

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

FELIPE RAKAUSKAS

**CONTRIBUIÇÃO DO TRANSPORTE DE CARGA RODOVIÁRIO À POLUIÇÃO
ATMOSFÉRICA NA REGIÃO PORTUÁRIA DE VICENTE DE CARVALHO,
GUARUJÁ-SP**

São Paulo

2022

Felipe Rakauskas

**CONTRIBUIÇÃO DO TRANSPORTE DE CARGA RODOVIÁRIO À POLUIÇÃO
ATMOSFÉRICA NA REGIÃO PORTUÁRIA DE VICENTE DE CARVALHO,
GUARUJÁ-SP**

**CONTRIBUTION OF ROAD CARGO TRANSPORT TO ATMOSPHERIC
POLLUTION IN THE PORT REGION OF VICENTE DE CARVALHO, GUARUJÁ-
SP**

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: PROFA. DRA. ANDREZA PORTELLA RIBEIRO

São Paulo

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Rakauskas, Felipe.

Contribuição do transporte de carga rodoviário à poluição atmosférica na região portuária de Vicente de Carvalho, Guarujá-SP. / Felipe Rakauskas. 2022.

53 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2022.

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

1. Poluição atmosférica. 2. Transporte de carga. 3. Área portuária. 4. Infraestrutura verde.

I. Ribeiro, Andreza Portella. II. Título.

**CONTRIBUIÇÃO DO TRANSPORTE DE CARGA RODOVIÁRIO À POLUIÇÃO
ATMOSFÉRICA NA REGIÃO PORTUÁRIA DE VICENTE DE CARVALHO,
GUARUJÁ-SP**

Por

Felipe Rakauskas

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:

Profa. Dra. Flávia Ulian – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC

Profa. Dra. Andreza Portella Ribeiro – Universidade Nove de Julho – UNINOVE

Prof. Dr. João Alexandre Paschoalin Filho – Universidade Nove de Julho – UNINOVE

São Paulo, 23 de junho de 2022

Dedicatória

A minha filha, Júlia, que chegou ao mundo junto com o início dessa pesquisa. Base fundamental para a minha inspiração.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a *H'shem* pela oportunidade da vida. E aos meus pais, irmãos e esposa pelo apoio, ideias e força na trajetória desse trabalho.

Agradeço a oportunidade que a Universidade Nove de Julho me disponibilizou, através da bolsa de estudos e toda a infraestrutura acadêmica necessária para a realização desse trabalho.

Meu agradecimento a SEMAM (Secretaria do Meio Ambiente do Guarujá) em especial ao Sr. Secretário Sidnei Aranha e ao Cleiton Jordão Santos por todo apoio técnico e administrativo.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Fapesp pelo apoio financeiro (Processo no: 2020/05383-9).

Agradeço aos meus amigos Anderson de Oliveira e Leonardo Ferreira da Silva que desde a graduação são parceiros acadêmicos e profissionais, sempre muito competentes e solícitos.

Agradeço em especial a minha orientadora Profa Dra Andreza Portella Ribeiro que soube com muita responsabilidade, sabedoria e paciência conduzir essa pesquisa da melhor forma possível.

Minha gratidão, também, aos professores e colegas do curso que agregaram conhecimento multidisciplinar necessário para a realização desse trabalho.

Expresso, ainda, meu agradecimento ao Prof. Dr. Maurício Lamano Ferreira, Maria Santiellas, Matheus Graciosi Pinto e Profa Dra Flávia Ulian por acompanharem a trajetória e sempre construtivos.

Agradeço a todos!

RESUMO

Com o aumento da população urbana novos desafios vão surgindo para as cidades. Dentre as maiores preocupações a ambiental é mais agravante pois a queima dos combustíveis fósseis agride de forma preocupante a saúde das populações que vivem nos grandes aglomerados urbanos. Áreas portuárias possuem diversos tipos de transportes nos arredores, principalmente de carga e normalmente são regiões onde populações mais carentes se fixam em busca de empregos. O transporte rodoviário de cargas é majoritariamente movido a diesel, combustível fóssil com alta concentração de poluentes. Nessa perspectiva, a presente pesquisa traz uma análise, na região portuária de Vicente de Carvalho, no Guarujá/SP, de emissão do MP₁₀ oriundos dos veículos de grande porte de carga e ao mesmo tempo uma análise da infraestrutura verde existente na região. Dessa forma, dentro do limite urbano da área, foram feitas coletas de dados em campo de MP₁₀, temperatura, umidade e velocidade do vento em 43 pontos, além de contagem veicular para realizar o cálculo com o Fator de Emissão fornecido pela CETESB. Ao realizar o cálculo é possível identificar o Índice de Qualidade do Ar (IQAr). Por último foi realizado no *software i-Tree* a análise de 500 pontos para identificar a estrutura verde do local. Os resultados indicaram uma forte concentração de veículos pesados na região, onde em apenas uma hora e meia passaram mais de 900 veículos em uma via. Na interpretação dos dados coletados em campo, a interpolação IDW realizada no *software QGIS* indicou pontos de MP₁₀ onde a concentração ultrapassava 60 µg/m³. A simulação realizada no *i-Tree* mostrou que a região estudada conta apenas com 12% de vegetação. As diversas metodologias utilizadas deram para a pesquisas achados que evidenciaram a falta de infraestrutura verde e a necessidade de medidas para reverter a situação atual.

Palavras-Chave: Poluição atmosférica, transporte de carga, área portuária, infraestrutura verde

ABSTRACT

With the increase in the urban population, new challenges arise for cities. Among the biggest concerns, the environmental one is more aggravating because the burning of fossil fuels worryingly affects the health of populations living in large urban agglomerations. Port areas have several types of transport in the surroundings, mainly cargo and are usually regions where poorer populations settle in search of jobs. Road freight transport is mostly powered by diesel, a fossil fuel with a high concentration of pollutants. In this perspective, the present research brings an analysis, in the port region of Vicente de Carvalho, in Guarujá/SP, of the emission of PM₁₀ from large cargo vehicles and at the same time an analysis of the existing green infrastructure in the region. Thus, within the urban boundary of the area, field data collection of PM₁₀, temperature, humidity and wind speed were carried out at 43 points, in addition to vehicle counting to perform the calculation with the Emission Factor provided by CETESB. When performing the calculation, it is possible to identify the Air Quality Index (AQI). Finally, the analysis of 500 points was carried out in the i-Tree software to identify the green structure of the site. The results indicated a strong concentration of heavy vehicles in the region, where in just an hour and a half more than 900 vehicles passed on a road. In the interpretation of data collected in the field, the IDW interpolation performed in the QGIS software indicated points of PM₁₀ where the concentration exceeded 60 µg/m³. The simulation performed on the i-Tree showed that the studied region has only 12% of vegetation. The various methodologies used gave the research findings that showed the lack of green infrastructure and the need for measures to reverse the current situation.

Keywords: Atmospheric pollution, cargo transport, port area, green infrastructure

Lista de Figuras

Figura 1: Contagem de veículos na Rua do Adubo (18/01/2021).....	28
Figura 2: Calendário das safras.....	29
Figura 3: Medidor de poluentes Temtop LKC 1000+.....	33
Figura 4: Índice de qualidade do AR (CONAMA, 2018).....	33
Figura 5: Pontos de coleta.....	34
Figura 6: Fluxograma das etapas do cálculo do IQAr	36
Figura 7: Distribuição espacial das temperaturas, umidade, MP ₁₀ e Rosa dos Ventos, elaborada a partir dos dados coletados em Vicente de Carvalho no mês de janeiro (2021), Guarujá-SP.	40
Figura 8: Distribuição espacial das temperaturas, umidade, MP ₁₀ e Rosa dos Ventos, elaborada a partir dos dados coletados em Vicente de Carvalho no mês de fevereiro (2021), Guarujá-SP.	42
Figura 9: Distribuição espacial das temperaturas, umidade, MP ₁₀ e Rosa dos Ventos, elaborada a partir dos dados coletados em Vicente de Carvalho no mês de outubro (2021), Guarujá-SP.	43
Figura 10: Mapa com distribuição dos 500 pontos, obtidos por meio de imagens de satélite, para Vicente de Carvalho, a partir do software i-Tree Canopy.....	45

Lista de Abreviaturas

- ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
- ANTT – Agência Nacional de Transporte Terrestre
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CO – Monóxido de Carbono
- CO₂ – Dióxido de Carbono
- CODESP - Companhia Docas do Estado de São Paulo
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- FE – Fator de Emissão
- GEE – Gases do Efeito Estufa
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IDW – Inverse Distance Weighted
- IOT – Internet of Things
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
- IQAr – Índice de Qualidade do Ar
- MP₁₀ – Material Particulado com diâmetro entre 2,5 e 10 micrometros
- NO₂ – Dióxido de Nitrogênio
- NO_x – Óxido de Nitrogênio
- O₃ – Ozônio
- OMS – Organização Mundial da Saúde
- ONU – Organização das Nações Unidas
- PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
- PROMOT - Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares
- PRONAR - Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
- SEMAM – Secretaria do Meio Ambiente
- SBN- Soluções Baseadas na Natureza
- SIG – Sistema de Informação Geográfica

- SO₂ – Dióxido de Enxofre
- TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação
- TMPC - Terminal Marítimo Privativo de Cubatão
- TIPLAM - Terminal Integrador Portuário Luiz Antônio Mesquita
- TUP - Terminais de Uso Privado
- UTC- Copa das Árvores Urbanas

Sumário

INTRODUÇÃO	11
1. OBJETIVOS	15
1.1. Geral	15
1.2. Específicos	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Transporte de Carga	16
2.2 Efeitos Adversos da Poluição Veicular	18
2.3 Marcos Regulatórios	21
2.4 Cidades Inteligentes e Sustentáveis	24
3 METODOLOGIA	26
3.1 Área de Estudo	26
3.2 Trabalho de Campo	27
3.2.1 Fluxo Veicular e Fator de Emissão	30
3.2.2 Sistema de Informação Geográfica – SIG	31
3.2.3 Medição de MP ₁₀	32
3.2.4 Simulações com o <i>i-Tree Canopy</i>	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Fluxo Veicular e Fator de Emissão	36
4.2 Medições de MP₁₀, temperatura e umidade	38
4.3 Simulações com o <i>i-Tree Canopy</i>	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
Bibliografia	49

INTRODUÇÃO

As cidades desempenham um papel importante na formação de sistemas ambientais e socioeconômicos em nível global. As oportunidades da cidade atraem um número crescente de pessoas que buscam os benefícios da urbanização sobre os estilos de vida rurais tradicionais em muitos contextos culturais. A Organização das Nações Unidas (ONU) prevê que 7 bilhões de pessoas viverão em cidades até 2050 (IPCC, 2022). Como resultado, as cidades enfrentam inúmeros problemas à medida que seus recursos e infraestrutura são colocados sob níveis cada vez maiores de pressão (HEWITT *et al.*, 2019).

Dentre os desafios para minimizar as pressões antrópicas sobre os ecossistemas naturais, sobretudo nas áreas urbanas, está a preocupação com o meio ambiente, uma vez que, a queima de combustíveis fósseis e a alta emissão de gases do efeito estufa (GEE) estão acelerando o processo de mudanças climáticas e seus efeitos negativos (IPCC, 2022). Os danos ao planeta, podem ser irreversíveis (HILL *et al.*, 2019).

A emergência das discussões sobre os impactos negativos do modelo de urbanização de grande parte das cidades do mundo mobilizou ações em diversas escalas. Em nível global, destaca-se a assinatura do Acordo de Paris, em 2015, durante a 21ª Conferência das Partes (COP-21). O Acordo de Paris representou um compromisso entre diversos países para reduzir as emissões dos GEE, com objetivo principal de "limitar o aquecimento da Terra" (COSTA *et al.*, 2017).

Estudos científicos, há anos, vêm chamando a atenção sobre os impactos ao meio ambiente oriundos da frota veicular, visto que essa é movida por combustíveis fósseis, como os motores à diesel, empregados em diversos veículos pesados e que contribuem significativamente com a emissão de contaminantes químicos (BRAZ, 1993; GUIMARÃES, 2004; CARDOSO-GUSTAVSON *et al.*, 2016; THEOPHILO *et al.*, 2021).

O setor de transportes tem participação ativa no crescimento acelerado da poluição, principalmente em grandes centros urbanos em que o sistema de transporte é baseado em rodovias. Nestes casos, parte significativa do transporte de bens é realizado por caminhões e o deslocamento de pessoas é feito através de ônibus ou automóvel (SZWARCFITER, 2004).

Entre os segmentos econômicos consumidores de petróleo, o de transportes é o mais notável, seguido da indústria. O transporte de bens é fundamental para desenvolvimento econômico, social e a integração das regiões de um país. No Brasil, desde a década de 1970, os efeitos da utilização vertiginosa de combustíveis fósseis tornaram-se mais evidentes. A alta

emissão de poluentes atmosféricos, principalmente em grandes centros urbanos, resultaram em graves problemas ambientais de abastecimento e poluição local (LOUREIRO, 2005).

Na era do transporte motorizado e carbonizado, o nível de organização e controle das atividades de transporte público, privado e de cargas e a intensidade de utilização do transporte individual pela população são requisitos importantes para explicar os diferentes índices de poluição veicular observados, como por exemplo o de Material Particulado (CARVALHO, 2011).

As emissões de poluentes do óleo diesel são um grave problema ambiental mundial (BRAZ, 1993; GUIMARÃES, 2004; CARDOSO-GUSTAVSON et al., 2016; THEOPHILO et al., 2021). Segundo Castro (2013), a poluição atmosférica é um exemplo de externalidade, em que os custos são pagos principalmente pelos não usuários de transporte (CASTRO, 2013).

Com o intuito de minimizar o impacto negativo da frota veicular, desde os anos 1980, o Brasil vem produzindo leis, resoluções e programas ligados à saúde, à qualidade do ar e ao meio ambiente. Configuram-se entre os mais importantes, o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR), o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT) (IBGE, 2010).

Os problemas relacionados à contaminação do ar, devido à frota veicular, ocorrem em todas as áreas urbanas; porém, são mais intensos e preocupantes nas grandes cidades, em distritos industriais e regiões portuárias. Esse é o caso do município de Guarujá, na Baixada Santista, onde está instalada a margem esquerda do maior porto da América Latina, o Porto de Santos (GUEDES, 2018).

