

Impactos das Atividades Portuárias em Guarujá-SP, Brasil: Monitoramento Biológico como Ferramenta à Avaliação da Poluição Atmosférica

Liliane Neiva Arruda Lima

Mestranda, UNINOVE, SP, Brasil
lilianeiva@yahoo.com

Andreza Portella Ribeiro

Professora Doutora, UNINOVE, SP, Brasil
andreza@uni9.pro.br

Felipe Rakauskas

Mestre, UNINOVE, SP, Brasil
feliperakauskas@gmail.com

Harry Alberto Bollmann

Professor Doutor, PUC, PR, Brasil
harry.bollmann@pucpr.br

Carolina Yume Sawamura Theophilo

Doutora, IPEN-CNEN, SP, Brasil
carolina.theophilo@gmail.com

Sidnei Aranha

Doutorando, UNIFESP, SP, Brasil
carolina.theophilo@gmail.com

Cleiton Jordão Santos

Doutorando, UNIFESP, SP, Brasil
cleitonjordao@hotmail.com

RESUMO

Guarujá, cidade turística da Baixada Santista – SP, comporta a margem esquerda do Porto de Santos, o qual desempenha protagonismo como alavanca de desenvolvimento econômico do país. Entretanto, diante da sua intensa expansão, a cidade 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 ser responsável pela fiscalização da qualidade do ar, em Guarujá este monitoramento é recente e conta apenas com uma estação manual. Vicente de Carvalho é o bairro onde se localiza o Porto e onde, predominantemente, as atividades e negociações acontecem. A população que reside no local é de cerca de 150.000 habitantes. Portanto, o monitoramento da CETESB não é representativo das atividades poluidoras. Esta pesquisa apresenta as concentrações de metais pesados que foram determinados, por meio de um método alternativo, que se utiliza de plantas como bioindicadores de poluição. O metal cádmio, 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. O diagnóstico da poluição realizado em Guarujá vem contribuindo para o entendimento da complexidade dos problemas ambientais urbanos, dando insumos à SEMAM para a formulação de políticas públicas que tenham como meta o alcance de condições socioambientais mais justas e equilibradas.

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

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).

No entanto, vale estacar que a preocupação com os prejuízos à qualidade do ar devido às emissões de fontes móveis foi materializada em 1986, por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que criou o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE (Resolução Conama nº 18/1986). Dentre os principais objetivos do PROCONVE destacam-se a redução e controle da contaminação atmosférica por emissões veiculares. Para tanto, o programa impôs certificação de protótipos e de veículos, autorização especial do órgão ambiental federal para uso de combustíveis alternativos, recolhimento e reparo dos veículos ou motores encontrados em desconformidade com a produção ou o projeto, e proibiu a comercialização dos modelos de veículos não homologados, segundo critérios estabelecidos na lei (IBAMA, 2016).

Ao longo dos anos, o PROCONVE foi sendo aprimorado, incentivando a inovação para que os veículos se adequassem aos limites mais restritivos de emissões, um avanço técnico, tanto com relação a estudos e testes de laboratórios, quanto da parte da produção dos veículos pelas montadoras. Consequentemente, observaram-se mudanças expressivas nos padrões tecnológicos nacionais, com investimentos de milhões de dólares em pesquisa e desenvolvimento tecnológico e capacitação técnica (IBAMA,2016).

Em 1993, as premissas do PROCONVE foram reforçadas com a promulgação da Lei nº 8.723, cujo objetivo principal foi exigir a redução dos níveis de emissão de contaminantes atmosféricos. Os benefícios do PROCONVE foram estimados por Saldiva e André (2009), que indicaram a redução de 40% na concentração dos poluentes entre 1990 e 2005. Em termos de qualidade de vida, os autores afirmam que a diminuição, ao longo dos quinze anos, evitou 50 mil mortes, em termos monetários, observou-se economia de cerca de US\$ 4,5 bilhões de gastos com saúde, além da diminuição do consumo de energia e redução dos gases do efeito estufa (GEE).

