um método alternativo, no qual foram utilizadas plantas bioindicadoras de poluição. O metal cádmio - Cd, comumente presente na composição do diesel, apresentou concentrações em áreas com intensa movimentação de caminhões que chegaram a ser 155 vezes maiores que as observadas em regiões sem poluição. A exposição crônica ao Cd pode causar sérios problemas de saúde, entre os mais comuns estão: vômitos, diarreias, dores nos rins, abdome e ossos. O diagnóstico da poluição realizado em Guarujá vem contribuindo para o entendimento da complexidade dos problemas ambientais urbanos, dando à Secretaria do Meio Ambiente - local – insumos à formulação de políticas públicas que tenham como meta o alcance a manutenção da qualidade de vida, bem como condições socioambientais mais justas e equilibradas.

PALAVRAS-CHAVE: Guarujá - SP, Poluição Atmosférica, Monitoramento Biológico.

ABSTRACT

Guarujá, a tourist town in the Baixada Santista – SP, comprises the left bank of the Port of Santos, which is located more precisely in Vicente de Carvalho, a neighborhood with an infrastructure focused on commerce and which has a population of around 150,000 inhabitants. Given the expansion of activities at the trading terminals, the region was surprised with an important logistical bottleneck for the flow of production, which generates intense congestion in the streets close to the port area. The lack of fluidity in traffic culminates in intense emission of gases and particulate matter (PM), resulting in increased pollution. Although the Environmental Company of the State of São Paulo - CETESB is responsible for monitoring air quality, in Guarujá this monitoring is recent and has only one collection station, in an area that is not affected by cargo transport traffic. The monitoring conducted by CETESB is not representative of vehicle emissions, the main source of local pollution. Therefore, this work represents a scientific contribution to the city planning studies of Guarujá, since it provides an assessment of atmospheric pollutant levels associated with vehicular traffic, such as heavy metals, which were determined using an alternative method involving the utilization of bioindicator plants for pollution. Cadmium - Cd, which is a metal commonly found in the composition of diesel, presented concentrations in areas with intense movement of trucks that were 155 times higher than those observed in regions without pollution. Chronic exposure to Cd can cause serious health problems, including but not limited to vomiting, diarrhea, kidney pain, abdominal discomfort, and bone issues. The pollution diagnosis carried out in Guarujá has contributed to the understanding of the complexity of urban environmental problems, providing to the Environment Secretariat - SEMAM inputs for the formulation of public policies aimed at achieving and maintaining the quality of life, as well as promoting fair and balanced socio-environmental conditions.

KEYWORDS: Guarujá - SP, Atmospheric Pollution, Biological Monitoring.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	11
2.1 GERAL	11
2.2 ESPECÍFICOS	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E IMPACTOS À SAÚDE.....	12
3.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR-CETESB E A ALTERNATIVA DO MONITORAMENTO BIOLÓGICO	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1 ÁREA DE ESTUDO	19
4.2 ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO BIOLÓGICO EM VICENTE DE CARVALHO, GUARUJÁ-SP	20
4.3 ANÁLISES QUÍMICAS E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 IMPLICAÇÕES DO ESTUDO EM BENEFÍCIO A VICENTE DE CARVALHO.....	30
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das cidades, apesar de obviamente necessário, tem contribuído para a intensificação de atividades antrópicas com potencial poluidor, as quais resultam em liberação de diversas substâncias químicas para a atmosfera, solo e recursos hídricos. Dentre essas atividades, destacam-se as emissões oriundas de veículos automotores, leves e / ou pesados, cujos funcionamentos dependem de combustíveis que apresentam heterogeneidade em sua composição química e, conseqüentemente, geram emissões diversificadas de contaminantes no meio ambiente (THEOPHILO et al., 2021). A contribuição de emissões veiculares é bastante pronunciada nas megalópoles e nas cidades costeiras, principalmente naquelas onde são desenvolvidas atividades portuárias, como é o caso dos municípios da Baixada Santista, Santos e Guarujá, que comportam as instalações do Porto de Santos, o maior da América Latina (THEOPHILO et al., 2021).

Frente à preocupação global com as mudanças climáticas, especial atenção tem sido dada em se avaliar alguns parâmetros de qualidade do ar, uma vez que o crescimento urbano não planejado e os impactos das emissões antrópicas têm contribuído para o aumento de diversas doenças, como as respiratórias, cardiovasculares e alérgicas (FERREIRA et al., 2017; MARTINS et al., 2021).

Dentre os órgãos ambientais do país, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CESTEB) se destaca pelo seu sofisticado “Sistema de Informações de Qualidade do Ar –QUALAR”, com redes automáticas e fixas, que garantem a medição das condições atmosféricas, em locais de diferentes características, de modo que as estações atendam às necessidades distintas de monitoramento, gerando informações, sobre áreas onde são esperados altos níveis de poluentes, as concentrações associadas em locais de maior densidade populacional, impactos da qualidade do ar devido fontes antrópicas, como indústrias e frota veicular e dados médios de concentração de poluentes na atmosfera, considerando a vocação econômica e as características regionais do espaço físico das cidades do estado (CETESB, 2018).

Por outro lado, um dos mais importantes órgãos ambientais do mundo, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), destaca que os sistemas de gestão de qualidade do ar são onerosos e sofisticados; portanto, além de orçamento substancial, exigem especialistas capacitados na utilização de sensores e interpretação de dados (SYNDER et al., 2013).

Isso implica que poucas cidades no mundo, sobretudo aquelas em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento terão condições de manter uma rede de monitoramento robusta, onde há atividade potencialmente poluidora (RIBEIRO et al., 2017). Esse é o caso dos municípios da Baixada Santista, que apesar de possuírem as estações da CETESB, estas não são suficientes para monitorar os níveis de contaminantes atmosféricos oriundos da frota de veículos pesados que atendem às atividades do polo industrial de Cubatão e do Porto de Santos – o maior da América Latina, e são indispensáveis ao transporte de insumos aos terminais de cargas e a outras regiões do país (NEVES, 2015).

Como alternativa à falta de recursos financeiros para estabelecer um programa de qualidade do ar, desde o início dos anos 2000, a Organização Mundial da Saúde (OMS) considera o monitoramento biológico como um método de baixo custo e eficaz para estimar os níveis de contaminantes do ar e seus impactos em receptores. Os organismos vivos, tais como folhas de plantas, líquens, musgos e cascas de árvores são marcadores úteis que permitem relacionar à exposição humana, os riscos causados por vários poluentes atmosféricos (OMS, 2012; FERREIRA et al., 2017).

Especificamente no caso de Guarujá, a expressiva participação no Porto de Santos, ainda que direcione essenciais recursos financeiros à cidade, culminou em impactos ao ordenamento territorial, devido ao congestionamento de caminhões (Prefeitura Municipal de Guarujá, 2012). O intenso fluxo veículos favorece o enriquecimento na atmosfera de precursores de ozônio (O₃), como hidrocarbonetos (exceto metano), aldeídos, NO_x, Material Particulado (MP) dia diâmetros menores que 10 µm (MP₁₀) e 2,5 µm (MP_{2,5}). Os MP podem apresentar altas concentrações de metais pesados, como cádmio (Cd) e cobre (Cu); colocando em risco a saúde da população (CETESB, 2014).

Embora a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CESTEB) fiscalize a qualidade do ar, seguindo as diretrizes do Decreto Estadual nº 59.113/2013, por meio de parâmetros e técnicas de medição, na Baixada Santista, este monitoramento em Guarujá é recente, iniciou em 2016, e contempla apenas estação de coleta, para medição de MP₁₀ (CETESB 2017). Portanto, na cidade de Guarujá não existe um inventário sobre, por exemplo, os chamados, elementos relacionados ao tráfego veicular os quais têm sido foco de diversos tipos de estudos científicos, devido ao seu potencial efeito adverso à saúde (Figueiredo e Ribeiro, 2015; Bai et al., 2022).

Para a própria Secretaria Municipal de Meio Ambiental (SEMAM) do Guarujá, essa lacuna de conhecimento, ocorre justamente em um momento que a cidade vivencia expansão territorial, em desarmonia com o princípio de equidade social. A Agenda 21 do município

ressalta a falta de planejamento estratégico no enfrentamento de problemas associados à poluição ambiental, a falta de autonomia e influência na política local e nas decisões sobre projetos voltados ao desenvolvimento humano e sustentável da população, fragilizando a administração pública local (Prefeitura Municipal de Guarujá, 2012).

Dada a situação verificada, o desenvolvimento desse estudo buscou contribuir, de forma científica e técnica, com informações sobre a qualidade do ar, com intuito de oferecer dados quantitativos às autoridades locais que possam auxiliá-los em suas tomadas de decisão.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

O presente estudo teve como objetivo determinar os níveis de poluentes atmosféricos e sua relação com o tráfego local, na região sob influência da margem esquerda do Porto de Santos, o Distrito de Vicente de Carvalho, no município de Guarujá – SP.

2.2 ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral foram estabelecidos dois objetivos específicos:

1. Quantificar metais pesados como Cd e Cu, comumente conhecidos como “elementos relacionados ao tráfego”;
2. Identificar as áreas do Distrito de Vicente de Carvalho que onde há maior influência do tráfego de caminhões que acessa o Porto de Santos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Com intuito de trazer contexto mais sucinto, esta seção apresentará, brevemente, trabalhos da literatura científica, bem como de alguns instrumentos legais e agendas ambientais globais que darão suporte à discussão dos resultados.

3.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E IMPACTOS À SAÚDE.

O impacto na qualidade do ar devido à frota veicular, os caminhões são os que contribuem significativamente para o enriquecimento atmosférico de óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP), estes ricos em metais pesados. O MP é facilmente inalado, por isso pode causar diversos problemas de saúde pública (Rodríguez et al, 2010; Ferreira et al., 2017a).

Uma pesquisa conduzida em Varsóvia – Polônia, que tomou por referência as emissões de PM_{10} , indicou que aproximadamente 827 moradores locais morreram, em um ano, em consequência da poluição do ar relacionada ao tráfego veicular. Em relação aos registros de hospitalizações, cerca de 566 e 250 foram devido a doenças cardiovasculares e respiratórias, respectivamente. O levantamento de dados de saúde também permitiu verificar que mais de 128.453 dias de absenteísmo foram devidos a alguma doença que poderia ter sintomas intensificados pelas emissões do tráfego. Do ponto de vista social, essas perdas geram um custo de aproximadamente €\$ 382.857,14 (Jakubiak-Lasocka et al., 2014).