Dando ênfase às atividades do Porto de Santos, não existem dúvidas sobre seu protagonismo como alavanca do desenvolvimento da Baixada Santista, transformando a antiga região colonial em área de destaque nacional, “a porta de entrada e saída” do Brasil (SOUZA, 2006). Entretanto, essa expansão imediata, culminou em demanda por maior retroárea; ou seja, grande necessidade de liberação de espaços urbanos, que por ora não são adequados às instalações portuárias, exigindo intervenções por meio de projetos de engenharia, para se adaptarem às premissas da legislação portuária (BRASIL, 1993).

Em vista ao atual cenário da região, enfatiza-se que o planejamento urbano de Guarujá foi surpreendido com um gargalo de logística de escoamento da produção – estrutura viária. No município, além da margem esquerda do porto, estão localizados importantes e significativos terminais de contêineres.

Portanto, a cidade vem enfrentando o paradoxo da importância econômica do Porto de Santos, com os impactos negativos em virtude da intensa movimentação de cargas, nas ruas e avenidas próximas à área portuária (THEOPHILO *et al.*, 2021)

O cenário verificado no Guarujá traz à tona a necessidade de serem avaliadas ações alternativas que visem a adaptação da região aos impactos gerados pela urbanização. Nesse sentido, convém evidenciar o conceito de cidades resilientes, que busca identificar os principais componentes que causam vulnerabilidades. Para se alcançar a resiliência, os gestores precisam compreender os processos, procedimentos e interações que predominam nos ambientes urbanos. A promoção de cidades resilientes exige um planejamento, no qual a dinâmica das atividades econômicas, processos culturais e seus elementos físicos sejam tratados de forma integrada (DESOUZA e FLANERY, 2013).

No Brasil, tratando-se especificamente de Guarujá, o que falta é justamente essa visão sistêmica, já que a cidade vivencia um momento de expansão, em desarmonia com o princípio de equidade social. A Agenda 21 do município destaca 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.

Dada a situação verificada, para enfrentamento dos problemas de Guarujá, quanto à poluição atmosférica, a presente pesquisa busca responder a seguinte questão: Qual é a contribuição da frota de veículos de carga - que acessa o Porto de Santos – no que se refere à emissão de contaminantes atmosféricos, no Distrito de Vicente de Carvalho, Guarujá?

Com o levantamento de indicadores quantitativos, espera-se que a pesquisa forneça subsídios à Secretaria do Meio Ambiente (SEMAM) do município no que corresponde à constatação de presença do poluente material particulado (MP), acima de valores de referência de qualidade, fundamentando-se na legislação pertinente. Como consequência, a SEMAM poderá estudar alternativas pertinentes ao equacionamento do problema, priorizando o mínimo transtorno ou prejuízo (econômico, social e ambiental) à cidade de Guarujá.

Essa dissertação está dividida em 5 Capítulos: No primeiro, apresenta-se uma breve Introdução com a problematização, a área de estudo e os objetivos que nortearam o desenvolvimento do Projeto. O segundo capítulo se desenvolve por meio do detalhamento de estudos prévios, com enfoque no conceito de cidades inteligentes e sustentáveis, considerando os desafios a serem superados, como os aqui tratados, a saber: as principais fontes de poluição atmosférica e seus efeitos ao meio ambiente e à saúde, bem como as legislações disponíveis para minimizar o impacto negativo da frota veicular, com ênfase, nos transportes de cargas. O

terceiro capítulo apresenta detalhes sobre as metodologias empregadas na medição MP_{10} e as ferramentas de modelagens estatísticas que possibilitaram a elaboração de mapas com a distribuição espacial de indicadores quantitativos, relacionados à qualidade do ar. O quarto capítulo apresenta o tratamento dos dados levantados em campo, bem como sua discussão, enriquecida por meio de argumentos apoiados na literatura científica, conforme indicadas em capítulos anteriores. O quinto – e último – capítulo apresenta os principais achados da pesquisa; ou seja, a importância do inventário quantitativo sobre os poluentes e seus desdobramentos em prol do planejamento urbano sustentável

1. OBJETIVOS

1.1. Geral

Avaliar a contribuição das emissões de MP_{10} oriunda do transporte de cargas na região portuária de Vicente de Carvalho, distrito industrial pertencente ao município de Guarujá - SP, com intuito de levantar informações sobre a qualidade do ar, as quais possam subsidiar o planejamento ambiental urbano de Guarujá.

1.2. Específicos

- Determinar os fluxos de veículos de carga na principal via de acesso ao Porto de Santos;
- Determinar o Índice de Qualidade do Ar com base no fluxo dos veículos de carga na principal via de acesso ao porto de santos;
- Determinar as concentrações de MP_{10} , temperatura e umidade relativa em áreas onde há predominância de veículos de carga;
- Indicar as áreas em Vicente de Carvalho onde há concentrações críticas de MP_{10} ;
- Determinar a porcentagem de áreas verdes em Vicente de Carvalho;
- Propor soluções que possam minimizar o impacto negativo dos veículos de carga na área de estudo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Transporte de Carga

Para Manhein (1979) o termo “transporte” se refere ao movimento de bens e pessoas de um ponto ao outro. O transporte é essencial para qualquer economia, pois oferece a oportunidade de evolução tecnológica e maior acesso à informação, com isso contribui com o desenvolvimento de forma acelerada (ANTT, 2018).

Em perspectiva histórica, o transporte de carga tem grande importância, pois é o único meio de acesso de produtos e bens entre territórios. O transporte de carga pode ser terceirizado ou de frota própria dependendo da necessidade, economia e localização das empresas (ILOS, 2019).

Há uma relação direta entre o transporte de cargas e os portos marítimos, a qual traz diversos benefícios para toda a cadeia logística, desde para o fornecedor, que precisa distribuir os seus produtos, até os consumidores, que precisam utilizar e consumir esses bens. Na indústria, o transporte tem um papel importante e é visto como um sistema variável onde os custos e características são dependentes da demanda e da produção (COLAVITE e KONISHI, 2015)

Em relação ao tipo, a preferência pelo modal rodoviário - no Brasil - é algo que ocorre desde os anos 1950, à época, por conta dos baixos preços dos combustíveis fósseis e devido à expansão da indústria automobilística mundial (SCHROEDER e CASTRO, 1996). A partir dos anos 1970, o setor de transporte cresceu de forma intensa principalmente influenciado pela descentralização geográfica do país, pois os centros econômicos começaram a se estabelecer nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste (FLEURY *et al.*, 2009).

Na Tabela 1, indica-se a evolução do transporte de carga no Brasil, desde a década de 1970, em comparação a outros modais.

Tabela 1: Percentual do tipo de transporte brasileiro.

Modo	1970*	1985*	1999*	2011	2018
Rodoviário	70%	53,60%	61,80%	61,10%	60,0%
Ferroviário	16,20%	23,60%	19,50%	20,70%	23,3%
Hidroviário	12,10%	18,30%	13,80%	13,60%	13,2%
Outros	1,70%	4,50%	4,90%	4,20%	3,5%

Fonte: GEIPOT, 2010/ ILOS, 2019 (Adaptado pelo autor)

Conforme apontado por Ilos (2019), a preferência do modal rodoviário é evidenciada, mesmo com a diminuição do percentual, quando comparado os anos 1970 e 2018 (Tabela 1).

Na tabela é possível verificar que mesmo com um leve aumento do transporte ferroviário, o modal rodoviário mantém uma estabilidade nas últimas décadas.

Independentemente do modal, o transporte de carga tem uma forte ligação com a economia da cidade. O transporte eficiente é um elemento significativo na evolução da área urbana e portuária, tanto em termos sociais e econômicos (DIAS, 2021).

No caso do Brasil, em zonas portuárias, verifica-se o predomínio de caminhões no transporte, com poucas unidades de trens fazendo o transbordo. Isso ocorre devido à malha ferroviária ser pequena, em comparação à rodoviária; o que resulta na necessidade de serem realizadas longas viagens com caminhões, atravessando o país para entregar produtos e bens (COLAVITE e KONISHI, 2015). Nestas regiões, além de problemas com o tráfego, as emissões dos veículos pesados também prejudicam a qualidade do ar, com níveis de poluentes que equivalem ou superam aqueles verificados em megalópoles como São Paulo e Rio de Janeiro (VIANNA *et al.*, 2011; THEOPHILO *et al.*, 2021).

Em países desenvolvidos, a situação é diferente; por exemplo, na Alemanha e Estados Unidos, é possível notar significativa participação do modal ferroviário para transportar cargas a grandes distâncias, enquanto o modal rodoviário é utilizado para o chamado transporte porta-a-porta (COLAVITE e KONISHI, 2015).

As políticas públicas de infraestrutura de transporte não privilegiaram o transporte ferroviário brasileiro. Conforme o relatório da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) de 2018, as rodovias possuem 1,6 milhões de quilômetros de extensão no território e as ferrovias apenas 29 mil km, destes, 8% são destinados, exclusivamente, para o minério de ferro. Ainda em 2018, o total de carga transportada por caminhões representou 77% (ANTT, 2018). Para fins de comparação, é oportuno exemplificar com países da América do Sul. No caso, o sistema ferroviário da Argentina, um país com o território três vezes menor que o do Brasil, conta com uma malha ferroviária de 34 mil km de extensão, contra os já indicados 29 mil km no Brasil (INFRAESTRUTURA, 2019).

De forma pontual, investimentos recentes somam mais 1.527 quilômetros de trilhos brasileiros, a partir de contrato de expansão na ferrovia assinado por Bolsonaro, Presidente da República no período (INFRAESTRUTURA, 2021). Dessa forma, com um incentivo maior para as ferrovias, o modal ferroviário tende a contribuir no deslocamento a longas distâncias e, talvez, diminuindo o movimento de caminhões nas zonas portuárias, minimizando as emissões de poluentes atmosféricos. Entretanto, há de se levar em conta que, apesar da menor intensidade, também há contribuição de contaminantes aéreos, de origem no transporte ferroviário (CARVALHO, 2011).

Analisando os números comparativos, a diferença do modal ferroviário e rodoviário de carga é muito evidente. A questão ambiental é um dos principais diferenciais das ferrovias frente a outros modais. As emissões de CO₂ e CO dos trens de carga são muito inferiores às dos caminhões. As emissões de poluentes do transporte de carga somaram 102 milhões de toneladas de CO₂ em 2020. O modal rodoviário respondeu pela emissão de 95 milhões de toneladas de CO₂, equivalente a 93,13% do total. As emissões de CO₂ pelo transporte ferroviário foram de 3 milhões de toneladas, somente 2,94% do total. Outro fator importante é que os vagões de carga contam com uma capacidade muito maior de transporte, diminuindo consideravelmente o número de caminhões que transitam nas vias urbanas. Um vagão, por exemplo, transporta 100 toneladas contra as 28 toneladas de capacidade de um caminhão. Ou seja, cada vagão movimenta o volume de quase quatro caminhões. Na prática, um trem composto de 100 vagões substitui 357 caminhões (IEMA, 2020).

2.2 Efeitos Adversos da Poluição Veicular

Conforme a Resolução nº 003/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL,1990), é classificado como poluente atmosférico, qualquer forma de matéria ou energia que está em desacordo com os níveis definidos pela própria norma. Isto é, qualquer concentração de poluente que torna a qualidade do ar imprópria à saúde, inconveniente à população ou danoso à fauna e flora. Na definição da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), poluente atmosférico é qualquer substância que é nociva à saúde humana, fauna e flora, danosa aos materiais e bem-estar público ou prejudicial à segurança, é considerada poluente (CETESB, 2008). Diversos problemas de saúde são ocasionados nos seres humanos por conta de substâncias poluentes presentes no ar, como por exemplo asma e pneumonia. Assim, tanto para o CONAMA como para a CETESB, o nível da poluição do ar é medido pela qualificação, com base em valores de referência dessas substâncias.

De forma geral, os MP, o dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e óxidos de nitrogênio (NO_x) são os poluentes atmosféricos mais comuns, pois estão relacionados a efeitos adversos sobre o meio ambiente (FIDAEV *et al.*, 2021).

Dentre os NO_x, encontra-se o monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂), que são formados pelo processo de combustão incompleta, geralmente pelos veículos automotores. Sob ação da luz solar, o gás NO se transforma em NO₂, causando prejuízos à saúde humana. (CARVALHO, 2011). O NO₂ é facilmente assimilado pelo organismo humano; possui baixa solubilidade e gera nitrosaminas, substâncias cancerígenas (DOMINGUES e GUIMARÃES, 2017).

Em relação ao MP, o poluente não possui uma espécie química definida, mas se trata de um conjunto de partículas sólidas ou líquidas, emitidas com diferentes diâmetros, que também prejudicam a visibilidade atmosférica. A presença de MP pode ser verificada em uma série de poluentes que compõem as poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera, em virtude de seu pequeno tamanho (SZWARCFITER, 2004). As principais fontes de emissão de MP para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros (NUNES, JÚNIOR e RAMOS, 2003).

Os MP podem ser definidos de maneira simplificada como partículas, cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10 μm (MP₁₀). Sua distribuição compreende uma faixa de tamanho de 0 a 10 μm , razão pela qual os MP podem ficar retidos na parte superior do sistema respiratório ou penetrar profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares. (MARQUES e BRASILEIRO, 2015). As menores partículas (diâmetro 2,5 μm – MP_{2,5}, ou menor) causam problemas de saúde mais sérios, como inflamações pulmonares e cardíacas (SALDIVA, 2018).

Dado que a frota veicular é a principal fonte de poluentes atmosféricos em áreas urbanas, uma variedade de efeitos à saúde de curto e longo prazo tem sido atribuída à exposição a contaminantes químicos relacionados ao tráfego, incluindo asma, diminuição do crescimento pulmonar em crianças e doenças cardiovasculares em adultos, bem como desempenho acadêmico (SHAHID, *et al.*, 2021). A falta de boa qualidade do ar aumenta os distúrbios respiratórios, como asma e bronquite, e aumenta o risco de doenças fatais, como o câncer (KEBEDE, *et.al*, 2022).