Apesar de não existirem dúvidas sobre os impactos positivos do PROCONVE passados mais de 30 anos, o Ministério do Meio Ambiente - MMA chama atenção da sociedade sobre alguns obstáculos frente ao efetivo êxito da proposta, os quais são verificados em escala local. As prefeituras, secretarias municipais de meio ambiente e os Detrans encaram o difícil desafio de manter e melhorar a qualidade do ar respirado pela população, em especial nas cidades que apresentam elevados índices de poluentes. Para o MMA, os órgãos ambientais deveriam implantar redes perenes de caracterização e quantificação de contaminantes atmosféricos oriundo de fontes móveis e fixas, além de programas de inspeção/manutenção de veículos e alertas de condições comprometedoras à saúde. O MMA ainda destaca a importância de investimentos para melhoria de transportes públicos e conscientização ambiental (IBAMA, 2016)

Dentre os órgãos ambientais do país, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (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 das cidades do estado (CETESB, 2018).

A importância do QUALAR para o planejamento urbano e regional é claramente verificada, sobretudo na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Em 2021, a CETESB contou com 62 estações automáticas fixas e uma estação móvel, que monitoram 42 municípios. A Baixada Santista conta com 05 monitores fixos, 03 instalados no Distrito Industrial de Cubatão e 02 em Santos. No município de Guarujá, este monitoramento é recente, iniciou-se em 2016, por meio de apenas uma estação manual, que em 2021, registrou uma ultrapassagem do padrão diário para MP_{10} (material particulado fração $\leq 10 \mu m$); ou seja, ficou acima de $120 \mu g/m^3$. Neste caso, a concentração chegou a $153 \mu g/m^3$ (CETESB, 2022).

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). Como 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 significativo recursos financeiros à cidade, culminou em impactos ao ordenamento territorial, devido ao congestionamento de caminhões (Prefeitura Municipal de Guarujá, 2012). O intenso fluxo de veículos favorece o enriquecimento na atmosfera de precursores de ozônio (O₃), como hidrocarbonetos (exceto metano), aldeídos, NO_x, MP_{2,5} e MP₁₀. Estes últimos, com altas concentrações de metais pesados, como cádmio – Cd, cobre – Cu e chumbo - Pb; colocando em risco a saúde da população (CETESB, 2014). 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).

Diante da intensa contribuição de emissões veiculares e da falta de uma rede de monitoramento representativa da área que circunda as atividades portuárias, o presente estudo teve como objetivo principal determinar, especialmente, os níveis de metais pesados em Vicente de Carvalho, bairro de Guarujá onde se localiza a margem esquerda do Porto de Santos. Para tal proposta, a pesquisa fez uso do monitoramento biológico, com a bromélia *Tillandsia usneoides* L., 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. Portanto, 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; THEOPHILO et al., 2021).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 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, pois há 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).

Estima-se que cerca de 150.000 sejam afetadas diretamente pelas emissões dos transportes de carga que acessam o Porto, cuja margem esquerda está totalmente localizada no Distrito de Vicente de Carvalho, bairro de Guarujá onde há predomínio de residências e atividades comerciais. Por outro lado, a própria gestão local enfatiza que os 10 terminais portuários e 08 retroportuários geram cerca de 5.000 vagas de empregos, a uma população estimada de 324.977 habitantes, em Guarujá - SP (IBGE, 2021).

O enfrentamento da poluição atmosférica é um desafio mundial, por isso o engajamento das autoridades locais passa a ser visto como tarefa primordial, pois cada município tem suas singularidades. Nesse sentido, vale destacar o papel da arborização urbana em minimizar os impactos da poluição ambiental (NOWAK et al., 2018; MARTINS et al., 2021). Entretanto, estudo apontado por Benini e Godoy (2022) sobre qualidade de áreas verdes públicas urbanizadas - praças, jardins e parques urbanos - em cidades contemporâneas, como é o caso de Cuiabá – MT, revelou que a cidade carece, não apenas em quantidade, mas também de espaços públicos de qualidade destinados ao lazer e à recreação. Tal fato, segundo as autoras denota ausência de políticas públicas direcionadas à urbanização e à revitalização das áreas verdes existentes na região.