Em outro estudo voltado à valoração dos custos evitados, Debone et al. (2020) investigaram, a despeito dos prejuízos econômicos e demais transtornos, o impacto positivo da baixa circulação de caminhões, em virtude da greve ocorrida em 2018, no Brasil, à saúde da população. Para avaliar a redução da poluição, foram comparadas as concentrações de poluentes atmosféricos durante os dias da greve e dias de controle, considerando condições meteorológicas equivalentes em regiões próximas às rodovias da principal capital brasileira, a qual é reconhecida economicamente no cenário mundial: a cidade de São Paulo.

Com base nos resultados da redução da poluição, foram calculados o risco relativo e as mortes evitadas atribuídas a cada poluente analisado. O levantamento dos níveis de MP_{10} e NO_2 indicou que houve significativa redução em todas as rodovias analisadas. Como consequência, para os trechos de estradas analisados, os registros de saúde mostraram cerca de 1,15 e 3,05 mortes evitadas devido à redução de MP_{10} e NO_2 , respectivamente, o que representou uma economia de quase US\$ 8 milhões, durante a greve. Além disso, as estimativas para um cenário de um ano inteiro resultariam em 81 (MP_{10}) e 227 (NO_2) potenciais mortes evitadas, considerando as reduções alcançadas durante a greve. Esse quantitativo é equivalente a um

ganho monetário de aproximadamente US\$ 579 milhões, anualmente. Portanto, as descobertas forneceram evidências para apoiar investimentos em transporte mais limpo e ações de mitigação da qualidade do ar (Debone et al, 2020).

No que concerne à composição dos MP, os elementos químicos potencialmente tóxicos, comumente chamados de “metais pesados” podem fazer parte de sua constituição, como arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), crômio (Cr), mercúrio (Hg), Níquel (Ni), zinco (Zn), entre outros. Um exemplo da influência local no tamanho e composição da partícula pode ser verificado no trabalho de Du et al. (2012) que examinaram o risco à saúde humana da exposição a metais pesados pelo sistema respiratório com base em dados atmosféricos coletados em Shenzhen, China. Os autores determinaram os tipos e os níveis de metais pesados. Além disso, eles realizaram uma avaliação de risco à saúde com base nos dados.

Os resultados demonstram que as concentrações de alguns metais na composição de MP_{2,5} foram – em ordem decrescente: Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd, As e Hg. Eles também descobriram que a proporção de As, Cd e Pb excedeu o limite de referência indicado no Padrão de Qualidade do Ar-Ambiente da China, para o ano (que é 10⁻⁶/ano). O estudo ainda permitiu aos autores inferir que As e Cr são os elementos que representam riscos mais significativos à saúde (Du et al., 2012).

Em Alvarez, no Irã, foi realizado um levantamento no número de internações por doenças respiratórias crônicas (DRC), de população exposta a emissões de dióxido de enxofre (SO₂). No estudo, verificou-se que o número de internações foi máximo entre os cidadãos que moravam perto de áreas de indústria com alto potencial poluidor (aço, petróleo e gás). Os autores puderam inferir que, um aumento de 10 µg/m³ no nível de SO₂ levou a um aumento de 3,4% de DRC (Goudarzi et al., 2016).

Dapper et al. (2016) sugeriram que a poluição atmosférica tem sido responsável pelo baixo peso de recém-nascidos, partos prematuros e maior ocorrência de anemia falciforme. Em um estudo realizado na região do Vale do Paraíba, Nascimento et al. (2006) mostraram que o incremento de 24,7 mg/m³ em MP₁₀ contribuiu para o aumento em 9,8% dos casos de internação de crianças com pneumonia, em hospitais locais. Mantovani et al. (2016) mostraram uma forte relação entre concentração de poluentes atmosféricos e casos de internações hospitalares, destacando o valor gasto com o tratamento de debilitados. Os autores ressaltaram a necessidade de se pensar sistematicamente na questão da mobilidade urbana, políticas de emissões atmosféricas e saúde pública.

3.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR-CETESB E A ALTERNATIVA DO MONITORAMENTO BIOLÓGICO

A CETESB se destaca pelo seu sofisticado “Sistema de Informações de Qualidade do Ar” (QUALAR), com redes automáticas e fixas, que garantem a medição das condições atmosféricas, em locais de diferentes características, de modo que as estações atendam às necessidades distintas de monitoramento, gerando informações, sobre áreas onde são esperados altos níveis de poluentes, as concentrações associadas em locais de maior densidade populacional, impactos da qualidade do ar devido fontes antrópicas, como indústrias e frota veicular e dados médios de concentração de poluentes na atmosfera, considerando a vocação econômica e as características regionais do espaço físico (CETESB, 2018).

O QUALAR faz uso diversas técnicas aprimoradas de medição para quantificar os parâmetros amostrados em suas redes, conforme requisitos do Decreto Estadual nº 59.113/2013. As redes automáticas de monitoramento são capazes de processar na forma de médias horárias, no próprio local e em tempo real, as amostragens realizadas em intervalos de cinco segundos.

Os resultados são transmitidos para a central de telemetria e armazenados em servidor de um banco de dados, onde passam por processo de validação técnica periódica e, posteriormente, são disponibilizados de hora em hora no endereço eletrônico da CETESB. Nas estações manuais, a amostragem é realizada durante 24 horas, a cada 6 dias e durante 1 mês, no caso dos amostradores passivos. Nos laboratórios da CETESB, são realizadas as análises das amostras coletadas e, para o caso de MP, é possível fazer a caracterização do tamanho de partícula e a associação com a sua principal fonte emissora. Todos os dados gerados com o QUALAR em tempo real, ou de forma mais abrangente, nos relatórios, ficam disponibilizados à população, na plataforma virtual da agência (CETESB, 2018).

Para a indicação dos pontos de coleta de dados, a CETESB aproveitou as diretrizes da Lei Estadual nº 16.337/2016, que trata do Plano Estadual de Recursos Hídricos. Assim, a rede de monitoramento para a avaliação da qualidade do ar também é definida como 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), estas estabelecidas com base na vocação econômica principal de cada região.

A importância do QUALAR para o planejamento urbano e regional é verificada, sobretudo na Região Metropolitana de São Paulo. Em 2021, a CETESB contou com 62 estações automáticas e 22 pontos de monitoramento manual, atendendo a todo o Estado de São Paulo (CETESB, 2022). Contudo, esse número ainda não contempla a real necessidade da Baixada

Santista e em outras regiões do Estado, onde há intensa atividade industrial, de mineração e a frota veicula.

A Baixada Santista - que pertence à UGRHI 7 - conta com 05 estações de monitoramento: 03 na cidade de Cubatão (Centro, Vale do Mogi e Vila Parisi) e 02 s em Santos (Santos, Ponta da Praia). Nessas localizações, as atividades industriais são as principais fontes de emissões de poluentes atmosféricos. Portanto, a UGRHI 7 não contempla as atividades portuárias e o impacto na qualidade do ar, causado pela frota de caminhões que acessa o terminal, no município de Guarujá (CETESB, 2018).

Por outro lado, no relatório do Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV), cuja responsabilidade também é da CETESB, dados de emissões relativas ao ano de 2012 indicaram que a Baixada Santista está entre as regiões prioritárias para a redução de precursores de ozônio (O₃), com origem na frota veicular (CETESB, 2014).

Para a cidade de Cubatão, o PCPV apresenta ainda uma ressalva, indicando que a emissão de partículas inaláveis está 57% acima dos padrões de qualidade definidos pela Deliberação CONSEMA 12/2013. Fato associado à intensa frota de caminhões com destino ao polo industrial e ao Porto de Santos. Como esses caminhões são provenientes de todas as regiões do Brasil, as ações esperadas com o PCPV, e que são limitadas à frota licenciada no Estado de São Paulo, podem não ser suficientes para mitigar os problemas associados à poluição atmosférica, nas cidades que abrangem o polo industrial e as atividades portuárias (CETESB, 2014).

Somado a isso, a rede manual de Guarujá - em 2021 - chegou a registrar 4 episódios com concentração de MP₁₀ (24h) maior que 100 µg/m³; o que significa que o ar apresentava “qualidade ruim” (Decreto Estadual nº 59.113/2013). Vale ainda ressaltar, que o ponto de coleta, apesar de situado em Vicente de Carvalho, e trazer dados importantes para o planejamento local, não contemplou a rota preferencial dos caminhões que acessam os terminais de carga do porto; ou seja, as informações da rede CETESB para Guarujá ainda está aquém da necessária para identificar os potenciais efeitos adversos da frota veicular à qualidade do ar e à saúde da população.

De acordo com Synder et al. (2013), sistemas sofisticados para diagnóstico da poluição atmosférica, necessitam de especialistas capacitados na utilização de sensores e interpretação de dados. Segundo os autores, a EPA promove oficinas com foco na racionalização dessas tecnologias, pois essas redes tradicionais de monitoramento, com instalações automáticas, ainda são caras e complexas. Nesse sentido, a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2012) tem

incentivado o desenvolvimento de estudos ambientais para verificar a viabilidade da adoção de técnicas simplificadas como monitoramento biológico.

O monitoramento biológico é uma ferramenta de baixo custo e eficaz para identificar os impactos de fatores externos nos ecossistemas, comparando áreas não poluídas com áreas poluídas, ou suas consequências a longo prazo, em local específico (DE TEMMERMAN et al., 2004; MARKERT et al., 2011). Com base nas respostas dos receptores ao estresse ambiental, algumas premissas podem ser levantadas sobre os riscos para o ser humano (MARKERT et al., 2011).

Os organismos vivos, tais como folhas de plantas, líquens, musgos e cascas de árvores, são receptores de contaminantes atmosféricos (NOROUZI et al. 2015; CARDOSO-GUSTAVSON et al., 2016, MOREIRA et al., 2016; RIBEIRO et al, 2017).

Para a avaliação da qualidade do ar no Distrito Vicente de Carvalho, a bromélia *Tillandsia usneoides* L. foi utilizada como biomonitor da poluição atmosférica em rodovia, avenidas e ruas residenciais. Conhecida popularmente como “barba de bode” ou “barba de pau”, a *T usneoides* é uma espécie epífita aérea, o que significa que, com raízes superficiais, só consegue se apoiar em troncos de árvores, para alcançar sempre o lugar mais alto, na tentativa de absorver todos os nutrientes de que precisa da atmosfera (MARKERT et al., 2003; MARKERT et al., 2011).