Como destacado anteriormente, grandes centros urbanos contam com a presença de grande frota veicular automotora movida a combustíveis fósseis. Tanto a gasolina quanto o óleo diesel são derivados do petróleo e sua queima lança na atmosfera gases que prejudicam a saúde humana e o meio ambiente, no entanto, os hidrocarbonetos que compõem a gasolina são mais leves do que aqueles que compõem o óleo diesel, pois são formados por moléculas de menor cadeia carbônica (normalmente cadeias de 4 a 12 átomos de carbono), com isso a gasolina se torna menos poluente do que o diesel (SOUZA, 2006). Os poluentes emitidos pelo tubo de escapamento dos veículos são constituídos pelos produtos gerados durante reação de combustão incompleta que ocorre no motor. Na queima do diesel, os gases de exaustão são constituídos basicamente por CO (MARQUES e BRASILEIRO, 2015).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) também ressalta que o setor de transporte é responsável por uma parcela significativa da poluição do ar. A OMS chama ainda atenção de que mais de 7 milhões de pessoas morrem, a cada ano, como resultado da má qualidade do ar.

Dado importante, ao se considerar que mais de 80% da população urbana vive em áreas onde a qualidade do ar excede os limites de referência das resoluções locais (SHAHID, *et al.*, 2021).

Além de efeitos adversos à saúde, fauna e flora, a poluição atmosférica também atinge outros compartimentos ambientais, como a água e o solo (FIDAEV, *et al.* 2021) e, considerando-se o protagonismo da frota veicular a este tipo de poluição, a ONU tem criado diversas políticas para integrar os diversos modais de transporte (BROWNE e RYAN, 2011).

Para Browne e Ryan (2011) a intervenção política é necessária para minimizar as externalidades negativas, mantendo a competitividade e a conectividade do transporte no setor econômico.

Nesse sentido, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) publicou um estudo, realizado em 1997, para quantificar as "deseconomias" geradas pelos congestionamentos, com foco no consumo de combustível, emissão de poluentes e ocupação do espaço urbano.

O estudo, utilizando dados de 10 cidades brasileiras (Belo Horizonte, Brasília, Campinas, Curitiba, João Pessoa, Juiz de Fora, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo), indicou que os custos com as "deseconomias" chegavam a 500 milhões de reais por ano (IPEA, 1997).

Para Quispel (2002), mesmo sendo necessário, o transporte de cargas rodoviário causa muitos transtornos, entre eles, congestionamentos, poluição atmosférica e sonora, vibração, acidentes, entre outros. Ao desmembrar essas externalidades, mostrou que o congestionamento provoca desperdício de combustível, emissão de poluentes prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, desperdício de tempo e redução da qualidade do serviço prestado.

Atualmente, mais de 55% da população mundial encontra-se em áreas urbanas, a maioria das quais convive com a qualidade do ar externo ruim e degradante, que não atende às diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) para uma vida saudável. A Organização das Nações Unidas (ONU) prevê que 7 bilhões de pessoas viverão em cidades até 2050 (ISMAGILOVA, *et al.*, 2019; IPCC, 2022). A poluição do ar, causada principalmente pelo MP₁₀, é hoje a principal causa ambiental de mortalidade no mundo, contribuindo para cerca de 3 milhões de mortes por ano, o dobro do número devido a acidentes de trânsito (HEWIT *et al.*, 2019).

Segundo Hill *et al.* (2019), altas concentrações de poluentes no ar implicam em diminuição da expectativa de vida. Por outro lado, dados da OMS e da Agência Europeia do Ambiente indicaram que a "boa" qualidade do ar mantém correlação positiva com a qualidade de vida (DARÇIN, 2017).

Além dos efeitos adversos à saúde, problemas críticos ao meio ambiente, como chuva ácida, efeito estufa e efeito *smog* (acúmulo da poluição do ar nas cidades que forma uma grande neblina de fumaça no ambiente atmosférico próximo à superfície) estão associados à poluição atmosférica (SANTOS, 2020). As condições meteorológicas também influenciam a qualidade do ar: a alta porcentagem de calmaria, ou ventos fracos e com velocidade abaixo de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ são parâmetros que dificultam a dispersão do poluente (CETESB, 2008). Já o aumento das temperaturas contribui para a elevação das concentrações de O_3 e MP, em nível do solo, devido a queimadas, secas, desertificação, tempestades de areia e um aumento do uso de carvão para geração de energia (COSTA et al., 2017).

Diante dos estudos voltados aos prejuízos à saúde, verifica-se a necessidade de que as cidades busquem estratégias que possibilitem atenuar os impactos da frota veicular na qualidade do ar. Nesse sentido, os planos diretores, as leis de zoneamento territorial e urbano e os marcos regulatórios voltados exclusivamente ao controle das emissões veiculares podem ser considerados como instrumentos legais de potencial repercussão para tornar as cidades inteligentes e sustentáveis (SANTOS, 2020).

2.3 Marcos Regulatórios

Segundo a ANTT (2018), o transporte rodoviário interestadual e internacional é responsável por quase 95% do total de deslocamentos realizados no país, o que – em números – representa cerca de 140 milhões de usuários por ano.

A preocupação com o impacto à qualidade do ar culminou em diversas ferramentas legislativas, com intuito de conter e controlar a contribuição dos veículos em relação à emissão de poluentes atmosféricos. Nessa perspectiva, o CONAMA criou a Resolução nº 18/1986 e estabeleceu o PROCONVE que, sob a responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), definiu os primeiros limites e critérios de emissões dos veículos para atender aos padrões de qualidade do ar instituídos pelo PRONAR.

Em 1993, a Lei Federal nº 8.723, que dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores, induziu os fabricantes a desenvolverem tecnologias, uma vez que nela estava prevista a obrigatoriedade de redução dos níveis de emissão dos poluentes pela frota veicular. Portanto, além do controle das emissões, o PROCONVE também vem atuando nas áreas técnicas, exigindo da indústria automobilística informações sobre ensaios com combustíveis de referência, certificação de protótipos, acompanhamento de veículos em fase de produção e disponibilidade de dados estatísticos.

O PROCONVE tem como objetivo, além da redução dos poluentes oriundos dos veículos automotores, promover o desenvolvimento tecnológico nacional, melhorar as características dos combustíveis, promover a conscientização popular quanto à poluição e estabelecer condições de avaliação dos resultados. Para a fiscalização, o PRONCOVE definiu categorias para os veículos. Assim, veículos leves são classificados até 3.856 kg de peso bruto total (PBT) e veículos pesados acima de 3.856kg de PBT.

Da mesma forma, os limites de emissões foram classificados para atender melhor cada classe de veículos. As fases da estratégia de implantação foram divididas para os veículos leves, em “Fases L”, e para os veículos pesados, em “Fases P”. O quadro 1 mostra as datas de implementação de cada fase “P” com as resoluções do CONAMA, a fase equivalente do programa europeu denominado EURO, onde a metodologia aplicada do PROCONVE se baseia.

Quadro 1: Cronograma de implementação das fases do PROCONVE para veículos pesados

Fase	Resolução	Fase equivalente na Europa	Data de implementação
P1	CONAMA 18/1986	-	1987 (ônibus Urbano) / 1989 (100%)
P2	-	Euro 0	1994 (80%) / 1996 (100%)
P3	CONAMA 08/1993	Euro I	1994 (ônibus urbanos) / 1996 (80%) / 2000 (100%)
P4	-	Euro II	1998 (ônibus urbanos) / 2000 (80%) / 2002 (100%)
P5	CONAMA 315/2002	Euro III	2004 (ônibus urbanos) / 2005 (micro-ônibus) / 2005 (40%) / 2006 (100%)
P6	CONAMA 315/2002	Euro IV	Nunca implementada. A P5 permaneceu até 2011.
P7	CONAMA 403/2008	Euro V	2012
P8	CONAMA 490/2018	Euro VI	2022 (homologações) / 2023 (todas as vendas e registros)

Fonte: Rakauskas, F., *et al.*, 2020 / Adaptado de International Council on Clean Transportation (Fev/2019)

Com base nos dados anuais dos relatórios do PROCONVE, é possível identificar que a Fase P4 teve apenas dois anos de vigência (2006 e 2007). A Fase P5 iniciou em 2008 e se estendeu até o ano de 2011. Apesar de definida em 2002, a Fase P6 não foi colocada em vigor, devido ao atraso nas especificações do óleo diesel adequado.

Tais diretrizes somente foram publicadas em 2007, por meio da Resolução nº 35/07 da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). Em consequência, não houve tempo hábil para realizar as etapas de desenvolvimento, homologação e produção dos veículos.

Como resultado, o CONAMA decidiu pular a Fase P6 e, para compensar a falta de restrições que eram esperadas com a Fase P6, o CONAMA promulgou duas resoluções (Resolução nº 403/2008), com intuito de enrijecer as próximas fases do PROCONVE. Além dessas resoluções, a 19ª Vara Cível da Justiça Federal homologou, em 06 de novembro de 2008, um termo de ajustamento de conduta, com intuito de definir obrigações compensatórias pelo não atendimento à Fase P6.

A fase do PROCONVE P7 entrou em vigor em janeiro de 2012. É uma legislação similar à europeia Euro 5. Para serem atendidos, os novos limites de emissões da P7 exigem, além de modificações nos motores, novos sistemas de pós-tratamento dos gases de escapamento e diesel com reduzido teor de enxofre. A fase P7 traz redução de 60% de óxido de nitrogênio (NOx) e de 80% das emissões de material particulado (MP) em relação à fase anterior (P5, equivalente a Euro 3, válida para veículos produzidos até dezembro de 2011). Se comparada com o início do PROCONVE, em 1986, a redução de material particulado da nova fase é de 96,3% e a de NOx, de 87,3%.

A fase P8 fala especificamente de veículos de passageiros ou de carga de uso rodoviário equipados com motores de ignição por compressão ou centelha e peso mínimo de 3,856 toneladas, e foi criada pela resolução nº490 do Conama, em novembro de 2018. Desde que entrou em vigor, no primeiro dia do ano, as novas especificações devem ser obedecidas por todos os novos modelos de veículos, sejam eles fabricados ou importados. Em um segundo momento, a partir de 2023, todas as vendas de novos veículos deverão estar de acordo com as determinações da P8, mas essas adequações podem ser antecipadas de forma voluntária pelo proprietário do veículo (ANFAVEA, 2011).

A elaboração de marcos regulatórios, inclusive associados com normativas internacionais, é uma das respostas do poder público no combate aos poluentes atmosféricos da frota veicular de transporte de cargas. Os desafios de implementação das legislações e restrições são muitos, de modo que a fiscalização é parte fundamental do processo (ANFAVEA, 2011).

2.4 Cidades Inteligentes e Sustentáveis

As cidades inteligentes, ou *Smart Cities*, são os locais que a partir do uso da tecnologia, conseguem dar aos moradores um maior bem-estar, organização e sustentabilidade. Com o uso de elementos tecnológicos como o sistema de *Internet das Coisas* (IoT), que possibilita a conexão entre objetos, é possível criar políticas para melhorar o dia a dia das cidades. Entre essas melhorias, estão um trânsito menos congestionado, coletas de lixo mais limpas e controle da poluição do ar (AQUINO, RAMOS, *et al.*, 2014).

A iniciativa afeta também as pessoas. Afinal, não se trata apenas de instalações de máquinas e equipamentos avançados. O conceito visa oferecer educação de qualidade para as pessoas, ensinando-as a como viver na nova realidade e como tornar o dia a dia mais produtivo (ISMAGILOVAA, HUGHES, *et al.*, 2019).

Uma tendência procedente para gerenciar e minimizar o impacto desses desafios é a utilização de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) dentro de uma infraestrutura integrada acessível. Essa é uma das diversas definições de cidades inteligentes. (ISMAGILOVA, *et al.*, 2019)

Além disso, um dos pilares da ideia do conceito é diminuir o uso de combustíveis fósseis, principais agentes do aquecimento global. Assim, será a vez das energias renováveis, que ao mesmo tempo que ajudam nas produções humanas, não ferem o meio ambiente (SJC, 2020). Ou seja, uma Cidade Inteligente é uma Cidade Sustentável.

O conceito amplo de sustentabilidade tem chamado a atenção das pessoas, entre políticos, acadêmicos de todo o mundo. No entanto, o termo evoluiu ao longo do tempo, e muito do que o termo se refere hoje é bem diferente do que transmitia há uns anos, e é provável que evolua no futuro.

À medida que o conceito amplo de sustentabilidade evolui, proliferam seus derivados, como comunidades sustentáveis, comunidades habitáveis e cidades sustentáveis. Sem fornecer uma definição totalmente desenvolvida de uma cidade sustentável neste momento, basta dizer que uma cidade sustentável é uma cidade que trabalha de forma árdua para promover alguma versão operacional da sustentabilidade. Uma cidade sustentável é uma cidade com uma população controlada na qual existe emprego suficiente e significativo (PEKDEMIR, 2021).

Surgem, portanto, diversos desafios presentes nos planos de desenvolvimento das cidades sustentáveis: a geração de energia limpa, a destinação adequada dos resíduos sólidos, a mobilidade urbana, incluindo a oferta de transporte público eficiente e acessível, a oferta de áreas verdes, os cuidados com a saúde e o bem-estar da população, entre outros aspectos. Uma

cidade sustentável é capaz, essencialmente, de proporcionar qualidade de vida para seus cidadãos e para as futuras gerações, por meio de soluções que combinam aspectos ambientais e sociais (BICHUETI, GOMES, *et al.*, 2017).

Como o transporte afeta o meio ambiente, cidades sustentáveis com um sistema de transporte adequado com infraestrutura adequada, escolas, parques, sistema de drenagem, instituições de saúde locais devem ser planejadas. O planejamento de transporte deve considerar uma ampla variedade de opções, como estradas adequadas, estacionamentos, sistema de transporte alternativo, instalações de transporte público. O objetivo deve ser reduzir a quilometragem total dos veículos que circulam em áreas congestionadas, reduzindo assim a poluição e a emissão de gases de efeito estufa (PEKDEMIR, 2021).