De forma diferente, os resultados desta pesquisa já vêm permitindo a realização do mapeamento espacial dos contaminantes, bem como associá-los às principais fontes emissoras, e com tratamentos futuros do resultados será possível indicar os potenciais riscos à saúde da população; possibilitando, assim, a adoção, pela Secretaria do Meio Ambiente de Guarujá, de medidas preventivas de controle ambiental para transporte de insumos, por meio do fortalecimento de políticas públicas na forma de acordos setoriais com Porto de Santos, por intermédio de assembleias Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente COMDEMA, com um projeto de arborização em Vicente de Carvalho já em andamento (Processo 0004731-98.2013.8.26.0223).

2.2 Estações de Monitoramento Biológico em 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 1). 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 Ecoponto, 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 Ecoponto, 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 1).

Figura 1 - Congestionamento causado por transporte de cargas em Vicente de Carvalho e no entorno da margem esquerda do Porto de Santos, Guarujá-SP.

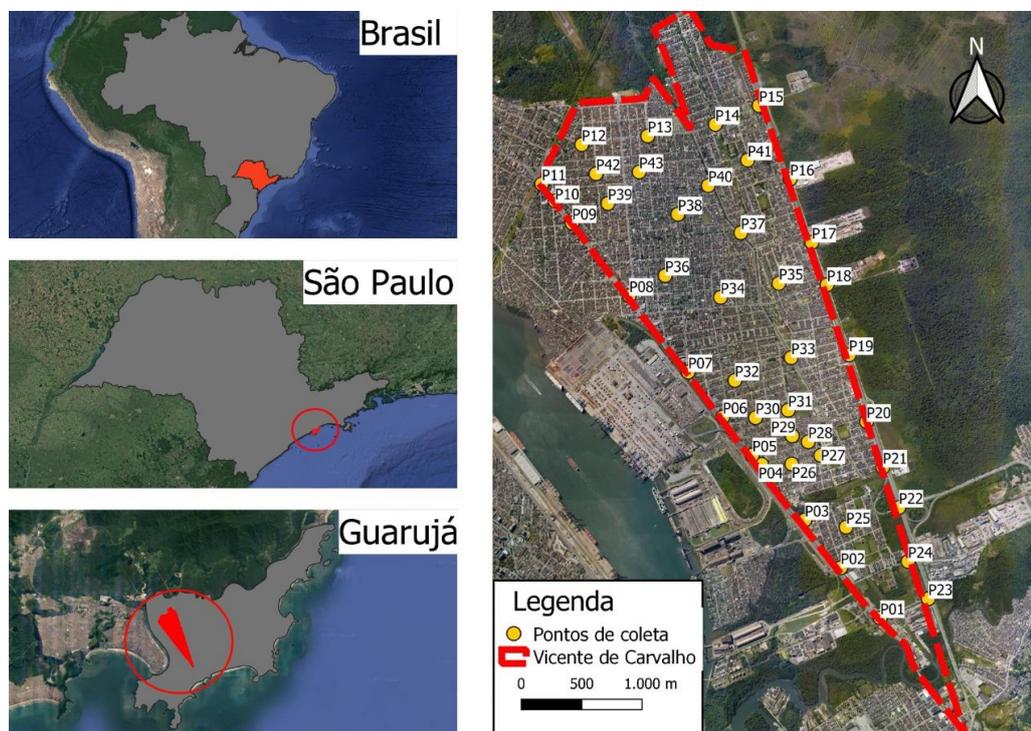


Fonte: Imagens: google/Search (2019).

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 2. 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 2: Localização geográfica da área de estudo e estações de amostragem dos bioindicadores.



Fonte: Autores (2022).

2.3 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*, (SRM 1547) foram pesados com precisão em tubos de centrifuga 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, Cu e Pb, considerando o mês de fevereiro (normalmente mais úmido) e julho (normalmente mais seco), de 2019. A escolha destes elementos se deve ao fato de eles serem reconhecidamente traçadores de poluição veicular (FIGUEIREDO e RIBEIRO, 2015; CARDOSO-GUSTAVSON et al., 2016; THEOPHILO et al., 2021).