Nesse sentido, da mesma forma que os MP, a *T. usneoides* também retém os poluentes que estão presentes no ambiente. Além disso, seu crescimento é lento e não apresenta qualquer contato com o solo; ou seja, em estudos de quantificação de compostos químicos, não há dúvidas de que estes provêm da atmosfera (CARDOSO-GUSTAVSON et al., 2016; GIAMPAOLI et al., 2016). Daí, sua escolha para avaliação da qualidade do ar em Guarujá, frente a outras opções de bioindicadores.

No cenário nacional, Guarujá certamente é reconhecida por sua vocação turística, devido a suas belezas naturais encravadas em uma ilha (com formato de dragão), com área de 143 km² de extensão, que abriga 25 praias paradisíacas. No entanto, conforme já enunciado, a expressiva participação no Porto de Santos, apesar de alavancar a economia, tanto em âmbito local, como nacional, apresentam diversos impactos negativos à cidade, que afetam a qualidade de vida da população, sobretudo daquela que vivem em Vicente de Carvalho (LIMA et al., 2022).

O panorama verificado na interface porto/cidade revela transformações no espaço urbano de Guarujá, que fragilizam o alcance de diretrizes de planejamento e desenvolvimento previstas no Plano Diretor do Município (Lei Complementar nº 156/2013). Neste caso, citam-

se alguns exemplos: (i) o desenvolvimento sustentável da cidade; (ii) o desenvolvimento econômico do município e o uso socialmente justo e ambientalmente equilibrado de seu território, de modo a assegurar o bem-estar de seus habitantes; (iii) o controle ou promoção do adensamento construtivo, considerando a capacidade de infraestrutura de cada região e (iv) a garantia da qualidade do ambiente urbano com a preservação, proteção e recuperação dos ambientes natural e construído, por meio do efetivo monitoramento e controle da poluição (ar, água e solo) causada pelas atividades antrópicas, entre outros objetivos.

No caso do Código de Posturas do Município de Guarujá (Lei Complementar nº 44/1998), este se caracteriza como ferramenta de fiscalização à Prefeitura e determina como responsabilidades da SEMAM (em seu Título IV, Capítulo I) a proteção do meio ambiente, a prevenção e a fiscalização de atividades que causem degradação e /ou poluição do ar, água e solo.

Por outro lado, apesar dos mais de 20 anos do Código de Postura (Lei Complementar 44/1998), a Prefeitura ainda não atendeu as diretrizes determinadas para controle da poluição. No caso de contaminantes atmosféricos (Título IV, Capítulo II, Seção I) por exemplo, não existem sequer indicadores químicos sobre os tipos e níveis de poluentes que não oferecem risco ao meio ambiente e à qualidade de vida.

Portanto, as informações aqui levantadas, que fazem parte de um projeto maior (FAPESP Programa de Pesquisa em Políticas Públicas Processo 2020/05383-9) sobre os contaminantes do ar e suas principais fontes emissoras, bem como a associação desses poluentes com prejuízos à saúde da população possibilitará a adoção, pela SEMAM, de medidas preventivas de controle ambiental para transporte de insumos.

Especificamente para as atividades portuárias, o levantamento de substâncias químicas presentes no ar se traduz na possibilidade enrijecimento do controle ambiental nas frotas de veículos pesados. Além disso, caso a pesquisa identifique contaminação devido à movimentação de cargas à granel, fora da zona portuária, porquanto algum tipo de anomalia na região urbana arredor, as tomadas de decisão culminarão possivelmente em Ação Civil Pública e elaboração de nova legislação ambiental, recrudescendo sanções administrativas. Em resumo, o presente estudo poderá representar uma nova fase no controle ambiental das atividades portuárias em Guarujá.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Uma pesquisa pode ser dividida em duas estruturas, sendo, uma pesquisa experimental em que a coleta de dados pode ocorrer em laboratório ou em campo e uma pesquisa não experimental (sem estudos de campo), tendo como base os métodos quantitativo e qualitativo (MOREIRA, 2000).

Santos (2009) faz menção ao recolhimento de dados quantitativos e qualitativos para compor a pesquisa mediante novos recursos informatizados, especificando também que a pesquisa quantitativa envolve em coleta de dados numéricos e que a pesquisa qualitativa é focada na mensuração de um fenômeno.

Para Creswell (2010), a pesquisa pode se fundamentar em uma abordagem mista; isto é, que combina as formas quantitativas e qualitativas. Para a consecução deste estudo, os autores utilizarão um procedimento sequencial, inicialmente a partir de uma pesquisa quantitativa, do tipo descritiva, com o objetivo de identificar os tipos de contaminantes atmosféricos em Vicente de Carvalho e suas principais fontes emissoras. A abordagem qualitativa, exploratória se fará por meio de pesquisa bibliográfica e análise documental, no que se refere aos dados de saúde e estudos científicos com enfoque nas NbS para minimizar impactos da poluição química em áreas urbanas.

Na Figura 1, apresenta-se um quadro que associa os objetivos da pesquisa, às etapas metodológicas, tomando-se por base alguns trabalhos da literatura científica, a qual deverá ser aprimorada para a versão final do trabalho.

Figura 1- Etapas metodológicas, fundamentadas na literatura científica, para alcance dos objetivos da pesquisa.

Objetivos			
	Específicos	Metodologia	Fundamentação Teórica (algumas citações)
Geral	1. Quantificar metais pesados como Cd e Cu, comumente conhecidos como "elementos relacionados ao tráfego"	Utilização da planta <i>Tillandsia usneoides</i> L. como biomonitor dos poluentes. Quantificar por meio de protocolos químicos as concentrações de Cd, Cu e Pb, metais pesados, com origem comumente associada, em centros urbanos, às emissões veiculares.	Nogueira (2006) Vieira et al., (2011) Figueiredo e Ribeiro, (2015) Cardoso-Gustavson et al., (2016) Theophilo et al., (2021)
	2. Identificar as áreas do Distrito de Vicente de Carvalho que onde há maior influência do tráfego de caminhões que acessa o Porto de Santos	Utilização ferramentas computacionais de geoprocessamento, a exemplo do software QGIS, para facilitar a visualização da dispersão metais Cd e Cu, diagnosticar as áreas de Vicente de Carvalho que apresentam as mais altas concentrações de poluentes atmosféricos e comparar com dados da literatura que possam indicar se os impactos das emissões veiculares podem oferecer riscos à saúde pública.	Theophilo et al., 2021 Ferreira et al., 2017 Ribeiro et al., 2017 Rakauskas et al. (2021)

Fonte: Autor

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Guarujá – SP faz parte da Região Metropolitana da Baixada Santista; esta conta com uma população estimada em 1,7 milhões de pessoas. No cenário nacional, Guarujá certamente é reconhecida por sua vocação turística, devido a suas belezas naturais encravadas em uma ilha (com formato de dragão), com área de 143 km² de extensão, que abriga 25 praias paradisíacas.

Além disso, outras cidades da Baixada apresentam alto potencial turístico. Como resultado, a região, em períodos de alta temporada, que compreendem os meses de novembro a março, sobretudo nas festas de final de ano e carnaval, pode ter um aumento de até 50% sobre sua população total.

Esse quantitativo torna-se mais preocupante, para as cidades portuárias. No caso de Guarujá, com população estimada de Guarujá é de 345.977 habitantes (IBGE, 2022); entretanto, durante a temporada de férias de verão, há um aumento significativo no número de residentes ocasionais, que chegam a quase dois milhões e meio de pessoas e – consequentemente – se observa um aumento substancial da frota veicular que, somado à já habitual que acessa o Porto faz com que, no caso da Prefeitura Municipal de Guarujá, algumas premissa de Plano Diretor sejam negligenciadas, a saber: (ii) o desenvolvimento econômico do município e o uso socialmente justo e ambientalmente equilibrado de seu território, de modo a assegurar o bem-estar de seus habitantes; (iii) o controle ou promoção do adensamento construtivo, considerando a capacidade de infraestrutura de cada região e (iv) a garantia da qualidade do ambiente urbano com a preservação, proteção e recuperação dos ambientes natural e construído, por meio do efetivo monitoramento e controle da poluição (ar, água e solo) causada pelas atividades antrópicas, entre outras (PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARUJÁ, 2012).

A situação é mais preocupante no Distrito de Vicente de Carvalho, bairro de Guarujá com predomínio de residências e atividades comerciais e onde se localiza totalmente a margem esquerda do Porto de Santos.

Estima-se que cerca de 150.000 sejam afetadas diretamente pelas emissões dos transportes de carga. Por outro lado, a própria gestão local enfatiza que os 10 terminais portuários e 08 retroportuários geram cerca de 5.000 vagas de empregos aos moradores locais (IBGE, 2021).

4.2 ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO BIOLÓGICO EM VICENTE DE CARVALHO, GUARUJÁ-SP

Conforme constatado pela Secretaria Meio Ambiente de Guarujá (SEMAM), há pelo menos 07 anos, a cidade sofre com o problema de logística de escoamento de transporte de cargas. O congestionamento ocorre diariamente, principalmente, na Rua Idalino Pines, Via Santos Dumont e Rodovia Cônego Domênico Rangoni (Figura 2). O problema intensificou-se com a liberação de veículos comerciais para transporte de mercadoria no Porto de Santos, em atendimento aos períodos de supersafra.

A Rodovia Cônego Domênico Rangoni (ou Piaçaguera-Guarujá) é uma das maiores rodovias do Estado de São Paulo. Inicia-se no Rodovia dos Imigrantes; possui cerca de 30 km de extensão, permite o acesso de Guarujá ao trevo da Rio-Santos; contornando ainda o polo industrial de Cubatão. Também é a principal rodovia à margem esquerda do Porto de Santos.

Já no perímetro urbano e residencial, em Vicente de Carvalho, a Rua Idalino Pines (mais conhecida como “Rua do Adubo”) é porta de entrada para caminhões carregarem ou descarregarem seus insumos. A Rua do Adubo possui 1,5 km de extensão. Nela, está localizado o chamado Ecoporto, pátio de área de 70.000 m², utilizado como local de parada para que os caminhões sejam lavados e possam seguir aos terminais de abastecimento para escoar os insumos a outras regiões do país.

Como a Rua do Adubo é o principal acesso ao porto e ao Ecoporto, a maior parte dos motoristas que não consegue vaga dentro do pátio, acaba estacionando em seus arredores afetando o tráfego veicular; por exemplo, da Avenida Santos Dumont, principal pista de tráfego urbano, que dá acesso à Avenida Perimetral da margem esquerda, com extensão de 4 quilômetros (HILSDORF e NOGUEIRA NETO, 2016). Os impactos da circulação dos veículos pesados são verificados na falta de mobilidade e no bem-estar da população que reside em Vicente de Carvalho (Figura 2).

