



XIX ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR
Blumenau - SC - Brasil

SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA LEVANTAMENTO DE INDICADORES DE QUALIDADE DO AR: UM ESTUDO EM REGIÃO PORTUÁRIA DO BRASIL

David Da Silva Jesus (Universidade Nove de Julho (UNINOVE)) - davijworld@gmail.com
Tecnologista em Transportes pela Fatec-São Paulo. Discente no Programa de Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis PPGCIS-UNINOVE

Andreza Portella Ribeiro (UNINOVE) - aportellar@gmail.com
Graduada em Química pela UEPG-PR. Mestre e Doutora em Tecnologia Nuclear pela USP. Professora Permanente do PPGCIS-UNINOVE.

Sidney Dos Santos (Faculdade de Tecnologia - Fatec, Campus) - sdj.santos@gmail.com
Tecnologista em Transportes pela Fatec-São Paulo. Pesquisador Colaborador no PPGCIS-UNINOVE.

Cleiton Jordão Santos (Secretaria do Meio Ambiente de Guarujá -) - cleitonjordao@hotmail.com
Graduado em Ciências Ambientais, Gestão Pública e Engenharia Ambiental. Doutorando na UNIFESP. Diretor de Planejamento Ambiental da SEMAM-Guarujá.

SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA LEVANTAMENTO DE INDICADORES DE QUALIDADE DO AR: UM ESTUDO EM REGIÃO PORTUÁRIA DO BRASIL

INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é uma das principais preocupações contemporâneas para preservação da vida, pois o agravamento da poluição atmosférica tem ameaçado a saúde das pessoas, além de degradar o meio ambiente, devendo-se, com urgência, repensar os métodos convencionais do desenvolvimento urbano e regional das cidades (THEOPHILO *et al.*, 2021)

O controle da poluição do ar se traduz em desafio para os países, já que a poluição atmosférica permanece como a principal causadora de mortes no mundo (COHEN *et al.*, 2017; LANDRIGAN *et al.*, 2018). A cada ano, estima-se que mais de 4 milhões de pessoas morrem, em consequência da poluição do ar (LI, 2019).

Para Castro *et al.* (2019), as emissões veiculares estão entre as atividades antrópicas que mais contribuem para o enriquecimento - na atmosfera - de substâncias tóxicas. Os veículos pesados - caminhões e ônibus - são os que mais emitem contaminantes, como óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado – MP (CASTRO *et al.*, 2019). Isso se deve ao fato de o óleo diesel, principal combustível dos veículos pesados, possuir em sua composição uma mistura de compostos que ao entrar em contato com o ar também sofre reações secundárias (MARICQ, 2007). O MP é rico em metais pesados como cádmio (Cd), cobre (Cu), e chumbo (Pb), dentre outros e, ao ser inalado, pode provocar o desenvolvimento de doenças cardiorrespiratórias graves (RODRIGUEZ *et al.*, 2010, IARC, 2014; FERREIRA *et al.*, 2017; INCA, 2021; MARTINS *et al.*, 2021).

Os impactos das ações humanas são ainda mais pronunciados nas regiões costeiras, pois as cidades se desenvolvem em áreas muito menores do que as cidades no interior do continente, principalmente naquelas que abrigam distritos industriais e atividades portuárias (SOUZA *et al.*, 2021). O desenvolvimento econômico nessas regiões é determinado pela intensificação das negociações nos terminais de cargas e, conseqüentemente, verifica-se rapidamente o crescimento da frota de veículos pesados, que congestionam os centros comerciais e bairros residenciais (THEOPHILO *et al.*, 2021).

Especificamente no caso da Baixada Santista - SP, o Distrito Industrial de Cubatão e a presença do maior porto da América Latina, o Porto de Santos - nas cidades de Santos e Guarujá - vêm causando preocupação aos gestores municipais pois, se por um lado essas atividades são essenciais ao desenvolvimento econômico e social, por outro, a poluição resulta em prejuízos ao meio ambiente com potenciais efeitos adversos à qualidade de vida da população local (THEOPHILO *et al.*, 2021).

Apesar de a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) fiscalizar a poluição veicular, seguindo as diretrizes do Decreto Estadual nº 59.113/2013, por meio de indicadores de qualidade do ar, este monitoramento em Guarujá é bastante recente, tendo iniciado em 2016 e contemplando apenas um ponto de amostragem, fora da influência da atividade portuária, para determinação de níveis de MP₁₀ (CETESB, 2017). Além disso, o próprio órgão ambiental destaca o desafio em se avaliar a qualidade do ar em áreas portuárias, devido ao intenso fluxo de frota veicular procedente de diferentes regiões do país. As ações punitivas previstas por lei, para redução das emissões de

poluentes, são aplicáveis apenas aos veículos licenciados no Estado de São Paulo. Assim, na Baixada Santista, a melhoria na qualidade do ar pode não ser significativa, devido a origem distinta da frota automotiva (CETESB, 2014).

Pesquisas prévias têm apresentado soluções alternativas e sustentáveis aos métodos convencionais de avaliação da qualidade do ar; isto é, a própria natureza pode contribuir para o diagnóstico e redução da poluição atmosférica, como é o caso das “Soluções baseadas na Natureza (SbN)”, que são propostas inspiradas na paisagem natural e se caracterizam pela boa relação custo-benefício (KABISCH *et al.*, 2017; FRANTZESKAKI *et al.*, 2019; THEOPHILO *et al.*, 2021). Em adicional, as propostas de SbN são econômicas e oferecem diversos tipos de oportunidades, que vão desde o controle da degradação ambiental à melhoria da saúde pública (MEA, 2005; IUCN, 2012; FERREIRA e RIBEIRO, 2020).

Sob tal perspectiva, o principal objetivo desse estudo foi se valer de uma SbN - o monitoramento biológico - para determinar a concentração de poluentes atmosféricos, no que se refere aos metais pesados, na região sob influência da margem esquerda do Porto de Santos, o Distrito de Vicente de Carvalho, no município de Guarujá - SP, com intuito de contribuir com indicadores que possam informar se a qualidade do ar está sendo afetada pela intensa circulação de transporte de cargas, com é o caso dos caminhões que acessam o porto.