O mais recente conceito a ingressar no campo da sustentabilidade é o de Soluções baseadas na Natureza (SbN), ou em inglês *nature-based solutions*. Essa expressão surge como um conceito plural e detentor em si de todas as demais estratégias consolidadas no âmbito de serviços ambientais. Ou seja, a ideia em torno das SbN funciona como um conceito guarda-chuva que busca englobar todas as soluções que, de alguma forma, se inspiraram, copiaram ou tomaram como base processos naturais para gerar algum benefício para a população (FRAGA e SAYAGO, 2020).

No ano de 2020, a Estratégia 2030 de Biodiversidade da União Europeia é lançada, fazendo onze menções ao termo SbN, colocando-as como essenciais para a redução de emissões de gases, adaptação climática e destacando que devem ser integradas ao planejamento urbano (MARQUES, RIZZI, *et al.*, 2021).

Nesse cenário, uma cidade inteligente e sustentável pode ser vista como a que utiliza a tecnologia para melhorar sua infraestrutura e seus serviços, ou seja, para tornar os setores da administração, educação, saúde, segurança pública, moradia e transporte, interconectados e eficientes, em equilíbrio com os ecossistemas naturais (AQUINO, *et al.*, 2014).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A Região Metropolitana da Baixada Santista, que compreende os municípios de Bertioga, Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande, Santos e São Vicente, possui uma população estimada em 1,7 milhões de pessoas. Porém, nas épocas de férias, carnaval e Réveillon esse valor sobe, em média 50%, em algumas cidades, logicamente, há um aumento no fluxo veicular.

Especificamente nos municípios de Santos e Guarujá, a situação é mais preocupante, pois a presença do maior complexo portuário da América Latina, o Porto de Santos, já contribui para um número expressivo de frota de transportes de carga, advinda de todas as regiões do país. O Porto de Santos responde por quase um terço de toda movimentação comercial brasileira de acordo com o site “Santos: Port Authority” (<http://www.portodesantos.com.br/>). Estrategicamente localizado a menos de 200 km da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o porto é um grande polo gerador de empregos, negociações, movimentações, economia e de trânsito. Segundo o Ministério da Infraestrutura, o porto é composto pelo Porto Organizado de Santos, administrado pela Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP) e por mais seis Terminais de Uso Privado (TUP), são eles: (i) TUP DP *World* Santos; (ii) TUP Sucocítrico Cutrale; (iii) TUP *Dow* Brasil Sudeste (Terminal Marítimo Dow); (iv) Terminal Integrador Portuário Luiz Antônio Mesquita (Tiplam); (v) Terminal Marítimo Privativo de Cubatão (TMPC) da Usiminas e (vi) Saipem (Base Logística de Dutos).

As instalações portuárias estão distribuídas entre os municípios de Santos e Guarujá, às margens do estuário de Santos. Segundo a Prefeitura de Guarujá, a margem esquerda do Porto (Guarujá) possui dez terminais portuários e oito retroportuário, os quais implicam em quase cinco mil vagas de empregos. Conforme já mencionado, Guarujá conta com grande influência do Porto de Santos na sua economia, tornando-o cada vez mais importante para a região, que conta com uma população de 290.752 pessoas (IBGE, 2010).

Porém, a intensa atividade portuária, também resulta em transtornos de mobilidade urbana e em significativa emissão de gases oriundas da movimentação dos caminhões. No caso de Guarujá, tais transtornos são verificados no Distrito Industrial de Vicente de Carvalho, onde está localizada a margem esquerda do Porto de Santos. Ruas residenciais do distrito são as principais rotas dos caminhões até o Porto (IBGE, 2010). Vicente de Carvalho conta com uma população aproximada de 150 mil habitantes e está localizada em uma das áreas mais áridas de Guarujá, apresentando temperaturas elevadas, acima de 30 °C, na maior parte do ano,

principalmente nas estações de verão e outono. A necessidade de áreas verdes no local é prioritária, tanto para amenizar o calor do local, como para absorver os poluentes.

As áreas portuárias, assim como qualquer complexo industrial, são susceptíveis a diferentes impactos ao meio ambiente. No entanto, dada a sua importância ao desenvolvimento econômico do país, as intervenções de órgãos ambientais nas atividades portuárias para minimizar esses impactos, enfrentam diversas barreiras, sejam por questões burocráticas e/ou operacionais (GUEDES, 2018). No caso de Guarujá, se soma o fato de esta ser uma das mais importantes cidades do litoral paulista e; portanto, tendo no Porto a principal contribuição econômica para melhorias de seus aspectos turísticos (THEOPHILO *et al.*, 2021).

Apesar de a literatura científica apresentar estudos sobre os diferentes impactos ambientais das atividades portuárias, ainda há espaço para pesquisas voltadas à influência do tráfego de veículos pesados à qualidade do ar. Além disso, como já enfatizado, atualmente, o transporte rodoviário no país ainda se caracteriza como de alta prioridade; portanto, em regiões portuárias, esse papel fica ainda mais evidenciado, pelo menos no caso do Porto de Santos, onde este é o principal modal utilizado (MARQUES e BRASILEIRO, 2015).

3.2 Trabalho de Campo

Em relação à coleta de dados, *in loco*; inicialmente, realizou-se a quantificação de veículos pesados no principal acesso do porto, a Rua Idalino Pines, popularmente conhecida como Rua do Adubo. A quantificação se deu por meio de filmagens, com uma câmera particular, em horários de pico do período da manhã (08:00) e no período da tarde (18:00), realizados nos dias 26 e 27 de agosto de 2020, 18 de janeiro, 24 de fevereiro e 27 de outubro de 2021. Na Figura 1, apresenta-se uma imagem relacionada ao trabalho de campo realizado em 18 de janeiro/2021, com o tráfego intenso na Rua do Adubo.

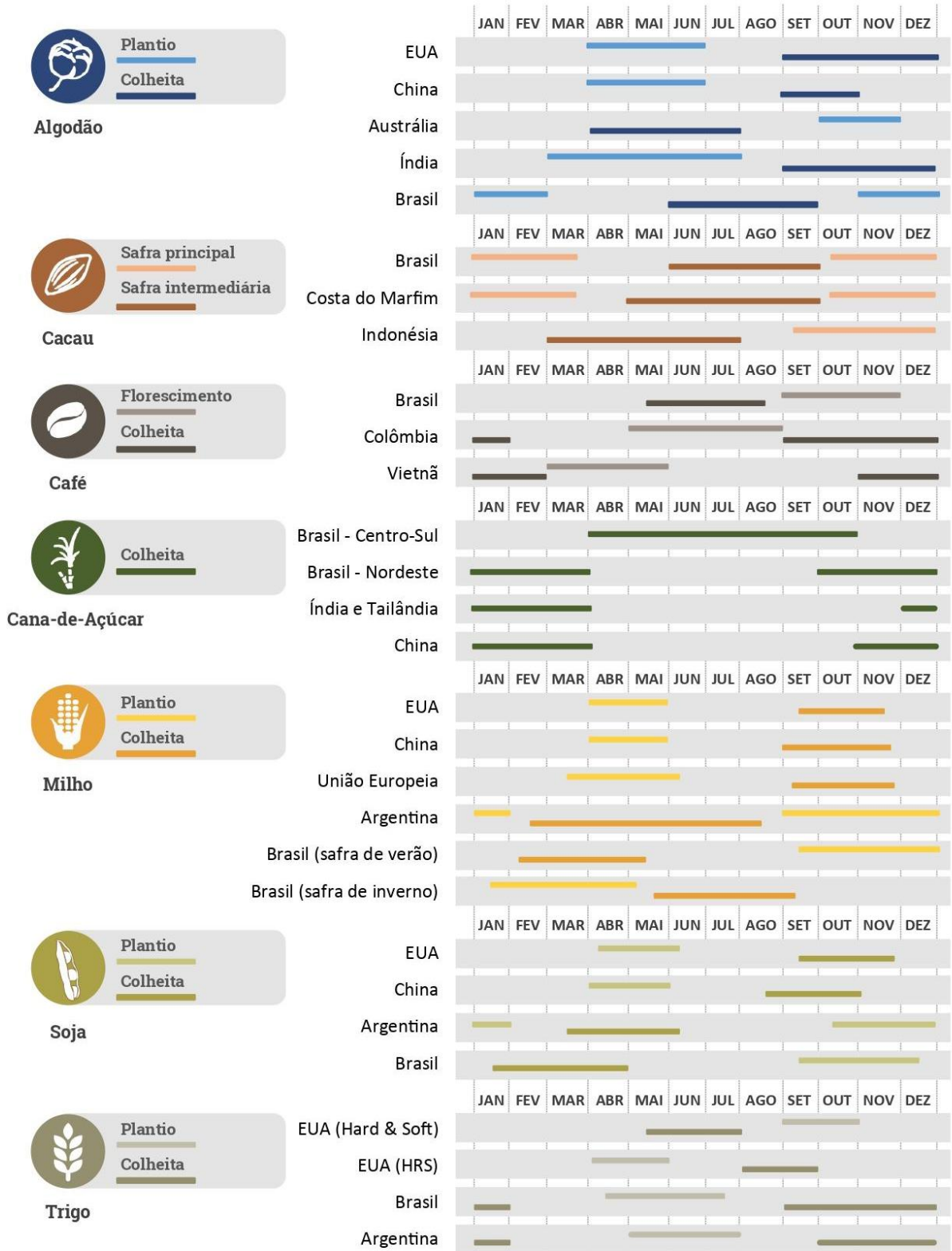
Figura 1: Contagem de veículos na Rua do Adubo (18/01/2021)



Fonte: Autor, 2021

As datas de coletas foram escolhidas conforme o calendário das safras (Figura 2), elaborado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2019). Pode-se observar as datas das safras de cacau, soja e trigo. Nos três casos, as safras – e época de colheita – abrangem os meses de janeiro e fevereiro. No caso do algodão, café, cana-de-açúcar, e milho, as safras abrangem os meses de agosto e outubro.

Figura 2: Calendário das safras



Fonte: CONAB, 2019.

3.2.1 Fluxo Veicular e Fator de Emissão

As emissões medidas em veículos a diesel dependem de várias características, tais como: tipo e qualidade de combustível, manutenção do veículo e até condições climáticas, como por exemplo a temperatura do ambiente. Uma forma de avaliar a intensidade dessa emissão tem sido feita por meio do chamado “Fator de Emissão (FE)”, definido como uma estimativa das emissões médias de um certo poluente para um veículo ou certa categoria de veículo, numa condição de operação específica (ALMEIDA, 2021).

Com os dados do fluxo e caracterização do tipo de veículo, pode-se realizar o cálculo de emissão dos veículos, a partir dos fatores de emissão que a CETESB disponibiliza em relatórios anuais (CETESB, 2019).

O FE é um valor de massa de poluente emitida pelos veículos ao circular por determinada distância. Esses valores são informados à CETESB pelos fabricantes, por meio dos Relatórios de Vendas ou de Valores de Emissão de Produção (RVEP). Caso haja ausência desses valores, a CETESB busca dados na literatura ou dados homologados (CETESB, 2019).

O cálculo (Equação 1) realizado possui diversas etapas, a saber:

- (i) Corresponde à filmagem de veículos, atendendo a duração indicada para filmagem, que corresponde a uma hora e meia de tráfego total.
- (ii) Corresponde à contagem dos veículos de carga, classificados como leves, considerando 2 eixos, até pesados (9 eixos).
- (iii) Os valores, obtidos em campo, são multiplicados pelo FE, o qual é específico para cada classificação do veículo.
- (iv) O novo valor obtido é multiplicado pela quantidade de horas, nas quais prevalecem aquele fluxo veicular, verificado em campo.

No caso da Rua Idalino Pines, a movimentação de caminhões é contínua, por isso, os valores de cada coleta foram multiplicados por 16 horas.

$$\sum V_e * FE * = FE V_e \longrightarrow FE V_e * V_t * T$$

Onde:

V_e - quantidade de veículos por eixo;

FE – Fator de emissão (CETESB)

V_t – Total de veículos

T – Tempo

3.2.2 Sistema de Informação Geográfica – SIG

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é o conjunto de ferramentas computacionais do Geoprocessamento, que permite a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados (CÂMARA *et al.*, 2001).

Para Burrough (2015) esses sistemas não apresentam apenas a função de manipular os dados, e sim de representar um modelo do mundo real. Por meio do SIG, é possível gerenciar banco de dados, fazer análises ambientais e produzir cartografias.

No conceito de Raper e Maguire, SIG “são sistemas computacionais capazes de capturar, armazenar, consultar, manipular, analisar, exibir e imprimir dados referencialmente sobre e sob a superfície da Terra”. Pensando nesses conceitos, verifica-se que o SIG se traduz em uma estrutura de comunicação com o utilizador, uma base de dados, uma unidade de gestão e ferramentas de análise (RAPER e MAGUIRE, 1992).

A gestão do território precisa se apoiar no maior número de informação possível; ou seja, toda a ação de planejamento e ordenação de espaço deve analisar diferentes componentes do ambiente, incluindo meio físico, ocupação humana e o inter-relacionamento. Deste modo, o uso de tecnologias SIG atende a quatro grandes dimensões: Mapeamento Temático, Diagnóstico Ambiental, Avaliação de Impacto Ambiental e o Ordenamento Territorial.

Frequentemente o SIG tem sido utilizado como ferramenta de gerenciamento ambiental, sendo aplicado em estudos de diversos problemas relativos à poluição atmosférica de centros urbanos (QUIRINO, 2020).

Com essas ferramentas e dados, é possível fazer as análises dos poluentes na região, principalmente com a ferramenta interpolação matemática, onde é feito um cálculo para analisar a concentração de poluentes em toda a região a partir dos pontos de coleta (CANCELLI e DIAS, 2014).

Miyaji *et al.* (2021), por meio da interpolação espacial, realizaram um estudo comparativo entre métodos para mapear alguns poluentes, como O₃ e o MP a partir de dados de sensores localizados ao longo do território norte americano. Foram testadas quatro diferentes técnicas: média espacial, o algoritmo de vizinho mais próximo, o inverso da potência das distâncias (IDW) e a krigagem. A comparação dos mapas gerados a partir de diferentes modelagens matemáticas indicaram que eles não apresentaram diferenças significativas entre si; ou seja, permitiram aos autores chegarem às mesmas conclusões (MIYAJI *et al.*, 2021).