Figura 2- Congestionamento causado por transporte de cargas em Vicente de Carvalho e no entorno da margem esquerda do Porto de Santos, Guarujá-SP.

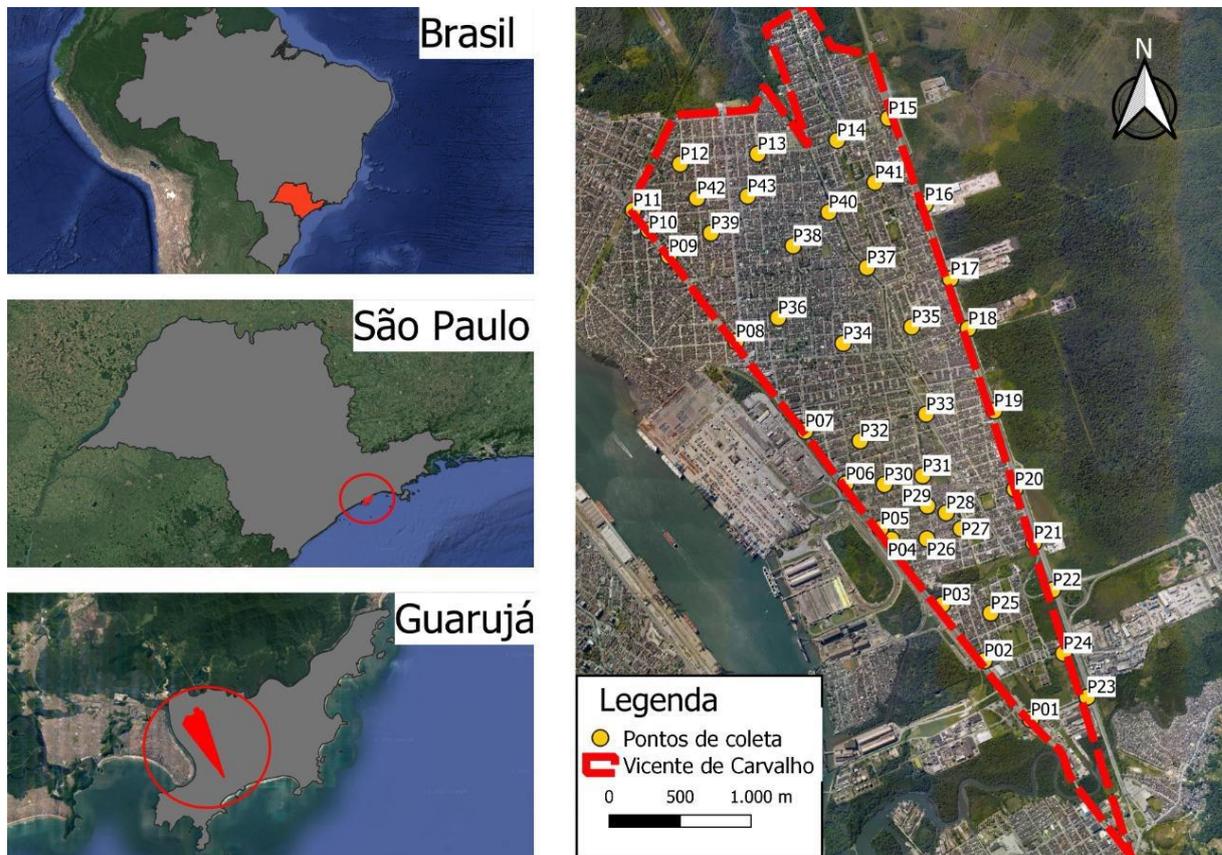


Fonte: Imagens: google/Search (2019).

Para o monitoramento biológico no Distrito de Vicente de Carvalho, amostras de plantas foram instaladas, ao longo de 2019, em locais estratégicos, sempre que possível, mantendo distâncias homogêneas, totalizando 43 estações de amostragem, cada uma delas contendo cerca de 10 g do bioindicador *T. usneoides* (as bromélias foram armazenadas em redes de náilon), dispostas em galhos de árvores, a uma altura de aproximadamente três metros do solo.

Cada estação teve suas coordenadas registradas, por meio de um GPS, utilizando o Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), Figura 3. As amostras das plantas ficaram expostas por até dois (sendo trocadas após esse intervalo), considerando períodos secos e com maior índice de pluviosidade. Como região controle (sem poluição), considerou-se o município de Cordeirópolis – SP, onde se localiza o viveiro das plantas e não se verifica atividade poluidora.

Figura 3 - Localização geográfica da área de estudo e estações de amostragem dos bioindicadores.



Fonte: Autores (2022).

4.3 ANÁLISES QUÍMICAS E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES

As amostras coletadas foram armazenadas em embalagens de fibras de celulose (papelão) e transportadas ao laboratório de Química da UNINOVE, até a preparação para quantificação dos poluentes. Na etapa seguinte as amostras foram secas (até peso constante) em estufa com circulação de ar a 40° C, para prevenir a perda de elementos voláteis. Após esse procedimento, as amostras foram liofilizadas sem lavagem prévia e moídas em um moinho vibratório até obtenção de um pó fino e homogêneo.

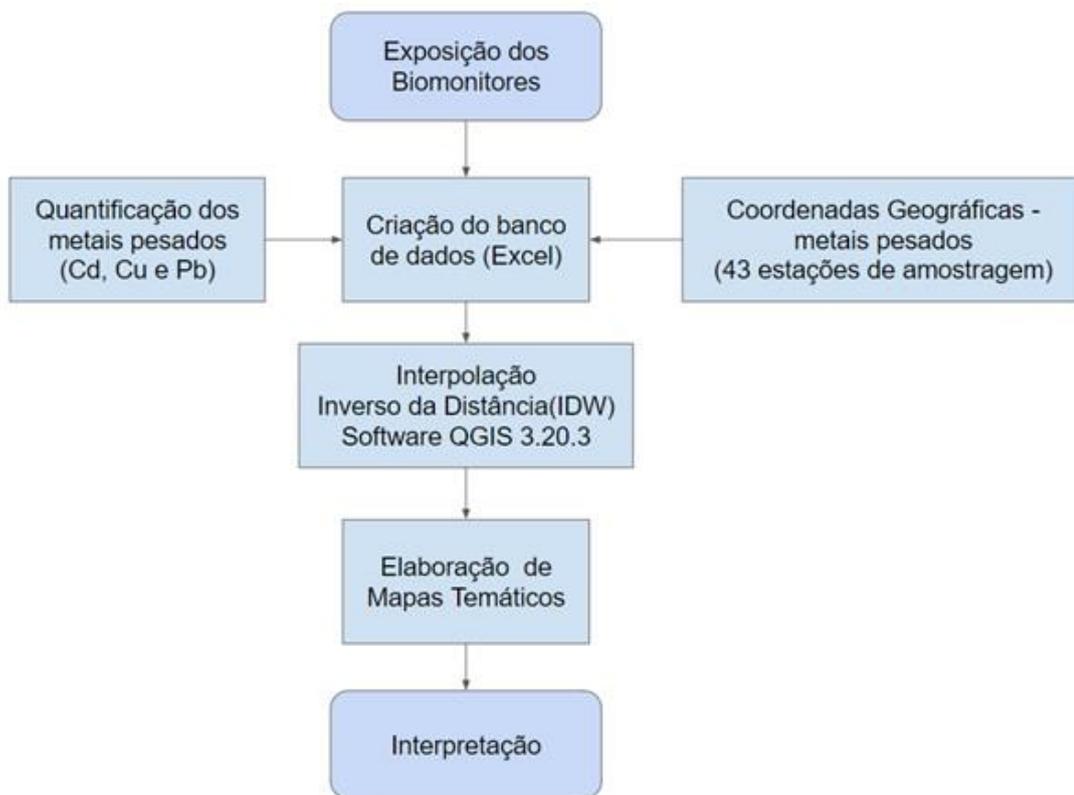
Alíquotas de 0,6 g de bioindicadores e de materiais referência *Peach leaves*, (SEM 1547) foram pesados com precisão em tubos de centrífuga de 15 mL, em seguida foram transferidos para tubos de teflon, acrescentando-se uma mistura de solução de ácido nítrico e peróxido de hidrogênio (10 mL de HNO₃ e 2 mL de H₂O₂). As amostras foram submetidas a uma digestão em bloco digestor, conforme protocolo 3050 (USEPA, 1986). As soluções límpidas e homogêneas foram analisadas por meio da técnica de Espectrometria de Absorção

Atômica (AAS), no equipamento AAnalyst 800 da Perkin-Elmer, pertencente ao Laboratório de Ativação com Nêutrons, do Centro de Reator de Pesquisas, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (LAN/CRPq/IPEN).

Neste trabalho, serão apresentados os dados obtidos para os metais pesados Cd e Cu, considerando o mês de fevereiro (normalmente mais úmido) e julho (normalmente mais seco), de 2019.

Com a base de dados de concentração de cada metal e das coordenadas geográficas das estações de amostragem, pôde-se elaborar os mapas de distribuição espacial (Figura 4).

Figura 4 - Quadro Esquemático com as etapas seguidas à elaboração dos mapas no software QGIS 3.20.3.



Fonte: Autor.

Para melhor visualização das concentrações dos contaminantes, para os biomonitores expostos nas 43 estações de amostragem - árvores - foram criados arquivos de Excel para registrar as respectivas coordenadas geográficas, bem como associá-las as concentrações de Cd, Cu

Os mapas foram gerados em escala 1:1000, com projeção Universal Transversa da Mercator (UTM) e Datum SIRGAS 2000, fuso 23S no processamento de dados em atendimento ao sistema de referência cartográfica oficial (CHEN e LIU, 2012).

Para tanto, utilizou-se o software QGIS 3.20.3 para processamento e análise de dados espaciais, com a finalidade de gerar um arquivo *shapefile* sobre uma base cartográfica de imagem de satélite *Esri Satellite*. Essa base cartográfica foi delimitada para abranger a área de estudo, proporcionando suporte inicial para a criação dos mapas.

Os mapas base utilizados foram das imagens de satélite adquiridas por meio de diversas plataformas online, disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (<https://www.ibge.gov.br/>), *Esri Satellite Map* (<https://www.esri.com/en-us/maps-we-love/gallery/satellite-map>) e *Open Street Map* (<https://www.openstreetmap.org/>), sendo todos obtidos de maneira gratuita. A partir dessas imagens, os mapas foram gerados em escala 1:1000, com o uso da projeção *Universal Transversa da Mercator* (UTM) e Datum SIRGAS 2000, fuso 23S, atendendo aos requisitos do sistema de referência cartográfica oficial.