MONITORAMENTO BIOLÓGICO DA QUALIDADE DO AR EM GUARUJÁ

O monitoramento biológico e a expansão da infraestrutura verde são exemplos de medidas de SbN que permitem diagnosticar e / ou filtrar os poluentes atmosféricos (RAYMOND *et al.*, 2017; XING *et al.*, 2017; PAULEIT *et al.*, 2017; ARTMANN e SARTISON, 2018). Por serem simples e menos onerosos que os métodos convencionais de medição, a utilização do monitoramento biológico na avaliação da qualidade do ar é recomendada por organizações internacionais, como a União Internacional para a Conservação da Natureza, as Nações Unidas e a União Europeia (IUCN, 2012; KABISCH *et al.*, 2017; FAIVRE *et al.*, 2017).

Normalmente as plantas são utilizadas como bioindicadoras de poluentes, a partir de danos visíveis e /ou alterações anatômicas e por meio do acúmulo de MP nas superfícies foliares, servindo como traçadoras de impacto ambiental (CARNEIRO, 2004). Este é o caso da bromélia *Tillandsia usneoides* L, uma planta epífita nativa da Mata Atlântica, amplamente utilizada em pesquisas para monitorar a poluição atmosférica (CARDOSO-GUSTAVSON *et al.*, 2016; GIAMPAOLI *et al.*, 2016).

Em termos turísticos brasileiros, Guarujá é reconhecida como “Pérola do Atlântico” por 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, a expressiva participação no Porto de Santos, ainda que direcione recursos financeiros à cidade, resultou em impactos ao ordenamento territorial, devido ao congestionamento de caminhões (Prefeitura Municipal de Guarujá, 2012). O intenso fluxo veicular favorece o enriquecimento na atmosfera de ampla variedade de poluentes atmosféricos (CETESB, 2017).

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). 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 Secretaria do Meio Ambiente – SEMAM de Guarujá/SP (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, a Prefeitura ainda não atendeu as diretrizes determinadas para controle da degradação ambiental. 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, a construção de um inventário com dados quantitativos que identifique contaminantes do ar e suas principais fontes emissoras, bem como a associação desses poluentes com os prejuízos à saúde da população possibilitará a adoção, pela SEMAM, de medidas preventivas de controle ambiental para transporte de insumos.

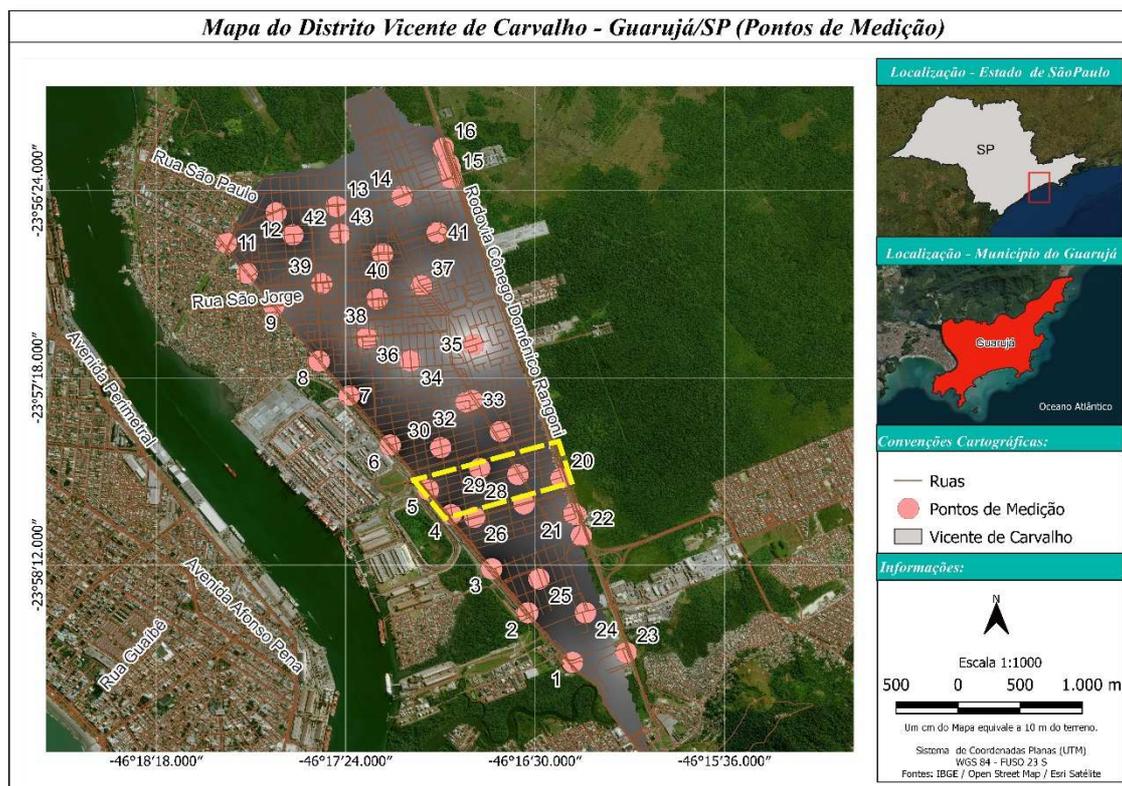
O inventário químico pode servir como ferramenta consultiva para a criação de parâmetros e indicadores sobre a poluição atmosférica e efeitos à qualidade de vida. Esses indicadores refletirão a importância das SbN e de medidas de adaptação, conforme preconiza a Política Nacional sobre Mudança do Clima, instituída pela Lei Federal nº 12.187/2009 e regulamentada pelos Decretos nºs 7.390/2010 e 9.578/2018. Dentro desse contexto, citam-se o incentivo a políticas que viabilizem a infraestrutura verde e o entendimento das transformações econômicas e territoriais, em virtude da expansão física das atividades portuárias, evitando-se agravamentos futuros, sobretudo nas áreas que abrangem as atividades do Porto de Santos, em especial no Distrito de Vicente de Carvalho, Guarujá - SP.