Com a base de dados de concentração de cada metal e das coordenadas geográficas das estações de amostragem, pode-se elaborar os mapas de distribuição espacial. 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 melhor visualização das concentrações dos contaminantes, foi utilizada a técnica de interpolações pelo inverso da distância (IDW), recurso disponível no Q-Gis 3.20.3. Esta modelagem permite estimar as concentrações em pontos desconhecidos a partir de valores em pontos conhecidos, gerando uma imagem raster no QGIS, com estimativas feitas para todas as células deste raster (CHEN e LIU, 2012).

3 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 biomonitor (NOGUEIRA, 2006).

Na Tabela 1 são indicadas as concentrações obtidas para Cd, Cu e Pb. 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).

Tabela 1 – Intervalos de concentrações (mínimo e máximo) obtidas para Cd, Cu e Pb, considerando as 43 estações de amostragem, em Vicente de Carvalho, Guarujá - SP, para as coletas realizadas em fevereiro e julho de 2019.

Mês da Coleta	Intervalo	Cd ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)
02/2019	Mínimo	44	6	1
	Máximo	1.501	87	6
07/2019	Mínimo	37	40	1
	Máximo	5.430	118	18
Região Controle (Cordeirópolis)		35	45	0,5

Fonte: Autores (2022)

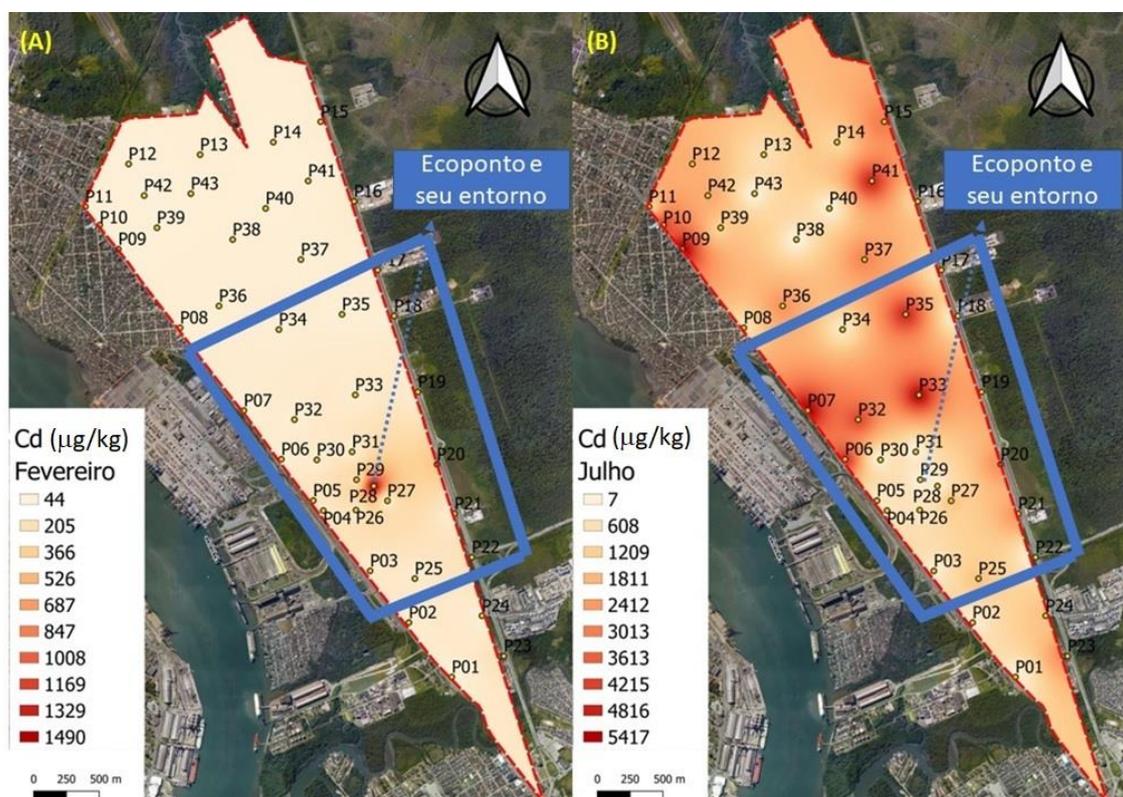
Os valores máximos de concentração determinados na *T usneoides* indicam um significativo enriquecimento dos contaminantes atmosféricos, quando comparados com os níveis da região controle, sobretudo para o Cd, cujos níveis chegaram a ser 155 vezes maiores que o determinados em Cordeirópolis.