A geoestatística, desenvolve e aplica modelos em representações de fenômenos naturais cujas propriedades variam conforme a posição espacial dos pontos observados.

A interpolação compreende um conjunto de técnicas de ajuste usadas para aproximar dados pelo princípio de que: fixado um ponto no espaço, os pontos ao redor são mais relevantes do que os mais afastados. Isto supõem a existência de dependência entre os dados, exigindo saber até onde espacialmente esta correlação interessa. A técnica consiste em calcular valores médios e uma medida de precisão dessa estimativa. Seus pesos são calculados com base na distância entre a amostra e o ponto estimado; na continuidade espacial e na disposição geométrica do conjunto. (MEDEIROS et al., 2018)

O método *Inverse Distance Weighted* (IDW) estima um valor para algum local não medido utilizando-se os valores conhecidos à sua volta, onde os que estão mais perto terão um maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta (RIBEIRO, MEDEIROS, et al., 2021).

Para compreender a variação espacial do processo de interpolação, deve-se levar em consideração a possibilidade de que o valor em cada ponto no espaço está conectado com valores obtidos em pontos situados a certa distância, sendo razoável supor que a influência é tanto maior quanto menor for a distância entre os pontos (MEDEIROS et al., 2018).

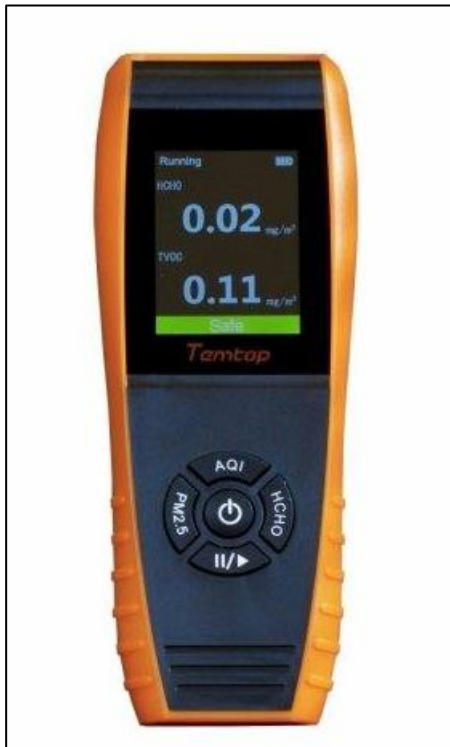
Nessa dissertação os mapas foram criados no software QGIS utilizando a interpolação IDW a partir dos dados coletados em campo. No IDW, a distância é o único fator efetivo para ponderar a concentração. Os mapas foram divididos por tipo (MP₁₀, temperatura e umidade) e por tempo, onde as 3 datas de coletas geraram 9 mapas no total.

As camadas bases foram fornecidas pela secretaria do Meio Ambiente do Guarujá (SEMAM), junto com algumas outras informações, como por exemplo, o uso do solo para demais análises.

3.2.3 Medição de MP₁₀

A coleta de dados foi realizada por meio de um dispositivo, que conta com um leitor a laser, modelo LKC 1000 (Figura 3), que quantifica diferentes tipos de poluentes, trazendo informações sobre teores de MP (MP₁₀), temperatura, umidade relativa e valores para o “Índice de Qualidade do Ar – IQAr” que, segundo a Resolução CONAMA 491/2018, trata-se de uma modelagem que consiste em resumir os dados de concentração dos poluentes para simplificar a leitura, permitindo categorizar o “*status*” da qualidade do ar, por meio de 06 classes, que se referem como “Boa” a “Crítica”, conforme apresentado na Figura 4, com destaque para os valores de referência de MP₁₀.

Figura 3: Medidor de poluentes Temtop LKC 1000+



Fonte: Elitech Brasil, 2022

Figura 4: Índice de qualidade do AR (CONAMA, 2018)

ÍNDICE DA QUALIDADE DO AR (IQAr)								
Qualidade	Índice	Níveis de Cautela sobre a Saúde	PI2,5 (µg/m³)	PI10 (µg/m³)	S02 (µg/m³)	NO2 (µg/m³)	CO (ppm)	O3 (µg/m³)
Boa	0-40	Seguro à Saúde	0-25	0-50	0-20	0-200	0-9,0	0-100
Regular	41-100	Tolerável	26-60	51-120	21-125	201-260	****	101-140
Inadequada	101-199	Insalubre para Grupos Sensíveis	61-124	121-249	126-799	261-1129	9,1-14,9	141-199
Má	200-299	Muito Insalubre (Nível de Atenção)	125-209	250-419	800-1599	1130-2259	15,0-29,9	200-399
Péssima	300-399	Perigoso (Nível de Alerta)	210-249	420-499	1600-2099	2260-2999	30,0-39,9	400-599
Crítica	400 ou maior	Muito Perigoso (Nível de Emergência)	≥ 250	≥ 500	≥ 2100	≥ 3000	≥ 40	≥ 600

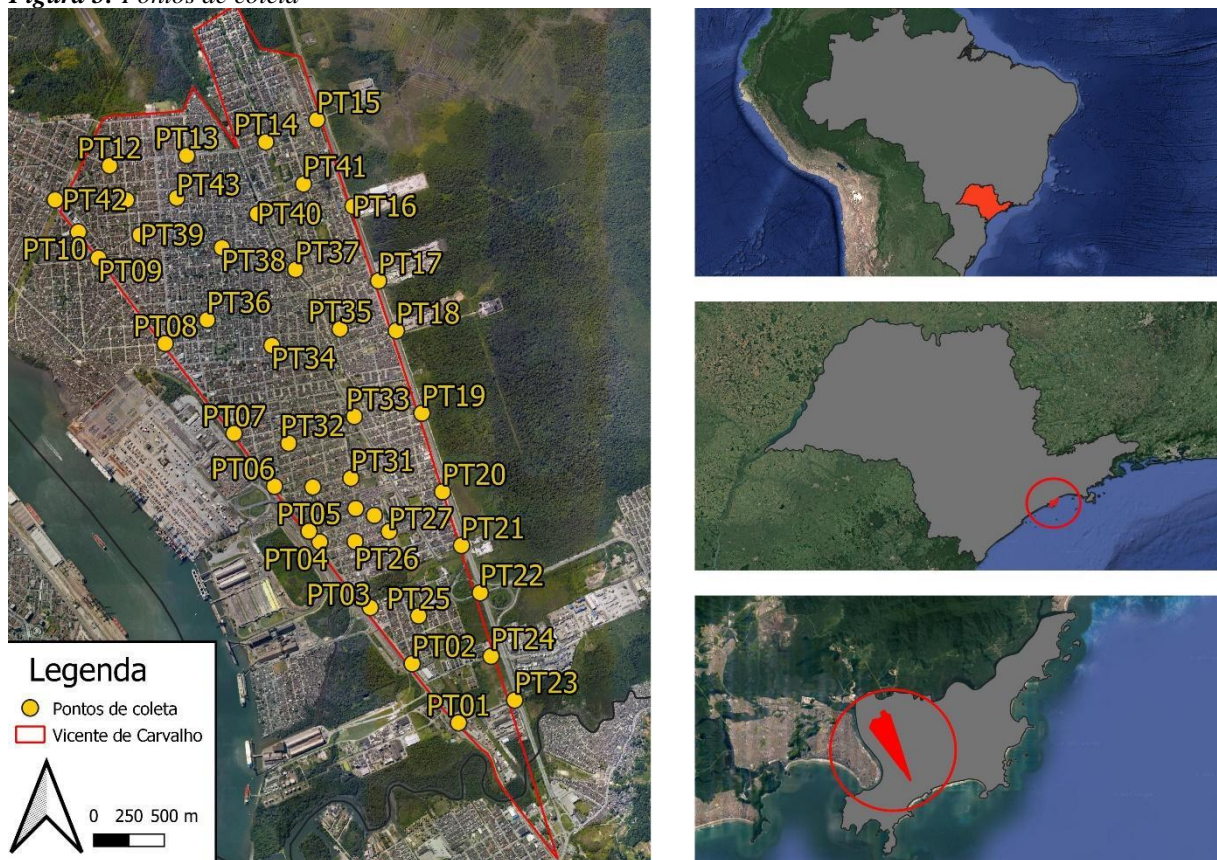
Fonte: CONAMA, 2018

As medições foram realizadas em 43 pontos de coleta, dentro do distrito de Vicente de Carvalho. Esses mesmos 43 pontos já foram utilizados por Theophilo *et al* (2021), em um estudo para determinar metais pesados, como cádmio (Cd), Chumbo (Pb) e Cobre (Cu). Os autores apresentaram as concentrações dos elementos, medidas nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2021. Os níveis de Cd, um traçador de diesel, apresentaram relação direta com os locais de Vicente de Carvalho que apresentam intenso fluxo de transporte de carga. Assim como

Theophilo *et al* (2021), no presente estudo, os dados de MP_{10} foram tratados no *software* QGIS, com intuito de serem identificados, espacialmente, os locais com as mais altas concentrações do poluente.

Na Figura 5, apresenta-se a localização dos 43 pontos de coleta. Nota-se uma malha amostral representativa, em termos estatísticos, o que permitiu a avaliação da qualidade do ar em todo o Distrito de Vicente de Carvalho e não apenas os locais que estão sob influência de veículos pesados que acessam o Porto de Santos.

Figura 5: Pontos de coleta



Fonte: Autor, 2022

3.2.4 Simulações com o *i-Tree Canopy*

Na plataforma do *software i-Tree Canopy*, foram realizadas simulações que permitiram identificar, na área estudada, a presença de infraestrutura verde, principalmente árvores urbanas, e seu potencial para sequestro de poluentes. O *i-Tree* apresenta uma série de aplicações voltadas à avaliação de benefícios de áreas verde urbanas e rurais. A plataforma foi criada por um pesquisador do Serviço Florestal dos Estados Unidos, para quantificar e avaliar os serviços ecossistêmicos fornecidos por árvores, incluindo remoção de poluição, sequestro de carbono,

emissões de carbono evitadas, escoamento de águas pluviais entre outros (NOWAK, 2018 e HIRABAYASHI, 2014). Resumidamente, com o *i-Tree*, pode-se diferenciar as áreas verdes de outros tipos de usos do solo, como a presença de construções, vias de acesso, entre outras presentes na área de estudo.

Nesse sentido, dados confiáveis sobre a cobertura da copa das árvores urbanas (UTC) também são úteis para o planejamento e gestão de áreas urbanas (HILDE e PATERSON, 2014) (NOWAK e GREENFIELD, 2018). Conforme já indicado, o *software i-Tree* vem sendo utilizado para estimar o UTC nas cidades. O *i-Tree* fornece um método de amostragem de pontos aleatórios que é usado para classificar as características da paisagem dentro das áreas (PARMEHR et al., 2016).

O *i-Tree* permite estabelecer, em determinada área de estudo, sete categorias de uso e ocupação do solo: (i) gramíneas/herbáceas, (ii) edifícios impermeáveis, (iii) impermeáveis a outros, (iv) estradas impermeáveis, (v) solo/solo descoberto, (vi) árvore/arbusto e (vii) água.

Para as categorias, os dados, são em unidades métricas e correspondem à porcentagem e número de pontos. As estimativas dos benefícios das árvores para remoção de carbono, são referentes ao total de sequestro de CO₂ no ano. As estimativas de benefícios de árvores para poluentes atmosféricos, são referentes ao CO, CO₂, NO₂, O₃ e remoção de MP (tamanhos 2,5 e 10 µm). Em relação às estimativas de benefícios de árvores para aspectos hidrológicos, são considerados escoamento evitado, evaporação, interceptação, transpiração, evaporação potencial e evapotranspiração potencial.

No caso de Vicente de Carvalho, as simulações do *i-Tree* permitiram identificar os locais mais críticos em relação à presença de paisagem natural e propor “soluções baseadas na natureza” para reverter o cenário atual.

Para iniciar a análise o primeiro passo foi colocar no software um shapefile com as delimitações da área. Logo na próxima tela é necessário ajustar os parâmetros. Como a ideia é também avaliar o *i-Tree* para a situação de análise do verde no Brasil, foi mantida a configuração inicial. Os 500 pontos foram verificados individualmente para ajuste mais fino, onde através da imagem de satélite é possível verificar o uso do solo para a classificação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos, em relação à: (I) contagem de veículos de carga e a emissão de gases, com base no Fator de Emissão; (II) Medição *in loco* de material particulado (MP₁₀) e (III) as simulações realizadas por meio do *software i-Tree Canopy*.

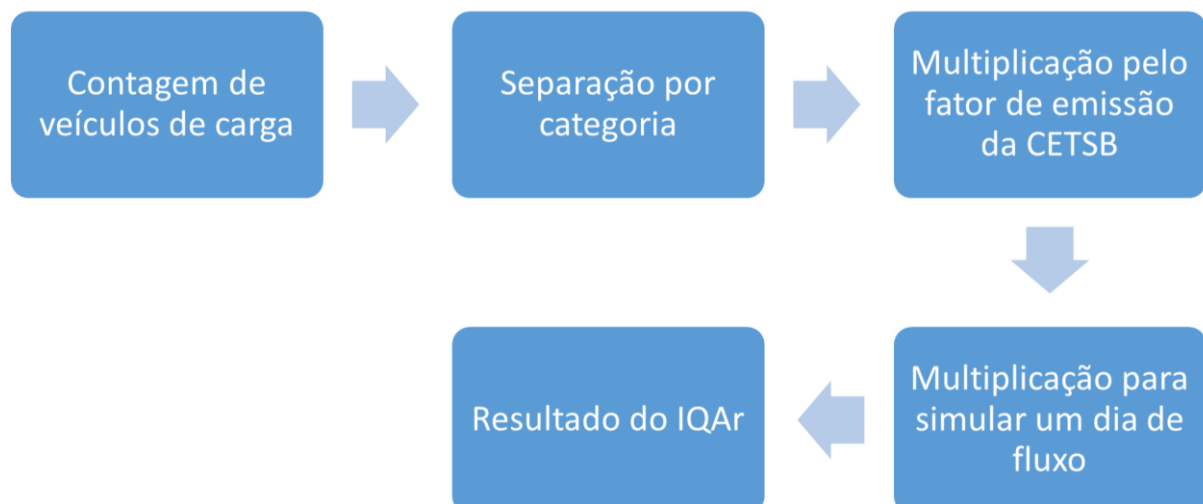
4.1 Fluxo Veicular e Fator de Emissão

Conforme indicado na seção 3, a primeira etapa do trabalho de campo constituiu-se na contabilização dos veículos, por meio da realização de filmagens e a obtenção do FE (CETESB, 2019).