Foi adotada a técnica de interpolação por inverso da distância (IDW) para aprimorar a visualização das concentrações de contaminantes. Essa técnica permite estimar as concentrações em pontos desconhecidos a partir dos valores em pontos conhecidos, usando a distância ponderada de um ponto amostral como referência (CHEN e LIU, 2012). Durante a interpolação, os valores de concentração são classificados por peso, levando em conta a influência de um ponto em relação a outro, e diminuem à medida que a distância aumenta a partir do ponto desconhecido. Chen e Liu (2012) explicam que o IDW é comumente utilizado para estimar valores em locais onde não foram coletadas amostras, tornando-se uma ferramenta relevante em estudos ambientais.

Em outras palavras, os mapas gerados a partir da modelagem IDW, permitem uma melhor visualização das concentrações de contaminantes e é amplamente utilizada em estudos ambientais (THEOPHILO et al. 2021, CHEN e LIU, 2012; NOGUEIRA, 2006).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mesmo sendo transplantadas para áreas com intensa atividade antrópica, as amostras de *T usneoides* permaneceram verdes e apresentaram singelo crescimento para o período de exposição de um mês. Essa qualidade é indicativa de que as plantas mantiveram suas características fisiológicas e metabólicas para acumular substâncias potencialmente tóxicas oriundas da atmosfera, evidenciando a capacidade de serem utilizadas como bioindicador (NOGUEIRA, 2006).

Na Tabela 1 são indicadas as concentrações obtidas para Cd e Cu. Os dados se referem às amostras expostas em janeiro e coletadas em fevereiro, bem como exposta em junho e coletadas em julho de (2019). São indicadas, também, as concentrações dos metais pesados nas amostras de Cordeirópolis, local sem poluição veicular, considerada região controle.

Tabela 1 – Valores de concentrações absolutas e normalizadas obtidas para Cd e Cu, considerando os 43 pontos, na área de estudo de Guarujá, para as coletas realizadas em fevereiro e julho de 2019; bem como os níveis obtidos para a região controle.

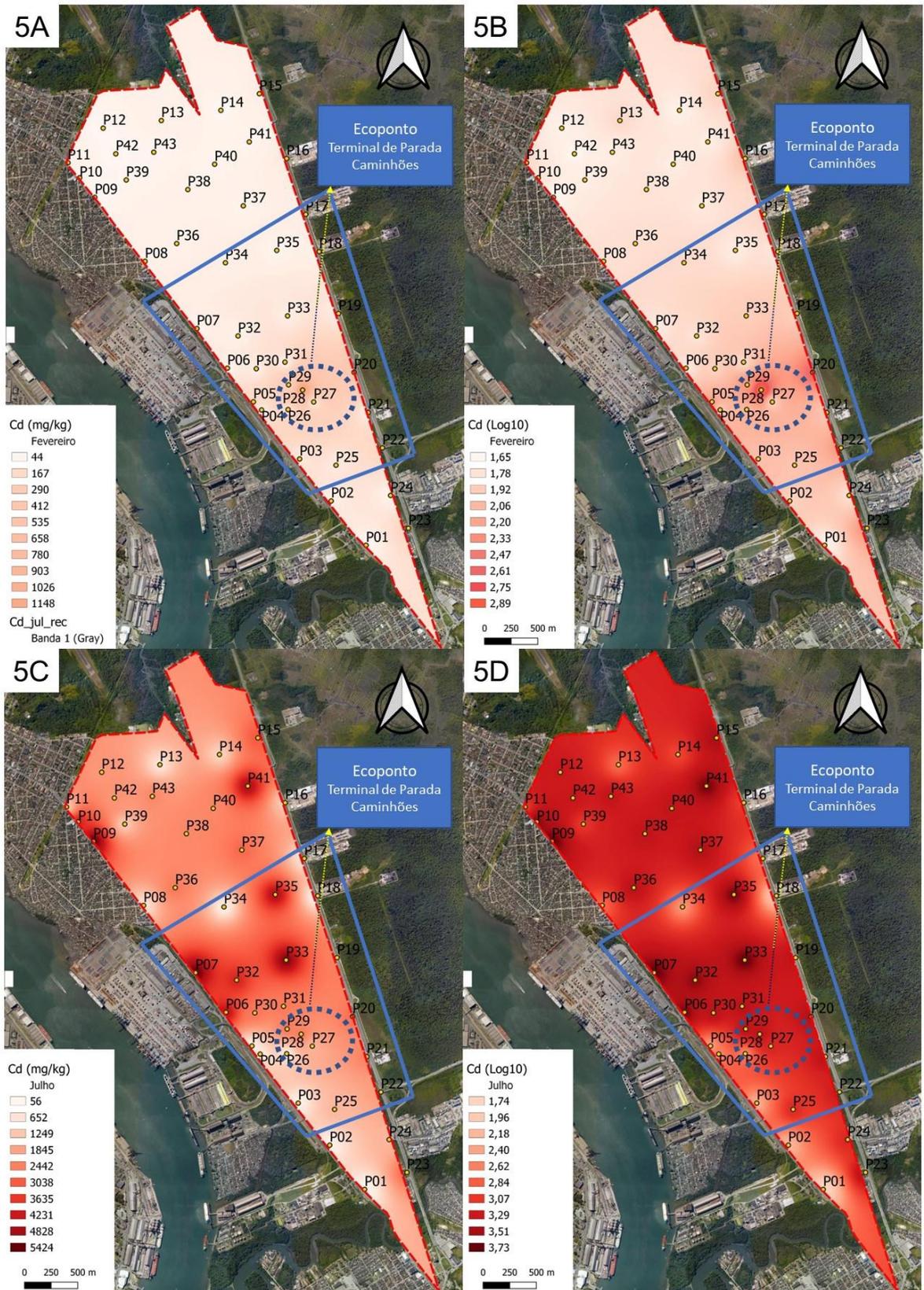
Ponto de Coleta	Concentrações de Cd				Concentrações de Cu			
	1ª Coleta (Fevereiro/2019)		6ª Coleta (Julho/2019)		1ª Coleta (Fevereiro/2019)		6ª Coleta (Julho/2019)	
	mg/kg	Log10	(mg/kg)	Log10	mg/kg	Log10	(mg/kg)	Log10
1	46,8	1,670	55,4	1,744	35,8	1,554	73,07	1,864
2	79,4	1,900	173,2	2,239	15,5	1,191	42,64	1,630
3	104,4	2,019	220,9	2,344	9,7	0,986	57,90	1,763
4	96,5	1,985	436,9	2,640	6,2	0,793	61,08	1,786
5	169,4	2,229	271,1	2,433	29,8	1,473	40,02	1,602
6	56,1	1,749	4492,0	3,652	10,2	1,009	54,97	1,740
7	53,7	1,730	5430,0	3,735	6,8	0,835	79,04	1,898
8	63,8	1,805	651,3	2,814	18,6	1,269	56,79	1,754
9	44,5	1,648	5510,0	3,741	41,1	1,614	83,09	1,920
10	59,7	1,776	4066,0	3,609	24,7	1,393	52,95	1,724
11	71,1	1,852	1211,0	3,083	28,5	1,455	68,49	1,836
12	49,1	1,691	2041,0	3,310	23,3	1,368	85,77	1,933
13	71,0	1,851	607,0	2,783	37,2	1,571	52,21	1,718
14	48,6	1,687	995,7	2,998	43,1	1,634	83,77	1,923
15	78,1	1,893	3076,0	3,488	49,2	1,692	58,12	1,764
16	100,1	2,000	1093,0	3,039	25,9	1,413	78,67	1,896
17	71,7	1,856	546,3	2,737	39,9	1,601	74,53	1,872
18	56,9	1,755	77,4	1,889	69,4	1,841	92,32	1,965
19	82,5	1,916	2439,0	3,387	52,2	1,718	82,33	1,916
20	435,3	2,639	2727,0	3,436	37,1	1,569	57,07	1,756
21	92,5	1,966	2457,0	3,390	36,8	1,565	52,13	1,717
22	194,8	2,290			32,7	1,514		
23	201,5	2,304	2829,0	3,452	56,6	1,753	71,61	1,855
24	66,8	1,825	1518,0	3,181	25,7	1,410	104,90	2,021
25	96,8	1,986	1497,0	3,175	18,0	1,256	117,80	2,071
26	118,4	2,073	405,8	2,608	30,7	1,487	65,34	1,815
27	76,8	1,885	1558,0	3,193	24,6	1,391	46,92	1,671
28	1501,0	3,176			27,4	1,438	62,18	1,794
29	187,0	2,272			15,0	1,177	69,41	1,841
30	77,5	1,889			16,0	1,203	67,53	1,829
31	68,7	1,837			23,7	1,374		
32	61,4	1,788	4020,0	3,604	51,3	1,710	73,16	1,864
33	82,1	1,914	5212,0	3,717	29,1	1,464	58,77	1,769
34	69,3	1,841	318,1	2,503	53,3	1,727	56,05	1,749
35	52,5	1,720	4638,0	3,666	86,7	1,938	71,62	1,855
36	65,3	1,815	2526,0	3,402	52,9	1,723	47,26	1,674
37	55,3	1,743	2847,0	3,454	48,0	1,682	58,43	1,767
38	61,9	1,791			30,1	1,479	40,60	1,609
39	52,4	1,719	1194,0	3,077	39,6	1,597	59,11	1,772
40	52,0	1,716			20,9	1,320	69,78	1,844
41	51,6	1,713	4697,0	3,672	25,9	1,413	61,27	1,787
42	44,3	1,646	2103,0	3,323	16,8	1,225	47,43	1,676
43	51,3	1,710			40,8	1,611	48,65	1,687
Mediana	69,3	1,8	1558,0	3,2	29,8	1,5	61,3	1,8
Mínima	44,3	1,6	55,4	1,7	6,2	0,8	40,0	1,6
Máxima	1501,0	3,2	5510,0	3,7	86,7	1,9	117,8	2,1
Região Controle: Cordeirópolis-SP				35				45
Não Coletada								
Reanalisar								

Fonte: Autores (2023)

Dentre os 43 pontos (P), para as amostras coletadas em fevereiro/2019, apenas 11 apresentaram frações mássicas acima de 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$. A região mais ao norte apresentou intervalo de Cd, entre 44 e 83 $\mu\text{g}/\text{kg}$, já indicando enriquecimento em comparação com a região controle (35,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$). As mais altas concentrações foram observadas nos bioindicadores expostos na entrada do Ecoponto - P28, com valor máximo de 1501 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Em relação à coleta de julho, a situação foi agravada, por ser estação seca, o que prejudica a diluição do poluente. A a mediana do conjunto de dados foi na ordem de 1558 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Tabela 1). Os resultados encontrados para Cd chamam atenção pois superam valores de concentração, em estudos prévios, que também utilizaram a *Tusneiodes*, para avaliar a qualidade do ar. Nogueira et al. (2006) relataram valores na ordem de 1260 $\mu\text{g}/\text{kg}$ em amostras da planta expostas na Avenida Marginal do Rio Pinheiros, onde há predomínio de veículos pesados. Nos estudos de Viena et al. (2011), concentrações na ordem de 800 $\mu\text{g}/\text{kg}$ foram determinadas em amostras expostas no bairro da Barra, em Salvador - BA e 230 $\mu\text{g}/\text{kg}$ na região central do Rio de Janeiro – RJ.