Ainda referente ao Cd, as amostras expostas em fevereiro, o comportamento na maioria dos pontos de coleta foi condizente a locais com contribuição significativa de emissões

veiculares e industriais. A mediana referente ao conjunto de dados (43 amostras) ficou em torno de 887 $\mu\text{g}/\text{kg}$. O teor observado para a amostra exposta no P28, localizado exatamente no Ecoponto, representou o valor máximo para o mês; ou seja 1.501 $\mu\text{g}/\text{kg}$. As máximas concentrações observadas para Cu (87 e 118 mg/kg) foram observadas nos P35 e P25, respectivamente. Na análise do conjunto de dados de Cu, para fevereiro a mediana foi igual a 30 $\mu\text{g}/\text{kg}$; concentrações acima de 70 mg/kg foram atípicas e encontradas, além de P35, apenas em P18. Já em julho, a mediana indicou exatamente dobro da concentração de fevereiro (60 mg/kg), com as concentrações mais altas (acima de 100 mg/kg), além de P25, apenas em P24. Em relação ao Pb, apenas o P18 apresentou concentração acima de 10 mg/kg , como indicado na Tabela 1, para o mês de julho.

Para uma melhor visualização do comportamento dos contaminantes, na área representativa de Vicente de Carvalho, apresentam-se os mapas com a distribuição espacial das concentrações de Cd, Cu e Pb, para fevereiro e julho (Figuras 2 a 4).

Figura 2 - Distribuição espacial das concentrações de Cd para as plantas expostas (fev e jul/2019) em Vicente de Carvalho, Guarujá-SP.



Fonte: Autores (2022).

Apesar de a concentração mínima do metal em fevereiro ser cerca de 6,3 vezes maior que a de julho; 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 2(A). Portanto, na maior parte das estações de amostragem os níveis Cd ficaram acima de 350 $\mu\text{g}/\text{kg}$; isto é, o bioindicador que na Região Controle apresentou teor de 35 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Tabela 1), teve notável contribuição de fonte do metal na área delimitada.

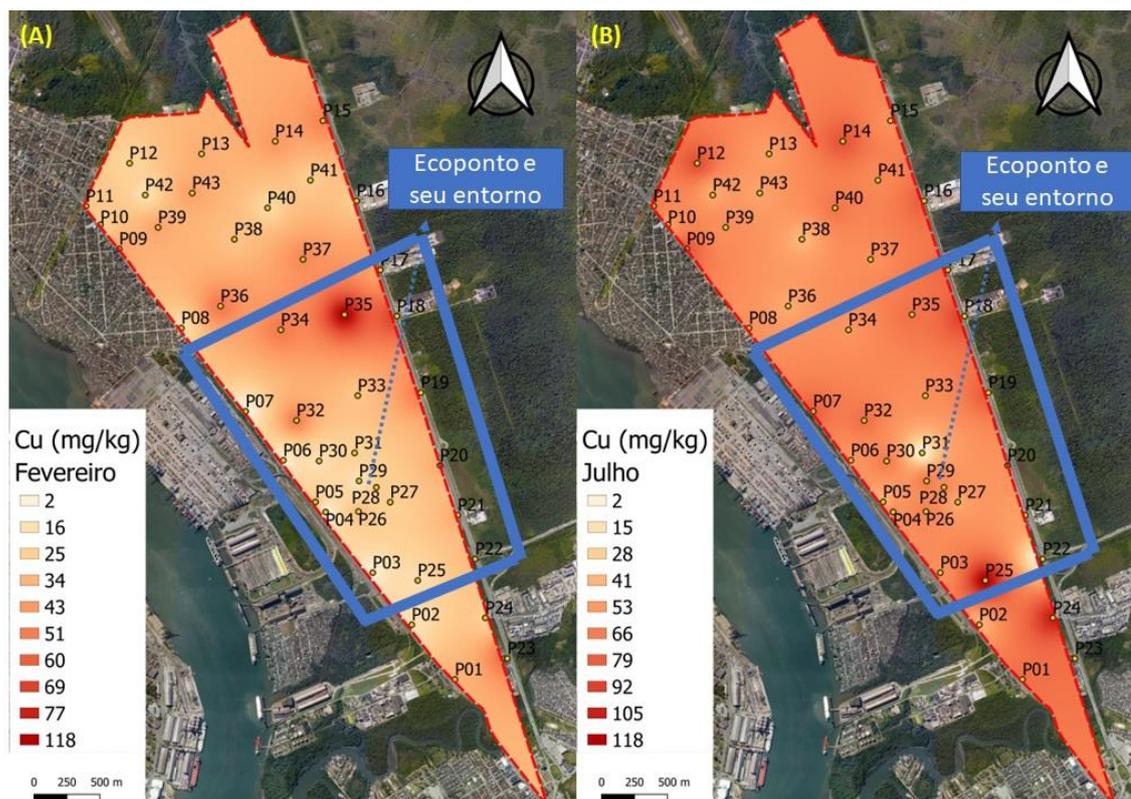
Embora também faça parte da composição química da gasolina, segundo Shukla et al. (2017) e Coufalík et al. (2019), o Cd é um marcador mais eficiente para diagnóstico das emissões de motores que funcionam a diesel, como caminhões e ônibus.