MATERIAIS E MÉTODO

O presente trabalho apresenta um método misto; isto é, uma abordagem de pesquisa que combina as análises quantitativas e qualitativas (CRESWELL, 2017). Dessa forma, a partir da exposição das plantas, pôde-se identificar alguns tipos e as concentrações de contaminantes na atmosfera de Guarujá/SP. A partir dos dados quantitativos, tratamentos estatísticos referendaram as observações qualitativas do cenário na área de estudo.

A distribuição das plantas se deu em área de tráfego intenso de caminhões em região urbana e residencial do Distrito de Vicente de Carvalho, perfazendo 43 unidades amostrais, cada uma delas contendo cerca de 15 gramas de *T. usneoides*, dispostas em galhos de árvores, a uma altura de aproximadamente três metros do solo. Cada ponto amostral teve suas coordenadas registradas por meio de um GPS e QGIS, para georreferenciar os pontos monitorados (Figura 1). Na imagem, destaca-se os pontos 28 e 29 do entorno, situados na Rua Idalino Pines (Rua do Adubo), onde se localiza o pátio, denominado Ecoponto, com mais de 70.000 m², onde os caminhões ficam estacionados, aguardando o momento para acessar o porto e prosseguir com o transporte de cargas.

Figura 1: Localização Geográfica de Vicente de Carvalho e pontos de monitoramento biológico.



Fonte: Autor (2021).

A *T. usneoides* é uma bromélia e não precisa ser cultivada, pois cresce naturalmente. Amostras desse bioindicador foram obtidas de um produtor na região de Cordeirópolis - SP; este município não sofre influência de atividades poluidoras e, portanto, foi considerado área não-contaminada ou limpa.

Para o monitoramento biológico, foram analisadas amostras da planta previamente expostas por período de um mês, em janeiro e em julho de 2019, para comparar os valores de potenciais poluentes acumulados em época chuvosa e seca, respectivamente. Como indicadores da qualidade do ar, foram utilizados os metais pesados normalmente associados às emissões veiculares, como Cd, Cu e Pb. Após a exposição, para a determinação das concentrações dos metais, as amostras passaram por um tratamento químico com reagentes ácidos e a determinação dos metais foi realizada pela técnica de espectrometria de absorção atômica (RIBEIRO *et al.*, 2017).

CONFEÇÃO DOS MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

A partir das coordenadas geográficas das amostras nas árvores, foi gerada uma planilha em *Excel* para identificação de cada ponto – georreferenciados - e suas respectivas concentrações, para cada mês estudado.

Com a planilha e por meio do *Software Q-Gis 3.20.3*, para a análise e processamento de dados espaciais, foi gerado um arquivo do tipo *shape-file* sobre uma base cartográfica de imagem de satélite *Esri Satellite*, com a delimitação do local de estudo e suporte inicial para a confecção dos mapas.

As imagens de satélite, foram obtidas de forma gratuita pelas plataformas de imagens de satélite no site do 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, o arquivo *shape* das ruas, a partir do site *Open Street Map* (<https://www.openstreetmap.org/>).

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.

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, para 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; ALMEIDA *et al.*, 1997; NOGUEIRA, 2006).

Conforme Chen e Liu (2012), o IDW pode ser usado para melhor estimar os valores nos locais, onde não foram tomadas amostras ou medidas, baseado na distância ponderada de um ponto amostral. Ainda, para os autores, os valores de concentração para cada ponto são categorizados por peso durante a interpolação, de acordo com a influência de um ponto relativo a outro e declina com a distância, a partir de um ponto desconhecido que se deseja obter.

Os resultados da análise por meio da IDW podem, então, ser utilizados para análises que cubram toda a área de modelagem, sendo aplicado para criar uma superfície *raster* no QGIS, com estimativas feitas para todas as células deste *raster* (CHEN e LIU, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir da exposição das plantas, no total de 43 pontos, na rede de biomonitoramento, revelaram um impacto que requer mais atenção sobre a poluição local.

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 (2019) e expostas em julho e coletadas em agosto (2019). São indicadas, também, as concentrações de Cd, Cu e Pb nas amostras de Cordeirópolis (região não-contaminada).

Tabela 1: Índice de concentrações de Cd, Cu e Pb nas amostras de *Tillandsia usneoides* L, em diferentes meses de exposição - 2019.

Mês	Índice de Concentração (média)		
	Cu (ppm)	Cd (ppb)	Pb (ppm)
Janeiro	46,45	772,65	3,48
Julho	89,96	721,15	12,21
Cordeirópolis (região limpa)	45,00	35,38	0,50