Para visualizar espacialmente a distribuição de concentrações Cd, nas coletas de fevereiro/2019 e julho/2019 (Figuras 5A e 5C), apresentam-se os mapas elaborados por meio do software QGIS 3.20.3. Dada a variação das concentrações, foram gerados, também, mapas com as concentrações normalizadas - log10 – com intuito de facilitar a comparação dos dois meses de coleta (Figuras 5B e 5C).

Figura 5 - Distribuição espacial das concentrações de Cd nos bioindicadores expostos em Vicente de Carvalho, Guarujá.



Fonte: Autor.

Apesar de a concentração mínima do metal em fevereiro ser da mesma ordem de magnitude para ambos os meses de coleta (Tabela 1); observa-se que nos pontos de coleta de circundam o Ecoponto (P28), as amostras apresentaram enriquecimento significativo do metal, independentemente de o mês ser mais chuvoso (fevereiro) ou seco (julho), o que de certa forma, explicaria os menores teores observados na Figura 5A e 5C. Portanto, na maior parte das estações de amostragem os níveis Cd ficaram acima de 350 µg/kg; isto é, o bioindicador que na Região Controle apresentou teor de 35 µg/kg (Tabela 1), teve notável contribuição de fonte do metal na área delimitada.

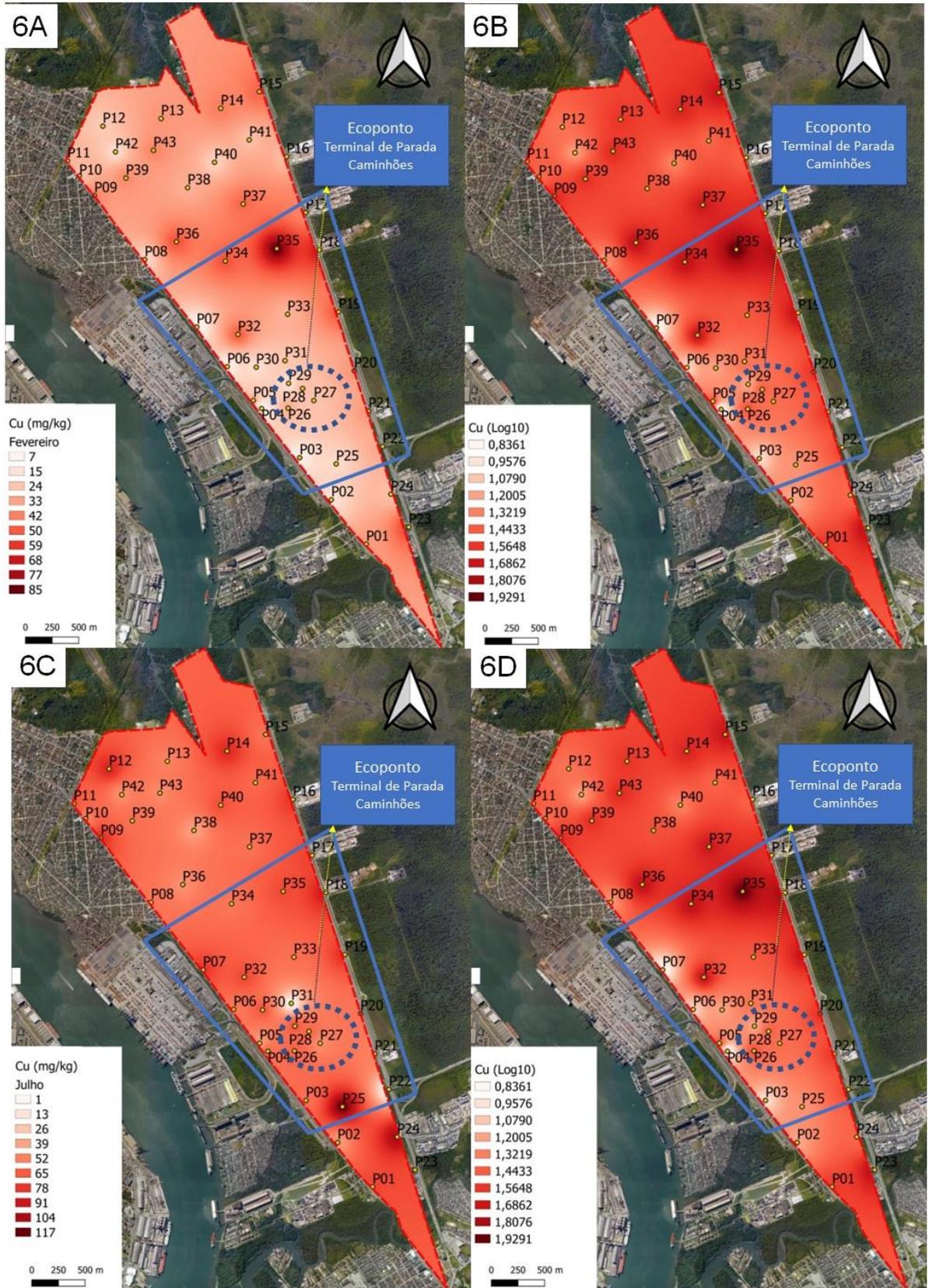
Embora também faça parte da composição química da gasolina, segundo Shukla et al. (2017) e Coufalík et al. (2019), o Cd é um marcador mais eficiente para diagnóstico das emissões de motores que funcionam a diesel, como caminhões e ônibus.

Como já destacado, Vicente de Carvalho é um bairro residencial, com cerca de 150.000 habitantes e que, apesar da presença do Porto, tem como principal vocação econômica, o comércio. Assim, a única fonte poluidora à qual possa ser associada a origem do metal é a emissão de MP, por veículos, essencialmente os pesados. Portanto os teores encontrados de até 5,5 vezes maior (Figura 5C) do que a verificada por Nogueira (2006), em uma das mais importantes avenidas do país, em local que dá acesso ao trecho Sul do Rodoanel, devem ser analisados pela SEMAM como um alerta às questões de saúde da população local.

A via de exposição humana ao Cd, mais significativa é através da alimentação, especialmente de frutos do mar. De acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 2008), a concentração de ingestão máxima permitida é de 5 µg/L, em amostras de água. Embora os níveis de Cd em Vicente de Carvalho ultrapassem 5 µg/kg, é importante destacar que os dados disponíveis não permitem estabelecer uma relação direta entre as frações de massa observadas, a inalação de MP pela população e os efeitos adversos à saúde. Para tal fim, seriam necessárias análises complexas com foco em estudos epidemiológicos (RIBEIRO et al., 2017, FERREIRA et al., 2017, THEOPHILO et al., 2021). Entretanto, a literatura científica tem indicado que os níveis de metais presentes em material particulado estão associados a problemas graves no sistema respiratório, cardiovascular e doenças como o câncer (ZENG et al. 2016, LIN et al. 2017; WHO, 2022).

Com relação ao Cu, os níveis determinados nas plantas expostas em Vicente de Carvalho foram ligeiramente mais altos que aqueles observados nas amostras coletadas em Cordeirópolis (Tabela 1).

Figura 6: Distribuição espacial das concentrações de Cu nos bioindicadores expostos em Vicente de Carvalho, Guarujá.



Fonte: Autor.

O Cu é considerado um dos melhores traçadores de emissão veicular; pois está presente tanto na composição química da gasolina (em maior quantidade) como na do diesel (VIANNA et al., 2011; CARDOSO-GUSTAVSON et al., 2016). Nas amostras de plantas expostas em Vicente de Carvalho apresentou singelo enriquecimento em suas concentrações, quando se comparam os meses de fevereiro (mais úmido) e julho (mais seco). Sua distribuição espacial apresentou-se bastante homogênea, dentro da área delimitada – os 43 pontos de amostragem de Vicente de Carvalho. Assim, o que observamos nos mapas de Cu, (Figura 6) não nos permitiu distinguir a principal fonte de contribuição de MP; isto é, se é oriunda de veículo leves (gasolina), ou de transportes pesados (diesel), uma vez que a contribuição de veículos leves é bastante pronunciada por se tratar de um bairro comercial e que em sua porção mais ao Norte, situa-se a “Balsa de Vicente de Carvalho”, que faz o traslado de veículos leves de Guarujá para o município de Santos.

Pode-se afirmar, portanto, que, para o propósito da pesquisa, o Cd se mostrou mais viável para identificar a área em Vicente de Carvalho sob maior influência do tráfego de caminhões, com o monitoramento biológico.

5.1 IMPLICAÇÕES DO ESTUDO EM BENEFÍCIO A VICENTE DE CARVALHO

Como mencionado (Seção 3: Referencial Teórico, p. 17), essa dissertação contribuiu com o FAPESP PPPP (Processo no 2020/05383-9), que ainda está em desenvolvimento. Apesar disso, os resultados parciais aqui gerados já deram suporte à SEMAM-Guarujá, que pôde, com auxílio da Promotoria de Defesa do Meio Ambiente, da Comarca de Guarujá, tomar iniciativas que visam benefícios aos moradores de Vicente de Carvalho e à população, em geral, conforme descrito a seguir:

Inicialmente, a prefeitura promoveu um convênio com a administração da região portuária que se comprometeu com o aprimoramento da arborização urbana de Vicente de Carvalho, promovendo assim uma alternativa natural para a mitigação da contaminação atmosférica. Essa iniciativa aconteceu, por intermédio de assembleias Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente - COMDEMA

No Brasil, os conflitos socioambientais, via de regra, são resolvidos diante de esferas judiciais superiores, o que implica em longos períodos de negociações e que, na maioria das vezes, não atende aos interesses dos mais vulneráveis (Ribeiro et al, 2021). Porém, com a apresentação dos resultados gerados com esta dissertação e com a mediação do COMDEMA, na petição ao Ministério Público, o corpo legislativo decidiu não levar o caso ao tribunal,

agilizando assim a proposta de um 1º Plano de Arborização no Distrito de Vicente de Carvalho – PADVC, (Processo 0004731-98.2013.8.26.0223).