Os resultados encontrados para Cd chamam atenção pois superam valores de concentração, em estudos prévios, que também utilizaram a *Tusneoides*, para avaliar a qualidade do ar. Nogueira et al. (2006) relataram valores na ordem de 1260 µg/kg em amostras da planta expostas na Avenida Marginal do Rio Pinheiros, onde há predomínio de circulação de veículos pesados. Nos estudos de Viena et al. (2011), concentrações na ordem de 800 µg/kg foram determinadas em amostras expostas no bairro da Barra, em Salvador - BA e 230 µg/kg na região central do Rio de Janeiro – RJ.

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 2B) 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.

Em relação ao Cu, alguns autores indicam que o metal é um dos melhores traçadores de emissão veicular. Está presente tanto na composição química da gasolina (em maior quantidade) como na do diesel (VIANNA et al., 2011; CARDOSO-GUSTAVSON et al., 2016). Por essa razão, embora o metal também tenha apresentado singelo enriquecimento em suas concentrações, quando se comparam os meses de fevereiro (mais úmido) e julho (mais seco), sua distribuição espacial apresenta-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 3) não nos permite 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.

Figura 3 - Distribuição espacial das concentrações de Cu para as plantas expostas (fev e jul/2019) em Vicente de Carvalho, Guarujá-SP.