Fonte: Autor, 2021

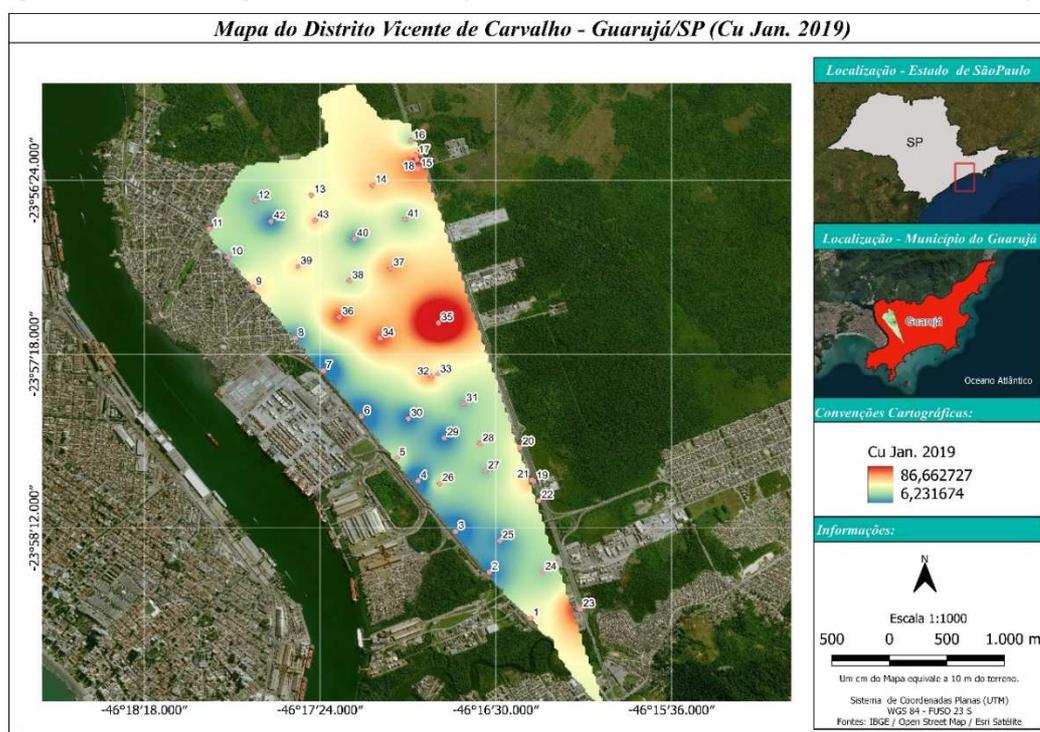
Os mapas gerados (Figuras 2 a 7) permitem visualizar as regiões de Vicente de Carvalho com as mais altas concentrações dos metais pesados, para os meses de janeiro e julho de 2019.

Os dois intervalos escolhidos tomaram por base o fato de apresentarem diferentes índices pluviométricos; normalmente, sendo janeiro o mês mais chuvoso, o que favorece a diluição da concentração do poluente, e julho o mais seco, conforme indicado por Theophilo *et al.* (2021), também para Guarujá - SP.

Por meio das figuras, é possível observar a tendência de enriquecimento de poluentes na região do Ecoponto e seu entorno (pontos com as mais altas concentrações), na Rua Idalino Pines que, conforme supracitado, é a principal via de tráfego de veículos para alça de acesso e saída da margem esquerda do Porto de Santos em Vicente de Carvalho, Guarujá - SP.

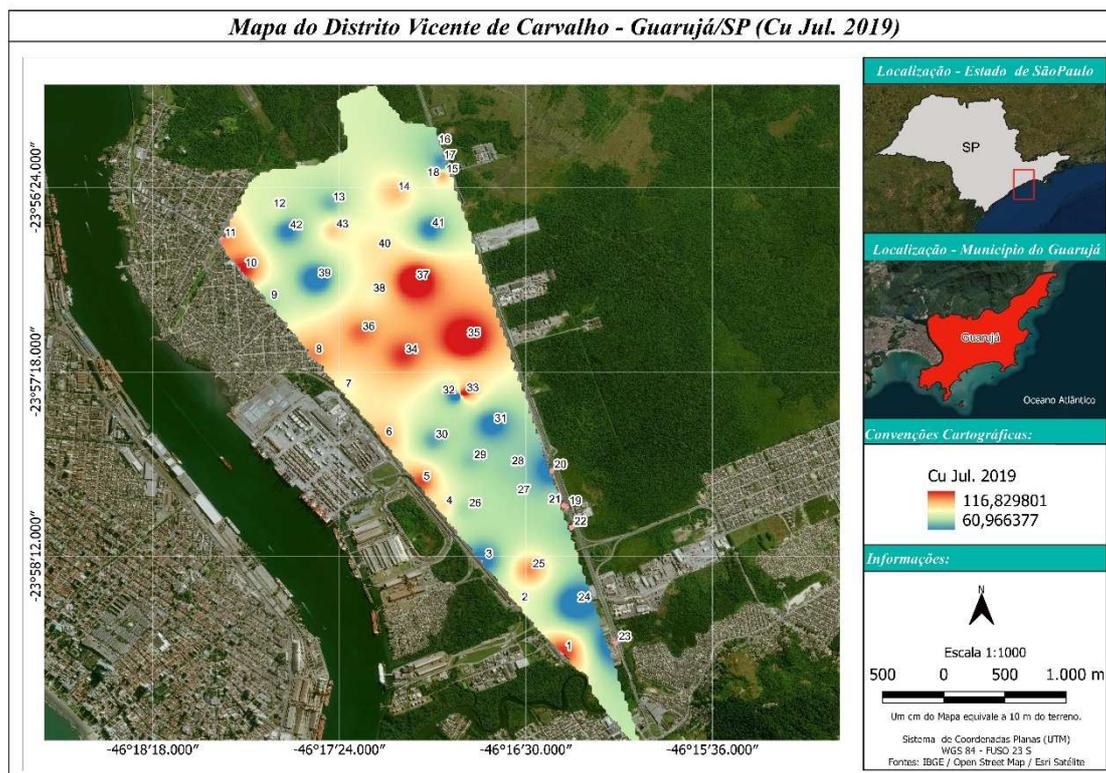
Em janeiro e julho (Figuras 2 e 3), os teores de cobre (Cu) ficaram acima de 1.000 mg g^{-1} (ou partes por milhão - ppm), nos pontos 34; 35 e 37. Esses locais de exposição são próximos à Praça 14 Bis. Tratam-se de ruas que cruzam a Avenida Santos Dumont, Rua Oswaldo Aranha, terminando na Rodovia Cônego D. Rongôni; portanto, além de serem ruas alternativas à Idalino Pines, para o tráfego de cargas, somam-se à presença dos caminhões, grande número de veículos leves, já que na área também se localiza a Balsa de Vicente de Carvalho, que dá acesso à cidade de Santos - SP. Segundo Vianna *et al.* (2011), o Cu pode ser considerado como principal marcador da queima de gasolina, como as emissões dos veículos leves.

Figura 2: Concentrações de Cu, em janeiro/2019, em Vicente de Carvalho, Guarujá – SP.