Os resultados obtidos sugerem a grande movimentação de veículos pesados na região de Vicente de Carvalho. Nas tabelas de 2 a 6, apresenta-se o fluxo veicular para cada dia de coleta: 27 e 28/08/2020; 18/01, 24/02 e 27/10/2021, respectivamente. Por conta da pandemia, o município de Guarujá ficou em *lockdown* no mês de março de 2021, impossibilitando que as atividades de campo, que aconteceram sob supervisão da SEMAM, ocorressem. No entanto, o transporte de carga não parou, pois foi integrado à categoria de serviços essenciais.

Na figura 6 é representado um fluxograma com as etapas para chegar ao resultado do IQAr.

Figura 6: Fluxograma das etapas do cálculo do IQAr



Fonte: Autor, 2022

Tabela 2: Contagem veicular no dia 27 de agosto de 2020

Fluxo veicular (caminhões) Rua Idalino Pines (adubo) x Av. Santos Dumond - Guarujá									
Nº Eixos	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
30min	9	15	12	87	108	8	5	12	256
1h	13	18	16	92	127	9	8	17	300
1h30	12	21	19	96	115	12	4	23	302
Total/Eixo	34	54	47	275	350	29	17	52	858
	Semileves	Leves	Médios	Semipesados		Pesados			
Total/dia	183	IQAr							

Fonte: Autor, 2021 (Dados 27/08/2020)

Tabela 3: Contagem veicular no dia 28 de agosto de 2020

Fluxo veicular (caminhões) Rua Idalino Pines (adubo) x Av. Santos Dumond - Guarujá									
Nº Eixos	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
30min	6	18	8	52	46	10	0	8	148
1h	10	15	9	57	58	15	5	12	181
1h30	7	12	11	62	51	11	2	9	165
Total/Eixo	23	45	28	171	155	36	7	29	494
	Semileves	Leves	Médios	Semipesados		Pesados			
Total/dia	103	IQAr							

Fonte: Autor, 2021 (Dados 28/08/2020)

Tabela 4: Contagem veicular no dia 18 de janeiro 2021

Fluxo veicular (caminhões) Rua Idalino Pines (adubo) x Av. Santos Dumond - Guarujá									
Nº Eixos	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
30min	6	9	6	21	33	0	0	3	78
1h	8	7	5	25	31	4	2	5	87
1h30	11	10	6	29	38	6	3	5	108
Total/Eixo	25	26	17	75	102	10	5	13	273
	Semileves	Leves	Médios	Semipesados		Pesados			
Total/dia	54	IQAr							

Fonte: Autor, 2021 (Dados 18/01/2021)

Tabela 5: Contagem veicular no dia 24 de fevereiro de 2021

Fluxo veicular (caminhões) Rua Idalino Pines (adubo) x Av. Santos Dumond - Guarujá									
Nº Eixos	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
30min	8	12	8	64	116	12	16	67	303
1h	12	10	2	78	121	16	13	72	324
1h30	11	8	1	73	114	11	9	68	295
Total/Eixo	31	30	11	215	351	39	38	207	922
	Semileves	Leves	Médios	Semipesados		Pesados			
Total/dia	200	IQAr							

Fonte: Autor, 2021 (Dados 24/02/2021)

Tabela 6: Contagem veicular no dia 27 de outubro de 2021

Fluxo veicular (caminhões) Rua Idalino Pines (adubo) x Av. Santos Dumond - Guarujá									
Nº Eixos	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
30min	11	10	6	69	125	9	15	75	320
1h	10	15	1	85	132	12	10	86	351
1h30	13	7	0	62	116	10	4	91	303
Total/Eixo	34	32	7	216	373	31	29	252	974
	Semileves	Leves	Médios	Semipesados		Pesados			
Total/dia	211	IQAr							

Fonte: Autor, 2021 (Dados 27/10/2021)

Com base nos resultados obtidos in loco (Tabelas 2 a 6), pôde -se estimar o IQAr em cada dia de coleta. Verifica-se um cenário que requer atenção, pois de acordo com a classificação deste indicador, nos dias 24/02/2020, 27/08/2020, e 27/10/2021, o status do ar se enquadra no intervalo de “Insalubre para Grupos Sensíveis” (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas). Para os dias 28/08/2020 e 18/01/2021, o intervalo observado foi “Tolerável”.

É importante salientar que tais medições ocorreram em apenas um ponto de coleta, na Rua Idalino Pines, localizada em uma área residencial de Vicente de Carvalho. Por exemplo, na coleta de 27/10/2021, em apenas uma hora e meia, o fluxo de veículos foi de 974 unidades; ou seja, cerca de 10,8 veículos de carga por minuto, em uma via simples de dois sentidos.

4.2 Medições de MP₁₀, temperatura e umidade

Em relação à quantificação de MP₁₀, temperatura e umidade, as medições aconteceram em janeiro, fevereiro e outubro de 2021, nas mesmas datas de contagens de veículos (18/01/2021, 24/02/2021 e 27/10/2021). Os dados foram tabulados e interpolados no QGIS, com intuito de indicar a distribuição espacial de suas concentrações.

A rosa dos ventos foi criada no software *R studio* a partir dos dados coletados em campo, da mesma forma que os demais dados, foram tabulados conforme os pontos e manipulados com o pacote *Openair*. Ao se comparar com os mapas da interpolação é possível verificar a dinâmica da temperatura, umidade e da dispersão do MP₁₀.

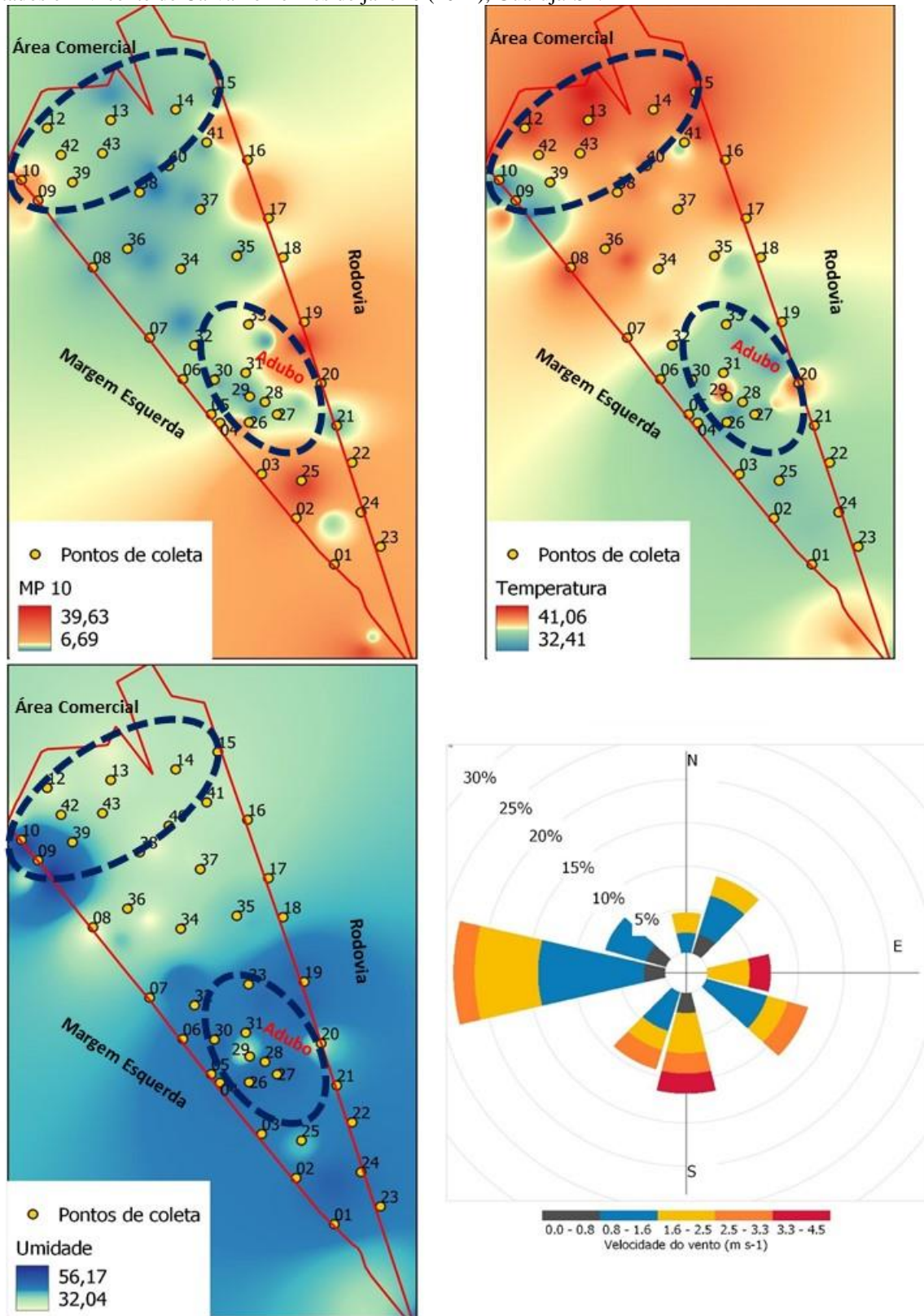
Para facilitar a interpretação, as informações relativas aos 4 indicadores, referentes a cada dia de coleta (MP₁₀, temperatura, umidade e rosa dos ventos) foram dispostos em única figura (Figuras 7 a 9), conforme apresentado a seguir. No entanto, é importante esclarecer dois aspectos do FE da CETESB, em relação à medição desses 4 indicadores para a confecção dos mapas, 1º para a confecção dos mapas, as medições foram praticamente instantâneas; ou seja, o Temtop LKC 1000+ quantifica o MP₁₀ em menos de 1 minuto e 2º, o a versão mais atual do

QGIS não permite manipular a escala de cores, o que dificulta trabalhar com uma palheta de maior de cores. É perceptível nos mapas três tonalidades predominantes. Caso não haja uma correção do “bug” dessa versão, o autor confeccionará os mapas na versão mais antiga.

Assim, dividiremos as Figuras em regiões. Na área central, que compreende o ponto 28 e seus arredores, está localizada a Rua Idalino Pines (Rua do Adubo) que é a única Rua de acesso direto ao Porto e onde se os caminhões transitam ou ficam parados esperando a vez para realizarem carregamento de insumos. A Região mais ao Norte que apesar de ser predominantemente comercial, está localizada em área contígua à balsa que faz o traslado dos veículos automotores do município de Guarujá para Santos e vice-versa, além de transporte de passageiros apenas.

Os pontos de coleta 15 até 24 estavam localizados às margens da Rodovia Cônego Domenico Rangoni (Piaçaguera), já os pontos de 01 até 10 estavam localizados na Avenida Santos Dumond, que acompanha toda a Margem Esquerda do Porto de Santos. Os pontos 09 e 10, coincidem com a localização da balsa.

Figura 7: Distribuição espacial das temperaturas, umidade, MP₁₀ e Rosa dos Ventos, elaborada a partir dos dados coletados em Vicente de Carvalho no mês de janeiro (2021), Guarujá-SP.