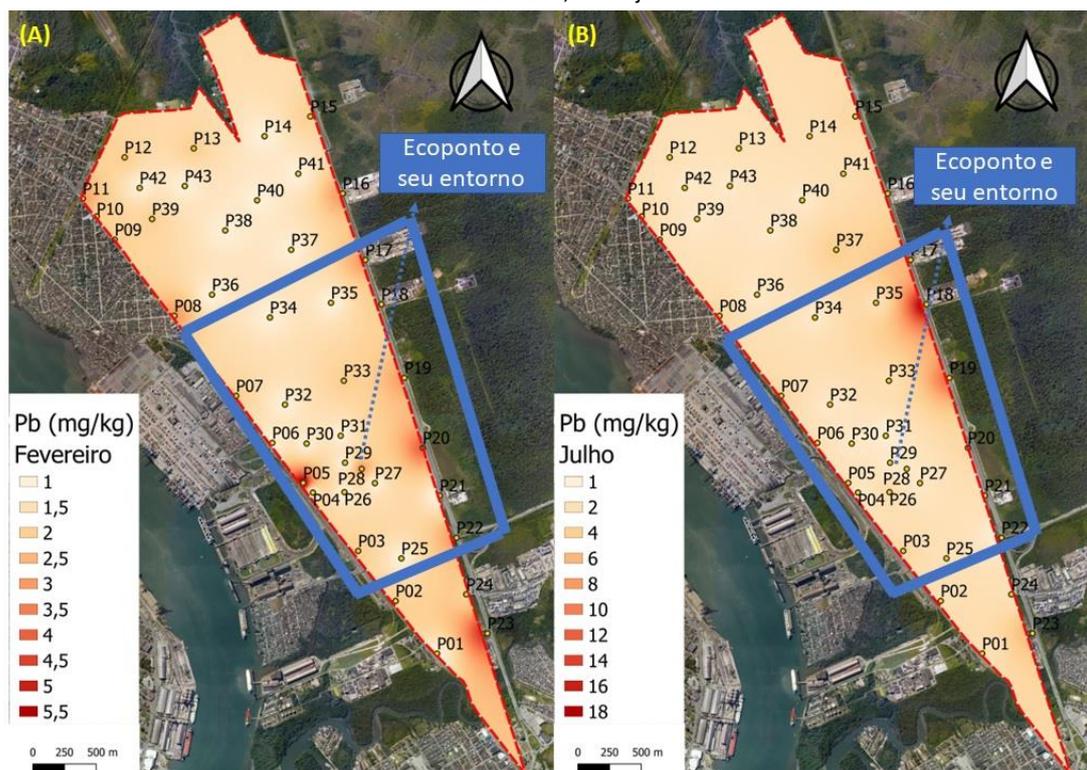


Fonte: Autores (2022).

No caso do Pb, da mesma forma que o Cu, pôde-se observar um aumento não significativo de suas concentrações, nos dois meses estudados (Figura 4). Ressalta-se que dentre os benefícios mais marcantes do PROCONVE estão a redução do teor de enxofre (S) no óleo diesel e a remoção do Pb da gasolina (SALDIVA E ANDRÉ, 2009). Segundo Carvalho et al. (2015), com o recrudescimento do programa, ao longo dos anos, as emissões veiculares foram reduzidas em 70%. Por outro lado, talvez tais benefícios não sejam sentidos em termos de requalificação do ar, dado que o número de veículos automotores cresceu vertiginosamente. Para o caso específico de caminhões que circulam na RMSP, em 2006, havia cerca de 1.500 unidades, em 2019, a frota contava com cerca de 5000 unidades (RAKAUSKAS et al., 2020).

Ainda que o Pb não seja utilizado como um traçador para diagnóstico de poluição, normalmente, o metal é quantificado em estudos sobre a qualidade do ar, justamente como forma de corroborar com as premissas do PROCONVE; ou seja, não eram esperadas concentrações acima dos valores investigados em outros estudos de mesma natureza (CARDOSO-GUSTAVSON et al., 2016).

Figura 4 - Distribuição espacial das concentrações de Pb para as plantas expostas (fev e jul/2019) em Vicente de Carvalho, Guarujá-SP.



Fonte: Autores (2022).

4 CONCLUSÕES

A partir da quantificação dos contaminantes aéreos, bem como o tratamento geoestatístico dos dados, permitiu realizar uma análise sobre a distribuição espacial dos metais Cd, Cu e Pb, nas 43 estações de amostragem, dispostas na área de Vicente de Carvalho, bairro pertencente a Guarujá – SP, que abriga - em totalidade - a margem esquerda do Porto de Santos.

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 um 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 ligeiro enriquecimento de Pb foi condizente com os estudos apontados na discussão; sua determinação, normalmente, é realizada com intuito de avaliar se as exigências determinadas pelas premissas do PROCONVE permanecem sendo cumpridas.

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 para a 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.

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 indica outras soluções que podem ser consideradas, pela SEMAM, em projetos de benfeitoria à Vicente de Carvalho, como 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.

AGRADECIMENTOS

LNAL e FR agradecem à UNINOVE pela bolsa de mestrado; APR agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (CNPq -317071/2021-1) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp - 2020/05383-9), pelo suporte financeiro ao desenvolvimento de seus projetos de pesquisa. Todos os autores agradecem à equipe técnica da SEMAM pelo apoio logístico.

REFERÊNCIAS

BENINI, S. M. e GODOY, J. A. R. Gestão das áreas verdes públicas: estudo de caso da zona leste da cidade de Cuiabá-MT. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, 11 (1), 2185, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5585/geas.v11i1.21497>> Acesso em 08 dez. 2022.