Fonte: Autor (2021)

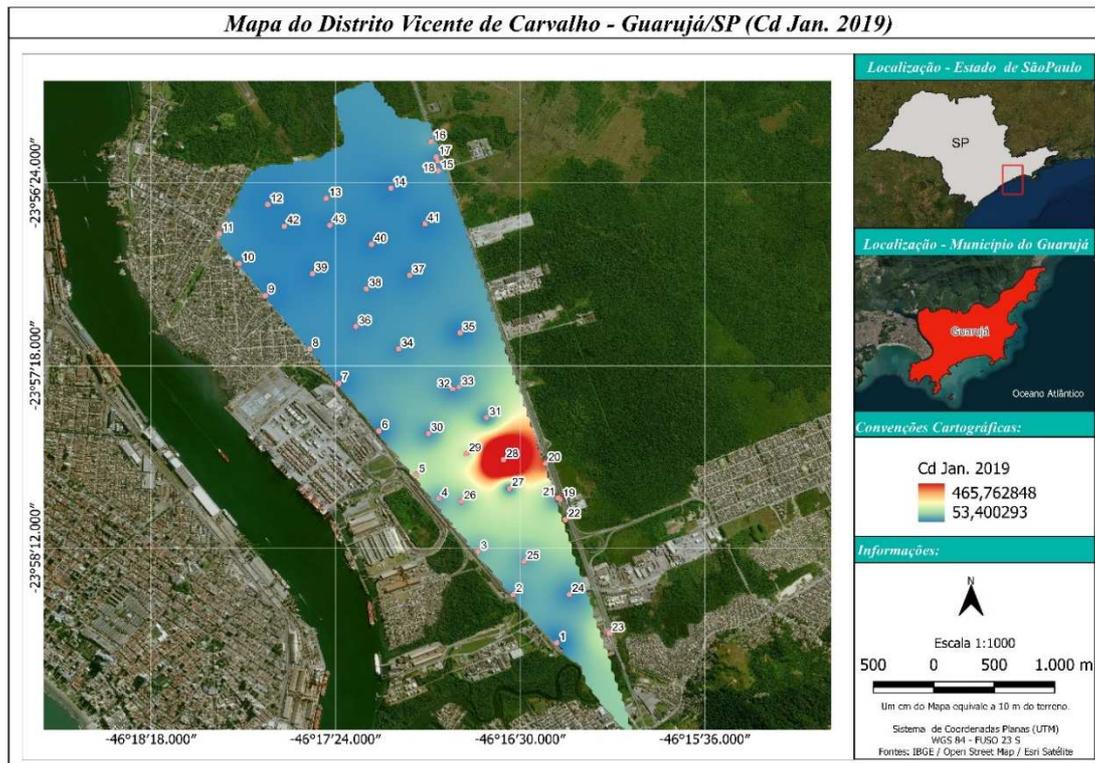
Figura 3: Concentrações de Cu, em julho/2019, em Vicente de Carvalho, Guarujá – SP.



Fonte: Autor (2021).

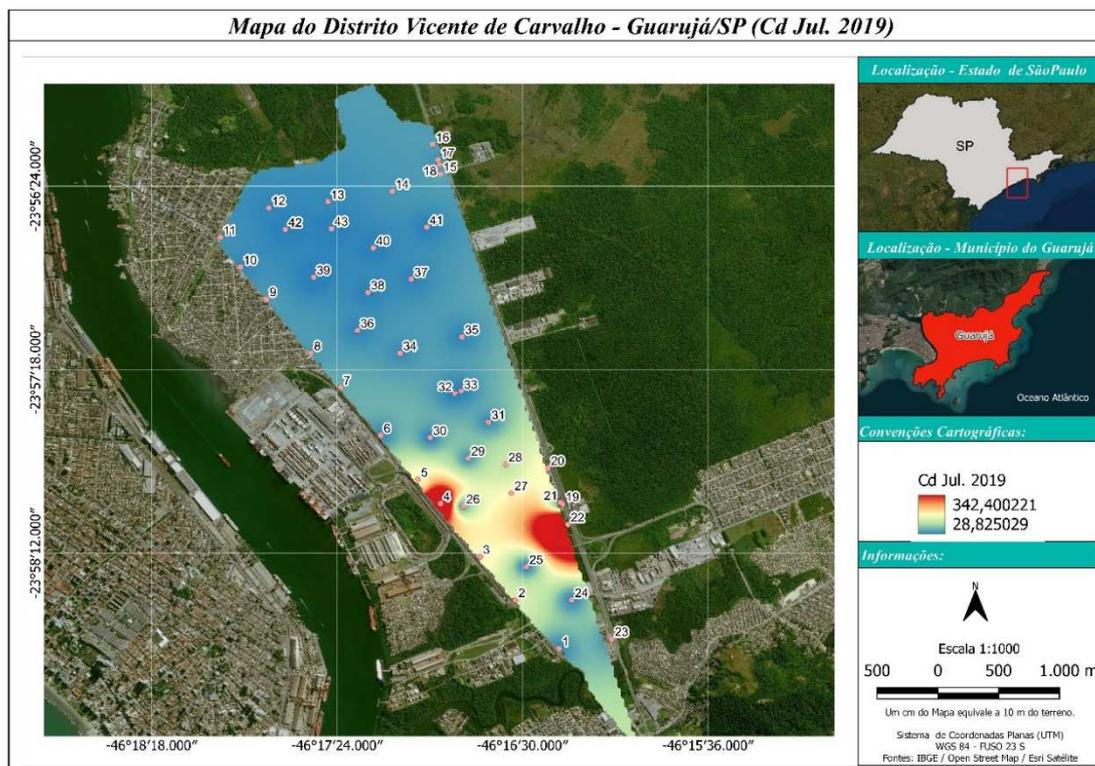
No que se refere ao Cd, também pode-se observar a variação significativa entre os meses de janeiro e julho. Do total de 43 pontos de amostragem, em janeiro, apenas 11 deles apresentaram concentrações acima de $100 \mu\text{g kg}^{-1}$ (ou partes por bilhão – ppb). Porém, em ambos os meses, as maiores concentrações de Cd (acima de 1400 ppb) ocorreram na entrada do Ecoponto e na rota alternativa de saída do porto, nos pontos 28; 35 e 37 (Figuras 4 e 5). Portanto, o alto acúmulo do poluente na planta condiz com o fato de, independentemente, do mês (chuvoso ou seco) a Rua Idalino Pines (e o Ecoponto) permanecerem com tráfego intenso de caminhões. De acordo com pesquisas prévias (COUFALÍK *et al.*, 2019; SHUKLA *et al.*, 2017), embora também esteja presente na composição química da gasolina, a utilização do Cd como marcador químico é mais adequada para avaliar as emissões de motores a diesel, principal combustível para veículos pesados.