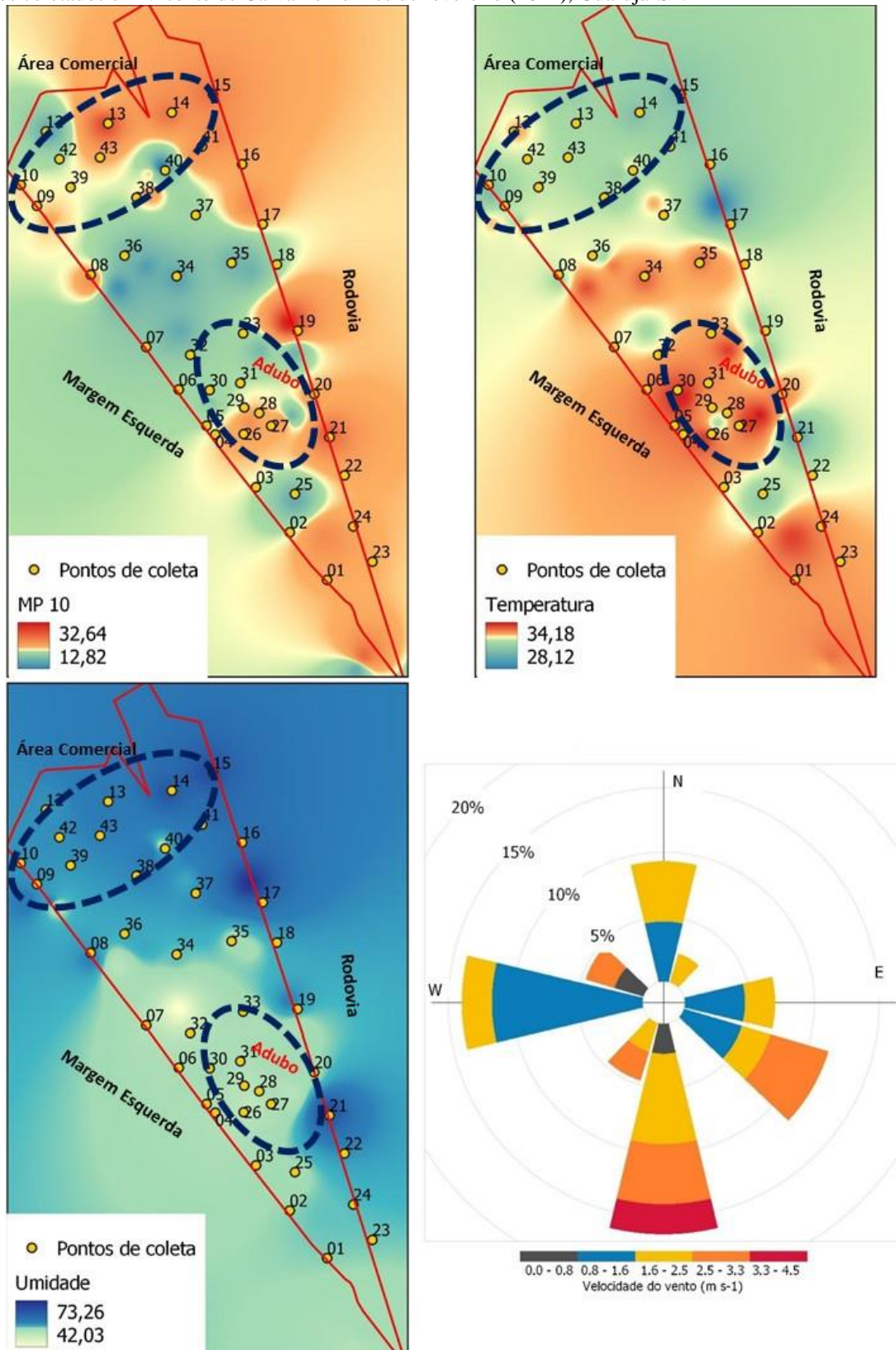


Fonte: Autor, 2022

Em janeiro, as condições de umidade no entorno da Rua do Adubo ficaram acima de 55%. Embora, a temperatura ultrapasse os 30 graus em toda a Vicente de Carvalho, chegando aos 42 °C nas áreas comerciais do Distrito, onde há predomínio de avenidas concretadas. O fenômeno de ilhas de calor (RIBEIRO *et al.*, 2021), no período, provavelmente foi intensificado, dado que no dia da coleta se observou predomínio de calmaria. No que se refere aos teores de MP₁₀, as mais altas concentrações foram observadas nos pontos contíguos à Rodovia Piaçaguera e próximos à Rua Idalino Pines. As variações climáticas têm modificado os padrões de precipitação observados em todo o mundo; contudo, tradicionalmente, o mês de janeiro, na região Sudeste, ainda é considerado o mais chuvoso do ano; portanto, a chuva é um importante fator de diluição de poluentes atmosféricos (THEOPHILO *et al.*, 2021).

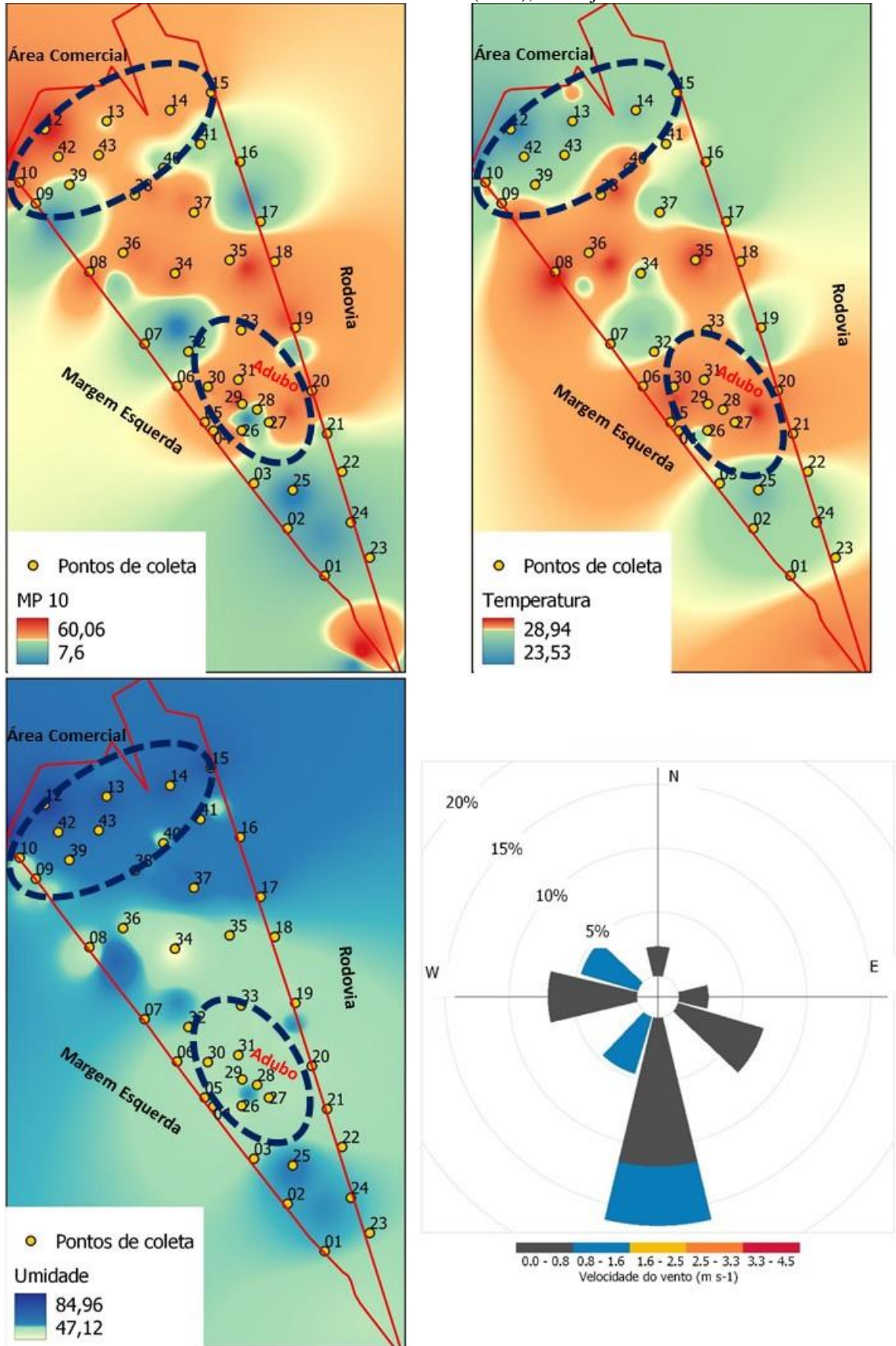
Ao se avaliar a Figura 8, é possível perceber embora as concentrações máximas de MP₁₀ permaneçam nas áreas com predomínio de infraestrutura cinza e que a diferença entre os dois meses não aparente importância significativa (não foi realizado teste de inferência estatística), pode-se perceber que o aumento substancial da umidade relativa, contribuiu para a diminuição da temperatura, para valores abaixo de 28 °C. A influência pronunciada dos ventos mais ao Sul, obviamente interferiu na umidade, que por sua vez, impediu a diluição dos MP₁₀. Por outro lado, pode-se afirmar, que em ambos os meses, não se pode perceber mudanças significativas nos parâmetros avaliados. Dado que, como já mencionado, no Brasil e na Região Sudeste, a estação de verão, que compreende os meses de dezembro a março (apesar de alguns meses em maior ou em menor grau e, dependendo da cidade) é a mais quente e chuvosa.

Figura 8: Distribuição espacial das temperaturas, umidade, MP₁₀ e Rosa dos Ventos, elaborada a partir dos dados coletados em Vicente de Carvalho no mês de fevereiro (2021), Guarujá-SP.



Fonte: Autor, 2022

Figura 9: Distribuição espacial das temperaturas, umidade, MP₁₀ e Rosa dos Ventos, elaborada a partir dos dados coletados em Vicente de Carvalho no mês de outubro (2021), Guarujá-SP.



Fonte: Autor, 2022

Os parâmetros obtidos no dia da coleta de outubro de 2021 indicaram alta porcentagem de umidade relativa, condizente com o dia nublado e temperatura mais amenas em toda Vicente de Carvalho, principalmente na área comercial. Entretanto, verifica-se, que por se tratar de período de supersafra - café, cana-de-açúcar, e milho – há um aumento significativo da frota de caminhão e por se tratar de meados da primavera, inicia-se o período turístico da cidade; portanto, intensifica-se o número de veículos leves, oriundos da cidade de Santos que fazem o traslado pela Balsa (áreas próximas ao ponto 09 e 10). Esse aumento das emissões veiculares se reflete nos mais altos níveis de MP_{10} , ainda que as temperaturas e a umidade tenham sido mais baixas quem em janeiro (Figura 7) e em fevereiro (Figura 8). Novamente, para ventos, o dia registrou calmaria com ventos abaixo de $1,6 \text{ m.s}^{-1}$.

4.3 Simulações com o *i-Tree Canopy*

O espaço verde urbano é reconhecido por fornecer diversos benefícios que englobam atributos biofísicos, econômicos e sociais. Entre esses benefícios estão a redução dos fenômenos de Ilhas de Calor Urbano e a melhoria da qualidade do ar. Portanto, à luz desses e de outros benefícios, quantificar o espaço verde urbano pode ser útil para motivar conselhos e desenvolvedores a aumentar a infraestrutura verde. Várias pesquisas destacaram que as métricas de cobertura verde, que fornecem medidas rápidas e de baixo custo de espaço verde urbano, são obrigatórias para converter as cidades tradicionais em cidades “mais saudáveis” (JACOBS *et al.*, 2014; BUCKERIDGE, 2015; CARDOSO-GUSTAVSON *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2021)

Em relação à modelagem com o *i-Tree*, no recorte do relatório gerado pelo *software* (Figura 10), observam-se pontos coletados a partir de imagens de satélite, na área de Vicente de Carvalho, os quais são categorizados por cores, a saber:

- ✓ cinza escuro = área edificada,
- ✓ cinza claro = áreas impermeáveis não-identificadas,
- ✓ vermelho = ruas,
- ✓ marrom = solo exposto,
- ✓ azul = água,
- ✓ verde escuro = árvores
- ✓ verde claro = grama

Figura 10: Mapa com distribuição dos 500 pontos, obtidos por meio de imagens de satélite, para Vicente de Carvalho, a partir do software i-Tree Canopy.



Imagens ©2021 , CNES / Airbus, Landsat / Copernicus, Maxar Technologies

Fonte: Autor, 2021.

De acordo com a Figura 10, é possível observar o predomínio de área impermeável (cinza escuro), principalmente, no centro da região estudada. Os valores estimados e as respectivas categorias são indicados na Tabela 7. Em relação aos tipos de uso do solo, verifica-se que os edifícios impermeáveis correspondem a 58% da área, enquanto as ruas e avenidas estão relacionadas a 22,4%. Isto significa que em 80,4% da área, há predomínio de infraestrutura cinza, o que contribui para exacerbação das ilhas de calor e retenção de poluentes (MARTINS *et al.*, 2021). Deve-se levar em consideração, portanto, que Vicente de Carvalho possui apenas 12,8% de área com árvores e gramas, valor insuficiente para minimizar os impactos da poluição atmosférica (MARTINS *et al.*, 2021).

Tabela 7 – Dados do relatório do *i-Tree* gerado a partir da seleção de 500 pontos, em Vicente de Carvalho, com as % das categorias definidas pelo software.

Classe de Cobertura	Pontos	% Cobertura	Área (ha)
Gramma/Herbáceo	39	7,8	49,98
Edifícios Impermeáveis	290	58	371,66
Outros Impermeáveis	8	1,6	10,25
Estrada Impermeável	112	22,4	143,54
Solo descoberto	18	3,6	23,07
Árvore/Arbusto	25	5	32,04
Água	8	1,6	10,25
Total	500	100	640,79

Fonte: Autor, 2021.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como questão principal verificar as emissões geradas pelos veículos de carga na margem esquerda do porto de Santos e com isso houve a necessidade de três análises. Na primeira análise, a contagem de veículos de grande porte, os dados obtidos em 4 meses diferentes mostraram que o fluxo de veículos de carga, de 2 a 9 eixos, é denso na principal via de acesso (Rua do Adubo). O cruzamento desses dados, com o fator de emissão do MP10 da CETESB, indicou que suas concentrações (entre 54 e 211 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), em termos dos níveis de cautela sobre a saúde (CONAMA, 2018), se enquadram em “toleráveis” (51 a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a “Insalubre para grupos sensíveis” (121 a 249 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

As visitas à área de estudo, o Distrito de Vicente de Carvalho – que abriga a margem esquerda do Porto de Santos - permitiu verificar que esse alto fluxo de caminhão é distribuído em torno de uma área urbanizada com diversas moradias, abrindo a discussão para a descentralização das rotas do transporte rodoviário de carga, tanto para escoar o trânsito local como para distribuir essa emissão para que toda a infraestrutura verde possa capturar o material particulado.

Vale ressaltar que na análise do fluxo não foram computados os ônibus, que assim como os caminhões são movidos a diesel. Além disso os navios que transitam pelo porto e os trens também são movidos por motores a diesel. Porém como a pesquisa tem o foco maior no perímetro mais urbanizado de Vicente de Carvalho e utilizar os mesmos pontos de coleta de outros estudos, neste estudo foram privilegiados apenas os caminhões.

A segunda análise da pesquisa, utilizando o medidor de poluentes a laser, pôde-se quantificar os níveis de MP₁₀, bem com a temperatura e a umidade relativa e ainda obter dados sobre a velocidade e direção dos ventos. Nos três meses de coleta (janeiro, fevereiro e outubro de 2021) houve coerência entre a baixa dispersão de poluente e a menor velocidade do vento. É oportuno indicar que em Vicente de Carvalho não foram observadas velocidades acima de 4,5 m.s-1; ou seja, podemos considerar que as coletas foram realizadas em períodos de calmaria, que favorece o acúmulo do MP₁₀ no local. Importante destacar que, independentemente, do mês de coleta e do valor máximo de concentração para MP₁₀, o ponto 28, que se refere ao pátio de caminhões na Rua do Adubo, sempre esteve entre aqueles com as mais altas concentrações. O local, portanto, pode ser considerado, um bom marcador da fonte emissora de MP₁₀, uma vez que nos arredores da Rua do Adubo prevalecem residências, há presença ínfima de árvores e arbustos, solo permeável e corpos hídricos e residências.

A pandemia que se iniciou em 2020 e teve um segundo pico em 2021 acabou alterando o planejamento de coletas. Eram previstas 5 coletas de janeiro a maio em dias e horários alternados, porém em março a Prefeitura do Guarujá declarou Lockdown, impossibilitando as coletas de março, abril e maio. Contudo, em outubro (mês de supersafra no porto) foi realizada a última coleta.