Na etapa inicial do PADVC, realizada no 2º semestre de 2022, a região foi contemplada com o plantio de 791 mudas de espécies nativas, em locais considerados como os mais afetados pela poluição do ar causado pelo congestionamento de caminhões, conforme apontado na Seção 5: Resultados e Discussão, p. 25 - dessa dissertação.

Com base nas informações geradas neste estudo e apresentadas à Promotoria de Defesa do Meio Ambiente da Comarca de Guarujá, o COMDEMA mais uma vez interveio e solicitou à SEMAM a revisão do Plano Municipal da Mata Atlântica - PMMA.

O PMMA - Lei Federal 11.428/2006 - instituído no artigo 38, é um instrumento legal que direciona e possibilita que os municípios atuem proativamente na conservação e recuperação da vegetação nativa da Mata Atlântica e está integrado ao novo Plano Diretor Estratégico (PDE) de cada cidade.

O Mapeamento dos Remanescentes de Mata Atlântica no Estado de São Paulo é um dos produtos do Plano Municipal da Mata Atlântica – PMMA São Paulo e cada município deve atendê-lo, conforme Art. 43 do (Decreto Federal 6.660/2008).

Em linhas gerais, o PMMA aponta ações prioritárias e áreas para a conservação, manejo, fiscalização e recuperação da vegetação nativa e da biodiversidade da Mata Atlântica, baseando-se no mapeamento de remanescentes existentes. No caso de Guarujá, o PMMA também incentiva a utilização, experimentos tecnológicos sustentáveis, gestão de ações que conciliem a conservação do bioma com o desenvolvimento econômico e cultural do município, fortalecendo a organização social e a participação do cidadão na gestão das políticas públicas. (<https://www.guaruja.sp.gov.br/pmma/2021>).

O processo de elaboração do PMMA segue as orientações e diretrizes estabelecidas no Roteiro Metodológico para a Elaboração de Planos Municipais da Mata Atlântica do Ministério do Meio Ambiente - MMA, que define – inclusive - suas etapas obrigatórias, como o diagnóstico com mapeamento da vegetação e definição de áreas prioritárias (<https://www.guaruja.sp.gov.br/pmma/>).

Além das premissas exigidas por lei, o PMMA de Guarujá adotou a perspectiva de ressaltar, considerar e valorizar os serviços ambientais prestados pelos fragmentos. Isso tem como objetivo não apenas justificar a conservação da Mata, mas sensibilizar os envolvidos da relevância desses ecossistemas, enquanto áreas prestadoras de serviços ambientais, a exemplos: (i) a produção e manutenção da qualidade de água para abastecimento, (ii) a produção de alimentos, (iii) a regulação do clima e qualidade do ar, (iv) o controle de erosões, enchentes,

doenças e (v) a possibilidade de práticas de lazer e recreação nesses locais. Por meio dessa perspectiva, deixa-se mais evidente a inter-relação existente entre o homem e a natureza, reforçando a importância da manutenção deste bioma também para a qualidade de vida das populações, diminuindo assim os possíveis prejuízos ao bem estar humano.

É importante esclarecer que a Prefeitura de Guarujá, sobretudo, por meio da SEMAM, está empenhada em fortalecer diversas ações - em conjunto com a população - que incluam a definição de áreas prioritárias/estratégicas para conservação e recuperação e posteriormente à revisão do PMMA, a proposição de áreas protegidas e de diferentes tipologias de áreas verdes, bem como a aplicação de instrumentos urbanísticos e de gestão ambiental (<https://www.guaruja.sp.gov.br/pmma/>).

Pode-se afirmar, que essa pesquisa, juntamente com os outros estudos, dentro do FAPESP PPPP (Processo no 2020/05383-9), tem favorecido a governança ambiental na cidade do Guarujá e pode representar a transição de uma barreira ao desenvolvimento econômico coerente, que emerge no enfrentamento dos desafios ambientais das cidades; isto é, a contribuição de estudos científicos - desenvolvidos por universidades e outros institutos de pesquisas - à gestão pública em prol de um planejamento urbano sustentável .

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da quantificação de Cd e Cu, bem como da geração de mapas com a distribuição espacial das concentrações dos elementos estudados, foi possível a identificação de picos de poluição – as mais altas concentrações de metais pesados - foram observados nas amostras expostas no Ecoponto (P28) e em seu entorno; ou seja, justamente nas ruas onde há predomínio de frota de veículos pesados. A quantificação foi feita por meio de um bioindicador aéreo (*Tillandsia usneoides* L) que retira da atmosfera todos os seus nutrientes e água. Da mesma forma que o MP, a *T usneoides* mantém em sua composição os metais pesados oriundos das emissões de atividades poluidoras. No caso de Vicente de Carvalho, o objetivo era associar a poluição com as emissões dos caminhões e, por conseguinte, às atividades portuárias.

Para tais achados, o estudo fundamentou-se nos valores de concentração de Cd, considerado o melhor traçador de emissões de veículos à diesel. Em comparação com a concentração das plantas cultivadas em Cordeirópolis – SP, o metal apresentou, sobretudo no entorno do Ecoponto, concentrações que foram 43 vezes maiores (em fevereiro) e 155 vezes maiores (em julho). Na região controle a concentração máxima média foi de 35 µg/kg.

O Cu que é reconhecidamente um ótimo traçador de emissões veiculares; contudo, para o propósito de nossa pesquisa, não se mostrou viável, dado que não permitiu a distinção entre a contribuição da poluição por veículos leves e a poluição por veículos pesados. Fato esperado, pois Vicente de Carvalho também conta com significativa emissões de veículos leves.

O diagnóstico da poluição por transporte de cargas realizado em Guarujá, mais especificamente em Vicente de Carvalho, vem contribuindo para o entendimento da complexidade dos problemas ambientais urbanos, dando insumos à SEMAM à formulação de políticas públicas que tenham como meta o alcance de condições socioambientais mais justas e equilibradas. Isto é, os dados quantitativos, juntamente com a percepção dos atores envolvidos, como os moradores da região, desempenham o papel de instrumentos de apoio à gestão e à formulação de políticas públicas ambientais com impactos na saúde e qualidade de vida.

Desde 2019, a SEMAM realiza o plantio de árvores por toda a Cidade, tendo em vista sua importância para a biodiversidade, a produção de oxigênio e a mitigação dos efeitos da poluição atmosférica. Além disso, são feitas reuniões com representantes de empresas portuárias, para que seja cobrada do setor a responsabilidade social, ambiental e econômica. Sob tal perspectiva, os cenários da criação das políticas públicas ambientais em Guarujá e a legitimação das correspondentes legislações devem ser constituídos por aspectos conjunturais entre o Poder Público e as ações privadas. No caso deste estudo, espera-se que o Porto de Santos

contribua voluntariamente, em parcerias com a SEMAM para, por exemplo, a execução de projetos voltados à revitalização das vias públicas, que retratem a ordem política municipal ou até mesmo estadual, o que se configura importante objeto de reflexão, já que a poluição atmosférica causada por veículos automotores é um desafio não apenas para o Brasil, mas a todos os países ao redor do mundo.

Além da revitalização por meio de plantio de árvores, a pesquisa também sugere como potenciais soluções - que podem ser consideradas pela SEMAM - de benfeitoria à Vicente de Carvalho, e a reformulação viária para melhorar o tráfego local e, conseqüentemente, minimizar a poluição do ar na região. Também relacionar o estado da arte das políticas públicas de educação ambiental, nas empresas privadas e na administração pública, e seus desafios com as tendências atuais de tais políticas, em contexto além do aqui apresentado.

REFERÊNCIAS

- Acsehrad, H.. Ambientalização das lutas sociais-o caso do movimento por justiça ambiental. *Estudos Avançados*, 24(68), 103-119, 2010.
- Bai, X., Chen, H., Oliver, B. G. (2022). The health effects of traffic-related air pollution: A review focused the health effects of going green. *Chemosphere*, 289, 133082, 2022.
- Balian, E.; Eggermont, H.; Le Roux, X. Outputs of the strategic foresight workshop “Nature-based solutions in a BiodivERsA context”. *BiodivERsA*, Brussels, 2014.
- Brasil, MMA – Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – Volume 1: Estratégia do Clima. Brasília, 2016, 44p.
- Cardoso-Gustavson, P.; Fernandes, F.F.; Alves, E.S; Victorio, M.P.; Moura, B.B. ; Domingos, M.; Rodrigues, C.A.; Ribeiro, A.P.; Nievola, C.C.; Figueiredo, A.M.G. Tillandsia usneoides: a successful alternative for biomonitoring changes in air quality due to a new highway in São Paulo, Brazil. *Environmental Science and Pollution Research International*, v. 23, p. 1779-1788, 2016.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - PCPV: Plano de Controle de Poluição Veicular 2014-2016. Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente, 2014, 58p.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - PCPV: Plano de Controle de Poluição Veicular 2014-2016.Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente, 2014, 58p.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2017. Série Relatórios. Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente, 2018, 199p.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2021. Série Relatórios. Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente, 2022, 162p.
- Chen, F e Liu, C. Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy and Water Environment* 10, 209–222 (2012).
- Creswell, J. W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. Trad. Magda Lopes, 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- Dapper, S. N.; Spohr, C.; Zanini, R. R.. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. *Estudos Avançados*, 30(86), 83-97, 2016.
- De Temmerman, L.D.; Bell, J.N.B.; Garrec, J.P.; Klump. A.; Krause, G.H.M.; Tonnejck. Biomonitoring of air pollutants with plants -considerations for the future. In: *Urban Air Pollution, Bioindication and Environmental Awareness*, Eds. Klumpp, A., Ansell, W and Klumpp, G. Cuvillier Verlag, Gottingen, p. 337-373, 2004.
- Desouza, K. C.; Flanery, T. H.. Designing, planning, and managing resilient cities: A conceptual framework. *Cities*, 35, 89-99, 2013.
- Du, J. H., Zhang, Y. S., He, L. Y., Dong, X. F., Mei, L. Y., Lai, M. D., Luan, S. J.. Assessment on heavy metal pollution characteristics and human health risk exposure over ambient PM_{2.5} in an area of Shenzhen. *Journal of Environment and Health*, 29(9), 838-840, 2012.
- Escobedo, F. J., Giannico, V., Jim, C. Y., Sanesi, G., & Laforteza, R. Urban Forests, Ecosystem Services, Green Infrastructure and Nature-Based Solutions: Nexus or Evolving Metaphors? *Urban Forestry & Urban Greening*, on line, 2018, in press
- Ferreira, A.B.; Ribeiro, A.P; Ferreira, M.L; Kniess, C.T.; Quaresma, C.C.; Laforteza, R.; Santos, J.O Saiki, M.; Saldiva, P.H. A Streamlined Approach by a Combination of Bioindication and Geostatistical Methods for Assessing Air Contaminants and Their Effects on Human Health in Industrialized Areas: A Case Study in Southern Brazil. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, p. 1-15, 2017a.