Figura 4: Concentrações de Cd, em janeiro/2019, em Vicente de Carvalho, Guarujá – SP.



Fonte: Autor (2021).

Figura 5: Concentrações de Cd, em julho/2019, em Vicente de Carvalho, Guarujá - SP.

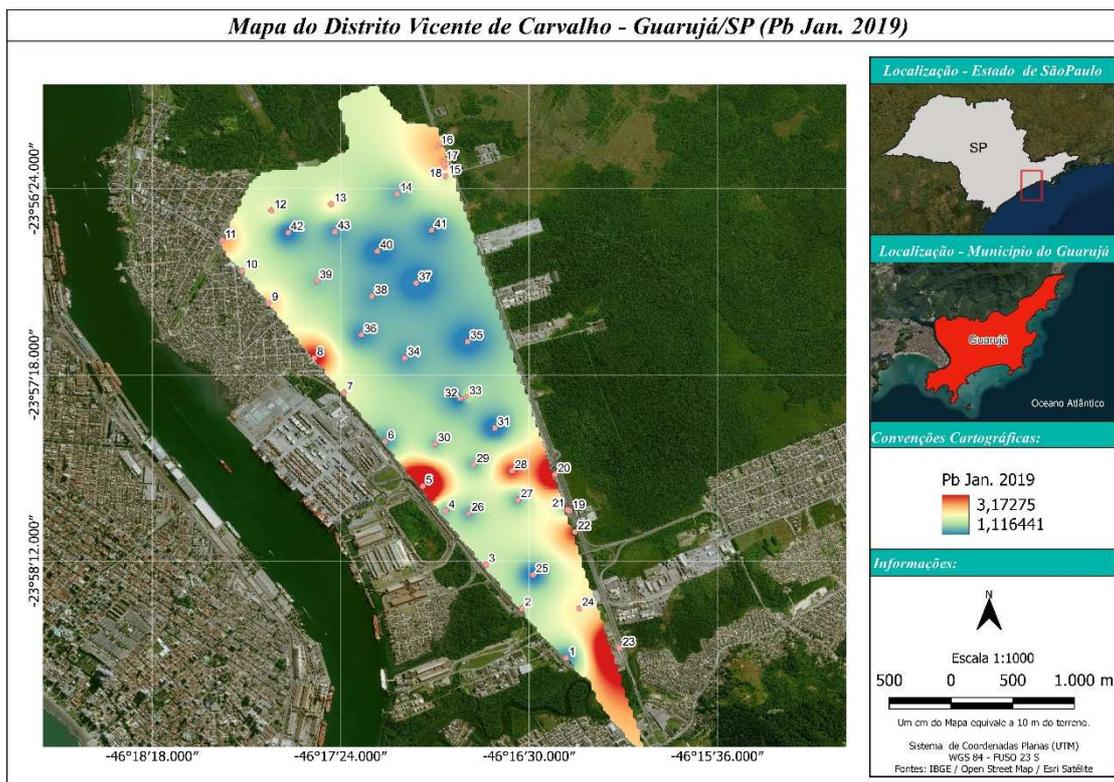


Fonte: Autor, (2021).

Ressalta-se que era esperada a diferença nas concentrações dos metais pesados entre a coleta de janeiro e julho, devido ao índice pluviométrico (maior) e diminuição de circulação da frota pesada em janeiro. Entretanto, este padrão não foi observado para o Pb, que apresentou o inverso do esperado, ou seja, as mais altas concentrações de poluentes em janeiro (chuvoso) e as menores no mês de julho (seco). Na região mais ao Norte de Vicente de Carvalho (Figuras 6 e 7), notam-se as mais baixas concentrações do metal, com pontos anômalos (16; 17 e 18) em julho.