É preciso deixar claro, entretanto, que não foram relacionados estudos entre as concentrações observadas, a inalação de MP_{10} pela população de Vicente de Carvalho e os prejuízos à saúde. Nesse sentido, destaca-se a necessidade de serem conduzidos na região, estudos epidemiológicos ambientais mais rigorosos, que envolvam humanos, para avaliar os efeitos de dose.

Com a simulação realizada no *software i-Tree*, o resultado demonstra que a infraestrutura verde é muito baixa na região, em torno de 12% somando árvores e arbustos, levando a necessidade de planos de arborização de média a longo prazo para que as espécies plantadas possam fazer o “trabalho” de capturar esse material particulado, entre outros.

Em área pequena e concentrada com a urbanização e mobilidade esgotada, as SbN são exemplos que podem melhorar a qualidade de vida, sem a necessidade de grandes obras que afetariam a atual infraestrutura urbana existente.

Seriam exemplos de SbN, a criação de um plano de arborização específico para Vicente de Carvalho, para aumentar significativamente a porcentagem de áreas verdes, capazes de atuar como filtro natural aos poluentes atmosféricos e a criação de parques lineares, juntamente com políticas de restrição de tráfego de caminhões, as quais estão sendo levadas em consideração pela Secretaria do Meio Ambiente (SEMAM) de Guarujá, que tem atuado como instituição parceira nesse trabalho.

Entretanto, é necessário deixar claro que apenas a infraestrutura verde inserida no planejamento urbano não desconsidera outras medidas para aliviar a atmosfera e diminuir a quantidade de poluentes atmosféricos. A necessidade de novas fontes de energia, transporte público de qualidade e disciplina na fiscalização é cada vez mais evidente. Nesse sentido a necessidade de uma arborização para curto prazo resolve os problemas mais emergenciais; porém a educação e a cultura de cuidar do meio ambiente precisa iniciar de forma urgente.

Uma alternativa que fortaleceria as SbN, seria a diversificação de modal no transporte; por exemplo, explorando mais a malha ferroviária. Entretanto, trata-se de uma alternativa de difícil

aceitação, dado que é culturalmente mais estagnada no Brasil. A atual ferrovia do porto atua com apenas 60% de sua capacidade.

Bibliografia

- ALMEIDA, José C. S. **Estimativa experimental do fator de emissão veicular no Túnel Rebouças**, Rio de Janeiro, 2021.
- AMBIENTE, Ministério D. M. [S.I.]. 2016.
- ANFAVEA. **Diesel e Emissões - A nova legislação 2012**. ANFAVEA. [S.I.]. 2011.
- ANTT. **Relatório Anual de Atividades**. [S.I.]. 2018.
- AQUINO, Andre L. L. *et al.* **Cidades Inteligentes, um Novo Paradigma da Sociedade do Conhecimento**. Blucher, 2014.
- BICHUETI, Roberto S. *et al.* **Cidades Sustentáveis no Contexto Brasileiro: A Importância do Planejamento para o Desenvolvimento Urbano Sustentável**, 2017.
- BRASIL. Lei nº 8.630, de 25 de fevereiro de 1993. **Dispõe sobre o regime jurídico da exploração dos portos organizados e das instalações portuárias e dá outras providências**. Ministério Dos Transportes.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. **Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR**. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE.
- BRAZ, José T. NT 165/93 - **Emissão de gases poluentes / curvas tipo**. CET. São Paulo. 1993.
- BROWNE, D.J., RYAN, L. **Comparative analysis of evaluation techniques for transport policies**. *Environmental Impact Assessment Review*, 31, 226-233, 2011.
- BUCKERIDGE. **Árvores urbanas em São Paulo: planejamento**, 2015.
- BURROUGH, Peter A.; MCDONNELL, Rachael A.; LLOYD, Christopher D. **Principles of geographical information systems**. Oxford university press, 2015.
- CANCELLI, Diana Maria; DIAS, Nelson Luís. **BRevê: uma metodologia objetiva de cálculo de emissões para a frota brasileira de veículos**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 19, p. 13-20, 2014.
- CARDOSO-GUSTAVSON *et al.* **Tillandsia usneoides: a successful alternative for biomonitoring changes in air quality due to a new highway in São Paulo, Brazil**. *Environ Sci Pollut Res*, 2016.
- CARVALHO, Carlos H. R. D. **Emissões Relativas De Poluentes Do Transporte Motorizado De Passageiros Nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros**. Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft Leibniz Information Centre for Economics, 2011.
- CASTRO, Newton D. **Mensuração de externalidades do transporte de carga brasileiro**. *Journal of Transport Literature*, v. 7, n. 1, p. 163-181, Jan 2013.
- CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à ciência da geoinformação**. 2001.
- CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo**. Governo do Estado de São Paulo Secretaria do Meio Ambiente 2008
- CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo**. Governo do Estado de São Paulo Secretaria do Meio Ambiente 2019
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução Nº 491, de 19 de novembro de 2018. **Dispõe sobre padrões de qualidade do ar**.

- COLAVITE, Alessandro S.; KONISHI, Fabio. **A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade**. [S.l.]: [s.n.]. 2015.
- CONAB. **Calendário de plantio e colheita de grãos no Brasil**. [S.l.]. 2019.
- COSTA, Aldo J. F.; ARAÚJO, Geórgia V. D.; SARINHO, Emanuel S. C. **Poluição, aquecimento global e alergia**. *Arq Asma Alerg Imunol*, v. 1, n. 2, 2017.
- D.HILL, Terrence *et al.* **Air quality and life expectancy in the United States: An analysis of the moderating effect of income inequality**. *SSM - Population Health*, 2019.
- DARÇIN, Murat. **How Air Pollution Affects Subjective Well-Being**, 2017.
- DESOUZA, Kevin; FLANERY, Trevor. **Designing, planning, and managing resilient cities: A conceptual framework**. *Cities*, Dez 2013.
- DIAS, Cristiane; BALES, Marcelo P.; SILVA, Silmara R. **Benefícios das novas fases do PROCONVE para veículos leves, considerando as emissões de abastecimento veicular nas regiões metropolitanas do estado de São Paulo**, 2021.
- FIDAEV, Djuraboy T.; KHUNAROV, Abduvahob M.; KUCHKAROVA, Noila X. **Air Pollution And Its Consequences For Human Health**. *Academic Research In Educational Sciences*, V. 2, 2021.
- FLEURY-TEIXEIRA, Paulo. **Uma introdução conceitual à determinação social da saúde**. *Saúde em debate*, v. 33, n. 83, p. 380-389, 2009.
- FRAGA, Raiza G.; SAYAGO, Doris A. V. **Soluções baseadas na Natureza: uma revisão sobre o conceito**, 2020.
- GUEDES, Sílvia R. A. **Contribuições para a Gestão Ambiental do Sistema Portuário Brasileiro**. Brasília, 2018.
- GUIMARÃES, JOÃO R. P. D. F. **Toxicologia das emissões veiculares de diesel: um problema de saúde ocupacional e pública**. *Revista de Estudos Ambientais, Blumenau*, v. 6, n. 1, p. 82-94, jan/abril 2004.
- HEWITT, C. N.; ASHWORTH, Kirsti; MACKENZIE, A. R. **Using green infrastructure to improve urban air quality (GI4AQ)**, 2019.
- HILDE; PATERSON. **Integrating ecosystem services analysis into scenario planning practice: Accounting for street tree benefits with i-Tree valuation in Central Texas**. *J Environ Manag*, 2014.
- HIRABAYASHI. **i-Tree Canopy air pollutant removal and monetary value model descriptions**. The Davey Institute, 2014.
- IBGE. (2010). *Censo 2010*. (I. B. Estatística, Produtor, & IBGE) Acesso em 11 de fevereiro de 2021, disponível em <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=355030%26search=sao-paulo|sao-paulo&lang>
- IEMA. **Relatório Anual do Instituto de Energia e Meio Ambiente**. Instituto de Energia e Meio Ambiente. [S.l.]. 2020.
- ILOS. **Custos Logísticos no Brasil**. ILOS. [S.l.]. 2019.
- INFRAESTRUTURA, Ministério D. Gov.com, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/noticias/2021/9/governo-federal-assina-contrato-de-ferrovia-que-garante-r-3-3-bilhoes-em-investimentos-privados>. Acesso em: 19 fev. 2022.
- IPCC, Intergovernmental P. O. C. C. **IPCC Press Release**. IPCC. [S.l.]. 2022.
- IPEA. **Investimentos em Educação e Desenvolvimento Econômico**. 1997

- ISMAGILOVA, Elvira *et al.* Smart cities: **Advances in research - An information systems perspective.** International Journal of Information Management, 2019.
- I-TREE. i-Tree Canopy, 2018. Disponível em: <https://canopy.itreetools.org/>. Acesso em: 08 Fev 2022.
- JACOBS; MIKHAILOVICH; DELANEY. **Benchmarking Australia's Urban Tree Canopy: An i-Tree assessment, Final Report.** Institute for Sustainable Futures, 2014.
- KEBEDE, Lencho; GETU SEGNI TULU, Robert T. L. **Diesel-fueled public transport vehicles and air pollution in Addis Ababa, Ethiopia: Effects of vehicle size, age and kilometers travelled.** Atmospheric Environment: X, 2022.
- LOUREIRO, Luciana N. **Panorâmica Sobre Emissões Atmosféricas Estudo de Caso: Avaliação do Inventário Emissões Atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro para Fontes Móveis** , Rio de Janeiro, 2005.
- MANHEIM, Marvin L. **Fundamentals of Transportation Systems Analysis.** Volume 1: Basic Concepts. 1979
- MARQUES, Sâmia M.; BRASILEIRO, Luzenira A. **Emissão de Gases Poluentes por Veículos Automotores em Área Urbana.** Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, 2015.
- MARQUES, Taícia H. N. *et al.* **Soluções Baseadas na Natureza: Conceituação, Aplicabilidade e Complexidade no Contexto Latino-Americano, Casos do Brasil e Peru.** Labverde, São Paulo, 2021.
- MARTINS, Ana P. G. *et al.* **Infraestrutura verde para monitorar e minimizar os impactos da poluição atmosférica.** Energia e Ambiente, 2021.
- MEDEIROS, Raimundo M. D.; HOLANDA, Romildo M. D.; FRANÇA, Manoel V. D. **Interpolação da Insolação Média para o Estado do Piauí – Brasil.** Revista De Geografia, Recife, 2018.
- MIYAJI, Renato O. *et al.* **Interpolação espacial de variáveis ambientais e aerossóis na região da Bacia Amazônica próxima a Manaus-AM,** 2021.
- NOWAK, David J. *et al.* **Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health.** Urban Forestry & Urban Greening, 2018.
- NOWAK, David J.; GREENFIELD, Eric J. US. **Urban Forest Statistics, Values and Projections. urban & community forestry,** 2018.
- NUNES, Breno T. S.; JÚNIOR, Sérgio M.; RAMOS, Rubens E. B. **Gestão ambiental no setor de transportes: uma avaliação dos impactos ambientais do uso de combustíveis no transporte urbano da cidade de Natal (RN),** Ouro Preto, 2003.
- PARMEHR *et al.* **Estimation of urban tree canopy cover using random point sampling and remote sensing methods.** Urban for Urban Green, 2016.
- PEKDEMIR, SEVGIM. **Development Of Sustainable Development Of Sustainable Economy: Circular Cities.** [S.l.]: [S.n.], 2021.
- QUIRINO, Felipe P. **Modelagem das emissões de poluentes atmosféricos oriundos da atividade de transporte coletivo por ônibus - Estudo de caso São Paulo-SP,** 2020.
- QUISPEL. **Active partnerships: the key to sustainable urban freight transport.** (European Conference on Mobility Management. [S.l.]: [s.n.]. 2002.
- RAPER; MAGUIRE. **Design Models and Functionality in GIS.** Computers and Geosciences, London, v. 18, p. 387 - 400, 1992.
- RIBEIRO, Leticia C. *et al.* **Comparação Entre os Interpoladores do Arcgis-Pro para Dados Gravimétricos.** Geociências: A História da Terra, 2021.

SANTOS, Thainá L. D. **Emissões de poluentes por veículos automotores**. Revista Educação Pública, 2020.

SCHROEDER, Élcio Mário; CASTRO, José Carlos de. **Transporte rodoviário de carga no Brasil: situação atual e perspectivas**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 3, n. 6, p. [173] - 187, dez. 1996.

SHAHID, Nimra *et al.* **Towards greener smart cities and road traffic forecasting using air pollution data**. Sustainable Cities and Society, 2021.

SJC. Como as Cidades Inteligentes Contribuem na Qualidade do Ar. **SJC Química**, 2020. Disponível em: <https://sjcquimica.com.br/como-as-cidades-inteligentes-ajudam-no-combate-a-poluicao/#:~:text=COMO%20AS%20CIDADES%20INTELIGENTES%20CONTRIBUEM%20NA%20QUALIDADE%20DE%20AR,-14%2F05%2F2020&text=Isso%20porque%20o%20desenvolvimento%20dos,melhor%20uso%20do%20espa>. Acesso em: 29 abr. 2022.

SOUZA, Lília A. D. Mundo Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/alcool-gasolina-ou-diesel-qual-maior-poluente.htm#:~:text=Mas%20os%20hidrocarbonetos%20que%20comp%C3%B5em,poluente%20do%20que%20o%20diesel>. Acesso em: 12 Maio 2022.

SZWARCFITER, Lila. **Opções para o Aprimoramento do Controle de Emissões de Poluentes Atmosféricos por Veículos Leves no Brasil: Uma Avaliação do Potencial de Programas de Inspeção e Manutenção e de Renovação Acelerada da Frota**, Rio de Janeiro, 2004.

THEOPHILO, C.Y.S., R. A. P. . M. E. G. . A. **Biomonitoring as a Nature-Based Solution to Assess Atmospheric Pollution and Impacts on Public Health**. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, abr. 2021.

VIANNA *et al.* **Assessment of heavy metals in the particulate matter of two Brazilian metropolitan areas by using Tillandsia usneoides as atmospheric biomonitor**. Environ Sci Pollut, 2011.