- Ferreira, M.L; Ribeiro, A.P.; Albuquerque, C.R; Lamano-Ferreira, A.P.N; Figueira, R.C.L; Lafortezza, Raffaele . Air contaminants and litter fall decomposition in urban forest areas: The case of São Paulo - SP, Brazil. *Environmental Research*, v. 155, p. 314-320, 2017b.
- Figueiredo A.M.G., Ribeiro A.P. Brazilian PGE Research Data Survey on Urban and Roadside Soils. In: Zereini F., Wiseman C. (eds) *Platinum Metals in the Environment*. Environmental Science and Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 131-144, 2015.
- Frantzeskaki, N. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental Science & Policy*, 93, 101-111, 2019
- Giampaoli, P., Wannaz, E. D., Tavares, A. R., Domingos, M. Suitability of *Tillandsia usneoides* and *Aechmea fasciata* for biomonitoring toxic elements under tropical seasonal climate. *Chemosphere*, 149, 14-23, 2016
- Hilsdorf, W. de C.; Nogueira-Neto, M. S.. Porto de Santos: Prospecção sobre as causas das dificuldades de acesso. *Gestão & Produção*, 23(1), 219–231, 2016.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ministério do Meio Ambiente: Avaliação dos impactos econômicos e dos benefícios socioambientais do PROCONVE. Brasília: Edições IBAMA, 2016. 106 p. ISBN 978-85-7300.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ministério do Meio Ambiente: Avaliação dos impactos econômicos e dos benefícios socioambientais do PROCONVE. Brasília: Edições IBAMA, 2016. 106 p. ISBN 978-85-7300.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Cidades: Guarujá. 2022. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/guaruja/panorama>>. Acesso em 25 de out. 2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). Censo 2010. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=355030%26search=sao-paulo|sao-paulo&lang>>. Acesso em 11 de fev. de 2019.
- IUCN - The IUCN Programme 2013–16. IUCN, Gland, Switzerland. (and http://iucnworldconservationcongress.org/news__press/?11090/Towards-a-New-Era-of-Conservation-Sustainability-and-Nature-based-Solutions), 2012.
- IUCN, Conservation International, and NatureServe. Global amphibian assessment, <http://www.globalamphibians.org>, 2009.
- Jacobi, P. R. Educação ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, 31 (2), p. 233-250, 2005.
- Jakubiak-Lasocka, J., Lasocki, J., Siekmeier, R., Chłopek, Z.. Impact of Traffic-Related Air Pollution on Health. In: Pokorski, M. (eds) *Environment Exposure to Pollutants*. Advances in Experimental Medicine and Biology(), vol 834. Springer, Cham. 2014. https://doi.org/10.1007/5584_2014_14
- Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., and Bonn, A.. *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas - Linkages Between Science, Policy and Practice*. Springer, Cham, Switzerland, 2017, 342p.
- Keesstra, S., Nunes, J., Novara, A., Finger, D., Avelar, D., Kalantari, Z., & Cerdà, A.. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 610, 997-1009, 2018.
- Lima, L. N. A., Ribeiro, A. P., Rakauskas, F., Bollmann, H. A., Theophilo, C. Y. S., Aranha, S., & Santos, C. J.. Impacts of the Port Activities in Guarujá-SP, Brazil: Biological Monitoring as a Tool for the Assessment of Atmospheric Pollution. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 18(3), 2022. Disponível em: <[h https://doi.org/10.17271/1980082718320223320](https://doi.org/10.17271/1980082718320223320)>. Acesso em: 23 fev de 2023.

- Mantovani, K. C. C.; Nascimento, L. F. C.; Moreira, D. S.; Vieira, L. C. P. F. D.; Vargas, N. P.. Poluentes do ar e internações devido a doenças cardiovasculares em São José do Rio Preto, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 21, 509-516, 2016.
- Markert, B, Wuenschmann, S, Fraenzle, S, Figueiredo, AMG, Ribeiro, AP, Wang, M. Bioindication of atmospheric trace metals—with special references to megacities. *Environ. Pollut.* 159: 1991–1995, 2011.
- Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G. Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment. *Trace Metals and other Contaminants in the Environment*, 6, 3-39. 2003
- Martins, A. P. G.; Ribeiro, A. P.; Ferreira, L.M. et al. Infraestrutura verde para monitorar e minimizar os impactos da poluição atmosférica. *Estudos Avançados*. 35(102), 2021. Disponível
- MEA - Millennium Ecosystem Assessment, Relatório Síntese da Avaliação Ecosistêmica do Milênio. Washington, DC, 2005.
- Moreira, D.A.. Natureza e fontes do conhecimento em Administração, *Administração On Line*, 1(1), FEA – USP e FECAP, 2000.
- Moreira, TCL, Oliveira, RC; Amato, LFL; Kang, C; Saldiva, PHN; Saiki, M. Intra-urban biomonitoring: Source apportionment using tree barks to identify air pollution sources. *Environ. Intern.*, 91: 271-275, 2016.
- Nascimento, L. F. C.; Pereira, L. A. A.; Braga, A. L.; Módolo, M. C. C.; Carvalho Jr, J. A.. Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. *Revista de Saúde Pública*, 40, 77-82, 2006.
- Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., ... e Krauze, K. The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of the Total Environment*, 579, 1215-1227, 2017.
- Neves, M. F. B. Agenda ambiental do porto de Santos: desafios e oportunidades na governança internacional das mudanças climáticas. Tese - Doutorado. Universidade Católica de Santos, Santos – SP, 2015, 185p.
- NOGUEIRA C. A. Avaliação da poluição atmosférica por metais na Região Metropolitana de São Paulo, Brasil, utilizando a bromélia *Tillandsia usneoides* L. como biomonitor. Tese (Doutorado e Aplicações Nucleares). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/T.85.2006.tde-29052007-135539>>. Acesso em: 10 out. 2022.
- Norouzi, S., Khademi, H., Cano, A.F., Acosta, J.A., 2015. Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals: A case study from Isfahan, Central Iran. *Ecological Indicators*, 57, 64-73, 2015
- Nowak, D. J.; Hirabayashi, S.; Doyle, M.; McGovern, M.; Pasher, J.. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 40-48, 2018.
- OMS – Organização Mundial de Saúde. Biomonitoring-based indicators of exposure to chemical pollutants. Regional Office for Europe - Italy. Report. 2012, 41p
- Potschin, M., Kretsch, C., Haines-Young, R., Furman, E., Berry, P., Baró, F. Nature-based solutions. OpenNESS Ecosystem Service Reference Book. OpenNESS Synthesis Paper. Available at: <http://www.openness-project.eu/library/reference-book/sp-NBS>, 2015.
- Prefeitura Municipal de Guarujá – Agenda 21 Local e Escolar - Guarujá 2034: Por um Centenário Sustentável. Fórum Permanente da Agenda 21 de Guarujá, 2012, 199p.
- Ramon, M.; Ribeiro, A. P.; Theophilo, C. Y. S.; Camargo, P. B.; Pereira, C. A. B.; Saraiva, E. F.; Tavares, A. R.; Dias, A. G.; Nowak, D.; Moreira, E. M.; Ferreira, M. L.. Assessment of four urban forest as environmental indicator of air quality: a study in a brazilian megacity. *Urban Ecosyst.* (2022). Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/T.85.2006.tde-29052007-135539>>. Acesso em: 24 dez de 2022.

- Ribeiro, A. P.; Ferreira, A.B.; Aquino, S.; Ramos, H. R.; Kniess, C.T.; Quaresma, C. C. ; Santos, J. O.; Saiki, M.; Saldiva, P. H. N. . Diagnóstico da poluição atmosférica em regiões sem redes convencionais de monitoramento da qualidade do ar: um estudo em uma pequena cidade do Paraná, Brasil. *Interciencia*, v. 24, p. 767-773, 2017.
- Rodriguez, J. H., Pignata, M. L., Fangmeier, A., Klumpp, A.. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements in the bioindicator plants *Tillandsia capillaris* and *Lolium multiflorum* exposed at PM10 monitoring stations in Stuttgart (Germany). *Chemosphere*, 80(3), 208-215, 2010.
- Saldiva, P. H. N.; André, P. A. Avaliação dos aspectos ambientais, de saúde e socioeconômicos envolvidos com a implementação do Proconve em seis Regiões Metropolitanas. São Paulo: LPAE - Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental, 2009.
- Santos, T.S.. Do artesanato intelectual ao contexto virtual: ferramentas metodológicas para a pesquisa social *Sociologias*. (ano 11, nº 21, pp. 120-156). Porto Alegre, 2009.
- Snyder, E.G., Watkins, T.H., Solomon, P.A., Thoma, E.D., Williams, R.W., Hagler, G. S.W., Shelow, D., Hindin, D.A., Kilaru, V.J., Preuss, P. W.The changing paradigm of air pollution monitoring. *Environmental Science & Technology*, 47(20), 11369-11377, 2013.
- Souza, C. D. D. C. Planejamento urbano e políticas públicas em projetos de requalificação de áreas portuárias: porto de Santos-desafio deste novo século. Dissertação – Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2006, 287p.
- Theophilo, C.Y.S., Ribeiro, A.P., Moreira, E.G. et al. Biomonitoring as a Nature-Based Solution to Assess Atmospheric Pollution and Impacts on Public Health. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 107, 29–36, 2021.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. A Compendium of Superfund Field Operations Methods, EPA/540/P-87/001, OSWER Directive 9355.0-14, 1987, 642 p.
- Vianna, N.A., Gonçalves, D., Brando, F., Barros, R.P., Amado-Filho, G.M., Meire, R.O., Torres, J.P.M., Malm, O., D'oliveira-Júnior, A., Andrade, L.. Assessment of heavy metals in the particulate matter of two Brazilian metropolitan areas by using *Tillandsia usneoides* as atmospheric biomonitor. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(3), 416-427, 2011.