CARDOSO-GUSTAVSON, P., FERNANDES, F. F., ALVES, E. S. et al. *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**, 23(2), 1779-1788, 2016. Disponível em <<https://doi.org/10.1007/s11356-015-5449-8>> Acesso em 20 out. 2022.

CARVALHO, V. S., FREITAS, E. D., MARTINS, L. D., et al. Air quality status and trends over the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil as a result of emission control policies. **Environmental Science & Policy**, 47, 68-79, 2015. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.11.001>>. Acesso em 20 out. 2022.

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.; LIU, C. Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. **Paddy Water Environ** 10, 209–222 (2012). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10333-012-0319-1>>. Acesso em: 13 out. 2022.

COUFALÍK, P., MATOUŠEK, T., KŘŮMAL, K. et al. Content of metals in emissions from gasoline, diesel, and alternative mixed biofuels. **Environmental Science and Pollution Research International**, 26(28), 29012–29019, 2019. Disponível em <<https://doi.org/10.1007/s11356-019-06144-4>>. Acesso em: 13 out. 2022.

FERREIRA, A.B.; RIBEIRO, A.P.; FERREIRA, M.L.; et al. 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, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01575>>. Acesso em: 10 out. 2022.

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.

Hilsdorf, W. de C.; Nogueira-Neto, M. S. (2016). Porto de Santos: Prospecção sobre as causas das dificuldades de acesso. **Gestão & Produção**, 23(1), 219–231, 2016. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/0104-530X1370-14>>. Acesso em: 12 out. 2022.

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. (2010). Censo 2010. (I. B. Estatística, Produtor, & IBGE). 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.

IBGE – **Cidades: Guarujá. 2022**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/guaruja/panorama>>. Acesso em 25 de out. 2022.

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 em: <<https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.003>>. Acesso em: 22 out. 2021.

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, 2015, 185p. Disponível em: <<https://tede.unisantos.br/handle/tede/2161>>. Acesso em: 10 out. 2022.

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.

NOWAK, D. J.; HIRABAYASHI, S.; DOYLE, M. et al. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. **Urban Forestry & Urban Greening**, v.29, p.40-8, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>>. Acesso em: 22 out. 2021.

OMS – Organização Mundial de Saúde. **Biomonitoring-based indicators of exposure to chemical pollutants**. Regional Office for Europe - Italy. Report: 41p, 2012.

Prefeitura Municipal de Guarujá – **Agenda 21 Local e Escolar - Guarujá 2034**: Por um Centenário Sustentável. Fórum Permanente da Agenda 21 de Guarujá, 2012, 199p.

RAKAUSKAS, F.; RIBEIRO, A.P.; SILVA, L.F. Qualidade do ar em São Paulo: uma análise da RMSP e políticas públicas. In Simpósio Brasileiro Online de Gestão Urbana, 2020, Tupã -SP. Anais [...]. Tupã: ANAP, 2020. p. 706-718. Disponível em <<https://www.eventoanap.org.br/data/inscricoes/7666/form4018211740.pdf>>. Acesso em 30 out. 2022.

RIBEIRO, A. P.; FERREIRA, A.B.; AQUINO, S. et al. 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. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/journal/339/33953499011/movil/>>. Acesso em: 10 out. 2022.

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.

Shukla, P. C., Gupta, T., Labhsetwar, N. K., & Agarwal, A. K. (2017). Trace metals and ions in particulates emitted by biodiesel fuelled engine. *Fuel*, 188, 603–609, 2017. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.10.059>>. Acesso em 16 out. 2022.

SNYDER, E.G., WATKINS, T.H., SOLOMON, P.A., et al. The changing paradigm of air pollution monitoring. **Environmental Science & Technology**, 47(20), 11369-11377, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/es4022602>>. Acesso em: 10 out. 2022.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00128-021-03205-8>>. Acesso em: 15 set. 2022.

VIANNA, N.A., GONÇALVES, D., BRANDÃO, F., et al. 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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11356-010-0387-y>>. Acesso em: 10 out. 2022.