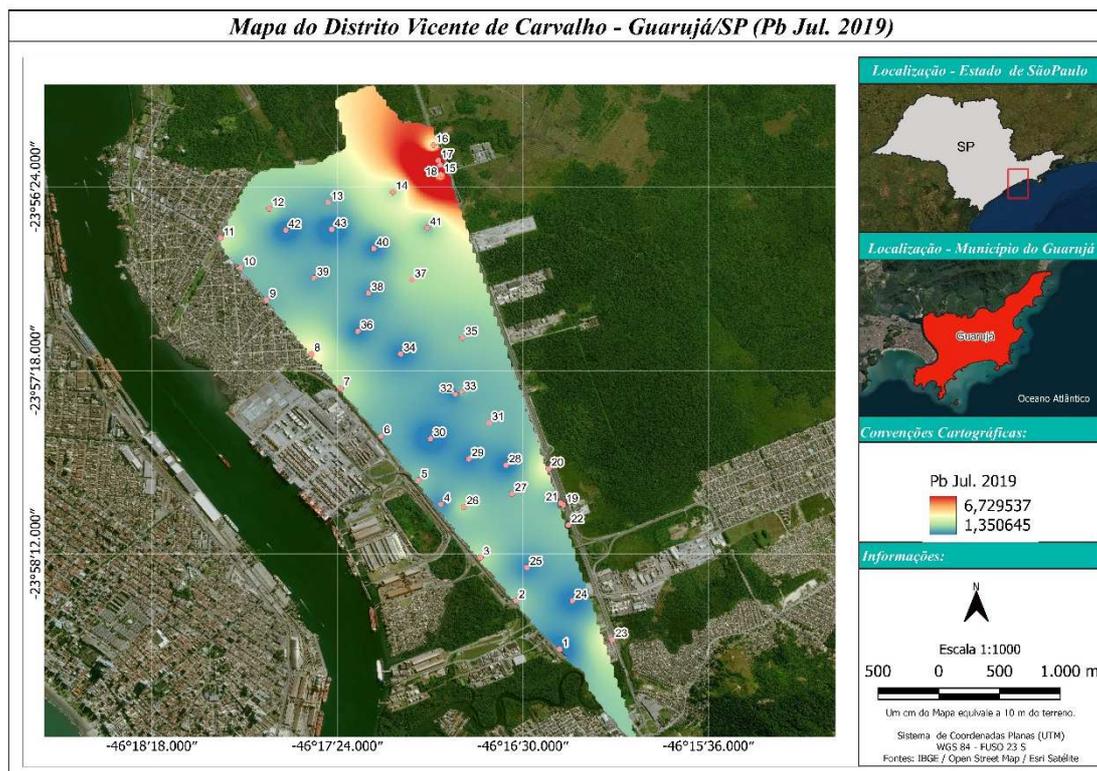
O Programa de Controle da Emissão de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE -, foi instituído no país em 1986, estabelecendo limites para a emissão de contaminantes (CONAMA, 1986). De acordo com Carvalho *et al.* (2015), as emissões de poluentes foram reduzidas em 70% como resultado desse programa. Dentre as consequências mais marcantes do PROCONVE, estão a redução do teor de enxofre (S) no óleo diesel e a remoção do Pb da gasolina. Nesse sentido, o comportamento discrepante de Pb em relação aos demais metais pode estar refletindo os benefícios alcançados às restrições estabelecidas pelo PROCONVE, em relação à proibição de utilização de Pb em combustíveis.

Figura 6: Concentrações de Pb, em janeiro/2019, em Vicente de Carvalho, Guarujá - SP.



Fonte: Autor, (2021).

Figura 7: Concentrações de Pb, em julho/2019, em Vicente de Carvalho, Guarujá – SP.



Fonte: Autor, (2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das necessidades fundamentais das políticas públicas ambientais é o estabelecimento de indicadores que forneçam subsídios aos tomadores de decisão. Portanto, espera-se que em curto prazo, os projetos públicos ambientais, que incentivem as medidas de SbN, ganhem mais espaços nas agendas ambientais, contribuindo para o crescimento das chamadas “cidades verdes”, com foco na redução dos efeitos adversos da poluição ambiental. Por outro lado, são necessárias mais evidências científicas para que, de fato, os gestores públicos possam se valer de informações confiáveis que favoreçam a implantação de projetos voltados à qualidade ambiental e saúde pública.

Nesse sentido, por meio de uma SbN - o monitoramento biológico - foi possível dar início à criação de um banco de dados, relativo ao enriquecimento de poluentes aéreos, no Distrito de Vicente de Carvalho. Por ora, capaz de distinguir a contribuição dos veículos pesados, considerando o Cd como principal indicador dos impactos negativos do transporte de cargas. Além disso, esta pesquisa destacou a capacidade de as plantas reterem o MP, presente na atmosfera, permitindo identificar e quantificar espécies químicas absorvidas em suas escamas. O conjunto evidencia que a intensificação da vegetação verde, principalmente arbórea, pode ser considerada como estratégia robusta para indicar valores de referência, no tocante a pressões e riscos advindos da poluição atmosférica.

Em relação à contribuição ao Planejamento Urbano e Regional, além da “Questão Ambiental”, o desenvolvimento da pesquisa também poderá auxiliar às ações de vigilância em saúde e ambiental. Além das análises de indicadores

biológicos da poluição e o papel dos espaços verdes na melhoria da qualidade do ar, estão previstos estudos sobre os riscos de casos respiratórios crônicos na população local de Vicente de Carvalho. A SEMAM-Guarujá se fundamentará nessas informações para avaliar se as atividades do Porto de Santos estão harmonizadas com o Código de Postura do Município (Lei Complementar no 44/1998), no que se refere à fiscalização de atividades potencialmente poluidoras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (Processo nº 2020/05383-9) pelo subsídio ao desenvolvimento da pesquisa e à SEMAM-Guarujá pelo apoio técnico e logístico.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. D. D.; SANCHEZ, M. C.; PICARELLI, A. **Atividades cartográficas**. São Paulo: Atual, v. 2, 1997.

ARTMANN, M.; SARTISON, K.. **The role of urban agriculture as a nature-based solution: A review for developing a systemic assessment framework**. Sustainability, v. 10, n. 6, p. 1937, 2018.

BRAGA, A. L.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. **Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana**. Campinas: Unicamp, 2002. Disponível em: < <http://libdigi.unicamp.br/document/?view=1039> >. Acesso em: 13 set. 2021.

BRASIL, MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de adaptação à mudança do clima** – Volume 1: Estratégia do Clima. Brasília, 2016, 44p.

BRAUER, M.; AMANN, et al. (2011). Exposure assessment for estimation of the global burden of disease attributable to outdoor air pollution. **Environmental Science and Technology**, 46, 652–60.

BRAZ, S. N.; LONGO, R. M. (2021). **Qualidade ambiental das cidades: uso de bioindicadores para avaliação da poluição atmosférica**. Sustentabilidade, 2, 215198.10.24220/2675-7885v2e2021a5198.

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.

CARNEIRO, R.M.A.. **Vegetal bioindicators of atmospheric pollution: a contribution to community health**. 2004. 146 p. Dissertation (Masters). University of São Paulo at Ribeirão Preto Collegy of Nursing.

CARVALHO, V. S. B.; FREITAS, E. D. de; 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**, Amsterdam, v. 47, p. 68-79, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2014.11.001> > DOI: 10.1016/j.envsci.2014.11.001. Acesso em: 13 set. 2021.

CASTRO, R. R. de; et al. Quantificação de elementos traço em material particulado nano, ultrafino, fino e grosso de emissões veiculares no entorno do Instituto de Aplicação da UERJ. 2019.

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.

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 set. 2021.

COHEN, A. J.; et al.. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. **The Lancet**, v. 389, n. 10082, p. 1907-1918, 2017.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986. **Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE**. Publicada no DOU, de 17 de junho de 1986, Seção 1, páginas 8792-8795.

COUFALÍK, P.; et al.. **Content of metals in emissions from gasoline, diesel, and alternative mixed biofuels**. **Environmental Science and Pollution Research**, 26(28), 29012-29019, 2019.

CRESSWELL. **O projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FAIVRE, N.; FRITZ, M.; FREITAS, T.; de BOISSEZON, B.; VANDEWOESTIJNE, S.. Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. **Environmental research**, 159, 509-518, 2017.

FERREIRA, M. L.; RIBEIRO, A. P. (2020). **Potencialidades e Aplicações do Conceito de Nature-based Solutions (NbS) em Cidades Inovadoras e Sustentáveis**. In D. de M. Conti & V. L. R. Vieira (Eds.), O futuro das cidades: Sustentabilidade, inteligência urbana e modelos de viabilidade (Vol. 1, pp. 46–55). Trevisan.

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, 2017.

FRANTZESKAKI, N.; et al.. Nature-based solutions for urban climate change adaptation: linking science, policy, and practice communities for evidence-based decision-making. **BioScience**, v. 69, n. 6, p. 455-466, 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.

GRIGGS, D. et al. Sustainable development goals for people and planet. **Nature**, v.495, p.305-7, 2013.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista Labverde**, Rio de Janeiro, n.1, p.92-115, 2010.

IARC – INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Diesel and ga-soline engine exhausts and some nitroarenes.** Lyon, France: IARC, 2014. (IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk to humans, v. 105).

INCA – INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Diretrizes para a vigilância do câncer relacionado ao trabalho.** Rio de Janeiro: INCA; 2012.

IUCN - **The IUCN Programme 2013–16.** IUCN, Gland, Switzerland. Disponível em: < http://iucnworldconservationcongress.org/news__press/?11090/Towards-a-New-Era-of-Conservation-Sustainability-and-Nature-based-Solutions >, 2012 >. Acesso em: 13 set. 2021.

JOHANSSON, R. (2007). **On case study methodology.** Open House International, 32(3), 48.

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.

LANDRIGAN, P. J. et al. The Lancet Commission on pollution and health. **The lancet**, v. 391, n. 10119, p. 462-512, 2018.

LI, X.. Air pollution: a global problem needs local fixes. **Springer Nature Limite.** V. 570, p.437-439, 2019.

MARICQ, M. M.. Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. **Journal of Aerosol Science**, v. 38, n. 11, p. 1079-1118, 2007.

MARKERT, B. et al. Bioindication of atmospheric trace metals—with special references to megacities. **Environ. Pollut.** 159: 1991–1995, 2011.

MARKERT, B. A. et al. **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.; et al. **Infraestrutura verde para monitorar e minimizar os impactos da poluição atmosférica.** Energia e ambiente • Estud. av. 35 (102) • May-Aug 2021 • Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.003>. >. Acesso em: 22 out. 2021.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. **Relatório Síntese da Avaliação Ecosistêmica do Milênio.** Washington, DC, 2005.

MOLINA, M. J. & MOLINA, L. T. (2004) **Megacities and Atmospheric Pollution, Journal of the Air & Waste Management Association**, 54:6, 644-680, DOI: 10.1080/10473289.2004.10470936. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10473289.2004.10470936>>. Acesso em: 12 set. 2021.

MONDAL, P.; SOUTHWORTH, J. Evaluation of conservation interventions using a cellular automata-Markov model. **Elsevier**, v. 260, n. 10, p. 1716-1725, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037811271000472X>>. Acesso em: 19 set. 2021.

NOGUEIRA, R. E. **Representação, comunicação e visualização de dados espaciais.** [S.l.]: Editada ra UFSC, 2006. Prefeitura Municipal de Guarujá – Agenda 21 Local e Escolar - Guarujá 2034: Por um Centenário Sustentável. Fórum Permanente da Agenda 21 de Guarujá, 2012, 199p.

PAULEIT, S.; et al. Nature-based solutions and climate change—four shades of green. In: Nature-Based solutions to climate change adaptation in urban areas. **Springer**, Cham, 2017. p. 29-49.

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

RAYMOND, C. M. et al. A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. **Environmental Science & Policy**, v. 77, p. 15-24, 2017.

RIBEIRO, A. P. et al. **Diagnóstico da poluição atmosférica em regiões sem redes convencionais de monitoramento da qualidade do ar: estudo em**

uma pequena cidade do Paraná, Brasil. *Interciencia*, v.42, n.11, p.767-73, 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.

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.

SOUZA, I. B. S. de; et al. Hydric pollution and its genotoxic potential: An analysis of the Doce river basin after the Fundao dam failure. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 10, n. 7, p. e17010716374, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i7.16374. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16374>>. Acesso em: 19 set. 2021.

STEFFEN, W. et al. “**The Trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration**”, in *The Anthropocene Review*, 1-18, 2015.

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. ***Bull Environ Contam Toxicol* 107, 29–36 (2021)**. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00128-021-03205-8>>. Acesso em: 15 set. 2021.

VIANNA, N.A., GONÇALVES, D., BRANDÃO, F., BARROS, R.P., AMADO FILHO, G.M., MEIRE, R. O., TORRES, J.P.M., MALM, O., D’OLIVEIRA JÚNIOR, A., Andrade, L. (2011) 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.

XING, Y.; JONES, P.; DONNISON, I. **Characterisation of nature-based solutions for the built environment.** *Sustainability*, v. 9, n. 1, p. 149, 2017.